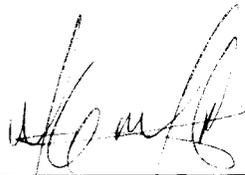


Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.
Gerencia de Desarrollo Humano
División de Estudios de Postgrado

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Tesis **“Implementación de un Sistema de Manufactura Esbelta en el Contexto Mexicano. El Caso ACEFUN”**, realizada por el alumno **Guillermo Rafael Gudiño González**, matrícula **026IM3028**, sea aceptada para su defensa como Maestro en Ciencia y Tecnología con Opción Terminal en **Ingeniería Industrial y Manufactura**.

El Comité Tutorial



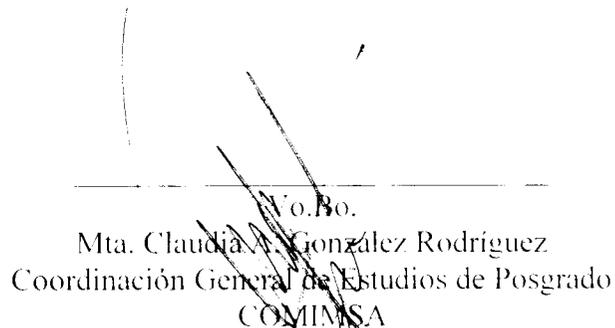
Tutor Académico
Director de Tesis
Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos



Tutor en Planta
M.C. Gustavo López Cepeda



Asesor
Dr. Pedro Pérez Villanueva



V.o.Bo.
Mta. Claudia M. González Rodríguez
Coordinación General de Estudios de Posgrado
COMIMSA

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C. V.

Gerencia de Desarrollo Humano

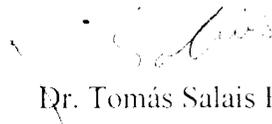
División de Estudios de Postgrado

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de Grado del alumno **Guillermo Rafael Gudiño González**, una vez leída y revisada la Tesis titulada **“Implementación de Un sistema de Manufactura Esbelta en el Contexto Mexicano. El Caso ACEFUN”**, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de **Maestro** en Ciencia y Tecnología en la opción terminal de **Ingeniería Industrial y Manufactura** durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 16 días del mes de Noviembre del año dos mil siete.



Dr. Luis Torres Treviño
Presidente



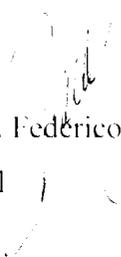
Dr. Tomás Salais Fierro
Secretario



Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos
Vocal



Dr. Pedro Pérez Villanueva
Vocal



M. C. Federico Zertuche Luis,
Vocal

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN

EN MATERIALES, S.A. DE C. V.

PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MANUFACTURA ESBELTA EN CONTEXTO MEXICANO.
EL CASO DE ACEFUN**

TESIS

Presentada para la obtención del grado de Maestro en Ciencia y Tecnología de la
INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE MANUFACTURA

Por

Ing. Guillermo Rafael Gudiño González

Bajo la dirección del Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos

Noviembre 2007

Resumen: Este documento muestra los resultados del análisis referido a la implementación de un sistema de manufactura esbelta bajo el contexto mexicano. Al tomar como base el Sistema de Producción Toyota (TPS), la investigación se centró en identificar factores que permitan la exitosa adecuación del modelo canónico de producción japonés a una empresa mexicana del sector siderúrgico. Un enfoque de sistemas fue empleado como referencia para analizar la cadena de valor de un sistema complejo en evolución dinámica. Como resultado, se presentan los impactos obtenidos en materia de seguridad, calidad y productividad.

Palabras clave: Manufactura esbelta, Sistema de Producción Toyota, Enfoque de sistemas, Cadena de valor.

Abstract: This document shows the results of the analysis referred to the implementation of a Lean Manufacturing System under the Mexican context. The Toyota Production System is taken as baseline and this research is focused in the identification of such factors that allow the successful adaptation of the canonic model of Japanese production to a Mexican enterprise of the siderurgical segment. A systemic approach was used as a reference to analyze the value chain of a complex system in dynamical evolution. As a result, there are presented the impacts obtained in Safety, Quality and Productivity.

Key words: Lean manufacturing, Toyota Production System, Systemic approach, and Value chain.

AGRADECIMIENTOS

Como todo trabajo de investigación, el presente es el resultado del esfuerzo y colaboración de un gran número de personas. Aunque siempre es difícil agradecer a todos y cada una de las personas involucradas, en este paso en mi formación académica, mi reconocimiento a mi esposa e hijos a quienes privé de atención durante el periodo en que después de 25 años de haber concluido los estudios de licenciatura, decidí emprender una maestría.

A mi tutor académico, Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos, a mi asesor Dr. Pedro Pérez Villanueva y a mi tutor de planta M. en C. Gustavo López Cepeda, así como a William Baker, de Caterpillar Inc. A Barry Rubin de Teampath® y a Mauricio Abascal de Delphi, planta Delnosa, por su asistencia en la parte académica, práctica y formativa de este nivel de conocimiento.

Al equipo de profesores de las diversas asignaturas que cursé a lo largo de la maestría, algunos por recordarme lo importante de las ciencias básicas y a otros por haberme expuesto en áreas de la Ingeniería que me hubieran sido de gran utilidad de haberlas conocido cuando recién terminé la carrera de Ingeniería Metalúrgica.

A mis compañeros de generación, con quienes pasé momentos de mucho estudio, transmisión de conocimientos y expectativas, así como de alegría y orgullo por los logros obtenidos.

A la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C. V. (COMIMSA), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Programa Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT) y sobre todo a México, mi extraordinario país, gracias a quienes con su generoso aporte, me fue posible cumplir satisfactoriamente este importante paso en mi vida personal y profesional y que a la postre, me está brindando la posibilidad de mostrar nuestra capacidad más allá de nuestras fronteras.

INDICE	Página
Resumen	2
Abstract	2
Agradecimientos	3
Índice	4
Lista de figuras	7
Lista de tablas	8
Lista de gráficas	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Antecedentes	10
1.2 Definición del problema	15
1.3 Hipótesis	15
1.4 Objetivos generales	16
1.5 Objetivos específicos	16
1.6 Organización del documento	17
2. DE LA PRODUCCIÓN ESBELTA A LA EMPRESA ADELGAZADA	
2.1 Introducción	18
2.2 Evolución histórica	18
2.2.1 Taylorismo y Ford: Los principios de la producción en masa	18
2.2.2 Surgimiento del Sistema de Producción Toyota	22
2.2.3 Sistema reflexivo de Producción de Volvo – Uddevalla	28
2.2.4 Sistema de Producción Mercedes – Benz – Untertürkheim	31
2.3 Herramientas prácticas de implementación	36
2.3.1 El modelo 5S´s	36
2.3.2 Mapa de flujo de valor (VSM)	37
2.3.3 Kaizen	39
2.3.4 Justo a Tiempo (JAT)	40

2.3.5 Control Total de Calidad (TQC)	42
2.3.6 Seis Sigma o Six Sigma	43
2.3.7 Modelo de Factor Humano. Equipos de alto desempeño (EAD)	44
2.3.8 Trabajo estándar	46
2.3.9 Entrenamiento dentro de la empresa (TWI)	48
2.3.10 Mantenimiento Total Productivo (TPM)	49
2.4 Conclusiones del capítulo	50

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de sistemas	51
3.2 Pensamiento esbelto	54
3.3 Proceso Operacional de estudio	58
3.3.1 Concepción	62
3.3.2 Implementación	62
3.3.3 Revisión de la literatura y entrevistas exploratorias	62
3.3.4 Sitio de la investigación	64
3.3.5 Proceso de Mapeo	64
3.3.6 Entrevistas	65
3.3.7 Muestreo	65
3.3.8 Análisis de datos	66

4. CASO ACEFUN: HACIA UNA EMPRESA ESBELTA

4.1 Introducción	67
4.2 Caterpillar Inc.	69
4.3 Evolución histórica de Acefun	74
4.3.1 Posicionamiento de Acefun	76
4.4 Flujo de valor de Acefun	76
4.4.1 Preparación para asegurar flujo continuo	79
4.4.2 Implementación de los elementos de CPS en ACEFUN	81
4.5 Búsqueda de la excelencia operacional	85

4.5.1 Herramientas estadísticas	86
4.5.2 Diseño experimental (DOE)	89
4.5.3 Inteligencia artificial – redes neuronales	94
4.5.4 Equipos de trabajo de alto desempeño	97
4.6 Éxitos alcanzados	99
4.6.1 Indicadores de desempeño	99
4.6.2 Áreas de oportunidad	106
4.7 Lecciones aprendidas	107
4.7.1 Apego al método científico	107
4.7.2 Comunicación	107
4.7.3 Trabajo estándar y entrenamiento Cara a cara	108
4.7.4 Ejecución de talleres Kaizen	108
4.7.5 Liderazgo	108
4.8 Conclusiones del capítulo	109
5. CONCLUSIONES	
5.1 Introducción	110
5.2 Modelo de empresa mexicana esbelta	112
5.2.1 Marco conceptual	112
5.3 Estructura de indicadores de desempeño competitivo	113
5.3.1 Influencia de los resultados en el crecimiento de la empresa	115
5.3.2 Indicadores de desempeño pendientes por desarrollar	115
5.4 Impacto del liderazgo sobre el mantenimiento de las ganancias	116
5.4.1 Los preceptos Toyoda	116
5.4.2 Uso pertinente de conceptos y herramientas	117
5.5 Prueba de hipótesis	117
5.6 Conclusiones finales	118
5.7 Investigación futura	119
Bibliografía	121
ANEXO A Términos frecuentes en Lean Manufacturing	124

LISTADO DE FIGURAS

No.	Título	Página
2.1	Descripción del modelo Justo a Tiempo de Toyota	24
2.2	Entrenamiento en cascada del MPS	33
3.1	El "Templo" del Sistema de Producción Toyota	51
3.2	Proceso de investigación abductiva	54
3.3	Diagrama de bloque de la metodología empleada	59
3.4	Sistema de Producción Caterpillar	60
4.1	Cucharón de una retroexcavadora CAT en una mina de carbón	67
4.2	Proceso productivo de fabricación de piezas fundidas en ACEFUN	68
4.3	Presencia mundial de Caterpillar Inc.	70
4.4	Líneas de fabricación de Caterpillar Inc.	71
4.5	Visión Caterpillar 2020	72
4.6	Mapa de Flujo de Valor de ACEFUN	77
4.7	Caja de datos en un Mapa de Flujo de Valor	78
4.8	Proceso de Implementación de CPS en Caterpillar	82
4.9	Efectos estimados en la correlación de factores de una corrida experimental 2 ^a para determinar partes por millón de hidrógeno en acero líquido	91
4.10	Gráfica de cubo mostrando la distribución de niveles de ppm's de hidrógeno en acero líquido acorde al diseño experimental propuesto	92
4.11	Representación gráfica de una red neuronal	95
4.12	Desempeño de una red neuronal basado en datos experimentales	96
5.1	Comunicación interna de CAT en reconocimiento a la implementación de CPS en Acefun – CAT Ramos Arizpe	111
5.2	Tablero de Unidad de Negocio	114

LISTADO DE TABLAS

No.	Título	Página
1 1	Participación de las PyMES Mexicanas en la industria automotriz	12
1 2	Empresas Mexicanas que han obtenido el Shingo Prize (94-06)	13
2 1	Vista general de la estructura del MPS, subsistemas y principios	35
4 1	Situación de ACEFUN en enero de 2005	74
4 2	Portafolio de eventos de mejoramiento para el VST – Fusión	84
4 3	Resumen del comportamiento estadístico entre horneros Ene-07	88
4 4	Arreglo factorial 2 ⁴ para evaluar hidrógeno en acero líquido	90
4 5	Comparativo de resultados obtenidos en 2005 – 2006	100

LISTADO DE GRAFICAS

No.	Título	Página
1.1	Producción anual de vehículos en Japón y EUA	11
4.1	Ventas anuales de ACEFUN (2000 – 2007 estimado)	69
4.2	Análisis de varianza de tiempos de colada entre horneros	87
4.3	Análisis estadístico comparativo para horneros (C_{pk})	89
4.4	Probabilidad normal del diseño experimental 2^4	93
4.5	Rechazos por grietas vs. Peso de pieza acorde a red neuronal	97
4.6	Índice de frecuencia (accidentes incapacitantes) 2003 – 2007	100
4.7	Nivel de atraso en entregas a cliente (%)	101
4.8	Ventas históricas de ACEFUN 2003 – 2007	102
4.9	Niveles de inventario en ACEFUN 2005 - 2006	103
4.10	Resultados de encuesta de ambiente laboral ACEFUN 05- 07	104
4.11	Sistema de competencias ACEFUN a junio de 2007	105
5.1	Nivel alcanzado por CRA en Evaluación CPS corporativo	111

1. INTRODUCCIÓN

1. 1 Antecedentes

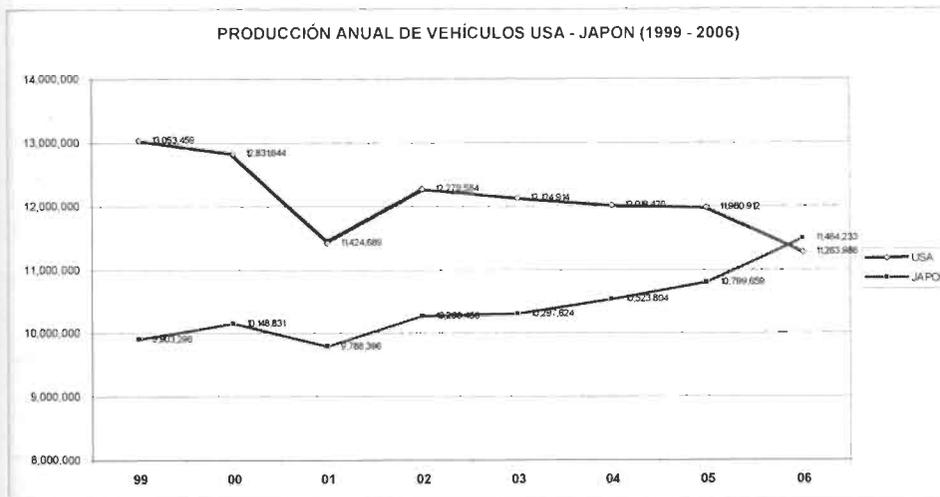
A partir de los resultados alcanzados por la empresa Toyota en la fabricación de automóviles, la Manufactura Esbelta o Lean Manufacturing, concepto desarrollado por esta empresa estableciendo una disciplina orientada a eliminar el desperdicio (Ohno, 1991), ha sido considerado por especialistas del ámbito académico y profesional (Womack, Jones, Ross, 1990; Fujimoto, 2005; Liker, Meier, 2005) como la mejor manera de administrar una empresa de manufactura. De hecho, este concepto se ha extendido rápidamente a otros sectores de la producción y de la prestación de servicios, principalmente en los Estados Unidos, en Europa y por supuesto en Japón.

Desde que Womack, Jones y Ross en 1990 identificaron los principios Lean como fuente de ventaja competitiva, cada vez un mayor número de empresas los están implementado alrededor del mundo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, no se han logrado obtener los resultados que potencialmente pudieran alcanzarse y en muchos casos de implementación exitosa, se suelen presentar problemas de sostenimiento del desempeño alcanzado a lo largo del tiempo.

Dentro del sector automotor, apuntalada en su Sistema de Producción fundamentado en la filosofía Lean, Toyota es una empresa que continua ganando espacio en ventas en el mercado global y generando utilidades financieras, lo que le permite seguir creciendo y posicionando su marca en todo el mundo. Así por ejemplo, durante la década de 1990, su crecimiento fue del 10% y para la década del año 2000, está alcanzando el objetivo de tener el 15% de participación en el mercado mundial de autos. Al mes de marzo de 2007, por primera vez, sus ventas superaron a las de General Motors, el tradicional primer lugar mundial por años.

Por otro lado, los ingresos de Toyota en 2003 ascendieron a \$125 billones de dólares, con un retorno a la inversión del 8%, ubicándose como la segunda empresa automotriz más rentable del mundo, solo detrás de Porsche (Womack, 2006)

En el gráfico 1.1 se observa la participación incremental del sector automotor japonés en la última década, a expensas del estadounidense, el cual debido a su rigidez, no logró enfrentar los nuevos requerimientos del mercado. Esto es sin duda el resultado de mantener el concepto de producción en masa como paradigma competitivo, dejando de lado la mejora constante basada en la calidad, la seguridad y los precios que el consumidor comenzó a demandar. (Dahlgard, 2007)



Grafica 1.1 Producción anual de vehículos en Japón y EUA (US Federal Reserve and Econstats, May 2007)

Debido a estos impresionantes resultados, cada día un mayor número de empresas en todo el mundo y de todos los sectores, están buscando adoptar la filosofía Lean en sus operaciones. En México, como referencia del interés que la manufactura esbelta ha provocado, de las 131 empresas ganadores del Shingo Prize¹, las empresas mexicanas lo han conseguido 33 veces, lo que representa un 25.2% del total.

En este apartado cabe resaltar una situación inquietante. Si bien según datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) las PyMES

¹ Reconocimiento otorgado desde 1989 por un Comité de Evaluación en la Universidad de Utah a pequeñas, medianas y grandes empresas de Canadá, Estados Unidos y México, el cual es considerado actualmente como el "Premio Nóbel" de la Manufactura.

mexicanas juegan un rol preponderante en la economía (ver tabla 1.1), del total de las 131 empresas que ganaron el Shingo Prize, solamente 4 lo han hecho en la modalidad de empresa pequeña o mediana (ver Tabla 1.2) Una situación desafortunada pues la mayoría de los ganadores han sido subsidiarias de importantes compañías corporativas que cuentan con el capital y la visión de alcanzar elevados niveles de productividad y calidad.

INDUSTRIA AUTOMOTOR EN MÉXICO	EMPRESAS	Producción (Total)	Valor agregado
		Millones de US Dólares <i>(\$ 1 US = 10.8 peso MX)</i>	
Personal	1 410	\$ 5 983	\$ 1 585
0 – 10	48 %	1 %	1 %
11 – 50	27 %	1 %	2 %
51 – 250	16 %	6 %	7 %
251 – 1000	7 %	17 %	20 %
1001 – Más	2 %	75 %	70 %

Tabla 1.1 Participación de las PyMES mexicanas en la industria automotriz
(INEGI, 2004)

Estos datos muestran la importante área de oportunidad para estudios dirigidos a empresas medianas y pequeñas. Sobre todo considerando que estas no siempre disponen de enlaces transnacionales fuertes para obtener información, asesoría y seguimiento en la implementación de enfoques de manufactura avanzados.

AÑO	EMPRESA	CIUDAD	TOTAL PREMIOS	% México
2006	DELPHI PLANT 58 DELCO	CHIHUAHUA. CHIH.	10	50%
	DELPHI PLANT 66	QUERÉTARO. QRO		
	DELPHI PLANT 65	QUERÉTARO. QRO		
	METHODE MEXICO	MONTERREY. N. L.		
	TI AUTOMOTIVE	MÉXICO. D. F.		
2005	CELESTICA	MONTERREY. N. L.	15	33%
	DELPHI PLANT 39 SIST. ENERGIA	SALTILLO. COAH.		
	TAKATA SEAT BELTS	AGUA PRIETA. SON.		
	TAKATA SEAT BELTS PLANTA 1	MONTERREY. N. L.		
	TAKATA SEAT BELTS PLANTA 2	MONTERREY. N. L.		
2004	DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS	TLAXCALA	12	58%
	DELPHI CENTEQ	RAMOS ARIZPE. COAH.		
	DELPHI CORPORATION PLANT 98	PARRAL. CHIH.		
	DELPHI SISTEMAS DE ENERGIA	CHIHUAHUA. CHIH.		
	DELPHI CORPORATION PLANT 51	CASAS GRANDES. CHIH.		
	DELPHI CORPORATION PLANT 58	MEOQUI. CHIH.		
	DELPHI DELCO ELECTRONICS	REYNOSA. TAMP.		
2003	DELPHI DELCO ELECTRONICS PTA 1 - 4	REYNOSA. TAMP.	14	7%
2002	FORD MOTOR Co. ASSAMBLY PLANT	CHIHUAHUA. CHIH.	17	29%
	DELPHI ALAMBRADOS Y CIRCUITOS	LOS MOCHIS. SIN.		
	DELPHI DELCO ELECTRONICS	MATAMOROS. TAMP.		
	GRUPO CYDSA	MONTERREY. N. L.		
	DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS	CD. JUAREZ. CHIH.		
2001			6	0%
2000	CYDSA CHEMICAL DIVISION	TLALNEPANTLA. E. MEX.	7	29%
	DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS	MATAMOROS. TAMP.		
1999	CYDSA CHEMICAL DIVISION	COATZACOALCOS. VER.	6	50%
	DELPHI RIMER	MATAMOROS. TAMP.		
	SPICER CARDANES	QUERÉTARO. QRO.		
1998	CYDSA DEL ISTMO	COATZACOALCOS. VER.	6	33%
	TREMEC	QUERÉTARO. QRO.		
1997	CYDSA BAYER	COATZACOALCOS. VER.	9	22%
	CYDSA POLICYD	ALTAMIRA. TAMP.		
1996			6	0%
1995			6	0%
1994	ALCATEL	NOGALES. SON.	7	29%
1993			2	0%
1992			2	0%

Tabla 1.2 Empresas Mexicanas que han obtenido el Shingo Prize (94 – 06)

Utah State University, 2006

Algunos autores como Spear, Bowen (1999), Holweg (2006) y Hino (2006), mencionan la existencia de conceptos e indicadores clave que han sido identificados como parte del “*Código genético*” del sistema de producción Toyota. Sin embargo, solo pocas empresas han logrado alcanzar una verdadera transformación en el modelo de manufactura de su empresa con base en unos cuantos indicadores estandarizados. Esto evidencia el hecho que para lograr un adecuado trasplante del modelo Toyota no basta con tomar una serie de elementos generalizados, sino que se debe interiorizar en la base que puede provocar el cambio substancial en el principio de manufactura.

En el entorno mexicano, se encontró que las plantas armadoras transplantadas a nuestro país bajo los principios de la Manufactura Esbelta han logrado excelentes niveles de desempeño. Del total de plantas analizadas en el comparativo de 1990 realizado por Womack, Jones, Ross del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por sus siglas en inglés), la planta Ford Hermosillo resultó ser la mejor calificada en términos de calidad y productividad, inclusive por arriba de plantas operando en Japón. (Womack, 1990)

El análisis inicial indica por lo tanto, que en principio, hay una predisposición muy favorable en nuestro país para lograr implementaciones exitosas de Lean. El estudio suponía que estos resultados podían ser atribuidos a una adecuada asistencia en el desarrollo de Lean, donde consultores especializados apoyaron la implementación y el seguimiento. Sin embargo, se tienen casos como la alianza entre General Motors y Toyota en la planta NUMMI, que no logró el resultado esperado a pesar de contar con el completo soporte del creador del concepto.

El trasplante del modelo Toyota a otras empresas está usualmente asociado con el sector automotor, pero, ¿qué hay de las empresas que no pertenecen a dicho sector o que son proveedores de servicios?, ¿No es posible alcanzar en todo tipo de compañías la perfección propuesta por Taiichi Ohno?

Parte importante del desarrollo del presente estudio trata de responder a este cuestionamiento, buscando hacerlo de una forma real bajo el entorno del contexto mexicano del sector de la manufactura.

1.2 Definición del problema

La problemática a resolver a lo largo de la presente investigación, queda definida de la siguiente manera:

La búsqueda de un modelo de Manufactura Esbelta concebido bajo el concepto del Sistema de Producción Toyota, pero adaptado al contexto de una organización mexicana que pueda ser implementado y replicado en forma exitosa para lograr y sostener en el tiempo el resultado esperado de reducción de desperdicio y rentabilidad financiera.

1.3 Hipótesis

Con objeto de proponer un planteamiento científico que resulte sujeto de una eficaz evaluación al final del proceso de implementación, se postulan tanto la hipótesis nula (que es la que se supone ocurrirá si ningún factor externo la modifica), como la hipótesis alterna (el supuesto que ocurrirá en el caso de un adecuado soporte científico durante la implementación). Esta última es propiamente el eje vertebral de nuestra investigación.

HIPÓTESIS NULA: Al carecer de sustentación científica y sin haber explorado, entendido y aplicado completa y correctamente las bases fundamentales del Sistema de Producción Toyota, no se logrará una implementación exitosa (acorde a las expectativas y bajo el enfoque buscado), de dicho modelo en la empresa ACEFUN.

HIPÓTESIS ALTERNA: Con el empleo de un enfoque metodológico abductivo, el empleo de herramientas pertinentes de Ingeniería Industrial y el correcto descifrado del código genético TOYOTA, se incrementará sustancialmente la posibilidad de lograr tanto una implementación exitosa del Sistema de Producción Caterpillar en ACEFUN, manteniendo un crecimiento sostenido de los beneficios en el tiempo.

1.4 Objetivo general

Con el interés de cubrir la importante escasez de estudios relacionados con la implementación de sistemas de manufactura esbelta en empresas desarrollando operaciones industriales en el contexto mexicano, el objetivo general de nuestro estudio es:

Desarrollar exitosamente un Sistema de Manufactura Esbelta en ACEFUN que permita el cumplimiento en tiempo y forma de los objetivos propuestos por la Corporación de manera sostenida en el tiempo

1.5 Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general tal y como está concebido, resulta necesario establecer un conjunto de objetivos específicos definiendo el proceso a seguir en el desarrollo de la investigación. En consecuencia, los objetivos específicos del presente trabajo se definieron como sigue:

- a) Desarrollar con base en el método científico y soportado por herramientas de la Ingeniería Industrial, una plataforma de Implementación que permita sentar las bases de la mejora continua de un sistema de producción propio a ACEFUN.
- b) Lograr un *Cambio Cultural* en ACEFUN que permita sostener y aumentar las mejoras alcanzadas en la empresa, procurando la incorporación de sistemas para asegurar el crecimiento personal y profesional de los empleados y asegurando la expectativa financiera de la compañía.
- c) Estructurar y emitir un documento que permita a las empresas operando en el contexto industrial mexicano y mundial, la correcta replicación de un Sistema de Manufactura Esbelta adecuado sus propias necesidades.

1.6 Organización del documento

El presente documento está conformado por 5 capítulos los cuales inician con una Introducción que busca cubrir el contexto global que da origen al desarrollo del tema, presentando el planteamiento metodológico empleado, así como un enfoque holístico que permitió el desarrollo del proyecto.

En el capítulo 2 se presentan los estudios del estado del arte que guarda la Manufactura en el último siglo, así como las herramientas y elementos de aplicación teórico y práctico usadas durante el desarrollo del tema, terminando con la forma de identificación y medición de indicadores de desempeño referenciales.

El tema central del trabajo está contemplado en el capítulo 3, donde se explora con todo detalle el proceso de implementación del Modelo de Manufactura Esbelta en el sitio sujeto de la investigación, tomando referencias específicas de indicadores evaluados que darán certeza a la correcta aplicación de las técnicas y métodos seleccionados.

Para tener una correcta referencia comparativa, en el capítulo 4 se describen las generalidades de ACEFUN y su integración como empresa perteneciente a la Corporación CATERPILLAR Inc., lo cual tiene especial significado para el caso de profesionales interesados en replicar los elementos que fueron considerados en el modelo implementado.

Por último, en el capítulo 5 se establecen las conclusiones globales del estudio; se refieren las recomendaciones principales, haciendo énfasis en mostrar las bondades de los elementos clave encontrados pero también las dificultades que se presentan cuando alguno de éstos no es correctamente entendido o implementado. Finalmente se exponen las áreas de oportunidad para la investigación futura en esta estimulante área del conocimiento.

2. DE LA PRODUCCIÓN ESBELTA A LA EMPRESA ADELGAZADA

2.1 Introducción

La evolución dentro de los sistemas de producción ha sido marcada a través del tiempo entre otros factores, por el cambio en los paradigmas de eficiencia, eficacia y del valor aportado durante la fabricación de un producto. El paso de la concepción de un sistema de producción esbelta a la organización de toda una empresa bajo estos principios, es sin duda un elemento que está revolucionando el actual contexto industrial.

Con el interés de comprender mejor estas transformaciones, el presente estudio hace un análisis del estado del arte basado en el análisis de las siguientes corrientes: 1) Taylor-Ford; 2) Toyota; 3) Volvo, planta Uddevalla; 4) Mercedes-Benz, planta Untertürkheim.

2.2 Evolución histórica

La industria del automóvil ha sido el motor que ha impulsado en gran medida las transformaciones de la Ingeniería Industrial durante el siglo XX y aún actualmente es uno de los principales referentes dentro de la industria de la manufactura. En consecuencia, es sin duda pertinente y necesario que nuestro análisis comience con el cambio revolucionario que Ford logró con base en la adaptación de los estudios realizados por Fredric Taylor.

2.2.1 Taylorismo y Ford: los principios de producción en masa

El concepto de reposición de partes dentro de la línea de ensamble permitió un incremento en volumen y velocidad de producción, lo que trajo aparejado una calidad más uniforme y reducción en los costos de producción.

Con el comienzo de la Revolución Industrial, en forma gradual se fue logrando cierto grado de estandarización en las máquinas, sistemas de medición, herramientas y espacios para la producción, lo que consecuentemente llevó a la estandarización de las secuencias de trabajo y de las actividades involucradas en la manufactura de bienes. El concepto fundamental de Fredric Taylor se sintetiza en una frase mencionada por Henry Ford: "Desarrollar una ciencia para cada

elemento del trabajo del hombre que reemplace la vieja regla del dedo pulgar.” (Clarke, 2005)

Como parte de la aportación de los trabajos de Taylor quedaron los sistemas de reclutamiento y selección basados en habilidades requeridas, los sistemas de certificación y remuneración y los conocidos estudios de tiempos y movimientos. Con ellos, Henry Ford fue el primero en alcanzar resultados concretos como producto de la combinación del método de administración científica expuesto por Taylor y los avances tecnológicos conocidos en la época en que lanzó su popular modelo T. estándar en toda la extensión de la palabra.

Además de lo remarcable que resulta el hecho que el automóvil pudo ponerse a alcance de la naciente clase media estadounidense, el vehículo sufrió un extraordinario decremento en su precio de venta, pasando de \$850.00 a solo \$260.00 dólares en un periodo de 16 años, situación que asoció con una transformación en el sistema de remuneraciones al imponer el sistema de pago por \$5.00 dólares al día, cuando la industria en ese tiempo pagaba solamente la mitad de esa cantidad (Fujimoto, 1991).

Ford desarrolló y perfeccionó su sistema de producción en masa siguiendo cinco principios básicos que convirtieron su proceso en un “ciclo virtuoso” (Lurgens, 1994):

1. Un proceso orientado basado en los principios de producción en masa.
2. El diseño del trabajo está centrado en tareas altamente fragmentadas y poca responsabilidad de los operarios directos.
3. Las mejoras e innovaciones de los procesos descansaban en las manos de expertos (Ingenieros Industriales).
4. La administración del recurso humano está basada en una estrategia de contratación, despido y adquisición de habilidades a través del entrenamiento en el sitio de trabajo.
5. Las relaciones laborales estaban marcadas por “conflictos y antagonismos”, con una administración que defendía fuertemente su “derecho gerencial”.

Este ciclo virtuoso se dio gracias a que los adelantos tecnológicos fueron creciendo al mismo ritmo que las exigencias de la producción, creándose máquinas capaces de generar productos con especificaciones cada vez más precisas y con velocidades entre máquinas casi idénticas. Al mismo tiempo, con los sistemas de transportación entre máquinas, se facilitó el movimiento continuo de los flujos de producción reduciendo las distancias que el operario se debía recorrer.

El grado de movilidad llegó a un extremo tal que: "si los trabajadores iban a trabajar como máquinas, los Ingenieros de Ford concluyeron que toda la planta debía trabajar entonces como una gran máquina y el éxito de la producción en la línea de ensamble dependería de una provisión eficiente de materiales y partes a la estación de trabajo." (Biggs, 1985)

Este mismo autor cita a Ford sobre la manera en que él tenía conceptualizado, de forma estándar, el control incremental sobre el flujo del proceso: "Hacer arreglos de tal modo que el trabajo llegará al operario sin que éste tenga que tomar más de un paso en cualquier camino, ya sea para asegurar su trabajo o para liberarlo; esto mantendrá la línea operando tan rápido como sea posible".

Este cambio vertiginoso del sistema de producción en flujo masivo se convierte entonces en "producción progresiva", facilitada por un flujo constante de materiales. Sólo bastaron 3 años para que este método de suministro se convirtiera en una práctica estándar de la industria automotriz. La combinación de los métodos de Taylor y la línea de flujo productivo estandarizado permitieron esquematizar la siguiente descripción de una secuencia de ensamble (Clarke, 2005):

1. Colocar al operario y herramientas en secuencia de la operación tal que cada parte componente deba viajar la mínima distancia posible mientras esté en proceso de acabado.

En la traducción al inglés de su libro “TPS – más allá de la de la producción a gran escala”, Ohno describe cómo el TPS evolucionó a partir de la necesidad de surtir un incipiente mercado de pocos autos que debían ser producidos en muchas variedades. Esto fue totalmente distinto al principio de Ford sobre producción en masa de los mismos automóviles en largas corridas productivas.

En este punto cabe aclarar que el modelo japonés está caracterizado por una liga entre el sistema de control de la producción con el trabajo y la organización social que rige la compañía. El diagrama 2.1 muestra las relaciones de entrada y salida propuestas en el Sistema de Producción Toyota, referidas a costos, calidad y cantidad, respetando el factor humano sobre todo.

En este sentido, para lograr un exitoso despliegue de flujo continuo y sistemas pull, no sólo es necesario tener un conocimiento profundo de sistemas pero también de psicología. En el primer caso, es necesario entender que la optimización de un sistema de producción nunca podrá alcanzarse si los componentes del sistema – los departamentos productivos así como las relaciones internas y externas entre clientes y proveedores – están en conflicto constante. En el segundo caso, la psicología se requiere para poder construir relaciones positivas ganar – ganar entre socios internos y externos y que éstos puedan mantenerse en el largo plazo. Para ello es necesario edificar valores corporativos inducidos como principios eternos de comportamiento. (Dahlgard – Park, 1999)

En resumen, el éxito de la implementación exitosa de Lean depende de la participación de todo el personal, guiados por un liderazgo no discutible que los conduzca hacia la “excelencia organizacional”.

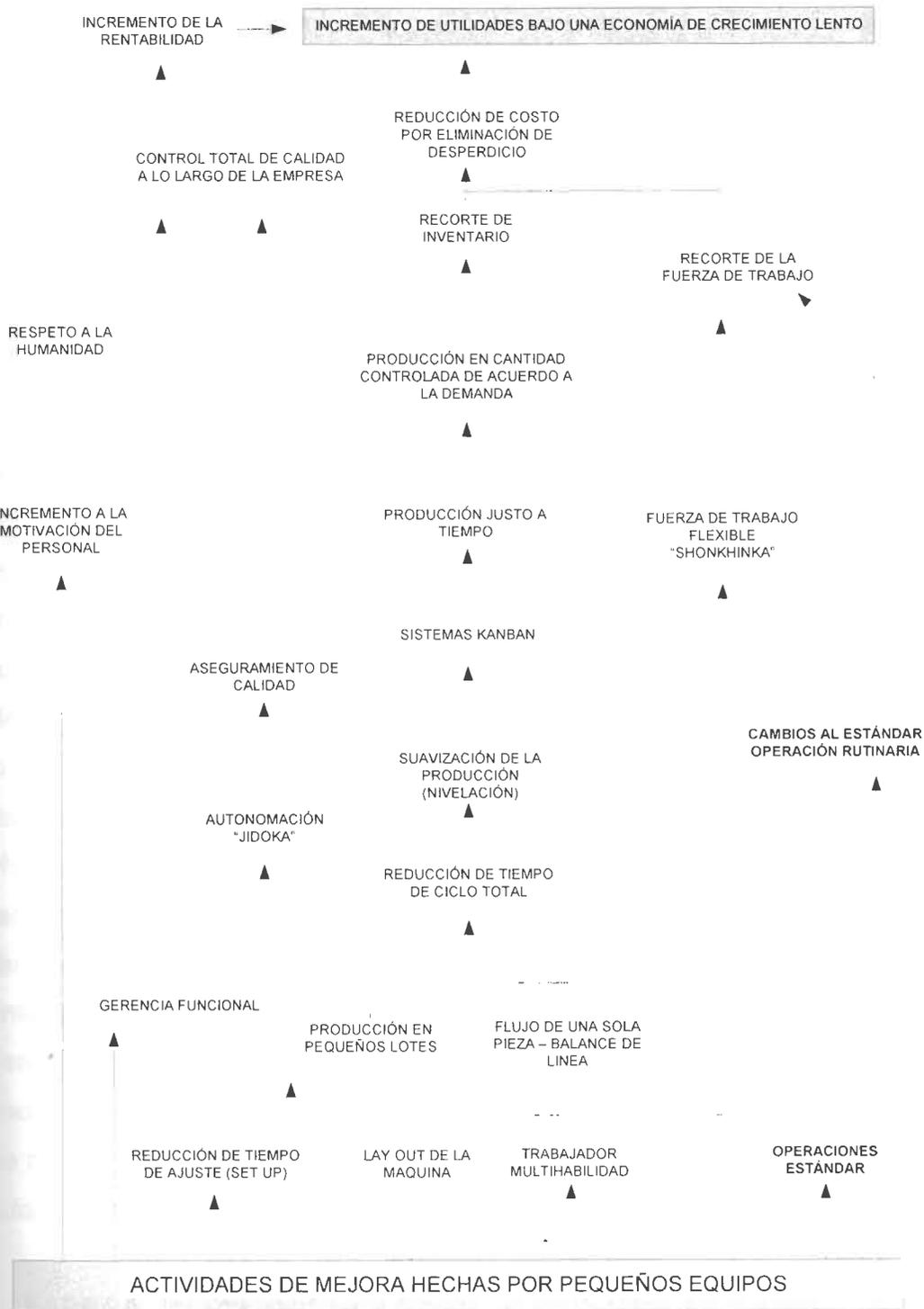


Fig. 2.1 Descripción del modelo Justo a Tiempo de Toyota (Monden, 1983)

El enfoque central está en la búsqueda de un sistema de Mejora Continua. Los estándares están entonces sujetos a una constante refinación y mejoramiento. Este es el enfoque más importante que además marca la diferencia sustancial contra el sistema de producción en masa.

Mientras Ford basaba sus mejoras en el trabajo de sus Ingenieros Industriales, en Toyota, tanto los estándares productivos como muchas de las innovaciones, se convierten en una responsabilidad mayor de los trabajadores de la línea.

En 1990, el Instituto Tecnológico de Massachussets llevó a cabo un estudio a un costo de cinco millones de dólares para analizar el futuro de la producción automotriz, involucrando a 53 investigadores, 23 compañías automotrices y 90 plantas de ensamble en 14 países. Este estudio está documentado en el libro "The Machine that changed the World". (Womack, Jones, Ross, 1990. Su tesis principal esgrime que los productores japoneses, liderados por Ohno y su Sistema de Producción Toyota, desarrollarían el nuevo paradigma de la producción que haría obsoletas tanto a la otrora primera opción de producción en masa de Ford, así como el desarrollo humanístico de Volvo – Uddevalla (al cual nos referiremos en el siguiente inciso de esta investigación)

Ohno menciona que el objetivo más importante de TPS es ***"incrementar la eficiencia de la producción en forma consistente a través de la eliminación de desperdicios."***

Una cuestión fundamental aquí fue la comprensión del concepto de desperdicio, la cual Womak definió como cualquier actividad que consume recursos pero que no agrega valor a lo especificado por el cliente.

De hecho, con objeto de entender el desperdicio dentro de las actividades de manufactura en Toyota, Ohno define 7 elementos:

1. **ESPERA.** Incapacidad para mover un producto a su siguiente paso en el proceso.
2. **SOBREPRODUCCIÓN.** Producir más allá de lo que el cliente requiere.

3. **RETRABAJO.** Producción de partes defectivas o defectuosas, debiendo a veces aplicar un procesamiento adicional para hacerlas funcionales.
4. **MOVIMIENTO.** Movimiento innecesario de gente durante el desarrollo de un trabajo.
5. **PROCESAMIENTO.** Adición innecesaria de trabajo a una parte debido a la pobre calidad del herramental o del diseño del producto.
6. **INVENTARIO.** Almacenamiento de más partes de las absolutamente necesarias.
7. **TRANSPORTACIÓN.** Movimiento innecesario de materiales entre procesos.

En nuestro caso de estudio, la empresa Caterpillar Inc., incorpora, como otras empresas, un octavo “desperdicio”: **“TALENTO HUMANO”**. Esta inclusión resulta lógica, si se considera que la gente representa el recurso fundamental de cualquier organización.

El principio fundamental postulado por Ohno en términos del objetivo de Lean, consiste en poder identificar y eliminar las formas de desperdicio conocidas, esgrimiendo que a través de esos ahorros, es posible ampliar la capacidad de producción y por ende las ganancias en niveles fuera de lo ordinario.

En los procesos de manufactura tradicional, cuando se busca una “mejora de productividad”, invariablemente los ingenieros intentan reducir tiempos en los procesos que añaden valor a los productos, lo que a mediano o largo plazo, redundará en un incremento de rechazo y más desperdicio. En realidad, el enfoque debería estar orientado a eliminar todas las formas de desperdicio mencionadas arriba, pero utilizando herramientas holísticas que permitan una visión global de los procesos (el caso del Mapa de Flujo de Valor)

En 1999, en un artículo presentado por Harvard Business Review (Sep-Oct) bajo el título: “Decoding the DNA of the Toyota Production System”, sus autores Spears y Bowen, encuentran “4 Reglas” que muestran el conocimiento tácito que remarca el TPS. Estas reglas guían el diseño, operación y mejoramiento de cada

actividad, conexión y patrón para cada producto y servicio. Las cuales se enumeran como sigue:

REGLA 1 Todo el trabajo debe ser completamente especificado en su contenido, secuencia, tiempo de ejecución y resultado esperado.

REGLA 2 Cada conexión Cliente – Proveedor debe ser directa y debe existir un camino no ambiguo cifrado “si o no” para mandar requerimientos y recibir respuestas.

REGLA 3 Los patrones para cada producto y servicio deben ser simples y directos.

REGLA 4 Cualquier mejoramiento debe ser hecho de acuerdo con el método científico, bajo la guía de un maestro y al más bajo nivel de la organización que sea posible.

Todas estas reglas requieren que las actividades, conexiones y patrones de flujo tengan sistemas integrados que manifiesten los problemas automáticamente. Es esta respuesta continua a los problemas lo que hace que los sistemas aparentemente rígidos sean tan flexibles y adaptables ante las cambiantes circunstancias.

Un aspecto importante que influyó en la evolución del TPS fue la instalación de tantas subsidiarias en otros países del mundo, a lo que se le denominó “transplante”. Un ejemplo de ello, son las plantas existentes en los Estados Unidos. Después de menos de una década de operaciones, las plantas han establecido niveles sin precedente en materia de calidad y productividad, los cuales han sido ligados a indicadores de satisfacción al personal, resultando en el disfrute de relaciones empleado – gerenciales mucho menos tensas.

Sin embargo, los problemas de tipo personal no se han eliminado. En las empresas japonesas transplantadas, la administración así como las decisiones

importantes recaen en funcionarios de ese país y los gerentes y altos mandos locales que no manejan más de un idioma, se quejan de no tener suficientes oportunidades de promoción justa en comparación con sus contrapartes japonesas, debiendo actuar como "gerentes de sombra" (Spears, S. 1999)

Así, los "ex 3 grandes de Detroit" ha intentado sin mucho éxito aprender y replicar. Aunque los gerentes involucran al personal en establecer cada vez más altos estándares de ajuste fino en los procesos de producción, la participación del trabajador y el tensionado de la línea han también tendido a incrementar las presiones laborales para muchos trabajadores. Tampoco se han podido eliminar las preocupaciones sobre seguridad laboral, aunque los trabajadores tienen en su mayoría mejores condiciones de trabajo bajo los sistemas Lean japoneses.

2.2.3 Sistema reflexivo de producción de Volvo – Uddevalla

El nombre Uddevalla representa un concepto de producción relativamente desconocido, pero muy significativo en el análisis de la evolución de los sistemas de producción. Una de sus principales características es la de enfocarse principalmente a la integración del ser humano dentro de la producción, en lugar de orientarse al uso de la tecnología y a la mejora de la productividad como factores fundamentales de su funcionamiento.

En este punto es importante hacer notar una diferencia importante entre Volvo y las empresas armadoras japonesas. Mientras que en los sistemas de producción japoneses se refina continuamente el desempeño de las líneas de producción basadas en modelos lean, la corporación sueca ha mantenido una estrategia de sistema de producción altamente diversificada y sustentada en alta especialización y participación de la gente en los procesos operativos y de toma de decisión.

Sus raíces datan de la década de los 70's, cuando la Planta de Camiones Volvo en Uddevalla experimentó con el concepto de trabajo en equipo en el ensamble de un camión completo dentro de una estación puente estacionaria. Pehr Gyllenhammar, quien en esos años era el Presidente del Consejo de

administración de Volvo, reestructuró la Corporación en unidades independientes con la intención de “democratizar la compañía de la cabeza a los pies”.

De hecho, los gerentes de Volvo atribuían el éxito de la firma como un competidor mayor en el ámbito internacional, al elevado compromiso con la calidad, seguridad, niveles éticos y preocupación por el bienestar de sus empleados, clientes y medio ambiente (Rehder, 1992)

La suposición estaba dada por el hecho que los cambios estructurales dentro de la organización, facilitarían la implementación de sistemas socio–tecnológicos dentro de la producción. La distribución (lay out) de la línea de ensamble y el flujo de materiales jugaba un rol fundamental en la evolución del sistema de producción reflexivo de la planta Uddevalla de Volvo.

Antes que todo, el sistema de producción de Volvo en su planta de Uddevalla es motivo de atención particular y reconocimiento como un modelo internacional de colaboración democrática entre la fuerza laboral y la gerencia. A diferencia de los sistemas estadounidenses y japoneses, Volvo, bajo el manejo de Gyllenhammar, desarrolló una visión humanista de un sitio de trabajo realmente democrático como una extensión natural de la bien establecida democracia vivida por los ciudadanos suecos. Debido a que la mayoría de los países no han encontrado una manera efectiva de democratizar realmente sus equilibrios sociales, raramente se ve en la práctica.

El objetivo global de Volvo en Uddevalla en 1985 fue el crear una planta de manufactura flexible que produjera automóviles de muy elevada calidad, invirtiendo en su gente y trabajando de la mano con sus sindicatos. El crear competencia entre sus trabajadores era visto como un prerrequisito esencial para producir los mejores vehículos.

A pesar del extenso y costoso entrenamiento involucrado en enseñar a un miembro del equipo de ensamble para armar un auto de aproximadamente 2,500 piezas, varios equipos ya habían logrado rebasar su cuota corporativa de 4 unidades por día mientras cumplían correctamente con los elevados niveles de calidad. Sin embargo, los elevados niveles de inversión en entrenamiento de

equipos e individuos, dejaba potencialmente a la empresa en una condición muy vulnerable a la rotación y al ausentismo.

Otra característica extraordinaria de la planta Uddevalla era que se trataba de un lugar prácticamente libre de ruido, poco movimiento, alta limpieza e iluminación que servía de motivador para que los trabajadores experimentaran menos tensión y pudiese vivirse mejor el trabajo en equipo. De hecho, uno de los principales objetivos de Volvo, fue crear para el personal el mejor medio ambiente laboral posible.

De acuerdo a la administración Volvo, con un balance entre personal de diferente sexo, edades y formación, se pretendía alcanzar una mayor armonía social, una combinación de valores, experiencia y buen juicio en los equipos. Los nuevos empleados se unían a sus equipos desde el primer día pero pasaban un periodo de 16 meses en un programa de desarrollo progresivo de habilidades.

En resumen, según Clarke (2005) se pueden mencionar las siguientes ventajas interdependientes del sistema desarrollado por Volvo sobre los sistemas de ensamble tradicionales:

- a) El involucramiento significativo de sindicatos y trabajadores en las etapas iniciales de planeación y desarrollo del sistema Uddevalla han resultado en altos niveles de solución de problemas, todo bajo esquemas colaborativos ganar – ganar, creando una organización innovadora y sistemas administrativos en armonía entre sindicatos y administración.
- b) Cada equipo de ensamble es una pequeña fábrica que controla y modifica su ritmo de trabajo y los beneficios de ciclos largos de trabajo, jerarquía plana y autonomía organizacional. Eso permite asumir funciones de gerencia de primer nivel y con los sindicatos, una voz real en decisiones de nivel alto de la organización.
- c) Los sistemas de desarrollo de habilidades y competencias conducen a promociones e incentivos tanto individuales como por equipo que facilitan la mejora continua generando orgullo y una real comprensión de cada rol

crítico de trabajo en el sistema de producción total. Así, en turno se mejora la habilidad del trabajador para convertirse en una parte vital de la integración del cliente, desarrollo, ingeniería y manufactura.

- d) El orgullo en su trabajo combinado con cada conocimiento del equipo y la habilidad para “hacerlo bien desde el inicio” así como la influencia con otras partes del sistema integrado de administración total de la calidad, proporciona un alto potencial de calidad en los productos.
- e) Al tener flexibilidad modular sin precedentes sin secuencias lineales fijas, se eliminan pérdidas de balance en las líneas de ensamble, con lo que es posible crear nuevos modos de manejo de material y sistemas de soporte de información, los cuales, por si mismos, representan nuevos sistemas tecnológicos más creativos.

Es claro que también hay aspectos débiles en el concepto de Volvo, por ejemplo, el sistema era muy dependiente de la calidad e integridad del diseño de producto y de los sistemas de desarrollo de ingeniería. Desgraciadamente, Volvo cayó por debajo de esas áreas críticas a causa de su largo ciclo de desarrollo lineal de producto y su complejidad en unidades y gran variedad de partes. Esto creaba dificultad en las velocidades de ensamble. (Rehder, 2002)

El futuro de Uddevalla se definió cuando las presiones económicas generadas por la competencia global, impidió sostener un sistema orientado a la gente que no podía generar los dividendos financieros que la mantuviera en operación.

2.2.4 Sistema de Producción Mercedes – Benz planta Untertürkheim

El sistema de producción Mercedes Benz planta Untertürkheim ejemplifica una solución particular para el desarrollo de un sistema de producción estandarizado en la industria automotriz. Este modelo tiene de particular la búsqueda de Chrysler para establecer una relación de negocio con una firma europea de enorme tradición y prestigio tecnológico, para hacer frente a la creciente expansión del

Sistema de Producción Toyota y a la unión de negocios entre Toyota y GM para arrancar la planta NUMMI.

Las raíces de este modelo parten de la fusión entre las empresas Daimler-Benz y Chrysler en 1998. Mientras que en Alemania no existía para ese año un verdadero Sistema de Producción extendido en la industria automotriz, Chrysler ya había comenzado con la implementación del Chrysler Operating System (COS). El cual consideraba el recorte en el tiempo de desarrollo de nuevos modelos y el incremento en actividades de outsourcing. En lo que se refiere a la la calidad, esta ya se había convertido en una preocupación mayor para Chrysler en los inicios de 1990, realizando extensos estudios de benchmark con Toyota. Como resultado, se decidió adoptar el TPS en la modalidad individual que dio origen al COS en 1992 y su implementación se comenzó a dar entre 1995 y 1996.

En 1997 la planta de Mercedes Benz Untertürkheim introduce su sistema de producción PROSYS. Este sistema era solo un precedente del Mercedes Benz Production System pues allí se inició el proceso de generación documental de los procedimientos y estándares para organizarlos como una base para nominar un real Sistema de Producción.

Más que proporcionar un juego coherente de estándares reguladores de la producción, el PROSYS consistía en una colección aislada de descripciones de los procesos de producción encaminados a ayudar al personal a entender 11 procesos y métodos selectos tales como "calidad", "administración del trabajo" y "métodos y procedimientos de trabajo".

En el primer paso cada tema era subdividido en partes más pequeñas, las cuales seguían un patrón definido. Lo que bajo el Sistema de Producción Toyota se conoce como "hojas de trabajo estándar".

El segundo paso era explicar el propósito del tema y determinar una lista de objetivos, refiriendo la posibilidad de que el trabajador sepa con exactitud que se espera de él en términos de seguridad, calidad y productividad.

En tercer lugar, era enlistar las partes constituyentes de cada tema. Así por ejemplo, en el caso de "administración del trabajo", se comprimieron cinco

componentes: "Trabajo en equipo", "Mejora continua", "Acuerdos para medir el desempeño de estándares y cumplimiento de objetivos", "Organización de la distribución de horas trabajadas" y "Remuneración".

Los equipos estaban coordinados y soportados técnicamente por un grupo de expertos en los campos de Administración del cambio, Logística, Recursos humanos, Planeación, Políticas de trabajo y el grupo de Mejora Continuo de Daimler-Chrysler, los cuáles, en conjunto tuvieron el objetivo mayor de unificar esfuerzos y lograr una empresa eficiente.

Los elementos clave resultantes de estos trabajos fueron cubiertos por 5 objetivos maestros a saber: Seguridad, Calidad, Entregas, Costos y Moral Motivación al personal.

En forma similar a los sistemas de Chrysler y Mercedes Benz, en el nuevo modelo resultado de la fusión entre ambas, se desarrolló un sistema de entrenamiento basado en el modelo de la cascada (ver figura 2.2), donde los gerentes de planta (E1) son los maestros de los gerentes de división (E2), quienes a su vez enseñaban a los gerentes de departamento (E3), estos a los maestros de líderes de equipo (E4) y estos a su vez a los supervisores (E5).

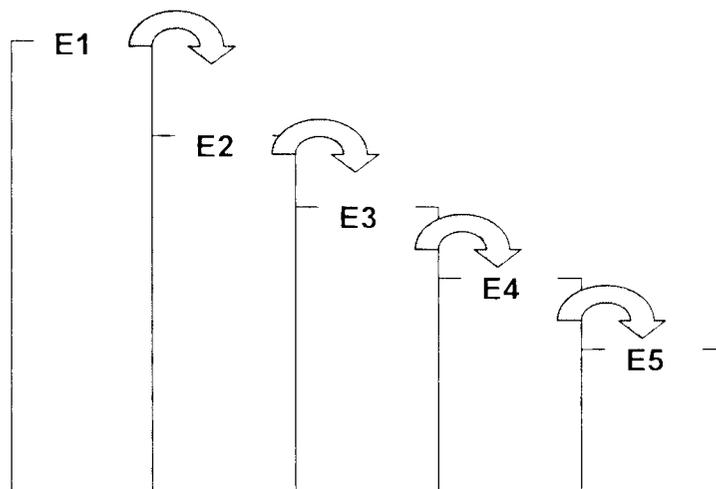


Fig. 2.2 Entrenamiento en cascada del MPS

(Clarke, 2005)

Una diferencia importante con respecto al TPS es que los trabajadores no estaban integrados a la cascada de entrenamiento. En las reuniones que el personal de línea tenía con su supervisor, éste les comunicaba a través de un sistema estandarizado de información, detalles selectos de procedimientos de trabajo, estándares y políticas laborales. El entrenamiento a supervisores tuvo gran importancia y normalmente requería de 2 días a tiempo completo para completarse.

Con objeto de evitar desviaciones a la calidad, el Mercedes-Benz Production System (MPS) enfatizó mucho el seguimiento de los procedimientos estándares de trabajo más que en liberar la creatividad de los trabajadores para mejorar los procesos. El peligro de este enfoque es que sin permitir a los operarios que discutieran los métodos que estaban recientemente aprendiendo, había un enorme riesgo de que ellos no comprendieran del todo lo que se trataba de mejorar y comenzaran a desviarse de los estándares.

El MPS se basó en una estructura que aparentemente está formada de partes independientes, otra diferencia con relación a TPS, el cual consiste de una estructura fuertemente interrelacionada. Por otro lado, el punto de partida son las actividades de mejora en pequeños grupos. La clave del TPS es el comprender como estas partes diferentes de una cadena causal, tales como el kanban y el justo a tiempo, pueden estar unidas sin afectarse negativamente unas a otras. Para el sistema japonés, lo importante es entender que un sistema de producción es un sistema de partes interdependientes. La particularidad del MPS es que éste no está basado en una estructura interdependiente y más bien consiste en una colección de juegos independientes de métodos.

Como resumen comparativo entre el TPS y el MPS, ambos sistemas tocan los elementos clave (que se presentan como 5 subsistemas de la tabla 2.1), pero Toyota los toca de manera profunda y Mercedes Benz lo hace referenciado a una gran variedad de métodos, regulaciones y descripciones específicas que lo hacen más lento, menos sencillo de seguir y con menores posibilidades de éxito.

Infraestructura humana	Estandarización	Enfoque en Calidad y robustecimiento de productos y procesos	Justo a Tiempo	Mejoramiento Continuo
Liderazgo (12 herramientas)	Métodos estándar (8 herramientas)	Detección y corrección rápida de problemas (8 herramientas)	Suavización de la producción (2 herramientas)	Eliminación de desperdicios (10 herramientas)
Definición clara de roles (3 herramientas)	Técnicas visuales / 5 S's (2 herramientas)	Aseguramiento de Calidad preventivo y robustecimiento de productos y procesos (12 herramientas)	Producción Pull (4 herramientas)	
Involucración y desarrollo de los empleados (6 herramientas)		Enfoque al cliente interno y externo (4 herramientas)	Procesamiento de flujo continuo (4 herramientas)	
Estructura organizacional de grupos de trabajo (9 herramientas)			Razón de la demanda de Cliente (2 herramientas)	
Prácticas seguras y métodos de prevención ambiental (4 herramientas)				
34 herramientas	10 herramientas	24 herramientas	14 herramientas	10 herramientas

Tabla 2.1 Vista general de la estructura del MPS: sub sistemas y principios
(Clarke, 2005)

Por último, es importante reconocer que una aportación fundamental del MPS en la búsqueda del método adecuado de implementación de Lean, consistió en el uso consistente de un sistema de auditorías, donde todo el Sistema es continuamente probado contra estándares del ramo (por ejemplo: VDA 6.1)

Para esto, en Mercedes Benz se da una gran fuerza al grupo de auditores que tiene bajo su encargo la responsabilidad de asegurar que los sistemas independientes mencionados, trabajen acorde a lo que de ellos se espera. Así aunque no estén operando como un todo, por lo menos se tendrá la certeza que cada uno de ellos hará su parte para lograr mantener los niveles de seguridad, calidad, entregas, costo e incremento de la moral y motivación del personal.

El exceso de estandarización, característico de los procesos productivos europeos, se convierte en una desventaja contra el sistema Toyota, que por otro lado privilegia el desarrollo y la mejora continua a su personal de línea, situación que marca una diferencia vital entre ambos métodos.

2.3 Herramientas prácticas de implementación

Con el interés de que en posteriores secciones del presente trabajo se tengan presentes las herramientas utilizadas y esto permita el desarrollo más fluido de nuestra demostración, este apartado presenta de manera general, las herramientas utilizadas durante el proceso de implementación del Caterpillar Production System (CPS) en la empresa ACEFUN.

De ningún modo se pretende hacer un análisis detallado de cada una de las herramientas expuestas ya que existe cuantioso material al respecto. Sin embargo, en la sección consagrada a la bibliografía se tienen adecuadamente indicadas las referencias pertinentes que permitan el estudio más profundo de cada una de ellas.

Así pues, la intención se reduce a hacer un enunciado básico de cada herramienta para tenerla como referencia al momento de ser mencionada durante el desarrollo experimental posterior.

2.3.1 El Modelo de las 5S's

La primera herramienta que es recomendada en el Modelo Japonés es el de las 5S's la cual parte de principios que son utilizados en conjunto con otras herramientas para crear el concepto de "Fábrica Visual". Dentro del Sistema Administrativo del CPS, fábrica visual es usada para exponer el desperdicio, lo que

permite eliminarlo y evitar su recurrencia en el futuro. Por otro lado, las técnicas de 5S's son la base para la implementación del concepto de "Trabajo estándar" que resultó ser uno de los pilares básicos usados en ACEFUN.

Como su nombre lo indica, 5S's hace mención a una serie de actividades secuenciadas que en idioma japonés se pronuncian con la letra S y que en español se manejan bajo los siguientes nombres y significados:

1. **SEIRI** CLASIFICAR.
2. **SEITON** ORDENAR.
3. **SEISO** LIMPIAR.
4. **SEIKETSU** ESTANDARIZAR.
5. **SHITSUKE** DISCIPLINA.

El concepto de 5S's es una de las claves fundamentales para la implementación exitosa de Lean, pues conduce al personal a realizar de forma disciplinada actividades metodológicas simples que sirven de base para la aplicación de otras herramientas que se van incorporando al trabajo estándar cotidiano (Dahlgaard, 2006)

2.3.2 Mapa de flujo de valor (VSM)

El Mapa de flujo de valor VSM por sus siglas en inglés (Value Stream Mapping), es una de las herramientas más importantes dentro del proceso de implementación de Lean: En esencia el mapa consiste en un diagrama simple donde aparecen todos los pasos que involucran el movimiento de material y flujo de información para llevar un conjunto de insumos a la generación de un producto que es enviado al cliente acorde a sus necesidades.

Los mapas de flujo de valor pueden ser dibujados para diferentes puntos en el tiempo como manera de incrementar las oportunidades de mejoramiento. De este modo, se habla de un "mapa en estado actual" y de un "mapa en estado futuro o

cesado" y a partir de las diferencias encontradas, es que se determinan estrategias y programas para pasar de un estado a otro.

Un mapa de flujo de valor consta de 4 elementos básicos: i) materias primas (proveedores); ii) proceso productivo; iii) comunicaciones y sistemas logísticos y finalmente, iv) cliente. El mapa usa una serie de íconos y símbolos que se estandarizan como parte del lenguaje Lean para manejar procesos de mejora.

El mapa de flujo de valor, se complementa con el cálculo de las capacidades de producción de cada una de las celdas de que se compone la cadena de proceso y estos datos se colocan en casillas colocadas al lado de cada una de las operaciones y en ellas se indican los datos más importantes.

El dato más importante a calcular es el Tiempo de Ciclo, que es el tiempo que una celda determinada tarda en hacer la actividad que le corresponde para una unidad productiva, considerando la cantidad de personal y las características del equipo con que ésta cuenta.

Una de las características de esta herramienta, es que permite de forma simple, hacer una evaluación del uso apropiado de los recursos de que se disponen, incluyendo el inventario (localizado en la urna de la izquierda,) el recurso humano y la correcta utilización del tiempo.

Con el cálculo de tiempo de ciclo, se puede trazar un gráfico de barras donde se colocan todas las operaciones en orden de la cadena de proceso y sobre este gráfico se traza una línea con el valor del Takt Time. Concepto alemán que hace alusión a los metrónomos que miden la velocidad a la que se tiene que tocar una melodía para que resulte armoniosa (Fig. 2.9). Este mismo principio aplica para determinar la cantidad de producción que cada unidad de la cadena tiene que producir para poder satisfacer la demanda del cliente. El Takt Time está dado por la razón:

$$\text{TAKT TIME} = \text{TIEMPO DISPONIBLE} / \text{DEMANDA DEL CLIENTE}$$

Así por ejemplo, si se dispone de 100 minutos y el cliente requiere de 10 piezas, el Takt Time determina que se deben producir 1 pieza cada 10 minutos para poder cumplir el objetivo del cliente.

Esta información es importante pues por primera vez se considera la demanda real del cliente en tiempo real y se crea la posibilidad de crear un FLUJO CONTINUO que es uno de los principios esenciales de LEAN

El resultado obtenido conduce a determinar cuáles porciones del proceso están siendo subutilizadas y cuáles de éstas están trabajando a una capacidad menor de la que el cliente necesita. Con esta información, es posible "balancear" las cargas de trabajo, asignando recursos de manera que la altura de las barras queda más nivelada y con esto se logrará cumplir con los recursos existentes las demandas de los clientes en un determinado periodo.

2.3.3 KAIZEN

El término KAIZEN es considerado hoy en día como un sinónimo de procesos de mejora continua y desde el punto de vista de las empresas japonesas, tiene además un significado en términos de un método de mejoramiento sostenido sobre la marcha, que involucra a todo el personal, desde la alta gerencia hasta los niveles de operación. De acuerdo con Masaaki Imai, este término, traducido en herramienta, establece una de las diferencias cruciales entre las propuestas administrativas del Japón con relación a las que usamos en Occidente (Imai, 1986)

En la práctica, es común iniciar un programa de Mejora Continua en una empresa mediante un diagnóstico usando el Mapa de Flujo de Valor en forma específica a través de una Transformación de Flujo de Valor y establecer un "portafolio" de talleres orientados a cubrir los Factores Críticos de la empresa. Pero es a través de eventos Kaizen como se logra el mayor nivel de participación del personal y sobre todo, se les hace partícipes de los procesos de mejoramiento como actores y no como espectadores de las modificaciones a la línea o las propuestas que se plantean.

Kaizen es un foro de oportunidades para permitir la participación activa del personal de todo nivel, empleando herramientas como las que se encuentran indicadas para alcanzar niveles de mejora rápida, de alto impacto y económicamente de bajo costo.

Los talleres Kaizen se suelen llevar a cabo en sesiones de 5 días donde un equipo de personas, usualmente del mismo departamento. Estas se reúnen para resolver un problema de su área, siendo apoyados por la administración para lograr hacer cambios importantes a la forma original de producir, buscando inicialmente mayor velocidad y flujo continuo, pero llevando normalmente mejoras acompañadas en seguridad, calidad y disminución de desperdicios.

Para nuestro trabajo, a lo largo del proceso de Implementación de Lean en ACEFUN, se utilizó Kaizen como herramienta de ejecución para desarrollar los proyectos de mejora tanto del lay out como de las condiciones administrativas o culturales que surgieron como área de mejora a través del mapeo a la cadena de valor.

2.3.4 Justo a Tiempo (JAT)

El concepto de Justo a Tiempo (JAT) es acreditado a Kiichiro Toyoda y a Taiichi Ohno, fundadores de Toyota Motor Company, durante la década de 1930; los principios que se mencionarán, comenzaron a operar durante el tiempo en que Taiichi Ohno era Gerente del taller de maquinados, entre 1949 y 1950 (Ohno, 1988).

El JAT es uno de los pilares del Sistema de Producción Toyota (Meier, 2005), el cual queda definido como un Sistema de Manufactura que produce:

- a) Lo que el cliente requiere (Características)
- b) En la cantidad que él lo desea (Volumen)
- c) Cuando el cliente lo demanda (Tiempo de entrega)

Exitoso, siempre y cuando se utilice el mínimo de recursos: Materias primas, Personal, Equipo y Espacio (Ohno,1988). De este modo, el JAT tiene como herramientas de aplicación los siguientes principios:

1. Dar ritmo al Takt Time
2. Crear el flujo de proceso
3. Incorporar el sistema de Jalar (Pull)

El Takt Time es entonces fundamental para transmitir al sistema de producción cuantas unidades desea el cliente y en que lapso de tiempo. Un punto considerar siempre es que los exigencias del cliente cambian en el tiempo, por lo que el Takt Time debe ser continuamente revisado y ajustado a los nuevos requerimientos de demanda.

De acuerdo con Spears (2005), la regla 3 de su estudio sobre el código genético Toyota, se establece que todas las líneas de producción se tienen que fijar de tal manera que cada producto y/o servicio pueda fluir de acuerdo a un patrón simple debidamente especificado. Este patrón no debe ser alterado a menos que la línea de producción tenga que ser expresamente rediseñada.

El principio es que no debe haber marchas a contra flujo o cargas extras a lo largo de una ruta. De acuerdo a esto, los bienes o servicios no fluyen a la próxima persona o máquina disponible, sino que pasan a la persona o máquina específicamente designada para recibir dicho producto. Si la máquina o persona no están disponibles, es cuando la línea tiene que ser analizada hasta lograr el balance necesario.

De lo aquí mencionado, se desprende el principio de la producción tipo Jalar (Pull). bajo el cuál se inicia la producción si y solo si, existe una demanda en firme de un cliente y el proceso pedirá bienes o servicios desde la línea de embarques hasta que se alcance a la primera operación (Fujimoto, 2001).

Las herramientas que comúnmente se usan para implementar el JAT son el Kanban o sistema de reposición medio de tarjetas, caja heijunka o método para

nivelar la mezcla de productos sobre un periodo de tiempo, reduciendo inventarios y manteniendo fluido el embarque de productos.

En resumen, el Justo A Tiempo apoyado por el Takt Time, el sistema de jalar (Pull) y el flujo continuo, es la herramienta más importante para reducir o eliminar el desperdicio y entregar al cliente lo que desea (Lean Lexicon, pp. 34)

2.3.5 Control Total de la Calidad (TQC)

El establecimiento sistemático y la consolidación del Sistema de Administración de Toyota comenzaron con la introducción, en 1961, de Control Total de la Calidad. (TQC). De hecho, las actividades involucrando el TQC en Toyota fueron más allá del concepto de calidad al enfocar todas las funciones de la administración, incluyendo costos, personal, trabajo administrativo y flujo de información (Hino, 2006). Para Hino, no resulta exagerado decir que el éxito del sistema Administrativo de Toyota, recae en la aplicación de TQC.

De acuerdo con Maseo Remoto (Fujimoto, 2001), ex director de Toyota en la época en que el TQC fue implementado, el método de operación de esta empresa consiste de 7 elementos:

1. Control total de calidad (TQC)
2. Ingeniería concurrente (CE)
3. Sistema de producción Toyota (TPS)
4. Desarrollo de recursos humanos.
5. Confianza entre el personal y la administración.
6. Relaciones de largo plazo con los fabricantes de auto partes.
7. Relaciones de largo plazo con distribuidores.

Un aspecto que resulta irónico en muchos aspectos relativos con la calidad, es que el Control de la Calidad es una invención de pensadores estadounidenses, pero fueron los japoneses quienes comprendieron su valor poniendo en práctica los principios del Dr. W. A. Shewhart de los Laboratorios Bell, quien desde 1950

comenzó a hacer aplicaciones del control estadístico a través de cartas de control. Fue en 1950 el Dr. W. E. Deming visitó Japón e hizo 5 presentaciones sobre el Control estadístico de procesos. Esta idea se extendió rápidamente por todo el país y desde entonces muchas empresas abrazaron los principios que a la larga les darían la ventaja competitiva en términos de confiabilidad que no han vuelto a perder.

Toyota basó su estrategia de seguimiento del TQC mediante la búsqueda del Premio Deming, el cual obtuvieron en 1965. El mantenimiento del nivel alcanzado para obtenerlo y la constante búsqueda de mejorar, han sido el motor que permitió pasar de la introducción de los principios, a la promoción de los mismos y de allí a la estabilización de la empresa, factor fundamental para poder iniciar con el principio de trabajo estándar. (Hino, 2006)

2.3.6 Seis Sigma (o Six Sigma)

Desde el punto de vista negocios, 6 Sigma se define como un método altamente técnico usado por estadísticos e ingenieros para dar ajuste fino a los productos y procesos. También se hace referencia de esta metodología como aquella que ayuda a las empresas a alcanzar la perfección – desde la concepción estadística de reducir la posibilidad de producir artículos o servicios defectuosos en un orden de 3.4 en un millón de oportunidades (Pande, Newman, Cavanagh, 2000)

Seis Sigma es un “sistema flexible y comprensivo para alcanzar, sostener y maximizar un negocio exitoso. Seis Sigma es básicamente manejado por una clara comprensión de las necesidades del cliente a través del uso disciplinado de datos basados en hechos y análisis estadístico, así como la atención oportuna a las mejoras que permiten reinventar los procesos en los negocios.” (Pande, 1996)

Seis sigma es una medida de la variabilidad. Desde el punto de vista estadístico, sigma es la desviación estándar que presenta una muestra de datos en torno a una medida de tendencia central.

Si X es una variable aleatoria, se define la Varianza de X o $V(X)$ σ_x^2 como sigue:

$$V(X) = E[X - E(X)]^2$$

Si ubicamos los valores que toman en una curva de distribución normal, las desviaciones estándar a la izquierda y a la derecha de un valor de tendencia central (media), obtendríamos que:

2 Sigma = 69.146% de los datos caen dentro del gráfico

4 Sigma = 99.379% de los datos caen dentro del gráfico

6 Sigma = 99.99966% de los datos caen dentro del gráfico

Esto significa que en un millón de oportunidades, solamente 3.4 de las veces, se incurriría en salir de los límites de control establecidos. En la década de 1970 y principios de la de 1980, mientras la invasión competitiva de compañías Japonesas golpeaba severamente a la industria de los Estados Unidos, algunas empresas como General Electric decidieron posicionarse en segmentos de mercado donde tenían una sólida ventaja competitiva, lo que les permitió no solo sobrevivir sino incrementar grandemente sus ingresos corporativos.

La calidad se convirtió en un foco gerencial fundamental y Seis Sigma, no como concepto estadístico sino como una plataforma usando herramientas estadísticas y técnicas de trabajo en equipo y solución de problemas, se convirtió en una estrategia completa de negocios que llevó a las empresas que decidieron adoptar tal metodología (Xerox, Motorola, GE, etc.) a incrementar sus ventas a medida que reducían sus problemas de calidad (Welch, 1996)

La metodología empleada para sustentar Seis Sigma se conoce como DMAIC, acrónimo para Definir, Medir, Analizar, Incrementar mejora y Controlar.

2.3.7 Modelo de Factor Humano – Equipos de Alto Desempeño

Uno de los puntos en el que convergen los autores que fueron consultados para el presente trabajo, está referido a la importancia del trabajador como base para

lograr una exitosa implementación de los principios Lean (Ohno, 1978; Hino, 2006; Fujimoto, 2001; Spears, Bowen, 1999).

El aspecto de factor humano recae en el Subsistema Cultural del Caterpillar Production System (CPS) y debido a importancia y poca comprensión al interior de la empresa, se optó por solicitar el apoyo de un experto externo con muy buenos resultados tanto en empresas mexicanas como estadounidenses. El modelo está casado en el desarrollo del personal tomando como plataforma equipos de trabajo donde se logra delegar de forma responsable.

El modelo de trabajo de Equipos de Alto Desempeño (EAD) tiene como misión principal cerrar el espacio que dejan los procesos de mejoramiento totalmente enfocados en la producción o el lay out de las plantas y que se remiten a obtener resultados rápidos pero poco consistentes en el tiempo.

La excelencia operacional solo puede estar dada cuando se hace una adecuada combinación de los recursos técnicos, administrativos y culturales disponibles y en el último caso, la creación de una cultura que permita el "facultamiento" (o empowerment, como se le conoce en idioma inglés). Es lo que permite que el trabajador, desde su nivel de ejecución, tenga el conocimiento y la capacidad para tomar las decisiones adecuadas para la solución de los problemas que enfrenta diariamente en su posición.

La forma que los EAD están estructurados consiste en manejar los mismos grupos naturales de los diferentes departamentos y turnos dentro de la empresa y armar con ellos una organización basada en un líder general, que es el supervisor de esa área. Trabajando cercanamente con él, se designa a 5 líderes adicionales, cada uno de los cuáles debe atender los 5 elementos básicos que serán medidos para la evaluación de objetivos acordes a los Principios Guía arriba mencionados.

Cada Supervisor es entrenado en el conocimiento general del manual y éste a su vez lo usará diariamente con su equipo natural de trabajo de tal modo que gradualmente se comience a manejar un concepto de "madurez" del equipo. Etapa cuando los integrantes serán capaces de tomar decisiones de todos los aspectos que tienen que ver con su desempeño, de una manera rápida y adecuada.

El sistema de trabajo de EAD debe ser administrado por un Comité integrado por personal específico de las áreas de Recursos Humanos, Operaciones, Calidad y Mejora Continua, todos apoyados con la visión de un asesor externo, quien maneja la metodología propuesta, ayudando al Comité a adaptarla al entorno específico de la planta en desarrollo.

Dentro de los aspectos más importantes a destacar del sistema de Equipos de Alto Desempeño se tienen los siguientes:

- Sistema de Sugerencias del personal.
- Sistema de reconocimientos y recompensas.
- Sistema de desarrollo de competencias laborales.
- Sistemas de comunicación basados en tableros de diálogos de mejora.
- Sistema de auditorias para medición de Madurez del equipo.
- Sistema de manejo y solución de conflictos.
- Definición de Roles y Responsabilidades.

Estos elementos en conjunto ayudan a la Organización a pernear los Principios Guía de la Organización a todos los empleados de la misma.

2.3.8 Trabajo Estándar

Hitoshi Kume, profesor emérito de la Universidad de Tokio define la importancia de este concepto en un simposio llevado a cabo por la Unión Japonesa de Ingenieros y Científicos (JUSE) en el año de 1992:

“El Trabajo Estándar da claridad de objetivos sobre lo que tenemos que hacer y donde lo hacemos. Ello ilumina las relaciones entre tareas individuales y el sistema como un todo y permite entender el propósito de cada actividad en el contexto del todo. Son a la vez puntos de enfoque administrativo, análisis de la situación actual y puntos de partida para proyectos Kaizen.

Mientras que los registros o datos referidos a resultados de por ejemplo, ventas o diseño, se encuentran disponibles generalmente en forma de gráficos o estadísticos, muchas compañías terminan con la administración de salidas y detienen los kaizenes por que no hay información que produce esos resultados. El papel de la documentación estándar va más allá de simplemente especificar reglas o capturar la situación actual. Los documentos estándar iluminan la situación actual y deben ser usados como punto de partida para mejorarlos” (Hino, 2006).

Los directivos de Toyota encontraron que la causa más fuerte de rechazos y retrabajos está en la atención a los detalles y es por ello que se aseguran que todo el trabajo esté perfectamente especificado en su contenido: secuencia, duración y resultados esperados.

Así por ejemplo, al instalar el asiento en un auto, las tuercas son colocadas en la misma secuencia y atornilladas con el mismo torque, siempre dentro del mismo tiempo que se ha definido. Esta atención al detalle no solo aplica a los operarios sino a todo el personal sin importar su nivel jerárquico (Spears, 1999).

El caso más conocido aplicado en Toyota es el sistema “Andon” consistente en una cadena que corre a lo largo de la línea de producción y cuando aparece un problema, el operario al que le ocurre, jala de ella y toda la línea se interrumpe. Es claro que nadie quiere ser el causante de que la línea se pare pues interrumpe el flujo de la producción, pero con este principio se logran 2 cosas fundamentales:

- (1) No se producen piezas defectuosas que pudieran haber pasado a la siguiente operación en la línea;
- (2) El problema se contiene y se resuelve en un tiempo muy corto, lo que evita soluciones temporales que la mayoría de las veces, resultan ineficaces o contraproducentes si no se hacen las correcciones definitivas de forma oportuna.

2.3.9 Entrenamiento dentro de la Empresa (TWI)

Bajo el concepto de Entrenamiento en el sitio de trabajo (On the Job Training), el trabajo estándar ocupa el núcleo de las actividades de capacitación al personal en Toyota. Este es soportado por el sistema de atención personal, por la educación de grupos y por los 3 elementos básicos que determinan el Desarrollo de Habilidades: (1) Ejecución del trabajo; (2) Educación de Grupo y (3) Actividades autónomas. Esto hace que los trabajadores de la empresa puedan repetir, de manera consistente, las actividades que les han sido encomendadas de forma que la variabilidad de los procesos es dramáticamente reducida. Ello redundará en una disminución de costos por rechazo, por re-trabajo y por tiempos perdidos, lo que constituye uno de los pilares de éxito que se logran con la implementación de Lean en sus principios más elementales. (Hino, 2006)

La práctica de entrenar trabajadores mientras están laborando en la planta, fue desarrollada y expandida considerablemente durante la Segunda Guerra Mundial, pero actualmente está suscitando un nuevo interés en el ámbito mundial. Una descripción del programa y operaciones administrativas de la Oficina de Entrenamiento dentro de una empresa de los Estados Unidos, fue incluida en el reporte de entrenamiento vocacional de la Conferencia de 1946 de los miembros de la Organización Internacional del Trabajo de la OEA, en la Ciudad de México (Dooley, C. 1946)

El entrenamiento dentro de la empresa, se puede definir como un proceso educacional en el cual, un empleado de nivel superior imparte a sus subordinados en forma sistemática y deliberada el conocimiento, las habilidades, los métodos de solución de problemas y las actitudes necesarias para realizar una tarea.

Este método debe ser llevado a cabo de una manera planeada y deliberada. La tarea de los supervisores es cuestionarse constantemente sobre la manera en que su personal está llevando a cabo las tareas asignadas y cómo pueden estar seguros que el trabajo está efectuándose de manera correcta. Al término del trabajo las preguntas son: ¿cómo saber si no se cometieron errores? y ¿cómo manejar los problemas en caso que éstos ocurran? (Spears, 1999)

2.3.10 Mantenimiento Total Productivo (TPM)

El TPM consiste en una serie de métodos que aseguran que cada pieza de equipo en un proceso productivo está siempre disponible para realizar la tarea requerida de tal modo que la producción nunca se ve interrumpida. Es una actividad continua, basada en trabajo de equipo que mejora las actividades normales de mantenimiento del equipo, involucrando a todos los trabajadores (MacInnes, 2005)

Esta herramienta ayuda a enfocar y acelerar las mejoras requeridas por el equipo que permitan asegurar la posibilidad de correr la planta bajo conceptos de Pull, flujo de una sola pieza y sistemas justo a tiempo, que son la base operativa de Lean. En forma adicional, TPM permite hacer arranques de máquina más rápido, lograr calidad a la primera vez con mayor frecuencia y por ende mejorar los niveles de calidad de producto, abatiendo en forma evidente además los tiempos muertos ocasionados por paros no deseados de equipo.

El TPM basa su medición en el ETE (Efectividad Total del Equipo) o bien OEE por sus siglas en inglés (Overall Equipment Effectiveness), el cual mide 3 elementos clave de la productividad: (1) Disponibilidad; (2) Desempeño y (3) Calidad obtenida, donde la fórmula es definida como sigue:

$$\text{ETE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Desempeño} \times \text{Calidad Obtenida}$$

El resultado será un número porcentual que se busca sea lo más cercano al 100% pero que será fuertemente afectado por cualquiera de los factores antes mencionados. De allí la importancia de asegurar que se ponga especial importancia en asegurar que los equipos y máquinas operen en condiciones esperadas de diseño para lograr obtener los niveles de productividad y calidad que se planean.

2.4 Conclusiones

En este capítulo se hace evidente que los modelos de Manufactura que se han dado en el siglo XX y comienzos del XXI, están orientándose hacia el análisis de factores humanos en concordancia con los adelantos tecnológicos que han permitido el crecimiento sostenido de la sociedad.

El hacer un análisis a detalle de las corrientes de pensamiento en materia de producción, estableciendo comparativos, ventajas y desventajas, así como resultados obtenidos, permite, en primera instancia comprender que la Manufactura Esbelta no es una técnica que se pueda simplemente implementar por diseño; más bien, resulta indispensable comprender los lineamientos nacionales que prevalecen en los diferentes sectores de la producción, así como los factores económicos, avances tecnológicos y de manera muy relevante, el factor humano, desde dos perspectivas distintas: Por un lado, el liderazgo que se requiere para establecer el patrón a seguir y por el otro, la participación del personal de todo nivel dentro de la organización para lograr que los cambios propuestos alcancen a madurar y puedan dar los resultados esperados.

Por otro lado, la presentación de un resumen de herramientas de trabajo que se recomienda poner en práctica en los diferentes estados de implementación del sistema de Manufactura Esbelta, permite obtener ayudas para analizar o resolver los problemas que a menudo se presentan para lograr un correcto enlace entre las condiciones teóricas y las prácticas, que al final redundan en un conocimiento adicional del personal dedicado a la operación.

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de sistemas

Dado que el proceso de implementación de un Sistema de Manufactura Esbelta cae en un entorno multidisciplinario (sistemas productivos, administrativos, cambios culturales, modelos de desarrollo de habilidades, comunicación y sistemas de evaluación y medición entre otros), es necesario adoptar un enfoque de análisis dinámico de los sistemas industriales (Cedillo, Sánchez, Sánchez, 2006)

Bajo este enfoque la empresa es vista como un sistema único donde existen aplicaciones concretas de cada uno de los aspectos arriba mencionados. El Sistema de Producción Toyota maneja el concepto de “Templo” (Ohno,1988). En él se establecen los elementos que permiten configurar la estructura de base y operatividad de su modelo (ver Fig. 3.1): Autonomación, Justo a Tiempo y Nivelación. Estos elementos se aterrizan a través del concepto de “Flujo Continuo”, el cual facilita el proceso de transformación eficaz entre las materias primas y el producto requerido por el cliente.

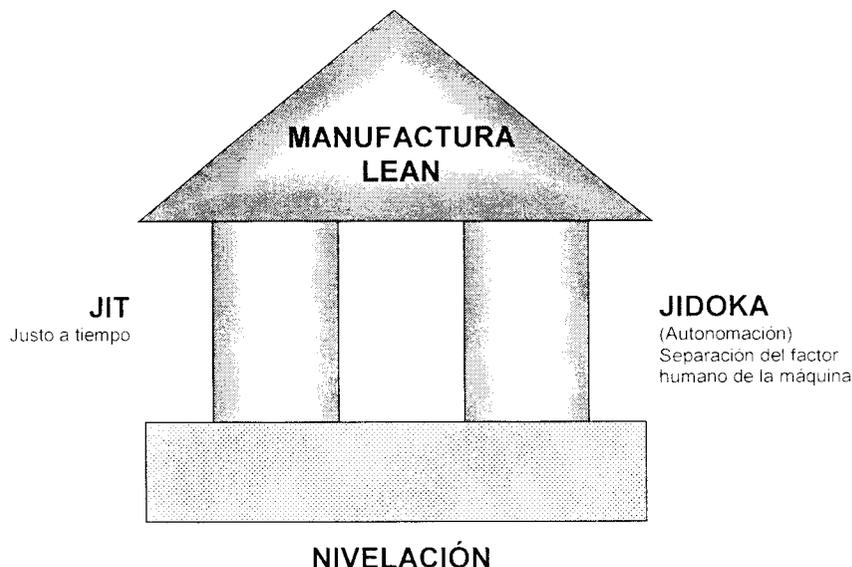


Fig. 3.1 El “Templo” del Sistema de Producción Toyota

El principio de la revisión metodológica se basó en un proceso de investigación abductivo (Kovács, 2005), el cual busca triangular experiencias prácticas de planta con métodos científicos que faciliten la adopción un modelo existente. De este modo, intercambiando ideas o preceptos básicos con principios científicos sólidos, se pudo obtener una resultante mejorada que pudo ser completamente entendida entre quienes tuvieron la responsabilidad de su implementación y mantenimiento.

Según Kovács (2005), un gran número de investigadores de la ciencia logística, está tomando al método abductivo como camino hacia la creatividad sistematizada o la intuición puesta a la búsqueda de "nuevo conocimiento". A diferencia de las corrientes de investigación tradicional, métodos deductivos e inductivos, la creatividad aportada por la abducción permite romper las limitaciones racionales puras impuestas por ambas disciplinas. En lugar de seguir procesos lógicos, los avances en la ciencia son frecuentemente alcanzados a través de pasos intuitivos que se fortalecen como un todo y que finalmente son sustentados por las bases científicas que se dejaron temporalmente de lado, pues usualmente la intuición resulta de una observación inesperada que busca explicación ante anomalías que no pueden ser explicadas mediante el uso de teorías establecidas.

El enfoque abductivo también difiere de la deducción e intuición en el proceso mismo de investigación. El método deductivo analiza la teoría, mediante el análisis de la literatura existente y deriva en conclusiones lógicas que resultan en hipótesis (H) y proposiciones (P), las pone a prueba en un marco empírico, posteriormente presentando conclusiones generales basadas en la corroboración o declinación de sus hipótesis y/o proposiciones auto generadas.

La lógica inductiva sigue un patrón completamente opuesto. Ni siquiera el conocimiento del marco general de la literatura resulta definitivamente necesario, en lugar de esto, las observaciones sobre los fenómenos conducirán a proposiciones emergentes y su posterior generalización en un marco teórico, siguiendo así un patrón caso – regla resultante (Danemark, 2001)

En el razonamiento abductivo, el caso presenta una plausible pero no necesariamente lógica conclusión, proporcionando el hecho que la regla anticipada es correcta, lo cual crea nuevas pistas o suposiciones sobre los eventos o fenómenos bajo investigación. Más que enfocarse en reglas generales y/o sólo manifestaciones específicas, el método abductivo se preocupa de las particularidades de una situación específica que deriva de la estructura general de tal clase de situaciones.

El método abductivo nos permitió trabajar a través de interpretar o recontextualizar los fenómenos individuales dentro de un marco contextual, promoviendo la comprensión del sistema de producción en operación desde la perspectiva de un nuevo marco conceptual. Debido a que el razonamiento abductivo enfatiza en la búsqueda de teorías acordes a una observación empírica que resulte en un "enlace con la teoría" o una "combinación sistemática", los datos fueron colectados en forma simultánea a la construcción de la teoría, lo que generó un círculo de aprendizaje (Taylor, 2002)

La figura 3.2 muestra en forma secuencial los pasos que nos condujeron a conclusiones a través de la aplicación de hipótesis y proposiciones teóricas en un ajuste empírico, donde se creó nuevo conocimiento reforzado.

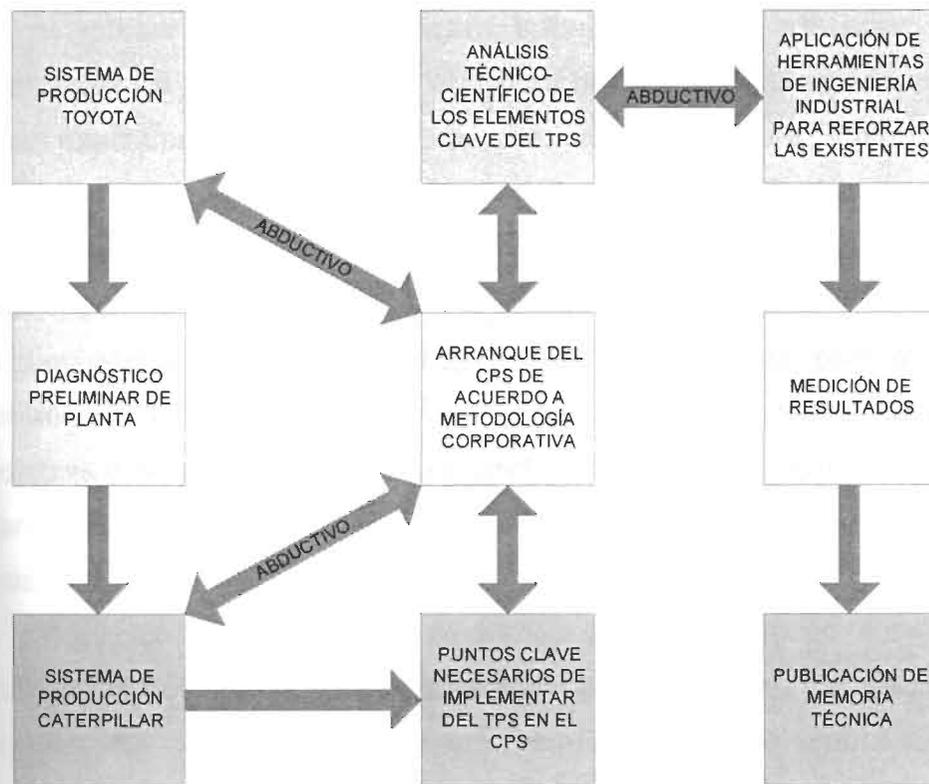


Fig. 3. 2 Proceso de investigación abductiva aplicado al caso de estudio
(Basado en: Kovács, Spens, 2005)

Desde un punto de vista sistémico, este enfoque permite crear un modelo metodológico que puede ser seguido en forma continua a lo largo de la ejecución del proyecto.

3.2 Pensamiento esbelto

Para enfocar el concepto de “esbelto”, debemos comenzar con una definición inicial pertinente planteada por Krafcik (1990): “la producción es esbelta pues usa menos de todo, en comparación con la producción en masa”

Una buena forma de diferenciar el pensamiento esbelto del proceso de manufactura en sí mismo, consiste en contrastar dos métodos de producción: 1) la producción artesanal; y 2) la producción en masa.

En el primer caso, se utilizan trabajadores o artesanos altamente especializados los cuáles mediante el uso de herramientas simples pero flexibles, producen exactamente lo que el cliente pide, una cosa por vez. Ejemplos actuales de esto se encuentran en quien fabrica muebles sobre medida, hace decoraciones específicamente requeridas o fabrica automóviles personalizados (Aston – Martin, o Porsche, por mencionar algunos)

Es claro que la idea de producción artesanal es magnífica, pues se supone un alto interés por el detalle, logrando así productos de muy elevada calidad y un sello distintivo que no puede ser adquirido por cualquier persona. El problema resultante es obvio: Los bienes producidos por el sistema artesanal, cuestan demasiado dinero para la gran mayoría de los consumidores.

La producción en masa por su parte, utiliza profesionales específicamente entrenados para diseñar productos que serán producidos por trabajadores poco o moderadamente capacitados, utilizando máquinas costosas y poco flexibles. Así se logran producir artículos en una condición estandarizada a un alto volumen, lo que conduce a una disminución en el costo de fabricación.

Dado lo costoso de las máquinas y lo que representa que éstas paren, quienes producen en masa, tienen que añadir una cantidad adicional de recursos, de todo tipo, personal, materias primas, tiempos extras, etcétera, para “suavizar” la producción y hacerla menos sujeta a interrupciones. El cambiar de un modelo de producto a otro resulta aún más costoso, por lo que el fabricante tiene que mantener sus modelos o diseños el mayor tiempo posible, trabajando en “ciclos largos”, que a la postre dan al cliente menos opciones de variedad por las cuáles optar y la ventaja que obtiene es que el producto le resultará de un costo más accesible que le permitirá adquirirlo.

En contraste, el pensamiento esbelto en la producción, combina las ventajas de la producción artesanal y la producción en masa, evitando los altos costos del primero y la rigidez del último. Con este objetivo, la producción Lean emplea equipos de trabajadores multi–habilidades en todos los niveles de la organización,

os cuáles utilizan maquinaria altamente flexible y automatizada que permite producir volúmenes altos de una gran variedad de presentaciones de productos.

Posiblemente la diferencia más significativa entre la producción en masa y la producción esbelta es precisamente en el último objetivo que ambas persiguen. La producción en masa establece una meta limitada "suficientemente buena" que permite una cantidad "aceptable" de efectivos, un nivel aceptable de defectos, un nivel conveniente de inventario y un estrecho rango de productos estandarizados. El hacer lo que hacen de una mejor manera – se argumenta – costaría mucho o excedería las capacidades inherentes de los trabajadores.

Por otro lado, los productores que se basa el pensamiento esbelto, establecen sus metas en alcanzar la perfección: una declinación constante de los costos, la mira de cero defectos, cero inventarios y una variedad ilimitada de productos. Es claro que ninguna compañía ha alcanzado semejante situación idealista y quizá ninguna empresa llegue a alcanzarlo alguna vez, pero la búsqueda constante hacia lo perfecto, seguramente les dará una posición de mercado inmejorable.

Una característica remarcable del pensamiento esbelto es que para uno, la producción lean cambia la manera en que la gente trabaja pero no siempre la forma en que se piensa. La mayoría de las personas encontrarán sus trabajos más retadores y atractivos en tanto el concepto lean se va diseminando en la organización, lo que lo convertirá en un trabajador más productivo.

Así como se ha planteado que Lean tiene un potencial de ventaja tanto para el trabajador como para la empresa que decide adoptarlo, también es pertinente mencionar que las actividades Lean también generan un mayor nivel de tensión laboral dado que un objetivo clave es bajar el nivel de responsabilidad para la toma de decisiones hasta el nivel más bajo posible de la organización. La responsabilidad significa un autocontrol de las actividades que los trabajadores tienen asignada, pero puede generar una gran ansiedad en ellos pues tanta libertad puede conducirles a tomar decisiones desacertadas que en muchos casos resultan muy costosas.

Por otro lado, la producción lean está comenzando a cambiar el significado de las carreras profesionales. Estamos acostumbrados a pensar en la carrera como una progresión continua de niveles ascendentes de conocimiento técnico en áreas cada vez más estrechas de especialización así como de responsabilidades muy claramente especificadas, que son repartidas entre un número de subordinados.

En contraste, la producción lean está buscando aprender más allá de los conocimientos profesionales para aplicarlos en forma creativa en un enfoque de equipo, en vez de hacerlo en una jerarquía rígida. Esto crea la paradoja que mientras mejor miembro de equipo sea un individuo, menor será el nivel de especialización que tendrá.

Esta situación puede resultar peligrosa pues algunas personas seguirán pensando que sus conocimientos de especialidad tienen más valor en otra compañía, lo que podría generar rotación de personal o bien, podría generarse un problema social el que las personas dejen de ascender en sus carreras profesionales, limitándose a ser buenos integrantes de buenos equipos, causándoles frustración o desmotivación (Womack, 1990)

En el artículo de Womack y Jones (1996), titulado: "Beyond Toyota", en referencia a los estudios que sobre la materia se desarrollaron en torno al estudio MIT de 1990, resumen el "pensamiento Lean" en las siguientes guías iniciales:

- a) Definir el valor precisamente desde la perspectiva del consumidor final en términos de un producto específico con capacidades específicas las cuáles son ofrecidas a un precio y tiempo de entregas específicos.
- b) Identificar el flujo de valor completo para cada producto o familia de productos y eliminar toda forma de desperdicio.
- c) Hacer que los procesos agreguen valor en los siguientes pasos de la del flujo de la producción.
- d) Diseñar y proveer al proveedor lo que desea, solamente cuando el cliente lo desea.
- e) Perseguir la perfección.

Estos pasos son esenciales en el perfeccionamiento del pensamiento Lean, pues de su uso frecuente, se estará creando un círculo virtuoso. Cuando la definición de valor queda más evidente, se crea un reto a quienes operan una cadena de valor para localizar y eliminar desperdicio (o MUDA) De tal modo, mientras más se presiona para “jalar” los productos a lo largo del proceso, mayor será la necesidad de eliminar el Muda que evita que éste lo haga.

3.3 Proceso operacional del estudio

El diagrama 3.3 muestra esquemáticamente el planteamiento metodológico seguido a lo largo de la investigación, donde como punto de partida, se ubica el marco referencial teórico y práctico desarrollado por Toyota y del cuál derivan 3 principios base que fueron anteriormente mencionados: a) autonomación; b) justo a tiempo; c) nivelación (Liker y Meier, 1996)

Este modelo tiene la característica que está conceptualizado de forma dinámica en donde los hallazgos teóricos pueden ser tomados para apoyar las acciones de implementación, pero además puede operar en sentido opuesto dado que cuando se observa una buena práctica en piso, se puede confrontar contra el marco teórico pertinente para reforzarla.

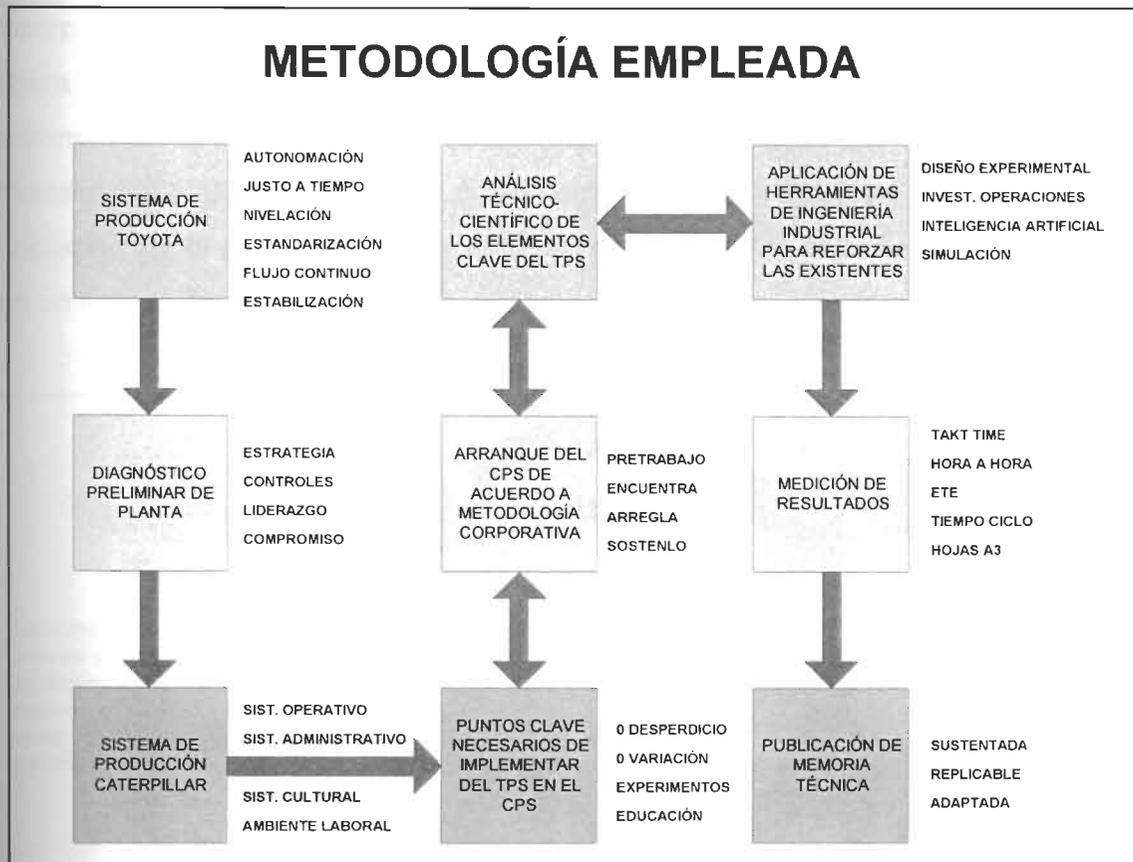


Fig. 3. 3 Diagrama de la Metodología empleada
(Propuesta del autor para guiar el proceso, 2006)

En forma adicional, el TPS contempla un concepto clave que forma parte de la "genética" que distingue a quienes pueden transplantar correctamente el Sistema: la estandarización de los procesos.

El cual bajo la técnica de Trabajo Estándar inmerso en el Entrenamiento dentro de la Empresa (o TWI como se le conoce desde el final de la Segunda Guerra Mundial), se vuelve un elemento de diferenciación importante (Hino, S. 2006)

El primer paso formal se da a partir de un diagnóstico realizado en la empresa sujeta del estudio. Ello con el fin de evaluar el nivel de comprensión y en algunos casos, de implementación de los principios básicos que TPS conlleva. El cuestionario de evaluación consta de 157 preguntas divididas en 15 principios

incorporados a 3 sub-sistemas: a) operacional; b) administrativo; c) cultural (ver figura 3.4). El uso de un símbolo basado en un círculo que contempla estos 3 sistemas en un modo continuo, es el indicador del enfoque que se pretende dar al modelo: ver al Sistema de Producción como un TODO. En él se busca que toda la población de la corporación concentre su conocimiento, experiencia y actividades en un solo objetivo.

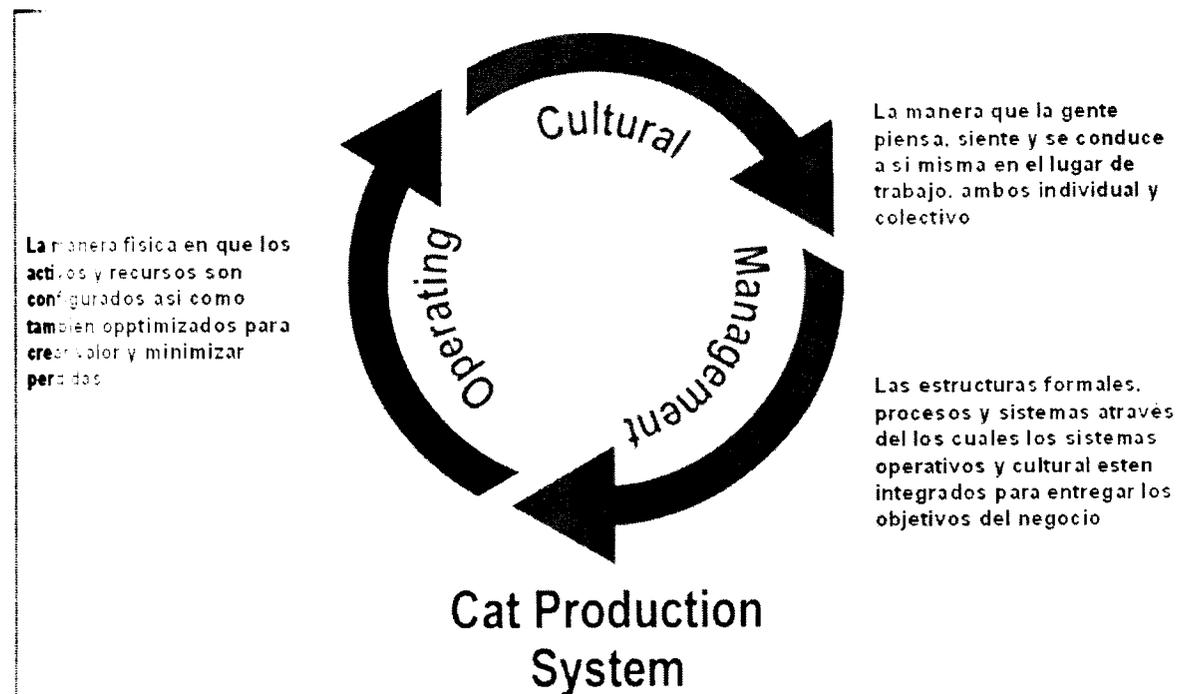


Fig. 3.4 Sistema de Producción Caterpillar
(Caterpillar, 2005)

Para nuestro caso de estudio, toda vez que se tuvieron los modelos de comparación (Toyota) y de Implementación (CAT), se procedió a ubicar los elementos clave que dentro de la búsqueda documental y análisis de casos de éxito, fueron identificados por su importancia.

Los conceptos de flujo continuo, eliminación de desperdicio, reducción de variabilidad, trabajo estándar, fábrica visual, cadenas de valor, trabajo en equipo,

experimentación y construcción de educación al personal de todo nivel fueron seleccionados como punto de partida para el desarrollo de la estructura base de implementación.

El siguiente paso consistió en el procedimiento de implementación del sistema Corporativo, donde se observaron 4 etapas: Preparación de la información de referencia (Pre-trabajo, Búsqueda de áreas de Oportunidad (Encuentra), Corrección de las condiciones encontradas (Arregla) y Establecimiento de métricos y sistemas de control (Sostenimiento). En el capítulo 4 se hará un detalle de la forma en que se manejó la puesta a piso de los conceptos.

El método abductivo fue puesto en marcha como base para reforzar los elementos simples propuestos por la Corporación, dándoles una consolidación técnico-científica determinando el mejor momento para utilizarlos. En forma concurrente, se hizo uso de herramientas de la Ingeniería Industrial que no son utilizadas convencionalmente en el análisis y solución de problemas reales en planta, tales como Inteligencia Artificial, Investigación de Operaciones, Diseño experimental y Simulación.

Otro factor de éxito que parece obvio pero que no todas las empresas se toman en tiempo o el cuidado de hacer correctamente, consiste en establecer los métricos que permitan verificar que se está trabajando en la dirección correcta y que se están dando los resultados que se pretenden en indicadores duros como incremento a la productividad, reducción de rechazos, accidentes, inventario y tiempo de ciclo, etc.

Esta observación dio lugar a la inclusión dentro del estudio de formas pertinentes para medir los indicadores propuestos, de tal modo que se hicieran visibles.

Por último, se elaboró la memoria técnica del proceso de implementación con el doble propósito de dejar documentada la forma de lograr los resultados y por otro lado, para facilitar a los interesados el replicar la experiencia.

3.3.1 Concepción

El proceso de Implementación quedó determinado por los tiempos fijados por la Corporación a manera de "Olas", donde las aproximadamente 300 unidades de producción y servicios con que se cuentan, iniciaron con la cobertura de los 4 pasos de que consta dicho proceso. En el caso de ACEFUN, debido a la importancia estratégica que tiene la compañía para el Corporativo CAT, en virtud de ser una planta proveedora de insumos primarios para venta y posterior servicio en campo, fue sometida a un plan de soporte sostenido a lo largo de 8 meses donde personal especializado en metodologías Lean estuvo sirviendo como asesor y elemento de ejecución de las tareas por hacer.

Dados los resultados que se obtuvieron en el año 2005 en comparación con el año previo, ACEFUN se convirtió en una historia exitosa para otras empresas formando parte de la Corporación CAT, aún y cuando todavía no se había logrado completar la totalidad de los elementos que deben ser implementados.

3.3.2 Implementación

El plan de implementación definiendo un programa de acciones, tiempos, responsables, lo que ayudó a la conformación de cada una de las etapas de que consta el CPS. En el capítulo 4 se explicará con todo detalle cada uno de los pasos, así como las acciones relevantes efectuadas para cubrir con lo dispuesto originalmente.

3.3.2.a Revisión de la literatura y entrevistas exploratorias

Esta investigación está basada en un estudio de aproximadamente 18 meses que inició en Septiembre de 2005, para ello se llevaron a cabo estudios tanto documentales – teóricos y prácticos, como análisis experimentales, entrevistas con asesores y empresas de diferentes sectores para acceder a fuentes actualizadas en la materia.

Para tales fines, se consultó material bibliográfico publicado por Lean Institute, DELHI. Lean Org. , Productivity Press, así como todo el material generado por

Caterpillar como base de implementación del CPS. El acceso a bibliotecas virtuales como Elsevier, la Biblioteca de la Universidad de Harvard, así como sitios en internet específicamente dedicados a estudiar el Modelo TPS, también resultaron de gran importancia.

Por otro lado, se tuvo acceso a conocer los diversos enfoques que otras plantas de CAT estaban dando al concepto básico de CPS, al estar suscrito al "Caterpillar Knowledge Network" para Lean y 6Sigma, el cuál está formado por Backbelts encargados de la implementación del CPS en las plantas CAT de todo el mundo.

Por último, se obtuvieron referencias adicionales mediante el intercambio de materiales entre colegas tanto de Caterpillar, como de la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V. (COMIMSA-CONACYT) y el apoyo de académicos y colegas del Programa Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT – CONACYT) que compartían el mismo interés sobre el tema.

En forma adicional se contó con la gran posibilidad de realizar viajes a plantas que han logrado resultados exitosos en la implementación del Lean tanto dentro de México, como en los Estados Unidos y en Japón. Del mismo modo, se tuvo la oportunidad de asistir en este periodo, a dos Congresos Internacionales relacionados con el tema. Esta última actividad dio la posibilidad de entrar a ponencias, participar en talleres de aplicación y sobre todo, intercambiar comentarios, experiencias y proyectos con personas de diversas instituciones, asociaciones, empresas consultoras e interesados en la materia que disponen de casos exitosos en procesos específicos que en su momento sirvieron como punto de comparación para el análisis del caso en el contexto mexicano.

Un factor muy importante en la etapa de investigación bibliográfica es el constante acceso a información de corte científico y tecnológico que permitió darle a este estudio un alto sustento técnico, procurando balancear los elementos empíricos y prácticos observados en planta.

3.3.2.b Sitio de la investigación

El sujeto de esta investigación fue la empresa ACEFUN, subsidiaria de Caterpillar, Inc. que es una planta fundidora de piezas de acero al carbono. En el capítulo 4 se presentan las líneas generales de la estructura organizacional, características de procesos y productos, así como datos históricos sobre su origen.

3.3.2.c Proceso de mapeo

Dentro de las recomendaciones que sugiere la metodología del CPS es dividir a la empresa en “Flujos de Valor de Transformación” (Value Stream Transformation), las cuáles son en esencia procesos productivos específicos que se encargan de una cierta parte de la conversión de materias primas a productos terminados.

Para nuestro caso, en ACEFUN se eligieron 2 de estos flujos: Procesos Primarios (que están integrados por las operaciones de Moldeo, Corazones y Fusión, Vaciado) y Procesos Secundarios (integrados por Esmerilado, Tratamiento Térmico y Pintura).

El mecanismo de análisis consistió en la utilización del VSM (Mapa de Flujo de valor), para identificar los desperdicios y las operaciones que interrumpían el flujo de materiales e información, distinguiendo además cada actividad como de Valor Agregado y No Valor Agregado.

El mapa de flujo de valor tomó una particular importancia en el sentido de que se determinó en dos dimensiones. En su condición actual, tal y como se encuentra la operación en la etapa de Pre-trabajo mencionada anteriormente y en su estado futuro, que es la manera en que la organización espera ver transformada la operación para reducir al mínimo el tiempo de ciclo de fabricación y los recursos necesarios para entregar al cliente el producto o servicio demandado precisamente.

Un elemento de medición fundamental fue el “Takt Time” que consiste en la determinación del tiempo que un operador o una celda productiva tardan en producir una unidad de producto requerida por el cliente. Este indicador transmite al personal de producción la cantidad exacta de productos que un cliente necesita

y el tiempo en que esto debe ser entregado, principios base del concepto "Justo a Tiempo.

La combinación entre los tiempos Takt determinados por la demanda del cliente y los tiempos de ciclo que cada operación del flujo de proceso toma para hacer su contribución a la transformación del producto, permite entonces encontrar dónde están los cuellos de botella y basado en ello, proceder a reducirlos para asegurar que la producción fluirá a lo largo del proceso sin interrupciones.

3.3.2.d Entrevistas

Con objeto de obtener información de primera mano sobre el desarrollo de las diferentes etapas de implementación del CPS, se recurrió a un proceso de entrevista llamado "Grupo de Enfoque". Bajo este proceso, el personal responsable del Sistema Cultural se encargó de elaborar un cuestionario referido a situaciones muy específicas (dimensión) que se interesaba conocer, el cual se aplicó a una muestra o a la totalidad de la población del departamento que estaba bajo desarrollo, dependiendo de la importancia de la dimensión y variables a evaluar.

Los resultados obtenidos fueron entonces analizados, procesados y después discutidos con las diferentes instancias de la organización, haciendo énfasis en fortalecer el rol del Supervisor para que las decisiones se tomaran en el nivel más bajo en la estructura. Lo que reducía los tiempos de espera y sobre todo, permitía asignar al personal responsabilidades sobre las alternativas tomadas.

3.3.2.e Muestreo

La estrategia de Implementación del CPS se basa en una estructura organizacional (discutida más adelante) y que es la encargada de cubrir ciertas funciones demandadas por el modelo. En cada etapa, se seleccionaron individuos de las líneas de producción, así como procedentes de áreas de servicio como Calidad, Mantenimiento y Compras, para conformar Equipos de Mejora que, utilizando Talleres de Mejoramiento Rápido (Equipo Kaizen), se entrenaron para

conocer el procedimiento de análisis y solución de problemas. Del mismo modo, se les dieron facultades para la toma de decisiones necesarias que lograran transformaciones significativas tanto al lay out del proceso como a los sistemas concurrentes de servicios e información.

La selección de los miembros de los equipos para asistir a los talleres Kaizen, se hace con una combinación de criterios en los que destaca el nivel de conocimiento que el integrante pudiera tener sobre el tema a mejorar, así como su disponibilidad y el grado de entusiasmo que eventualmente aportaría al equipo para lograr cubrir el objetivo.

En la etapa de corrección de las áreas de oportunidad detectadas, se manejó típicamente un evento kaizen por semana durante un periodo de 10 a 15 semanas, de tal modo que se dieron las condiciones para arreglar los elementos que presentaban oposición actual al flujo continuo.

3.3.2.f Análisis de datos

Los datos obtenidos en cada etapa fueron sometidos a análisis mediante el uso de diferentes métodos, donde prevaleció el uso de herramientas estadísticas de todo nivel, desde las 7 básicas propuestas por Ishikawa hasta técnicas avanzadas de análisis tipo ANOVA o Diseño experimental. El estudio y aplicación profunda de tales herramientas, resultó de una gran utilidad. Para ello, paquetes de computo como el MINITAB y MATLAB fueron usados.

4. CASO ACEFUN: HACIA UNA EMPRESA ESBELTA

4.1 Introducción

ACEFUN, S. A. de C. V. es una empresa subsidiaria de Caterpillar Inc. cuya operación se enfocan en la producción de piezas de acero fundido al medio carbono utilizadas como elementos de desgaste en las retroexcavadoras dedicadas a la extracción de minerales y metales en minas de todo el mundo. La empresa está integrada por aproximadamente 250 trabajadores que operan 18 turnos semanales para cumplir con los requerimientos actuales del mercado. En la Figura 4.1 se aprecia el cucharón de una retroexcavadora donde aparecen piezas producidas en ACEFUN: puntas, adaptadores y protectores para el cucharón.



Fig. 4.1 Cucharón de una retroexcavadora CAT en una mina de carbón

La planta ACEFUN consta de un proceso integrado mostrado en la figura 4.2. La fabricación de moldes de arena se hace por medio del proceso "Pep Set" ® y fabricación de corazones por medio del sistema de "caja fría", posteriormente se tiene una unidad de fusión integrada por 2 hornos eléctricos de arco con capacidad de producción de 85 toneladas de metal fundido cada 24 horas.

De este modo, después de pasar por la zona de enfriamiento, las piezas, retiradas del sistema de alimentación, son sometidas a un tratamiento inicial de normalizado para uniformar la estructura metalúrgica. En el área de esmerilado se confiere a las piezas el acabado superficial adecuado al uso, retirando excedentes de material y reparando cosméticamente algunas imperfecciones propias de la fundición. La operación fundamental del proceso es someter a las piezas a un nuevo austenizado para después templearlas y revenirlas, confiriendo mediante este tratamiento térmico, las propiedades mecánicas de dureza y resistencia al impacto y abrasión necesarias para la función de rompimiento y arrastre de los minerales de la roca al cucharón. Por último, las piezas son limpiadas, verificadas y posteriormente pintadas para ser empacadas en un contenedor para su envío al cliente.

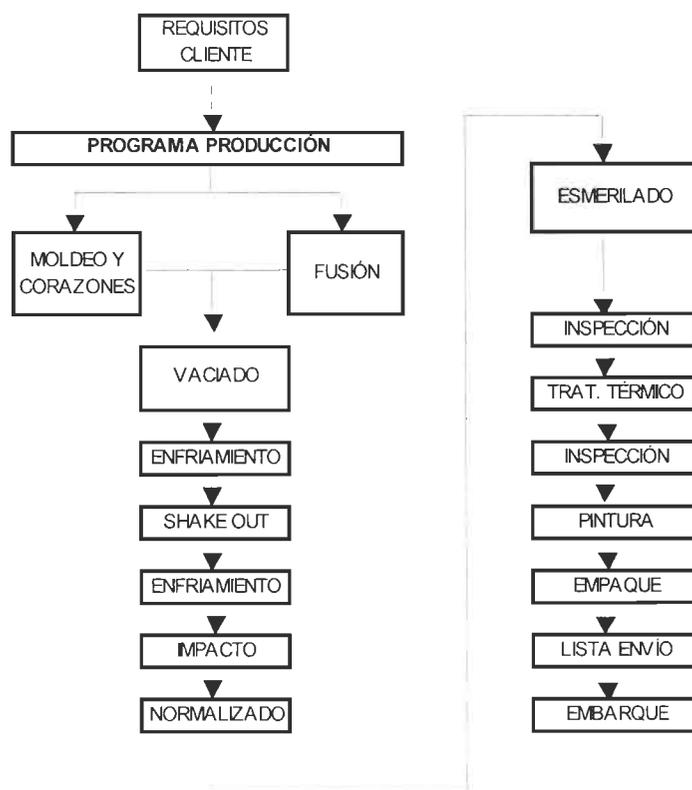
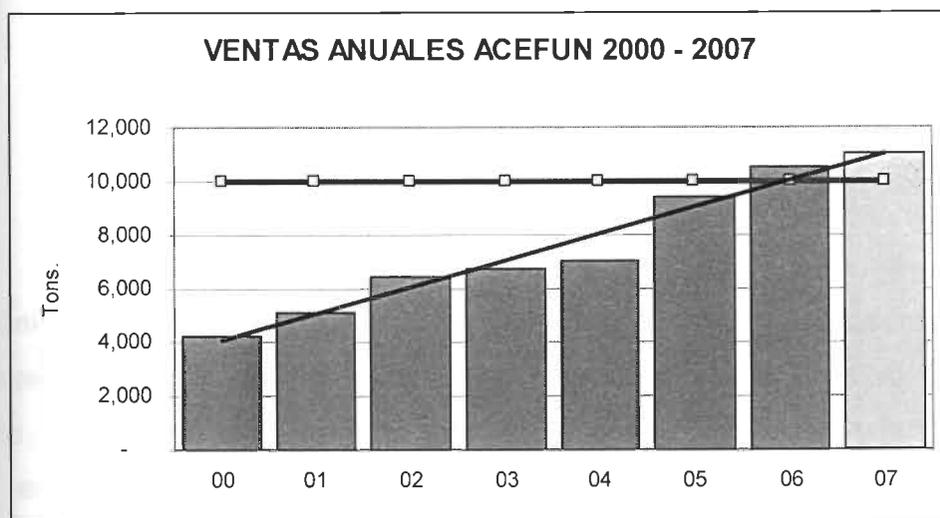


Fig. 4.2 Proceso productivo de fabricación de piezas fundidas en ACEFUN

Existen dos aspectos importantes de ACEFUN en términos de desempeño en ventas. Por un lado, es destacable mencionar que la capacidad de diseño de la empresa fue calculado en 10,000 toneladas y a raíz de la implementación de Lean, a mediados de 2005, se logró alcanzar y superar dicho límite. Por el otro lado, la tendencia de crecimiento esperado en una empresa que arrancó en el año 2000, se ha prácticamente triplicado al cierre de 2007. Se ha colocado la proyección del plan de negocios propuesta en la barra correspondiente al presente año (ver gráfica 4.1)



Gráfica. 4.1 Ventas anuales de ACEFUN en toneladas (2000 – 2007 estimado)

4.2 Caterpillar, Inc.

La empresa Caterpillar Inc. (CAT) es una empresa de capital estadounidense, la cuál desde su fundación, en 1925, se ha colocado dentro de las 100 empresas más importantes de los Estados Unidos, posicionándose regularmente entre las 25 mejores. Aunando a esto, en la última década ha sido también reconocida en dicho país como uno de los mejores sitios para trabajar. Se trata de una empresa con presencia global que cuenta dentro de su red de valor con 99 sitios dedicados

a las operaciones productivas en 40 países, además de compañías distribuidoras y de servicio que cubren 200 países.



Fig. 4.3 Presencia mundial de Caterpillar Inc.

La Corporación CAT se ha concentrado en nueve segmentos de producción de los equipos (ver figura 4.4), en los cuales tiene el liderazgo en participación de mercado. Sin embargo, existe una importante competencia con sus principales rivales, entre ellos Komatsu y John Deere, los cuales buscan incrementar su participación de mercado de manera continua. Como resultado de este contexto competitivo, en el año 2003 se hizo el lanzamiento del programa Six sigma y en 2005 arrancó oficialmente el programa Lean Manufacturing, partiendo de la estrategia del Caterpillar Production System (CPS), el cual tiene sus bases en el Sistema de Producción Toyota. El Presidente y CEO de la Empresa, Jim Owens, ha establecido un objetivo de crecimiento y posicionamiento en el mercado del orden de 260% mediante la Visión 2020 que será discutida más adelante. Con ello en mente, ACEFUN desarrolla su propia estrategia para contribuir dentro de su alcance con los objetivos y metas planteadas en el ámbito global.

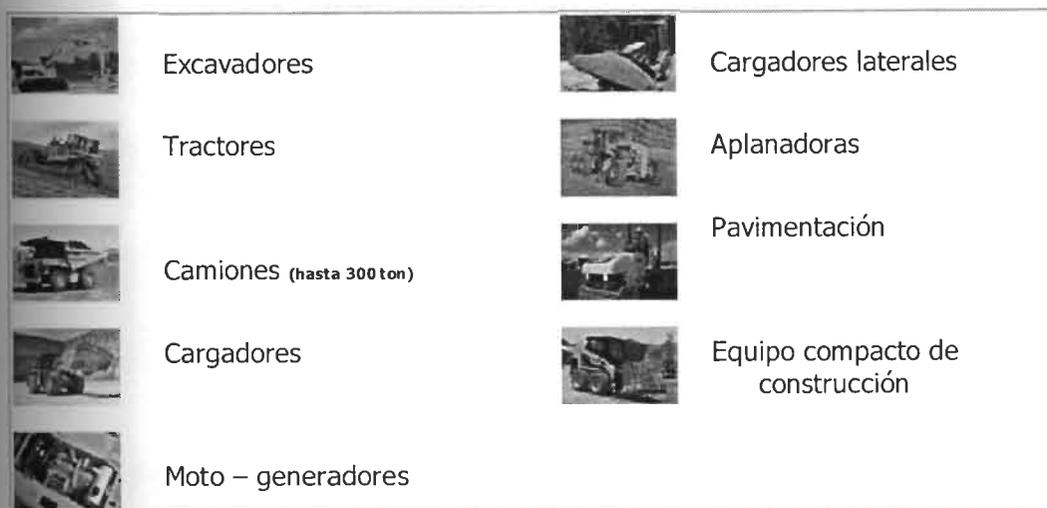


Fig. 4.4 Líneas de fabricación de CATERPILLAR Inc.

Aunque el esfuerzo de despliegue implicó la movilización casi simultánea de los casi 90,000 empleados con que cuenta la Corporación en todo el mundo, en ese momento no se tuvo una percepción clara del alcance y el enorme esfuerzo que implicaba la adaptación del Sistema Toyota a las operaciones de Caterpillar. Como resultado, varias contradicciones operativas fueron expuestas, entre ellas el intento de cambiar la estructura de pensamiento operativo en algunas plantas estadounidenses con casi 100 años como líderes de mercado, sin considerar la necesidad de modificar su “exitosa forma de operar y administrar” (Visión 2020, James Owens, 2002)

Así pues, bajo la implementación de CPS, CAT definió a ACEFUN como su principal fabricante de productos GET (Herramientales de contacto a tierra o Ground Engaging Tooling, por su significado en inglés) y para ello, en 2005 la incorporó al programa de implementación del Sistema de Producción Caterpillar. La meta era que la empresa mexicana pudiera servir como contrapeso financiero para controlar los precios de piezas fundidas producidas por otras empresas y por otro lado, mantener dentro de la Organización los negocios de producción de partes, sin recurrir a terceros, manteniendo así “dólares amarillos”.



Fig. 4.5 Visión Caterpillar 2020

Los aspectos que para esta investigación serán tomados como líneas de base están concentrados en dos de los niveles de la pirámide: por un lado, están las "Metas Estratégicas" (Gente, Desempeño, Crecimiento) y por el otro lado, los "Factores Críticos de Éxito" (Gente, Calidad, Velocidad, Producto, Distribución, China y preparación para una eventual Crisis Económica.)

En el primer caso, CAT establece que toda la Organización gira en torno de la gente; postulado que utilizó Taiichi Ohno refiriéndose a la importancia del recurso humano para alcanzar el logro de Toyota como Organización (Hino, 2006) En ese sentido se establecieron 2 objetivos fundamentales:

- a) Reducir hasta eliminar el potencial de accidentes / incidentes
- b) Mejorar la expectativa laboral en términos de liderazgo y compromiso

El poner a la seguridad de las personas por encima de cualquier otro objetivo tiene un profundo impacto sobre la respuesta que el trabajador dará en términos de compromiso y dedicación. De allí que el objetivo de Cero Accidentes e incidentes, tomado del caso Dupond ®, haya sido considerado desde el principio como uno de los valores a seguir.

En consecuencia, se crean 3 Sub-sistemas dentro del Sistema de Producción Caterpillar.

- ✓ Sistema Operativo
- ✓ Sistema Cultural
- ✓ Sistema Administrativo

Para soportar esta estructura, se mantiene a 6Sigma como pilar fundamental para mantener la mejora continua y atacar los problemas bajo bases metodológicas. Así se pretende mejorar las operaciones bajo un entorno humano.

Estos elementos coinciden plenamente con la recomendación que Dahlgard (2006) establece para lograr una adecuada transplante del modelo Toyota que es referido por Spears y Bowen en su análisis del código genético, (1999).

En forma adicional, otros autores consultados, también plantean que la aplicación de los elementos técnicos orientados a modificar los factores operacionales en forma exclusiva, no resulta exitosa en el largo plazo. En consecuencia, es importante establecer un balance entre aplicación de los elementos del TPS y el soporte de un riguroso sistema de medición y control, sustentado por un cambio cultural. Por lo tanto, se debió considerar prioritariamente el factor humano como componente crítico para lograr el éxito del transplante deseado (Dahlgard – Park, 2006; Hino, 2006; Fujimoto, 1999)

4.3 Evolución histórica de ACEFUN

ACEFUN ingresa en mayo del año 2005 por vez primera al llamado: “camino a la mejora” basado en Lean manufacturing, cuando CAT lanza la estrategia de negocios basado en lo propuesto por el Sistema de Producción Toyota.

Para ese momento la empresa había cerrado el año fiscal 2004 con uno de sus peores periodos desde el inicio de operaciones en el año 2000 (ver Tabla 4.1)

En aquel momento, el Comité Directivo de la División a la que pertenece la planta, en una impactante presentación de la situación técnica – financiera de llegó hasta exteriorizar la posibilidad de cerrar operaciones o venderlas en caso que el desempeño no fuese dramáticamente mejorado.

- **Atraso en entregas: Cerca de 3 meses de producción.**
- **Rechazos en campo, pérdida de imagen Corporativa.**
- **Costo por libra: 30% arriba de China.**
- **Indicadores de Seguridad 10 veces más altos que el promedio de la División.**
- **Reclamaciones de calidad en Distribución.**
- **Rechazo interno por arriba del 10%**
- **Muy por debajo de la utilidad planeada después de 6 años.**
- **La más baja satisfacción de empleados en toda la División.**

Tabla 4.1 Situación de ACEFUN en Enero de 2005

A esta presentación se le llamó la “Plataforma en Llamas” y precisamente permite exponer de forma impactante la situación prevaleciente en la empresa, vista por los accionistas de la misma, sabiendo que pasaría de no mejorar.

El primer paso para entender la manera de abordar el cambio requerido para la adopción del modelo Toyota, consistió en buscar historias de éxito, tanto en México como en los Estados Unidos. Se tuvo la oportunidad de visitar empresas

tales como Delphi en Ramos Arizpe, Coahuila y Reynosa, Tamaulipas, así como en varias ciudades de los Estados Unidos, donde también se aprovechó para visitar otras empresas que han adoptado la metodología TPS con relativo éxito.

El caso Delphi llamó particularmente la atención pues han logrado llevar los niveles de calidad a valores de 6sigma (3.4 defectivos por millón de oportunidades) y su sistema de administración por calidad refleja en buena medida la filosofía pretendida por Ohno y Toyoda cuando lanzaron su Sistema (Womack, 2005) De hecho, varias subsidiarias de este grupo han logrado el Shingo Prize.

En el plano científico, se comenzó a utilizar el enfoque abductivo al contar con información práctica relevante y elementos teóricos fundamentados en el caso Toyota, lo que permitió entender los puntos relevantes pero también los posibles aspectos que no resultarían pertinentes de implementar en ACEFUN. Cabe destacar que las diferencias inherentes al sector de actividad hacían poco factible una replicación "exacta" en el sector siderúrgico del modelo canónico de producción de la empresa automotriz Toyota.

Durante el periodo de visita a empresas se fue elaborando una lista o portafolio de ideas y conceptos que se pensó resultaría conveniente aplicar en ACEFUN. Al mismo tiempo, se definieron los conceptos existentes en la planta con posibilidades de ser eliminados debido al desperdicio generado o por resultar contrarios a la filosofía buscada. Con ello se buscaba lograr, en lo general, establecer la planeación del sistema adecuado a la condición, giro y circunstancias de la empresa.

Un denominador común encontrado en las empresas visitadas consistió en la precisa conducción que el Gerente General, así como su staff tenían sobre la aplicación de los elementos correspondientes a sus sistemas de manufactura. Condición que coincide con lo encontrado en el modelo Chrysler – Mercedes Benz al introducir de su sistema ProSys (Clarke, 2005)

De este modo al estar dispuestos los elementos del TPS adaptados al CPS y establecido el día de arranque de la "jornada Lean", no hubo posibilidad de dar marcha atrás.

4.3.1 Posicionamiento de ACEFUN

La expectativa esperada por CATERPILLAR hacia ACEFUN es convertirla en la mejor fundición de acero de la corporación, situación que a primera vista no parece importante en virtud que en todo el mundo solamente se cuenta con 4 unidades productivas de este giro (2 en Estados Unidos, una en China y ACEFUN en México.)

La importancia estratégica radica en que a través de las mejoras productivas experimentadas en ACEFUN, CAT puede ejercer un poder de compra sobre los proveedores externos quienes están distribuidos en todo el mundo. Además de que eventualmente, podría demandar incrementos en los precios de venta o presionar con tiempos de entrega.

La excelente posición geográfica mexicana que permite cubrir los mercados norte y sudamericanos, así como el diferencial de costo de fabricación basado en la contribución de la mano de obra aún importante entre México y los Estados Unidos, hacen de ACEFUN una empresa estratégicamente muy importante.

4.4 Flujo de Valor en ACEFUN

El primer paso del proceso Lean, después de conocer el diagnóstico de planta, consistió en elaborar el VSM (Mapa de Flujo de Valor) que es la descripción gráfica de todas las actividades que intervienen en la cadena de producción de los productos que la empresa diseña, ordena, produce y entrega.

En la figura 4.6 se muestra el VSM de ACEFUN, donde destacan las 4 áreas de que se compone esta herramienta (Lean Lexicon, 2005)

Dado que se conocen las áreas de mejora encontradas durante el diagnóstico, es necesario ubicarlas en el Mapa para determinar dónde se encuentran los cuellos de botella o restricciones del proceso, en que pasos la operación no presenta balance y dónde están ubicados los principales desperdicios de la manufactura: distancias excesivas entre operaciones, inventario, esperas innecesarias, etcétera.

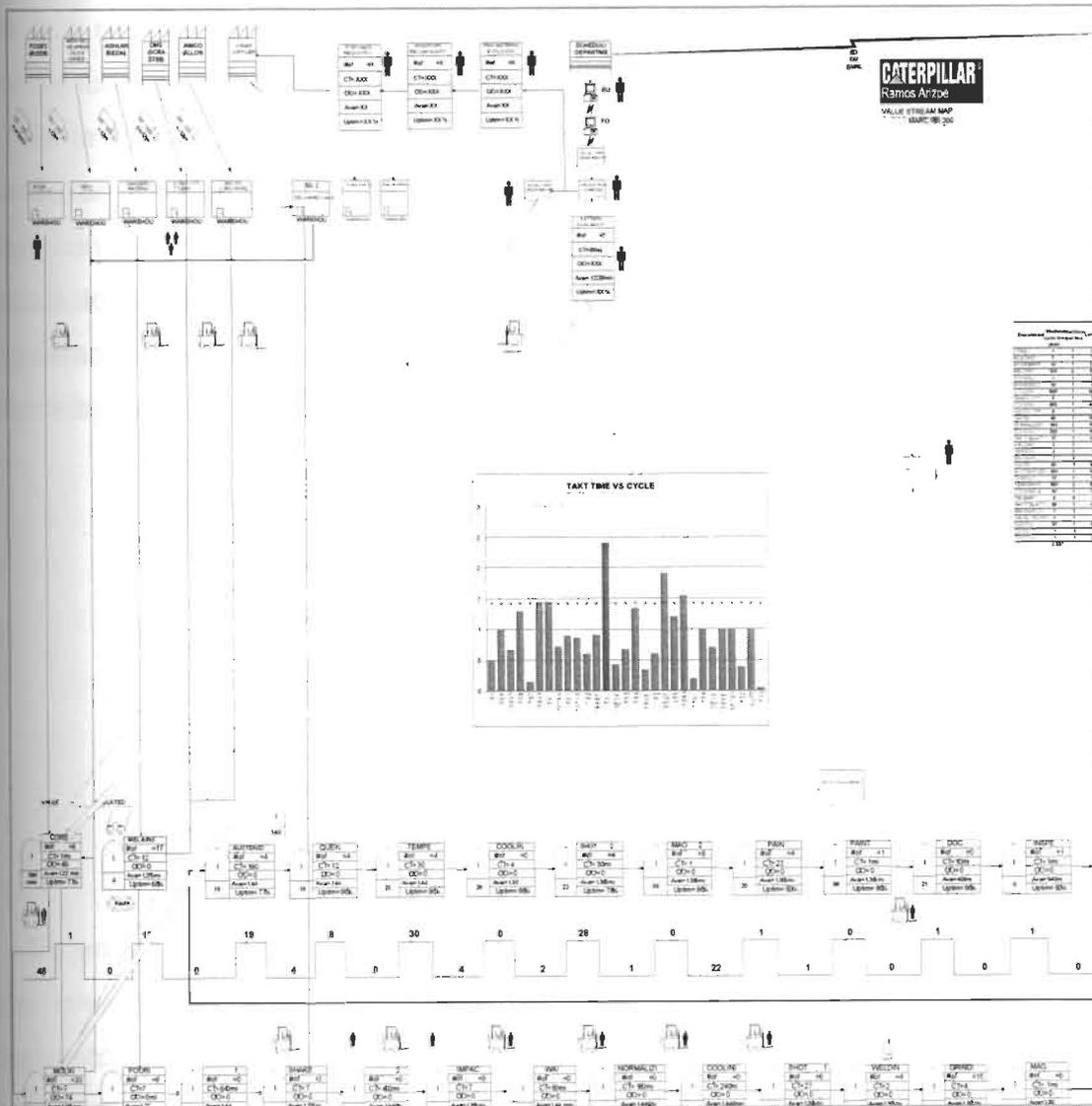


Fig. 4.6 Mapa de Flujo de Valor de ACEFUN

Como es indicado en el punto 2.3.2, el VSM establece las relaciones entre los departamentos que definen el “flujo” del proceso. La idea fundamental de Lean consiste en crear “Flujo Continuo” y es precisamente con el apoyo de esta herramienta que se puede identificar el concepto.

Para desarrollar este modelo fue necesario hacer una evaluación de tiempos, movimientos y recursos involucrados en cada una de las operaciones unitarias de

las que se compone el proceso en su totalidad (tomando el modelo Toyota de conceptualizar la línea como un todo).

En la figura 4.7 se muestra una representación de un departamento dado, en donde se indican las características básicas para cálculos posteriores, donde destacan el tiempo de ciclo (el tiempo que se toma un proceso para producir satisfactoriamente la tarea requerida), el número de personas que intervienen en el mismo, el tiempo disponible (por día) y los tiempos de ajuste (set – up) y de disponibilidad de equipo (Womack, Jones, 1996).

I	VACIADO
	# of Oper. = 6
13	CT = 7 min
	C/O = 0 min
	Avail = 1,275 min
	Uptime = 90%

Fig. 4.7 Caja de datos en un Mapa de Flujo de Valor (VSM)

Es en el VSM donde se puede incorporar el concepto de “Cadena de Valor”, que consiste en ir agregando componentes al producto que el cliente está dispuesto a pagar y que permite la integración de materias primas y procesos para transformar el producto en lo que éste requiere (Cedillo, Sánchez, Sánchez, 2006).

El VSM representa las relaciones entre proveedores, distintos procesos productivos y el cliente, así como las rutas y elementos de información y comunicación involucrados en la producción. Resulta claro que teniendo todos estos elementos en un solo documento, es posible determinar las velocidades de salida (o “throughput” como se conoce en inglés) y permite determinar a que velocidad podrá moverse la línea.

En ACEFUN se tiene un sistema de producción integrado con el objetivo de preparar moldes de arena y metal fundido con las características químico – metalúrgicas requeridas para producir piezas que después de operaciones

cosméticas son tratadas térmicamente y pintadas para dar al cliente un producto funcional. A través de Lean, se procurará hacerlo en el menor tiempo posible.

4.4.1 Preparación para asegurar el flujo continuo

Debido a que Lean está asociado con el concepto de flujo continuo, fue importante hacer un análisis para asegurarlo. Las herramientas utilizadas para balancear el flujo y asegurar la velocidad de producción que satisficiera el requerimiento del cliente fueron el balanceo de líneas o Heijunka, los sistemas Pull y el mecanismo de mejoramiento, consistió en llevar a cabo eventos Kaizen o talleres de mejoramiento rápido (RIW)

A través de los talleres Kaizen, en un periodo de 5 días y siguiendo una metodología determinada, se lograron cambios específicos exitosos que modificaron el lay – out, redistribuyendo el trabajo o creando nuevas formas de hacer la cosas, teniendo como ventaja adicional el contar con la participación del personal, así como el compromiso de la Administración para lograr el cambio.

Pero el hacer eventos Kaizen sólo tuvo sentido haciendo antes una preparación conveniente en la empresa. Del diagnóstico inicial planteado en el punto 3.3 y de la elaboración del VSM del proceso completo, se identificaron los siguientes elementos:

- Operaciones que agregaban valor (VA) y operaciones que no la agregaban (NVA)
- Cuellos de botella o restricciones al flujo continuo (no poder cubrir la demanda del cliente al ser medidos contra el Takt Time²)
- Desperdicios evidentes (niveles de inventario, exceso de personal, desplazamientos excesivos de material o personas)
- Estado de los equipos (tiempos muertos por paros no controlados)

² **Takt time** = Tiempo operacional disponible / demanda de cliente [min / pza]. Término es el que da a la planta el ritmo al cuál deben producir todos los departamentos para asegurar el cumplimiento de la demanda del cliente. Si se logra balancear la mezcla de productos a través del concepto de nivelación de la producción o balanceo es que el principio TPS tiene lugar.

Las investigaciones existentes en la implementación de iniciativas de mejoramiento sostiene la idea de que éstas mejoras ocurren de forma secuencial (Ahlstrom, 1998). Para que puedan ocurrir exitosamente, lo primero es lograr cambiar la actitud de los trabajadores hacia la calidad y buscar la completa satisfacción de los requerimientos del cliente. Solo cuando los elementos de no-valor añadido son removidos, es posible pensar en sistemas Justo a tiempo, tal y como están planteados por Ohno y Shingo (1981)

De acuerdo con Ahlstrom (1993), es necesario de tomar en cuenta los llamados “factores de proceso” tales como la rotación de personal y el trabajo en equipo. El propósito principal de los factores de proceso es sostener el cambio y la mejora continua.

Toda vez que los factores mencionados anteriormente se analizaron, el siguiente paso consistió en considerar los “factores estructurales” así como los “factores de interacción”, los cuáles son definidos por Ahlstrom como sigue:

- **Factores estructurales.** Son métodos y técnicas que alteran las características estructurales de los sistemas de manufactura, tales como el lay – out y la reducción de los tiempos de ajuste de herramientas (set-up)
- **Factores de interacción.** Estos incrementan la interacción física y organizacional a lo largo del flujo de materiales, buscando reducir la distancia entre productos y mejorando la calidad de proveedores.

Al buscar una relación entre el contexto de la manufactura y la secuencia de las iniciativas de mejoramiento de la manufactura, se encontró que las compañías que tienen gran variación de productos pero están menos expuestas a competencia internacional, se concentran principalmente en iniciativas tecnológicas tales como sistemas CAD – CAM y sistemas de manufactura flexible. Por el otro lado, las empresas que operan bajo condiciones más estables, con pocos niveles de variación, alta estandarización y tiempos de ciclo largos, arrancan iniciativas de mejora solamente con el propósito de cambiar la estructura

organizacional, tales como mayor involucración de los empleados y reducción de los niveles jerárquicos (Ahlstrom, 1993)

El caso de ACEFUN se ubica en el segundo caso. Considerando esto, se le dio una orientación importante al factor humano, mejorar la relación entre empleados, reforzar la supervisión y mejorar la comunicación y los procesos informativos como un requisito fundamental para consolidar el entorno previo a la mejora.

4.4.2 Implementación de los elementos de CPS en ACEFUN

La plataforma de despegue del Caterpillar Production System consta de 4 elementos (ver figura 4.8) los cuáles son: 1) Pre –Trabajo; 2) Búsqueda de áreas de mejora; 3) Corrección de las áreas de oportunidad detectadas; 4) Sostenimiento de las mejoras alcanzadas.

El pre-trabajo, como el nombre lo indica, consiste en recopilar una serie de datos generales de planta que son una recopilación de todos los elementos importantes de seguridad, calidad, producción, costos, etcétera, separados por departamentos en específico. Las bases de información fueron tomadas en un periodo de 12 meses previo a la fecha de inicio del CPS y sirvieron como referencia para medir las condiciones iniciales que presentaba la empresa. Esto permitió estimar la magnitud real de la brecha existente entre el ser contra el deber ser, en términos de un negocio eficiente y productivo. Por su importancia, los datos se colectaron y validaron por un equipo multidisciplinario de técnicos, (de calidad y operaciones, así como Blackbelts, todos sostenidos por personal de piso.

Esta actividad, para el tamaño de la empresa, se llevó a cabo en aproximadamente 4 semanas utilizando los elementos de TPS adaptados por CPS en los 3 subsistemas definidos en el punto 3.3. Esto permite crear un balance entre sistemas operativos actuales, medición y control de los indicadores y sobre todo, análisis de la situación laboral existente en piso.

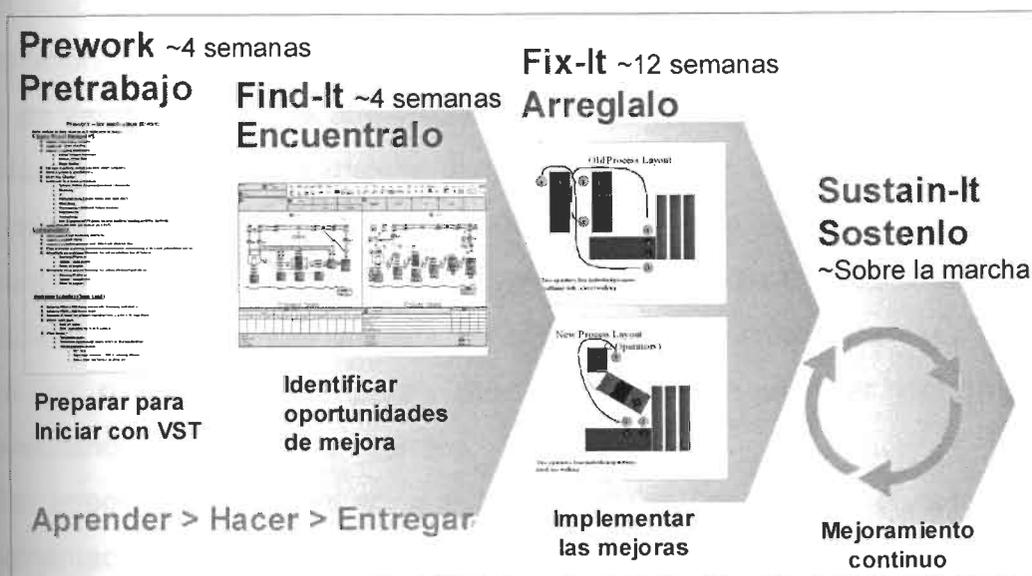


Fig. 4.8 Proceso de Implementación de CPS en CATERPILLAR
(Caterpillar Inc. 2005)

Como en casos anteriores, se buscaron referencias documentadas sobre la manera en que los elementos mencionados pudiesen tener mayores posibilidades de éxito. Se encontró que de acuerdo con Ahlstrom (2006), el modelo definido para su uso en CAT resulta apropiado para poder cubrir el círculo de mejora que se pretendía lograr, además de las mejoras en los procesos y productos, sustentándolas en el tiempo mediante un plan disciplinado de control y seguimiento que permitiera detectar desviaciones a las tendencias alcanzadas por los indicadores.

Fue claro que el proceso de colección y procesamiento de los datos en formatos estadísticos, derivó en la detección de áreas de oportunidad muy fuertes en todos los ámbitos analizados. Sin embargo, se recomendó no hacer nada en este paso, sino proseguir con el desarrollo metodológico, pese a la insistencia de personal de la corporación que veían soluciones “obvias” pero que no estaban sustentadas por “hechos y datos” (Facts & Data, como concepto en inglés)

El paso 2, consiste en la búsqueda de áreas de oportunidad aprovechando la información recopilada en el paso previo y a partir de ésta, elaborar el Mapa de Flujo de Valor, de tal forma que resulte factible ubicar los desperdicios que serviría de base a los proyectos de mejoramiento, para así poder eliminarlos del proceso.

Dada la complejidad en el análisis de la información, el periodo de búsqueda de puntos de mejora suele demorar 4 semanas y al final se puede establecer un listado de áreas de mejora que sirva al equipo directivo para tomar las decisiones sobre los pasos a seguir para atacar y reducir o eliminar los problemas aprovechando los recursos existentes.

Es importante mencionar que mientras se desarrolla el proceso de implementación del CPS, continúan presentándose los problemas cotidianos de producción, calidad y entregas, pues el proceso de producción y administración continuaba siendo el mismo, por lo que fue fundamental que el equipo humano dedicado a esta actividad no tuviera ninguna responsabilidad relacionada con las operaciones; así surgió “la Oficina CPS”, integrada por Blackbelts y personal de apoyo surgido de planta.

Cada vez que termina cada una de las etapas del proceso, se establece por sistema, una evaluación de actividades, información y hallazgos encontrados en un proceso de revisión Gerencial. Con la información revisada, se comenzó a desarrollar el plan de mejoras (o portafolio), indicado para el paso #3. Aunque los procesos Lean son muy eficaces, no dejan de tener potenciales de falla si no se analizan los posibles efectos o impactos negativos o fallas colaterales, los cuáles a la postre, suelen causar más problemas de los que se pensaba resolver.

El paso 3 consiste en la elaboración del portafolio de proyectos de mejoramiento que se planea llevar a cabo para cubrir los 4 factores críticos de éxito (gente, calidad, velocidad y costo), a través de la eliminación de los desperdicios ya ubicados en el VSM elaborado para dicho fin. (Ver sección 2.3.2)

En la tabla 4.2 se aprecia un formato de portafolio de proyecto referido a la cadena de transformación de valor de Fusión. En él se describen los temas a tratar, objetivos específicos y personal responsable de diferentes actividades por

desarrollar a lo largo de la iniciativa. Los eventos son bajo el formato Kaizen, anteriormente descritos y cada uno tiene una duración de 5 días.

No.	PROYECTO	OBJETIVO PRINCIPAL	PLAN DE CONTROL	VARIABLE CONTROL	FACTOR CRÍTICO				DUEÑO NATURAL	EQUIPO	LÍDER	FECHA
					P	Q	V	C				
1	EVENTO DE 5S's	PUNTO DE PARTIDA P / KAIZEN	AUDITORÍA	PUNTAJE 0 - 5	√	√	√		CELIA	CPS	RAMÓN A.	24 - 28 JUL
2	ANÁLISIS DE RIESGO / ERGONOMÍA	REDUCIR POTENCIAL DE ACCIDENTE / ENFERMEDAD PROFESIONAL	AUDITORÍA	RIF	√				NICOLÁS	CPS	GERARDO M.	31 - 04 AGO
3	ESTABLECIMIENTO DE PRÁCTICA ESTÁNDAR	DETERMINAR LA MEJOR PRÁCTICA Y APLICARLA COMO ESTÁNDAR	AUDITORÍA	% ALINEACIÓN		√	√	√	GUILLERMO	FUSION	SANTOS M.	7 - 11 AGO
4	ADMINISTRACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN	DEFINICIÓN DE RUTINAS DE OPERACIÓN (ARRANQUES, PROYECCIÓN, REPARACIONES) EN CONDICIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS	AUDITORÍA	TIEMPO DISPONIBLE		√	√	√	A. DE STEFANO	CPS / FUSION	CARLOS D.	14 - 18 AGO
5	IMPLEMENTACIÓN DE TPM	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO EN FORMA CONSISTENTE	HOJA CHEQUEO	ETE	√	√	√	√	MANUEL	CPS / FUSION	MANUEL / SILVIA	21 - 25 AGO
6	ALINEACIÓN CON MQ-12005	CONOCER Y APLICAR LOS DOCUMENTOS Y ELEMENTOS DE ESTE PRINCIPIO	AUDITORÍA	% ALINEACIÓN		√	√		RICARDO	CPS / FUSION	ANTONIO CEPEDA	28 - 1º SEP
7	REDUCCIÓN TIEMPO TAP TO TAP	REDUCIR Y MANTENER CONSTANTE EL TIEMPO DE CICLO TAP TO TAP	MEDICIÓN PUNTUAL	TIEMPO			√		GUILLERMO	CPS / FUSION	SANTOS M.	4 - 8 SEP
8	REDUCCIÓN TIEMPO CICLO SHAKE OUT	ELIMINAR SHAKE OUT COMO CAUSA DE PARO DE LÍNEA DE FUSIÓN	MEDICIÓN TIEMPO CICLO	TIEMPO	√		√		JOSÉ MENA	CPS / SH. OUT	LUIS CARLOS	11 - 15 SEP
9	DIÁLOGO DE MEJORA DE PROCESO	IMPLEMENTAR EL USO DE LA HERRAMIENTA BASADA EN TABLEROS	AUDITORÍA	% ALINEACIÓN	√	√			JAVIER	CPS / FUSION	MARCO ROMO	18 - 22 SEP
10	CONTROL MATERIAS PRIMAS - KANBAN / JAT	IMPLEMENTAR SISTEMA DE SUMINISTRO BASADO EN JUSTO A TIEMPO	MEDICIÓN PUNTUAL	% CUMPLIMIENTO		√	√	√	JOSÉ MENA	CPS / FUSION	ALFREDO	23 - 26 OCT
11	SISTEMAS ALTERNOS DE VACIADO	PRUEBAS DE EVALUACIÓN DE OLLAS DE VACIADO MONOLÍTICA / TAPA DESLIZANTE	SIGUIIMIENTO Y EVALUACIÓN DE PRUEBAS	RECH. INTERNO		√	√	√	JOSÉ MENA	FUSION	FELIPE	29 - 2 NOV
12	FÁBRICA VISUAL EN EL ÁREA	IMPLEMENTAR LOS ELEMENTOS DE FÁBRICA VISUAL EN EL ÁREA	AUDITORÍA	% ALINEACIÓN	√	√	√		EDOARDO	CPS / FUSION	ARTURO	5 - 9 NOV

Tabla 4.2 Portafolio de eventos de mejoramiento para el VST - Fusión

En la tercera etapa (Arreglar), los requerimientos de personal dedicado y tiempo de máquina para hacer arreglos tanto al lay out como al proceso mismo productivo, se tornan críticos, pues la demanda del cliente no se detiene y los problemas continúan cotidianamente, lo que crea situaciones que deben ser manejadas administrativamente a través del Comité de implementación de CPS. Dicho comité está integrado por la Dirección General, el equipo de gerentes de las diferentes áreas y el cuerpo de Blackbelts encargados de la implementación.

El mecanismo de los eventos consiste en convocar un equipo, entrenarlo en la aplicación de la metodología kaizen y desarrollar el trabajo definido en 5 días hasta terminarlo, para lo cual se dispone de un plazo de hasta 30 días después de la fecha de cierre del evento. (Se debe generar un listado de pendientes para darle seguimiento y asegurar el cierre exitoso)

Por último, el paso 4 es la sustentación. Se ha mencionado frecuentemente por parte de los expertos (Womack, 2006, Spears, 1998) que una de las mayores problemáticas de quienes incursionan en procesos Lean es que no se logran capitalizar las mejoras en el tiempo. Esto crea un efecto de retorno a las condiciones iniciales, generando mayores problemas de los que se tenían antes de la implementación de este sistema de manufactura.

Una parte muy importante en esta etapa del proyecto, consiste en aprovechar las referencias vertidas por autores como Hino (2006) y Holweg (2006), así como por los casos analizados por Womak y publicados en red a través del sitio especializado www.lean.org. De este modo, se dedica un espacio para analizar tanto las causas por las que las empresas fracasan como los factores por los que las compañías exitosas han logrado implementaciones perdurables y procesos de mejora continua sostenida en el tiempo y ubicarlos en el contexto de ACEFUN.

De este proceso, se encontró que las empresas exitosas sustentan su efectividad en un fuerte liderazgo y un sistema de medición y control eficaz que permite reaccionar de manera oportuna y precisa a las desviaciones presentadas contra los objetivos propuestos. Para ello se deben reforzar las estructuras administrativas para hacerlas más flexibles y que incorporen técnicas que midan y auditen constantemente los resultados reales obtenidos en la operación y por ende en el desarrollo financiero.

4.5 Búsqueda de la excelencia operacional

Para cumplir con el objetivo de esta investigación se definió la necesidad de apoyar la implementación del CPS con el uso de herramientas de la Ingeniería Industrial que resultaran pertinentes a lo largo del proceso. A continuación se hará una relación de las herramientas utilizadas y las contribuciones que se lograron a partir de ellas.

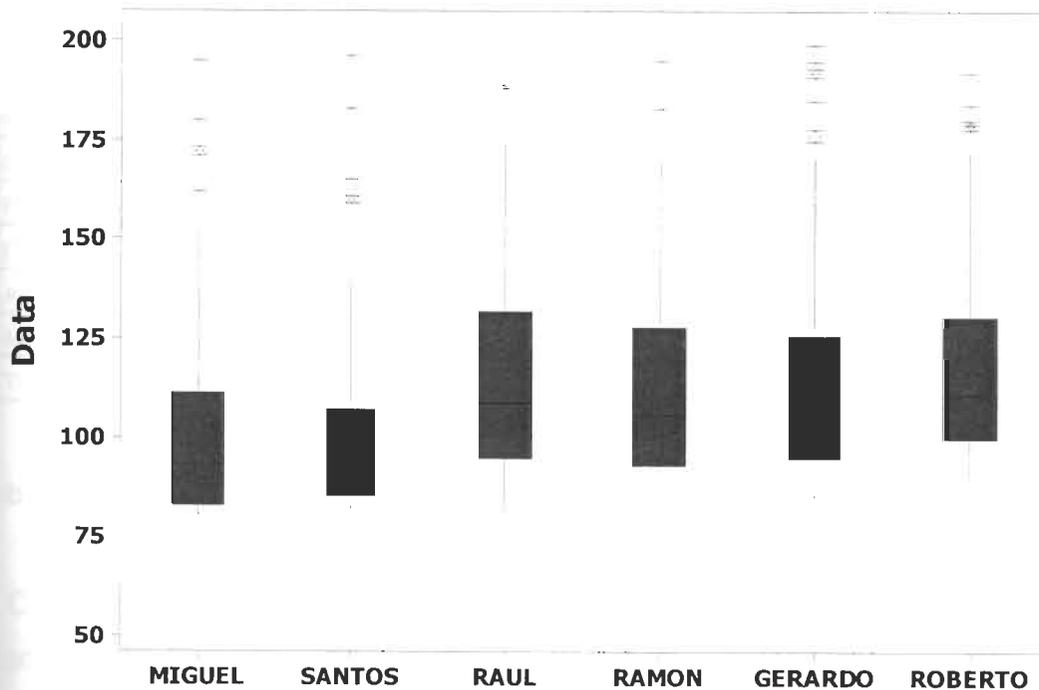
4.5.1 Herramientas estadísticas

Con objeto de lograr una implementación eficaz de CPS, se encontró en el uso de herramientas estadísticas como ANOVA (análisis de varianzas) un soporte fundamental para encontrar causas que interrumpen el flujo, reduce la velocidad del mismo o generan problemas de calidad que resultan impedimento para lograr cumplir el requerimiento del cliente.

Como lo establece Ohno, el flujo continuo, principio fundamental de lean, se logra toda vez que se han eliminado o por lo menos reducido, las causas que lo interrumpen (Hino, 2006).

Así pues, en la gráfica 4.2 se muestra un análisis de variabilidad efectuado sobre las operaciones productivas del grupo de 6 hornos dedicados a producir coladas de acero. Estas coladas deben cumplir 3 requisitos: a) Quedar dentro de especificaciones; b) Vaciar dentro del rango de temperatura definido y c) Asegurar la combinación de elementos químicos para lograr la templabilidad necesaria para alcanzar la dureza específica después del tratamiento de temple.

BOXPLOT HORNEROS 6 SEMANAS 2007



Grafica 4.2 Análisis de varianza de tiempos de colada entre horneros

La interpretación de la información estadística resultó clave para dar una adecuada orientación a los valores obtenidos. En la grafica de arriba se puede notar la distribución de lecturas de un número dado de coladas producidas por cada hornero en un periodo de 6 semanas. Las cajas (o "boxes") en color azul representan las coladas que cayeron dentro del segundo y tercer cuartil de la ocurrencia. En la tabla 4. 3, se capturan los datos que permiten apreciar cuál hornero produjo más, cuál presenta menos variabilidad y rechazos, y cual lo hace más rápidamente que el resto de sus compañeros. Estas herramientas no son nuevas, sin embargo si se usan en el marco de Lean para facilitar el flujo continuo, a través de la evaluación cuantitativa, se logra un mejor enfoque para la mejora.

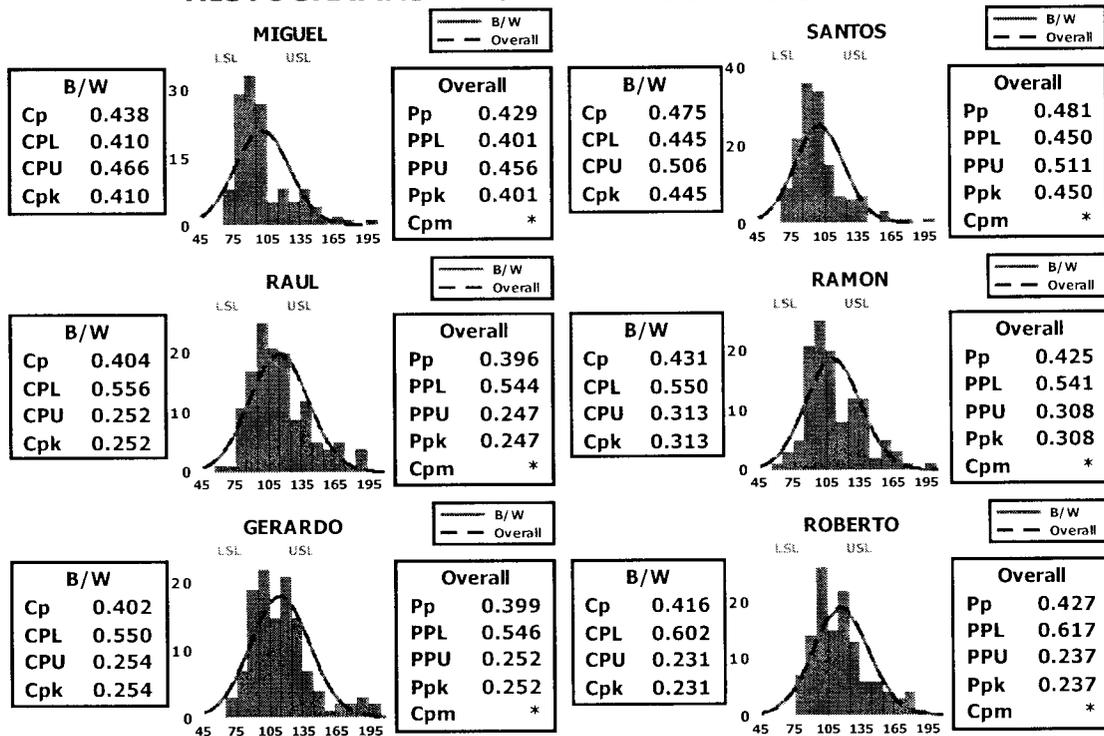
HORNERO	# COLADAS	MEDIA	DESVIACION ESTÁNDAR	MIN	MAX	MEDIANA	RANGO	SUSP	REGR
MIGUEL	132	100.42	25.23	66	195	93	129	2	1
SANTOS	142	100.43	22.49	69	196	96	127	1	0
RAUL	136	114.71	27.33	63	193	109	130	5	0
RAMON	119	111.4	25.46	55	195	106	140	3	0
GERARDO	123	114.46	27.08	68	199	110	131	1	1
ROBERTO	122	116.96	25.32	76	192	111	116	1	0
FELIPE	274	100.43	23.81	66	196	94	130	3	1
ANTONIO	255	113.17	26.47	55	195	108	140	8	0
MARCO	245	115.63	26.16	68	199	111	131	2	1
TOTALES	774	109.44	26.31	55	199	103	144	13	2

Tabla 4.3 Resumen de comportamiento estadístico entre horneros Enero 2007

Como resumen de este análisis, en la figura 4.11 se presenta el análisis estadístico de cada uno de los 6 horneros citados, donde es posible conocer su C_{pk} , o capacidad estadística para lograr cumplir un objetivo dado con una probabilidad del 95%. Para quien está buscando niveles de calidad de clase mundial, esta información resulta de gran importancia pues revelará, ya sea que el equipo (hornos) no está en una condición estable o bien el hornero no tiene el nivel de conocimientos o adiestramiento necesario para lograr cumplir con su objetivo de productividad y calidad.

El hecho de hacer análisis estadístico en variables múltiples, permitió hacer comparativos entre varios individuos (o variables del proceso) así como entender el comportamiento específico de cada uno de los elementos sujetos a esta evaluación, creando una detección de necesidades de capacitación (DNC)

HISTOGRAMAS DE CAPACIDAD POR HORNERO



Grafica 4.3 Análisis estadístico comparativo para horneros (C_{pk})

Si se hace este análisis en forma periódica y consistente, tanto los operadores como sus supervisores, tendrán la posibilidad de mejorar sus desempeños individuales y por ende el resultado de la operación tenderá a mejorar. Así se establece la posibilidad de mejorar significativamente el desempeño esperado.

4.5.2 Diseño experimental (DOE)

Otra aplicación estadística que resultó fundamental en la búsqueda de cero defectos y atrasos, fue el uso de técnicas de diseño experimental del tipo factorial o bien usando métodos más sencillos pero igualmente fuertes como el método Taguchi o las formas clásicas de diseños factoriales propuestos por Fisher y Box (1996)

La idea básica detrás de los DOE es procurar reproducir, bajo bases experimentales controladas, las condiciones en que se presentan – o se evita la presencia – de defectos, fallas o bien de condiciones óptimas de operación. Para ello se determina una serie de variables que se estima tienen relación con respecto a un resultado dado (rechazo o nivel alto de producción). Así, mediante un arreglo estadístico predeterminado, se corren pruebas sobre las cuáles se fijan algunas variables como constantes y otras, difíciles de medir o controlar, son dejadas como factor de “ruido” que eventualmente puede ser despreciado.

En la tabla 4.4 se aprecia un arreglo estadístico para el desarrollo experimental generado por un software llamado “MINITAB”®, el cuál de forma simple crea el orden en que el diseño debe ser corrido y fija las condiciones para su análisis posterior. Este ejemplo corresponde a un análisis efectuado como parte del esfuerzo para reducir problemas de calidad relacionado con la presencia de gas hidrógeno en el metal fundido que eventualmente provocaría defectos de gases y sopladuras en las piezas fundidas.

ORDER	TEMP	HUMED	LADLE	FURNACE	TEMP	HUMED	LADLE	FURNACE	H2
1	-1	-1	1	-1	24	19	4	1	7.1
2	-1	-1	-1	1	24	19	1	2	4.7
3	1	1	1	-1	28	25	4	1	4.9
4	1	1	1	1	28	25	4	2	5.1
5	1	-1	-1	1	28	19	1	2	9
6	-1	-1	1	1	24	19	4	2	5.6
7	1	1	-1	1	28	25	1	2	6.2
8	-1	1	1	1	24	25	4	2	1.4
9	-1	1	1	-1	24	25	4	1	5.8
10	1	1	-1	-1	28	25	1	1	6.4
11	-1	1	-1	-1	24	25	1	1	2.6
12	-1	-1	-1	-1	24	19	1	1	4.9
13	1	-1	-1	-1	28	19	1	1	6.7
14	1	-1	1	1	28	19	4	2	5.2
15	-1	1	-1	1	24	25	1	2	5
16	1	-1	1	-1	28	19	4	1	4.6

Tabla 4.4 Arreglo factorial 2^4 para evaluar hidrógeno en acero líquido

En la figura se observa que el experimento de tipo factorial 2^4 permite la posibilidad de cruzar diferentes correlaciones entre las variables encontradas y basado en los resultados de H2 (Nivel de hidrógeno en el metal líquido)

De este modo, resulta factible encontrar las condiciones en que este gas, dañino para el acero, puede ser minimizado, como lo muestra el experimento 8.

De nuevo, el planteamiento experimental es solamente una parte del proceso pero el objetivo de la experimentación consiste en obtener información valiosa mediante el procesamiento estadístico de los datos. Como se muestra en la figura 4.9, dónde se muestran resultados de los efectos principales e interacciones entre la temperatura, la humedad relativa, la olla de vaciado utilizada y el horno en que se hace la colada.

```

Factors:   4   Base Design:      4, 16
Runs:     16  Replicates:          1
Blocks:   1   Center pts (total):  0

All terms are free from aliasing.

Factorial Fit: H2 versus TEMP, HUMED, OLLA, HORNO

Estimated Effects and Coefficients for H2 (
Term                Effect        Coef
Constant                5.3250
TEMP                   1.3750    0.6875
HUMED                  -1.3000   -0.6500
OLLA                   -0.7250   -0.3625
HORNO                  -0.1000   -0.0500
TEMP*HUMED             0.5750    0.2875
TEMP*OLLA              -1.4000   -0.7000
TEMP*HORNO             0.8250    0.4125
HUMED*OLLA            -0.0250   -0.0125
HUMED*HORNO           -0.4000   -0.2000
OLLA*HORNO            -1.1750   -0.5875
TEMP*HUMED*OLLA       0.8500    0.4250
TEMP*HUMED*HORNO     -0.3250   -0.1625
TEMP*OLLA*HORNO       0.8500    0.4250
HUMED*OLLA*HORNO     -0.4250   -0.2125
TEMP*HUMED*OLLA*HORNO 0.9500    0.4750

```

Fig. 4.9 Efectos estimados en la correlación de factores de una corrida experimental 2^4 para obtener partes por millón de hidrógeno en acero

Los planteamientos estadísticos sustentados en la teoría de probabilidades reflejaron, con los coeficientes obtenidos en cálculos de regresión lineal, cuáles eran los factores principales o interacciones entre 2 o más variables creando mayor propensión a generar mayor nivel de partes por millón de hidrógeno. Esta información es corroborada a través de la medición con un equipo especial en lotes de acero en estado líquido.

Para hacer más evidente la condición encontrada, se procedió entonces a graficar los resultados obtenidos en forma de cubo (para un análisis de 3 dimensiones) En la figura 4.10 se advierte como en el cubo del lado derecho (horno 2), se obtuvo en el experimento 8 el menor nivel de ppm's de H₂

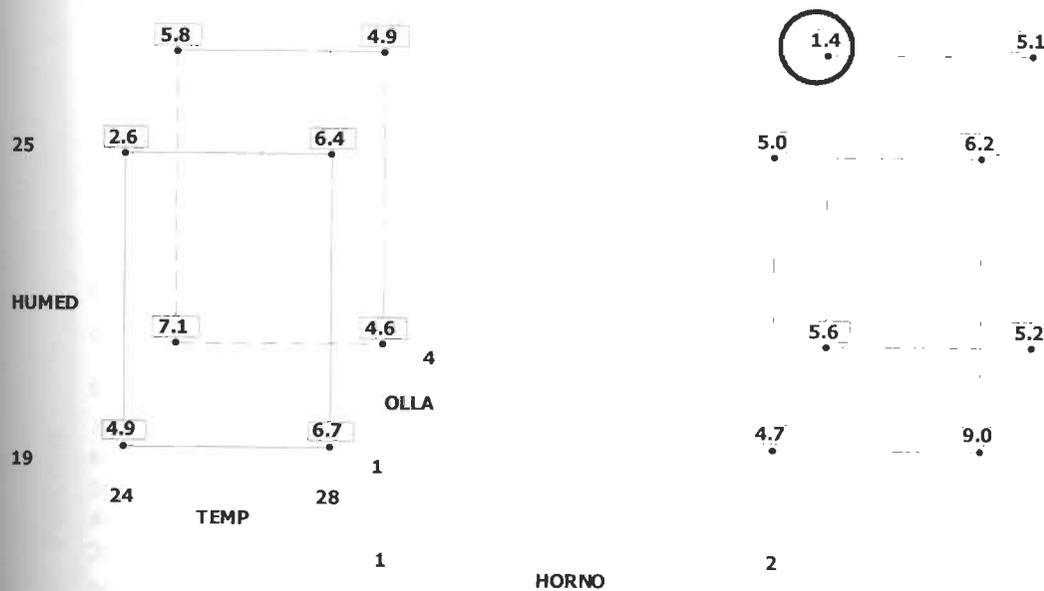


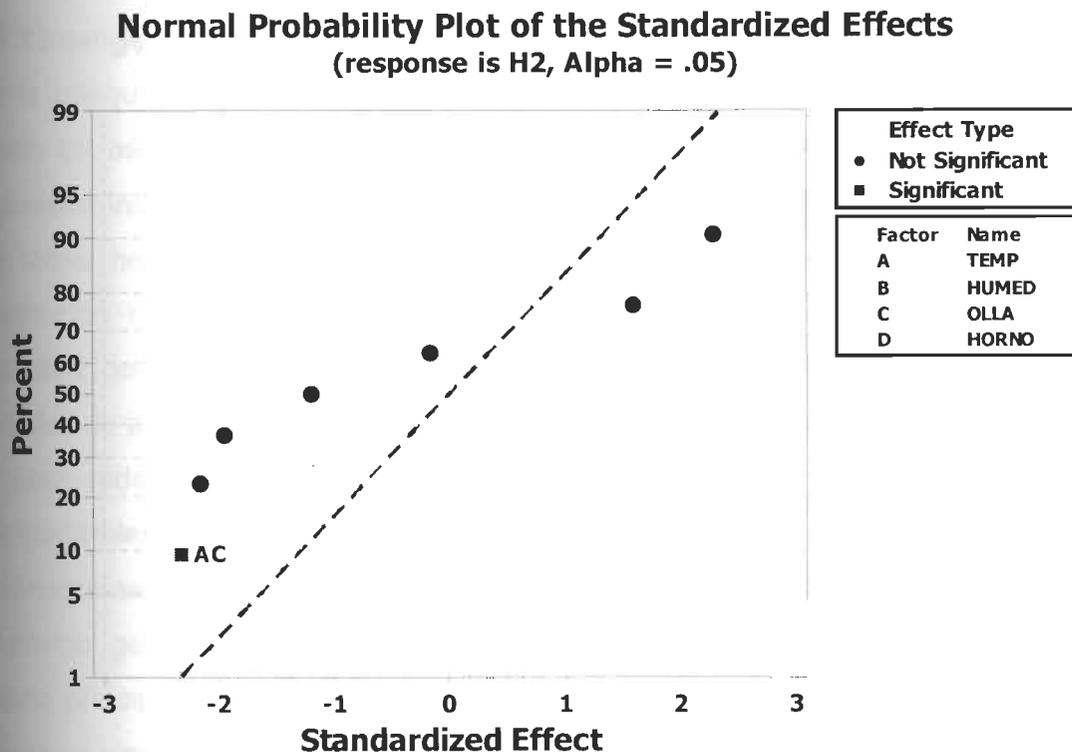
Fig. 4.10 Gráfica de cubo mostrando la distribución de niveles de ppm's de hidrógeno en acero líquido acorde al desarrollo experimental propuesto

En el caso específico, las condiciones experimentales de la prueba 8 indican que para tener el menor nivel de hidrógeno en metal, se debería de producir las coladas en el horno 2 a temperatura ambiental baja y elevada condición ambiental de humedad relativa. Esta situación, si bien no se puede tener constante en

proceso, si es posible de reproducir para fabricar lotes de piezas que son sujetas a presentar defectos de calidad asociados con gas.

En la gráfica 4.4 se aprecia el análisis de normalidad que de los resultados obtenidos del experimento, lo que permitió diferenciar claramente que una de las interacciones entre la temperatura y la olla presenta una variabilidad diferente a las demás condiciones e interacciones planteadas. Información que resulto de alto valor para el equipo a cargo del análisis de rechazo comisionado a atacar el problema de hidrógeno.

Gracias al uso del Diseño experimental, se cubrió el requerimiento de realizar las mejoras de proceso bajo métodos científicos en vez de depender solamente de la experiencia de operadores (Spears, 1996)



Graf. 4.4 Probabilidad normal del diseño experimental 2⁴

Es claro que esta técnica resultó mucho más poderosa que el análisis tradicional de 8 disciplinas, tormenta de ideas o el uso de herramientas estadísticas sencillas (las 7 herramientas básicas), las cuáles si bien son útiles, tienen limitaciones que en este caso permiten destacar las bondades del uso de DOE cuando se presentan problemas de este tipo.

Es importante destacar que el uso de herramientas estadísticas de este tipo no se reduce a reducir rechazos sino que permite, bajo condiciones planteadas iniciales, determinar la condición “mayor es mejor”, “menor es mejor” o la que resulte pertinente de acuerdo al objetivos buscado.

Por otro lado, la desventaja de DOE o ANOVA es que su manejo e interpretación se limita a personas con conocimientos estadísticos y ello crea ciertas limitaciones para su uso común.

4.5.3 Inteligencia artificial – redes neuronales

En la búsqueda de la excelencia operacional se utilizaron diferentes técnicas, desde las básicas propuestas por el CPS hasta el uso de las herramientas de la ingeniería industrial no convencionales en la práctica cotidiana como el caso de las redes neuronales. Parte de la inteligencia artificial que va ganando mayor aceptación no solo en el ámbito de investigación, sino también en el sector industrial donde se ha visto su utilidad para el procesamiento de datos poco factibles de analizar por medio de métodos estadísticos convencionales.

Las redes neuronales son modelos matemáticos que reproducen el comportamiento de las células cerebrales (neuronas), las cuales envían estímulos unidireccionales al cerebro así como un gran número de otras cadenas haciendo lo mismo generando una respuesta única. Los sistemas inteligentes toman el mismo principio y a partir de una serie de datos iniciales (estímulos), procesan un algoritmo simulando lo que el cerebro hace al recibir las descargas informáticas y emiten una respuesta. En la figura 4.11 se observa una representación simple de una red neuronal (Smith, 1992)

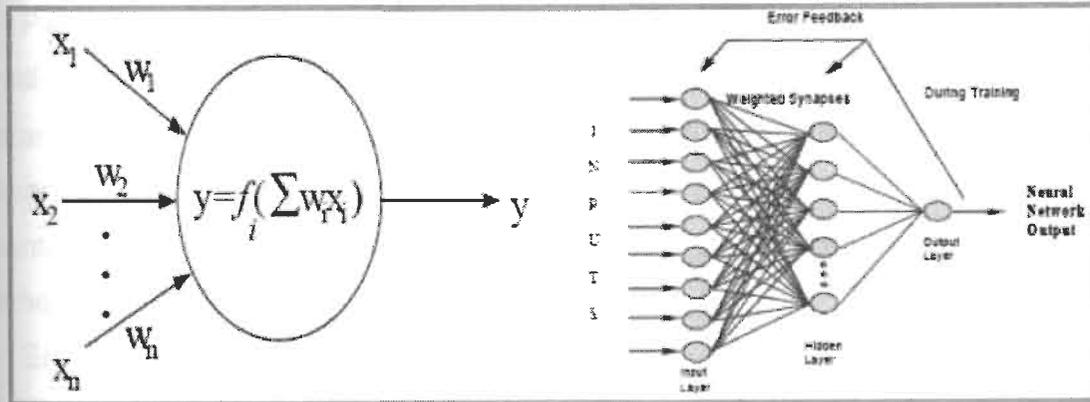


Fig. 4.11 Representación gráfica de una red neuronal

Para mover las salidas del proceso, es necesario generar conexiones pesadas que permitan la transferencia del estímulo de una neurona a otra. Cada una de estas conexiones se conoce como sinapsis. A manera indicativa de la complejidad del cerebro humano, se sabe que se llevan a cabo un orden de 10^{14} sinapsis, por lo que cualquier intento por elaborar una red neuronal artificial quedará en un sustituto menor.

Al final, la red neuronal supone un procesamiento estadístico del tipo de la regresión lineal que somete datos históricos experimentales a un juego de correlaciones hasta encontrar condiciones que permiten generar un modelo reproductor de la condición inicial.

Las redes neuronales tienen su mayor campo de aplicación industrial en aquellos casos en que las técnicas estadísticas tradicionales no logran conformar un modelo que represente el proceso, caso que resultó del presente análisis, donde se podía identificar una solución convincente de las causas que generaban las grietas. Las recomendaciones para el uso de redes neuronales se dan en los casos que se cumplen las siguientes premisas:

- I. No se han encontrado modelos matemáticos o estadísticos que expliquen el proceso.
- II. La interacción de variables, presenta comportamiento no lineal.
- III. Existen suficientes bases de datos para proceder con la simulación.

Para los fines de esta investigación, se utilizaron redes neuronales para el análisis de la generación de grietas en piezas de acero fundido después del tratamiento térmico de temple y revenido. Estas se habían comenzado a incrementar a partir del incremento de los niveles de producción demandado por el cliente y por el cumplimiento de especificaciones metalúrgicas cada vez más demandantes.

En la figura 4.12 se aprecia el procesamiento de datos colectados en MATLAB®, el cuál permitió que el programa “aprendiera” del comportamiento de cada variable y generara alternativas que explicaran la influencia de ciertos elementos que eventualmente pudieran haberse descartado o no considerado como significativas.

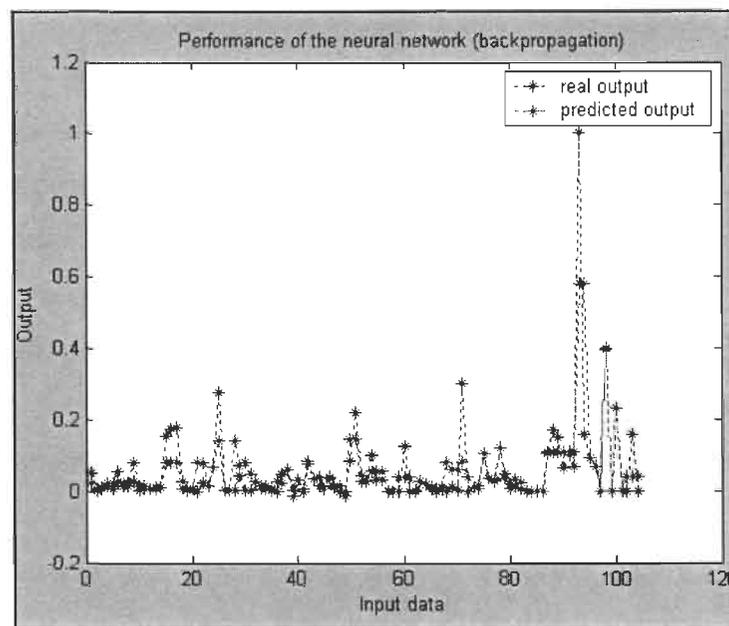
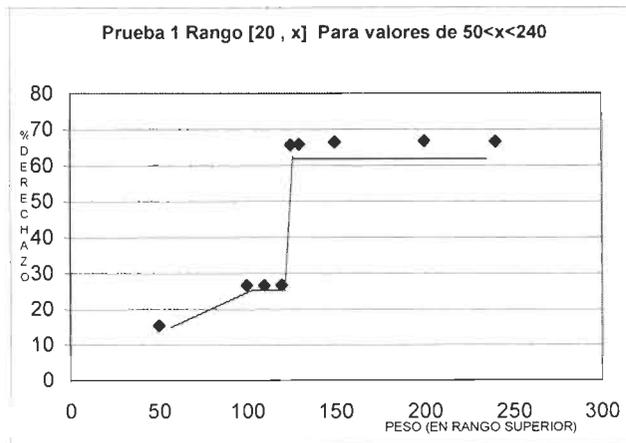


Fig. 4.12 Desempeño de una red neuronal basada en datos experimentales

En la gráfica 4.5 se presenta un gráfico que muestra, basado en los resultados de la corrida de la red neuronal, la variación en cuanto a presencia de grietas en piezas acorde a su peso en kilogramos. Esta información resultó de gran utilidad

para entender el fenómeno de generación de grietas, teniendo así más elementos para reducirlo.

[]	%RECH
20	50	15.39
20	100	26.67
20	110	26.64
20	120	26.68
20	125	65.71
20	130	65.81
20	150	66.39
20	200	66.69
20	240	66.54



Grafica 4.5 Rechazos por grietas vs. peso de pieza acorde una red neuronal.

4.5.4 Equipos de trabajo de alto desempeño

Como es indicado por los autores consultados a lo largo de este trabajo, el factor humano es fundamental para lograr un resultado exitoso en el proceso de implementación de Lean.

Tanto personal de operaciones como el de las áreas de servicio, juegan un rol fundamental, ya que el éxito de las técnicas, procedimientos y estrategias de CPS depende en la disposición que ellos tengan para aceptarlas o rechazarlas.

Con objeto de dar un enfoque de excelencia operacional, ACEFUN seleccionó un modelo utilizado por empresas como General Motors, Duracell, York Internacional y Grupo Industrial Peñoles. Un modelo a cargo de la consultora estadounidense TEAMPATH.

Como se indicó en la sección 2.3.7, el modelo de involucramiento de personal se sustenta en dotar a los integrantes de un equipo natural del nivel de facultación (empowerment) que les permita tomar las decisiones debidas para conseguir cubrir los objetivos de Gente, Calidad, Velocidad y Costo que están demandando.

El complemento a esta estructura es la creación de un “Manual de Diseño” que consiste en un documento que será el “libreto” que los supervisores deberán utilizar como medio para guiar sus actividades, normar sus criterios, tomar decisiones mediante el conocimiento de los alcances de su autoridad y responsabilidad y solicitar apoyo en caso necesario.

Cada Supervisor será entrenado en el conocimiento general del manual y éste a su vez lo usará diariamente con su equipo natural de trabajo, de tal suerte que este se comience a gradualmente manejar un concepto de “madurez” del equipo. El se distingue cuando los integrantes son capaces de tomar decisiones de todos los aspectos que tienen que ver con su desempeño, de una manera rápida y adecuada.

El sistema de trabajo de EAD debe ser administrado por un Comité integrado por personal específico de las áreas de Recursos Humanos, Operaciones, Calidad y Mejora Continua, todos apoyados con la asesoría de un Consultor externo. El cual maneja la metodología propuesta ayudando al Comité en la adaptación al entorno específico de la planta en desarrollo.

Dentro de los aspectos más importantes a destacar del sistema de Equipos de Alto Desempeño, se tienen los siguientes:

- Sistema de Sugerencias del personal
- Sistema de reconocimientos y recompensas
- Sistema de desarrollo de competencias laborales
- Sistemas de comunicación basados en tableros de diálogos de mejora
- Sistema de auditorías para medición de Madurez del equipo
- Sistema de manejo y solución de conflictos
- Definición de Roles y Responsabilidades

Estos elementos en conjunto ayudan a la Organización a permear los Principios Guía de la Organización a todos los empleados de la misma.

Los factores que apoyan este proceso son un Sistema de Reconocimientos y Recompensas para dar al personal un premio al esfuerzo adicional en el desempeño de su trabajo y por otro lado, la plataforma de áreas de oportunidad que deben ser atendidos al nivel de "unidad de negocio" en cada uno de los departamentos, por turno. El complemento evidente es un sistema de medición que asegure la comprensión de las metas y objetivos y establezca mecanismos para mantenerse dentro de la expectativa.

Como se discute en el caso analizado de la planta automotriz de Volvo en Uddevalla en referencia al ambiente de trabajo que se establece para favorecer las actividades de mejoramiento (Rehder, 1992), la administración de la empresa tiene un papel preponderante en el establecimiento de las mejores condiciones para el personal.

Es por lo anterior que en forma adicional a los elementos antes mencionados se continúan incorporando otras iniciativas de soporte que permitirán mantener el proceso de mejoramiento y asegurar su seguimiento en forma consistente.

4.6 ÉXITOS ALCANZADOS

Una pregunta a la que se hizo frente a lo largo del desarrollo de este proyecto, consistió en conocer claramente cuáles habían sido los resultados en materia de factores críticos de desempeño. Aquí se hace un balance de la línea de base indicada en la sección 4.3, de donde nació el sentido de urgencia para iniciar el proceso de mejora.

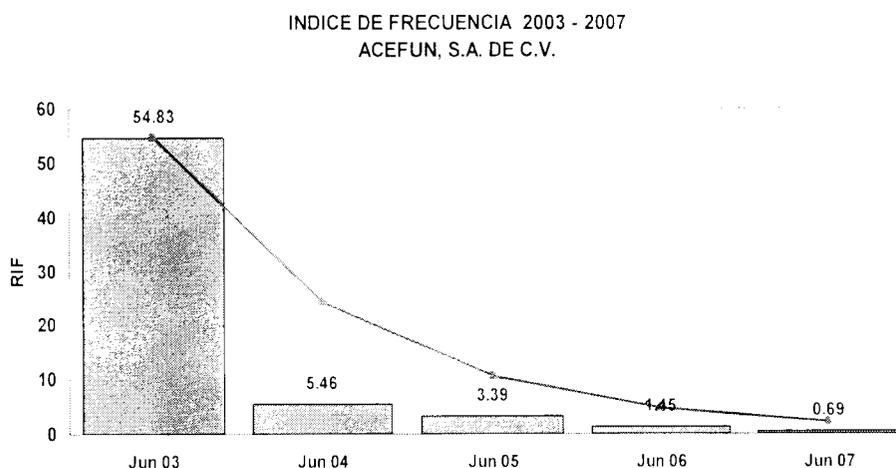
4.6.1 Indicadores de desempeño

Para clarificar mejor los indicadores de desempeño utilizados, la tabla 4.5 expone un resumen de los resultados obtenidos, donde lo más importante a mencionar son los buenos desempeños en prácticamente todos los sectores (gente, calidad, velocidad y costo) Esto nos ha indicado que el sistema de Manufactura esbelta que implementando, está balanceando correctamente las variables que influyen en procurar un cambio total de forma operativa.

INDICADOR	2004 - 2005	2006	DIFERENCIA
ATRASOS	93%	0%	100%
INVENTARIO	20,777 pzs	1,200 pzs	94%
PÉRDIDA VENTAS	26.73%	0.09%	100%
SEGURIDAD (RIF)	3.09	1.83	55%
RECHAZO INTERNO	10.3%	7.03%	32%
RETRABAJO	\$24,896/Mes	\$1,700/Mes	93%
TIEMPO CICLO	19 días	3 días	84%

Tabla 4.5 Comparativo de resultados obtenidos 2005 - 2006

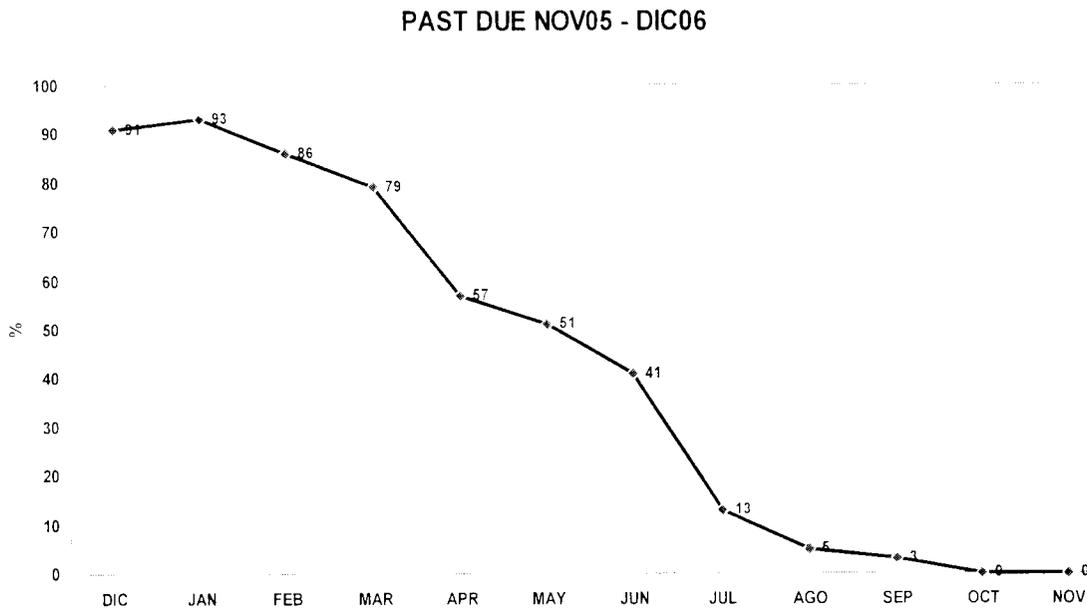
Uno de los factores significativamente más importantes es el desempeño alcanzado en materia de seguridad. En la gráfica 4.6 se presenta el nivel de mejora alcanzado desde 2003 hasta 2007, potenciado por el factor lean, el cuál comenzó en abril de 2005.



Grafica 4.6 Índice de frecuencia de accidentes incapacitantes, 2003 – 2007

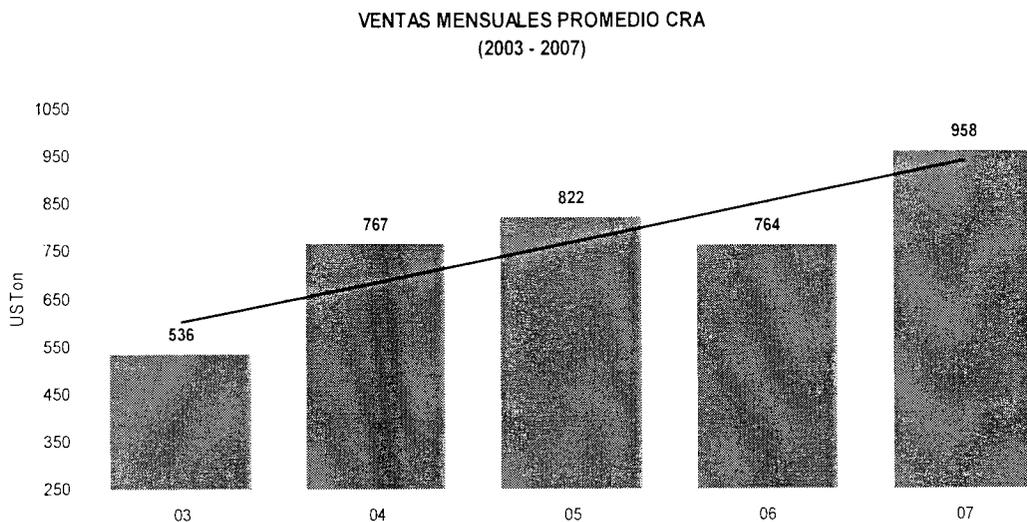
El siguiente factor en importancia para el cliente es la disponibilidad de piezas en el mercado y esto se midió de forma directa por parte de ellos en términos del atraso en las entregas (o past due). En la gráfica 4.7 se ve el desempeño alcanzado en este indicador.

El impacto de este resultado se traduce en un incremento en los requerimientos, lo que generó mayores ventas y por ende, mayores utilidades.



Grafica 4.7 Nivel de atraso en entregas a cliente (%)

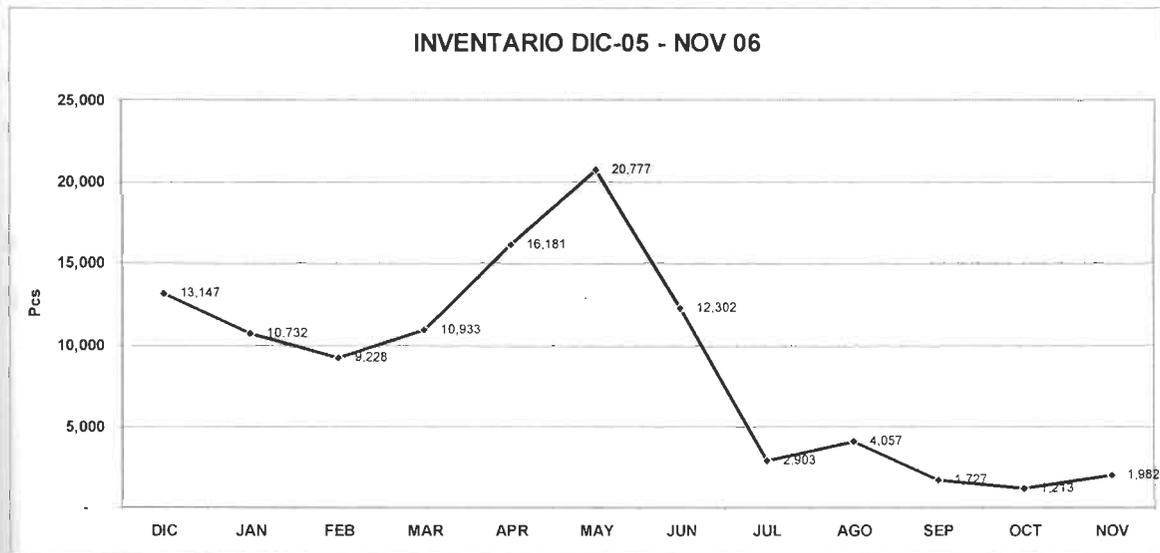
La gráfica 4.8 muestra el nivel de ventas históricas alcanzadas por ACEFUN. En este punto, el primer detalle a destacar es la capacidad original instalada, la cual se había calculado en 800 toneladas promedio mensual, por lo que obtener valores mayores a 1,000 toneladas por 4 de los 6 meses corridos de enero a junio de 2007, implicó un 25% de incremento en la facturación. Prácticamente el doble en comparación con los resultados de 2003, con el mismo capital humano como parte del personal.



Grafica 4.8 Ventas históricas de ACEFUN, 2003 – junio 2007

Según Womack (2005), un alto nivel de inventario es uno de los que mayores impactos negativos causa entre los 8 desperdicios de la manufactura. Dándole la atención debida, se tomaron las medidas específicas para reducirlo. En la gráfica 4.9 se observa el comportamiento experimentado por la empresa en términos de este indicador, luego que en el segundo trimestre del año se incrementó hasta niveles de un mes de facturación para eliminar totalmente los atrasos. Toda vez ajustados los procesos, se comienza a reducir a niveles de prácticamente 2 días de venta.

Con valores mínimos de inventario se logra mejorar el flujo, alcanzando la condición de “flujo de una sola pieza” que permite inspeccionar mejor la calidad de los productos, detectar rápidamente cualquier anomalía y corregirla. Gracias a ellos se pudo reducir las cargas financieras que genera el tener inversiones sin movimiento.



Grafica 4.9 Niveles de inventario en ACEFUN (Dic05 – Nov06)

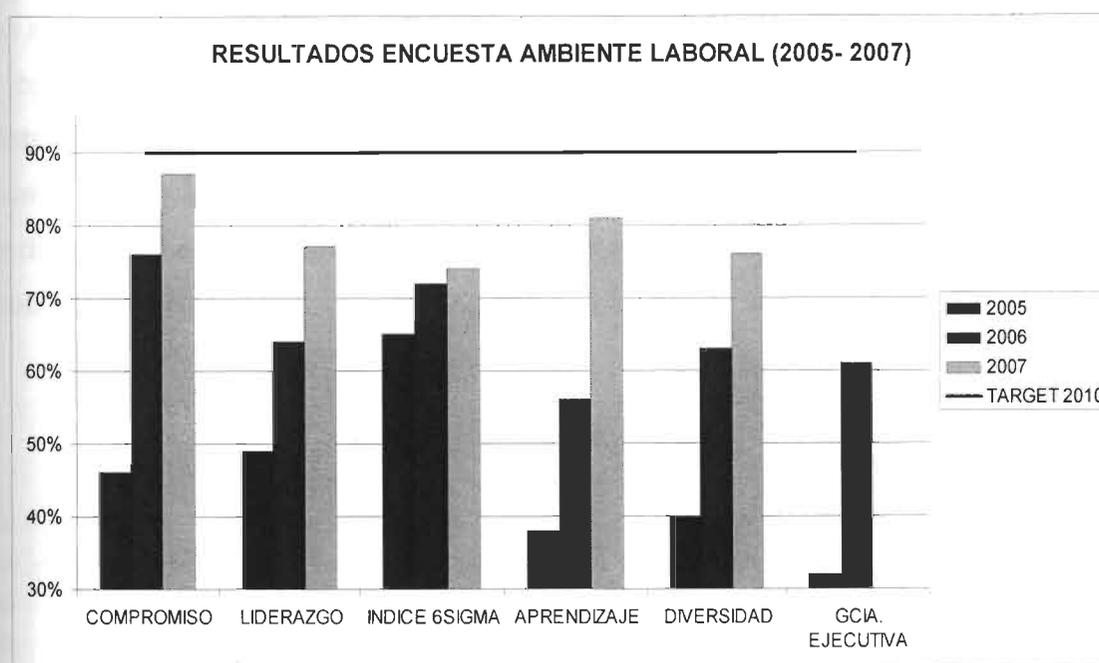
Debido al excedente de material que se contabilizaba en ACEFUN, se incurría en enormes pérdidas de tiempo sólo en la localización del producto que, estando ya fabricado, era requerido por el cliente y no se lograba ubicar.

Para junio de 2007, se había desarrollado un sistema de nivelación de la producción conocido como “caja Heijunka”, el cual consiste en un método de tarjetas de colores que son asignadas a las órdenes de producción en piso para poder llevar un control eficaz sobre el orden en que éstas deben entrar a procesamiento, siendo el equipo restrictor sobre el que se efectúa la programación de la producción. En el caso de ACEFUN, el horno de tratamiento térmico que tiene este rol, es sobre la cuál gira esta actividad.

El siguiente resultado a notar es el relacionado con el mejoramiento del ambiente laboral. Este es medido a través de Encuestas de Clima Laboral, proceso que se lleva a cabo anualmente mediante entrevistas directas y confidenciales efectuadas al 100% del personal de todos los niveles de la empresa.

En la gráfica 4.10 se puede observar un detalle de los resultados alcanzados desde 2005 hasta la entrevista pulso llevada a cabo en abril de 2007 sobre el 75% de la población, por lo que puede considerarse suficientemente representativo del total.

Uno de los “genes” corroborados como vitales para lograr los resultados alcanzados en términos de implementación lean, fue el factor humano, fue por ello que a lo largo de la implementación conllevó un seguimiento especial.



Grafica 4.10 Resultados de encuesta de ambiente laboral en ACEFUN

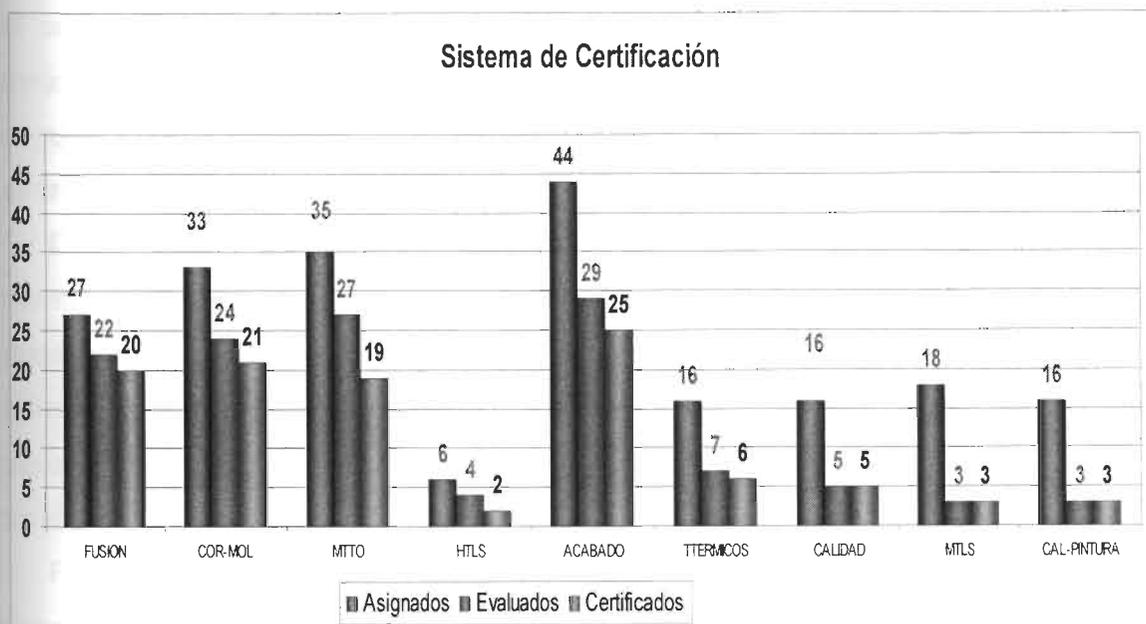
La Corporación, que ha sido reconocida en 2 ocasiones como una de las mejores empresas para trabajar desde el punto de vista de sus empleados en Estados Unidos (Caterpillar Inc. 2005), ha puesto en el bienestar del personal en todas las plantas y centros de presencia mundial, uno de sus mayores intereses.

Como se nota en 2005, los resultados de ACEFUN distaban mucho de estar cerca del valor objetivo de 90% y ocasionaba perder valiosos puntos porcentuales

a la División a la que pertenece. Ahora, a 2 años del inicio del proceso, se tienen puntajes positivos para ir gradualmente alcanzando el objetivo.

Por último es importante señalar que desde el año 2002, ACEFUN había infructuosamente buscado la certificación de su sistema de calidad, el cuál era constantemente afectado por la enorme variabilidad existente en sus procesos, resultado de la falta de disciplina y permanencia del personal así como un nulo seguimiento a los planes de acción correctiva definidos.

A partir del primer semestre de 2006, la Administración de la empresa dirigió un importante número de recursos humanos y materiales para entrenar al personal y conformar un sistema más robusto. Como resultado de esta labor, se creó el sistema de Competencias y certificación de habilidades. En el gráfico 4.11 se puede observar el grado en que el personal ha estado siendo evaluado y certificado en una evaluación que contempla 4 aspectos: Desempeño, Habilidades, Resultados y Actitud.



Grafica 4.11 Sistema de competencias ACEFUN a junio de 2007

Con el enriquecimiento de las habilidades del personal se incrementan los niveles de satisfacción, compromiso y sentido de pertenencia. Los cuales se lograron con la implementación de campañas de acercamiento entre empleados, entre ellas, actividades sociales y deportivas, involucramiento de las familias y reconocimientos individuales y grupales. Gracias a lo anterior la empresa logró la certificación ISO9001:2000 así como en los programas de calidad de proveedores MQ12005, donde al momento se ha alcanzado el nivel bronce. El siguiente reto será mejorar para pasar a los niveles plata, oro y platino, logrando así convertirse en una empresa de clase mundial.

4.6.2 Áreas de oportunidad

Como se advierte al iniciar la jornada Lean, el camino tiene principio pero no final ya que se pretende la búsqueda de la perfección (Ohno, 1981). En ese contexto, lo que se logró hasta ahora, si bien es encomiable, dista mucho de llegar a ser la condición esperada por la organización. En todos los indicadores mencionados en el punto anterior, existe aún un espacio que debe ser cubierto con acciones de mejoramiento continuo. La parte más importante deberá ser asegurar el seguimiento a las acciones que eviten que los esfuerzos y logros puedan eventualmente caer.

Como una medida importante para consolidar las acciones actuales y mantener los esfuerzos de mejora en más frentes de acción, se ha comenzado a desarrollar un equipo de "greenbelts" con personas de línea, supervisores, administrativos e incluso gerentes, que mediante un entrenamiento definido, son desarrollados y habilitados para desarrollar sus propios procesos de mejora a través de la metodología DMAIC (Ver sección 2. 3.6).

Por el otro lado, los niveles de madurez de los equipos de trabajo deberán ser constantemente evaluados y reforzados permitiéndoles mayores niveles de facultamiento tal que las decisiones que tomen, los hagan que sus integrantes puedan responder completamente por los resultados de su unidad de negocio.

Hay dos aspectos que presentan las mayores áreas de oportunidad. En primer lugar, la de mejorar sustancialmente el proceso de programación de la producción, para lo cual se tiene planteado ya desarrollar soportes por métodos de ingeniería industrial como investigación de operaciones y simulación, apoyando los desarrollos de caja heijunka antes mencionados. En segundo lugar, se debe tener un nivel de calidad de clase mundial. Aunque a nivel de rechazo externo ACEFUN está cerca de la meta de 1,300 ppm, debe aún trabajar mucho para reducir los niveles de rechazo interno por debajo del 2%, siendo que actualmente son del orden de 7%.

4.7 Lecciones aprendidas

4.7.1 Apego al método científico

Dado que el proceso de implementación de Lean se da casi siempre en un entorno de crisis, es importante mantener siempre un marco de referencia científica. Este permite comparar los resultados prácticos obtenidos, con hipótesis teóricas predeterminadas, lo cual favorece el estar en constante contacto con los últimos avances en materia de sistemas de manufactura así como de análisis de factor humano que resultan trascendentes para garantizar un resultado eficaz.

Como se mostró la sección 4.5, el uso de herramientas estadísticas especializadas así como nuevos desarrollos de la ingeniería industrial puede representar la diferencia entre poder resolver problemas complejos surgidos durante la búsqueda de restricciones al flujo y el no ser capaces de lograrlo.

4.7.2 Comunicación

Aunque en ocasiones es poco valorada como factor crítico de éxito, la comunicación en todos los sentidos tiene un papel fundamental para lograr una implementación exitosa. Del trabajo desarrollado se concluye que es conveniente desarrollar un “plan de comunicación” involucrando tanto a los actores principales como a todas las personas o departamentos que se ven involucrados o directamente afectados por los cambios que se darán en materia de operatividad.

De hecho, dentro del Caterpillar Production System o CPS se tiene destinado dentro de la estructura orgánica operativa, la función de comunicación junto a la de capacitación como soportes básicos para transplantar exitosamente los principios y técnicas Lean.

4.7.3 Trabajo estándar y entrenamiento cara a cara

Como se ha mencionado, la creación de talentos y habilidades es uno de los aspectos más importantes que marcan la diferencia en el proceso de implementación y para ello dos herramientas son indispensables, por un lado, la documentación de "trabajo estándar" (Graup, P. Sessumes, M. Wrona, R., 2006) y el correspondiente proceso de entrenamiento "cara a cara" o bien llamado entrenamiento dentro de la industria (punto desarrollado en las secciones 2.3.8 y 2.3.9).

4.7.4 Ejecución de talleres Kaizen

Además de involucrar al personal en técnicas de mejoramiento continuo, estos talleres tienen la ventaja de no representar grandes inversiones para alcanzar mejoras rápidas, además de permitir mucha involucración del personal de las áreas.

Bajo Kaizen se pueden desplegar algunas iniciativas importantes como 5S's, TPM, Sistemas Kanban, SMED y otras herramientas que resultan difíciles de aterrizar de otras maneras. En ACEFUN se realizaron de abril de 2005 a junio de 2007 un total de 54 eventos kaizen, todos ellos orientados a mejorar pequeñas secciones de la empresa o a resolver problemas acotados de manera muy exitosa (ver sección 2.3.3).

4.7.5 Liderazgo

El liderazgo es un tema que frecuentemente es dado por obvio en los procesos de transformación de cambio y sin él, irónicamente resulta prácticamente imposible lograrlos.

Liderazgo es entendido como la capacidad de un individuo para guiar un negocio, departamento, empresa a una condición exitosa, mediante la conducción acertada del personal a su cargo.

Según destaca Jim Collins (2006) en su libro "Empresas que sobresalen", existen hasta 5 niveles de liderazgo. En el nivel 1, el individuo posee gran capacidad y que hace un aporte productivo basado en su talento, conocimiento, destrezas y buenos hábitos de trabajo. En el nivel 2 el individuo contribuye con sus capacidades para alcanzar los objetivos de grupo y es capaz de trabajar eficientemente dentro del grupo. En el nivel 3 se convierte en un Gerente competente que organiza a su personal y los recursos en la búsqueda eficiente de los objetivos predeterminados. El líder de nivel 4 es un hombre eficiente que cristaliza el compromiso para alcanzar vigorosamente una visión clara y obligante en su equipo, fomentando las más altas normas de rendimiento. Finalmente el líder de nivel 5, es el ejecutivo que construye su grandeza duradera mediante una paradójica combinación de humildad personal y voluntad profesional.

En el caso estudiado de ACEFUN, resultó fundamental la posición ante el reto que la Gerencia General decidió afrontar para moverse hacia la manufactura esbelta y pese a que no resultó muy popular entre el personal de mandos intermedios, la búsqueda incesante de más y mejores resultados, fue el motor que permitió y sigue permitiendo, lograr que la organización se encuentre en el nivel que ahora tiene.

4.8 Conclusiones

Los resultados obtenidos a la fecha permiten suponer que el resultado previsto se logró; las evaluaciones corporativas de alineación de ACEFUN al CPS lo ubican en el 4° lugar a nivel mundial en cuanto al grado de evidencia mostrado en la aplicación de los 15 principios de que consta el Sistema. Por otro lado, se han logrado resultados laterales excelentes, en cuanto a seguridad, ambiente laboral, certificación de ISO9000 y se espera para diciembre de 2007 la certificación del Sistema de Calidad MQ12005 a nivel de plata.

5. CONCLUSIONES

5.1 Introducción

Al inicio del presente trabajo de investigación, se planteó la validación de la siguiente hipótesis alterna: “Con el empleo de un enfoque metodológico abductivo, el empleo de herramientas pertinentes de Ingeniería Industrial y el correcto descifrado del código genético TOYOTA, se incrementará sustancialmente la posibilidad de lograr tanto una implementación exitosa del Sistema de Producción Caterpillar, así como el sosteniendo de los beneficios en el tiempo”

Acorde a los resultados mostrados en el capítulo anterior, se puede validar de manera positiva esta hipótesis. Aunado a lo anterior y considerando el peso crucial que conlleva la validación de los resultados por parte de la Corporación Caterpillar, la figura 5.1 expone el comunicado enviado por la Gerencia de Negocio al que ACEFUN pertenece en referencia a la visita al Presidente de Grupo y Vicepresidente de División de Mercadeo y Soporte de Producto, en donde se reconoce el liderazgo alcanzado en este proceso de implementación. Donde los nombres señalados corresponden a Stuart Levenick, Presidente de Grupo en CAT y William Springer es el Vicepresidente de la División MPSD.

En el gráfico 5.1 se aprecia el valor alcanzado por CRA en la primera evaluación al sistema de Producción Caterpillar, en términos de alineación; se lograron 38 puntos de 45 esperados; de 99 empresas que conforman la Corporación, CRA está en 4° lugar, con opción a mejorar antes del fin de 2007.

Gustavo C. Lopez/0A/Caterpillar
 01/09/2007 02:11 p.m.
 To: Laura G. Valles Cazares, Arturo DeStefano Farias, Arnoldo Nino...
 bcc: [Redacted]
 Subject: Fw: Congratulations!

Jack W. McQuellon/0B/Caterpillar
 01/09/2007 12:27 p.m.
 To: Gustavo C. Lopez
 Subject: Congratulations!

Caterpillar: Confidential Green Retain Until: 31/08/2007 Retention Category: G90 - General Matters/Administration

Gustavo,
 Please share the following with your entire team

 My sincerest congratulations to the entire Cat Ramos Team.

 Yesterday's visit was outstanding. Our executives, Messrs Levenick and Springer, were very impressed with everything they saw during their visit. Specifically, they complimented your efforts to improve safety, implementation of Cat Production System, Six-Sigma efforts, and the cleanliness of the facility. Stu Levenick said, "CRA is the cleanest, nicest foundry I have seen in the world". Believe me, Stu has seen many foundries. He was also very impressed with the work you have done with Cat Production System implementation.

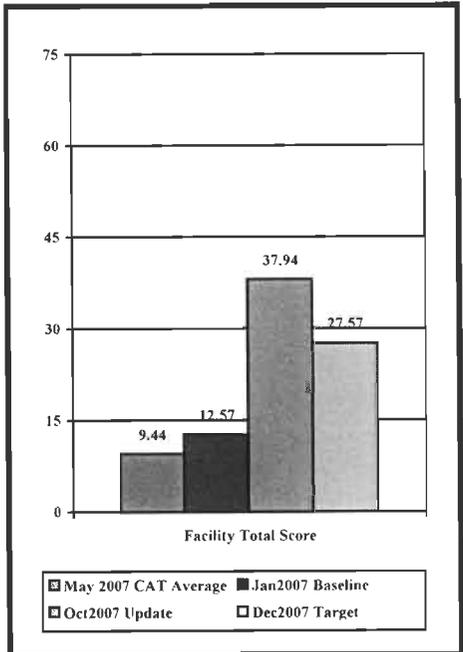
 Bill Springer feels you are one of the leaders in the corporation with the implementation of Cat Production System!

 Your efforts, your commitment, your enthusiasm to make this the finest facility in Caterpillar are paying off. I thank you for your hard work. And I wish you continued success.

 On behalf of the entire Global Wear Solutions Team - congratulations!

Jack McQuellon
 Manager - Global Wear Solutions
 Caterpillar Inc.
 (309) 494-7000

Fig. 5.1 Reconocimiento corporativo al logro alcanzado en la implementación del CPS en Acefun – Cat Ramos Arizpe



Gráfica. 5.1 Nivel alcanzado por CRA en Evaluación CPS corporativo Caterpillar Inc., 2007

5.2 Modelo de empresa mexicana esbelta

Uno de los objetivos internos propuestos por la Gerencia de Negocio en CAT establecido en 2005, consistió en convertir a la empresa ACEFUN en un Modelo de Implementación de Lean Manufacturing dentro de la corporación, situación que como se indica, se está logrando. Sin embargo, ¿qué hay de la comparación de este resultado hacia otras empresas mexicanas que desean lograr resultados similares?

Para contestar a esta pregunta, se debe volver a establecer el contexto de operaciones mexicano: para las firmas internacionales que deciden iniciar un negocio en México, nuestro país es un lugar de contraste con gente muy capaz, creativa y laboriosa por un lado pero que puede llegar a carecer de disciplina, continuidad y apego a valores y principios definidos por la empresa

En ACEFUN, como en otras empresas subsidiarias de compañías extranjeras, se solía validar sin comprobar el enunciado arriba indicado. Sin embargo, ante la evidencia expuesta por el presente trabajo, es posible afirmar que toda empresa Mexicana tiene en potencia, la posibilidad de alcanzar los más altos niveles de desempeño en materia de excelencia en la manufactura.

El presente estudio pretende entonces, ser un material que en manos de empresas realmente interesadas en mejorar su desempeño productivo, les permita adaptar un sistema Lean a sus condiciones específicas. Condiciones que definitivamente pudieran ser efectivamente muy distintas a las del caso ACEFUN, pero que contienen los mismos elementos humanos y "genes" potenciales que permiten realizar el transplante exitoso de la misma manera que se logró en este caso.

5.2.1 Marco conceptual

El Sistema Toyota de manufactura esbelta fue originalmente adoptado como modelo de implementación a pesar de las aparentes diferencias que en las empresas japonesas prevalece en comparación a sus pares mexicanas. Sin

embargo, se procuró establecer los puntos más importantes a considerar para hacer un trasplante exitoso.

Es bajo este enfoque que se estableció como marco conceptual la adaptación de los elementos “genéticos” planteados por Hino (2006) por Spears (1999) y por Holweg (2006) y que pueden ser resumidas en los 4 pasos indicados en la sección 2.2.2. Estos autores corroboran lo argumentado por Dahlgard – Park (2006) en el sentido que además de métodos, prácticas científicas y metodológicas, se debe explorar la psicología de la gente, quien es la que finalmente realiza la actividad.

En ACEFUN se creó pues una necesidad inicial de incorporar al factor humano desde el principio, situación en la que normalmente las compañías que han fracasado en sus implementaciones ponen poco o nulo interés, preocupándose más por aterrizar las novedosas herramientas propuestas por Toyota.

Así pues, en todas las fuentes consultadas expuestas en el análisis del estado del arte, el personal juega un rol fundamental y de acuerdo a Collins, Dahlgard – Park y Hino (2006), el liderazgo es el elemento aglutinante que permite dar el cambio de manera segura y organizada.

5.3 Estructura de indicadores de desempeño competitivo

Como se mencionó en la sección 3.3, el CPS está integrado por 3 Sub-sistemas de los cuáles, el Administrativo desempeña un factor vital en el sostenimiento de las mejoras y entre otras cosas consiste en establecer sistemas de medición de Factores Críticos de Éxito. Los cuales son para la corporación Caterpillar principalmente cuatro: Gente, Calidad, Velocidad y Costo.

A nivel corporación, la manera más idónea encontrada para cumplir el doble objetivo de hacer visibles los indicadores y alinearlos a escala mundial con las expectativas de negocio hacia el año 2020, consistió en estandarizar el sistema de tableros. Los cuales se convirtieron en todas las plantas de CAT, en los elementos de la “fábrica visual” que unificarían las metas para todos los centros de negocio.

En la figura 5.2 se muestra un tablero de Unidad de Negocio, donde en forma horizontal se van desplegando los 4 factores críticos de éxito y de izquierda a

derecha se colocan gráficos mostrando el comportamiento de las variables que permiten determinar el grado de salud de la organización.

Las ideas detrás del concepto de tableros son por un lado, permitir a quien esté interesado conocer el estado de cada uno de las variables financieras y no financieras del negocio y por el otro lado, facilitar la toma de decisiones con base en planes de acción correctiva que permiten hacer correcciones de manera oportuna a las tendencias no deseadas en el tiempo.



Fig. 5.2 Tablero de Unidad de Negocio

La oportunidad de comparar desempeños en variables similares entre diferentes empresas del mismo giro de negocio, permite entonces hacer planteamientos comparativos de tipo Benchmark donde se busca por supuesto alcanzar los niveles del mejor de la clase.

En el momento de terminar este estudio, ACEFUN manejaba un promedio de 24 indicadores críticos de desempeño manteniéndolos actualizados.

5.3.1 Influencia de los resultados en el crecimiento de la empresa.

En virtud de la efectividad en la implementación del Sistema de Producción Caterpillar, la Corporación decidió hacer una segunda inversión para incrementar la gama de fabricación a productos para equipos pequeños. En este caso, se ha considerado la puesta en marcha de un Sistema de Fundición basado en una plataforma de hornos eléctricos de inducción y fundición de precisión, utilizando al máximo los elementos lean que se han logrado desarrollar en las actuales instalaciones.

Los beneficios esperados van desde el aumento de la base laboral, creando nuevos empleos, además de la posibilidad de dar oportunidades al personal más destacado de ACEFUN para que tome nuevas responsabilidades. Aunado a lo anterior, se dará un incremento de actividad económica que se dará en la cadena de suministro de materiales primarios y secundarios.

5.3.2 Indicadores de desempeño pendientes por desarrollar

Dada la importancia de sostener la ganancia, en ACEFUN se ha detectado la necesidad de definir indicadores más sensibles, ya que los actuales no fueron diseñados para mantener el mejoramiento. Un ejemplo de esto se suscitó al introducir la herramienta TPM. En un principio se consideró que el aumentar el tiempo disponible del equipo era una buena manera de validar el éxito en la implementación.

El personal asignado a la función de administrar el TPM encontraron que era necesario considerar medir el efecto de reducir el tiempo para reparar (MTTR) y prolongar la ocurrencia de fallas similares (MTBF). Estos indicadores se usan como complemento al ETE (efectividad total del equipo), pero originalmente no se había supuesto necesario.

Otro caso se ha dado en términos de hacer mejoras que reduzcan el tiempo de ciclo. El indicador tradicional es definir el tiempo total de ciclo (TCT), que es el tiempo que tarda el producto desde la orden hasta la entrega, pero ¿qué hay del tiempo de ciclo de la operación que adiciona valor? A veces, se pierde este

concepto pues normalmente hay otros procesos más rápidos en que se puede recuperar terreno perdido y sin atención, la ganancia se perderá. El uso de una carta de control apoyada por un indicador digital en la máquina, ha permitido a los operadores tomar nota de las desviaciones y hacer correcciones cuando éstas se presentan.

5.4 Impacto del liderazgo en el mantenimiento de las ganancias.

Satoshi Hino en su libro "Inside the Mind of Toyota" (2006) hace un importante análisis de la influencia decisiva que la familia Toyoda, así como de Kamiya, Kato y Ohno entre otros han impreso con su liderazgo en la genética característica que distingue a Toyota de otras empresas. No hay duda de la influencia de liderazgo en el proceso de implementación de un sistema de manufactura en una empresa pero es importante remarcar, en el capítulo de conclusiones algunos aspectos que no deben pasarse por alto.

5.4.1 Los preceptos Toyoda.

Sakichi Toyoda, enunció 5 principios básicos que fueron entendidos, adoptados y enriquecidos por sus predecesores para ir conformando la totalidad de aspectos importantes que hoy mantienen la hegemonía y capacidad de sustentabilidad de esta empresa, a pesar de las crisis recurrentes de la industria automotriz. Los preceptos son:

1. Independientemente de la posición, trabajar en equipo para ejecutar las tareas asignadas con pasión y contribuir al desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida del país.
2. Siempre hay que mantenerse adelante del tiempo a través de la investigación y la creatividad
3. Evitar la frivolidad; se debe ser siempre sincero y fuerte.
4. Ser amable y generoso; trabajar para crear una atmósfera familiar en la empresa
5. Ser reverente y conducir la vida de manera agradecida.

Aquí se puede señalar un aspecto importante, en el contexto mexicano, los directivos usualmente se olvidan de su misión como elementos de soporte y se centran en las oportunidades para buscar posiciones ascensionales o para tomar beneficios sociales de su puesto.

La clave es estar cara a cara con el personal, enterarse y participar de lo que ocurre, tomando decisiones tan pronto sea posible para corregir situaciones inadecuadas y particularmente “caminar como se habla”.

En nuestro caso analizado, ACEFUN ha estado mostrando un mejoramiento gradual a nivel del involucramiento gerencial y directivo hacia el personal sindicalizado, lo cual se ve reflejado en los buenos resultados en las encuestas de ambiente laboral realizadas a lo largo del periodo de implementación.

5.4.2 Uso pertinente de los conceptos y las herramientas.

Otra enseñanza obtenida de nuestra implementación fue identificar el error que significa intentar utilizar las herramientas disponibles de la metodología a desarrollar, sin tomarse el tiempo de analizar la pertinencia de su aplicación en un orden y sobre todo, con un nivel de madurez administrativa y del resto del personal de planta. Una inadecuada selección conduce a fallas en el resultado, provocando la renuencia del personal a volverla a emplear cuando resulte adecuado el momento de hacerlo.

Para ello, fue importante seguir el análisis metodológico descrito y el constante uso del enfoque abductivo en la metodología, permitiendo comparar los trabajos de los autores que han hecho referencia, con los resultados observados en campo.

5.5 Prueba de hipótesis

En el apartado 1.3 se estableció como hipótesis alterna a probar en este estudio:

“Con el empleo de un enfoque metodológico abductivo, el empleo de herramientas pertinentes de Ingeniería Industrial y el correcto descifrado del código genético TOYOTA, se logrará incrementar sustancialmente la posibilidad de lograr una

implementación exitosa del Sistema de Producción Caterpillar sosteniendo, además, los beneficios en el tiempo.”

A la luz de los resultados presentados en el capítulo 4, se puede verificar que en efecto, se logró implementar el modelo de referencia en una escala suficiente para merecer el reconocimiento de la Corporación que impulsó su adopción.

De esta manera, además de haber descartado la hipótesis nula (en el sentido que la simple aplicación del CPS sin utilizar el método propuesto, arrojaría resultados negativos) y validado la alterna, se concluye que el presente proyecto cumple con la propuesta planteada originalmente.

Por otro lado, los objetivos general y específicos planteados en las secciones 1.4 y 1.5 respectivamente, también resultan alcanzados al poder lograr la implementación en un tiempo relativamente corto (dos y medio años) y generar una metodología replicable a otras empresas, tanto de la corporación como de aquellos que estén interesados en aplicarla en el sector al que pertenecen. Al momento de escribir este documento y como resultado de las recomendaciones de la Presidencia y Vicepresidencia de la Corporación, varias unidades de la Corporación han comenzado a visitar ACEFUN para replicar algunas de las herramientas o simplemente observar la manera en que se logró implementar el modelo CPS de forma exitosa.

5.6 Conclusiones finales

Con la aplicación del método científico en el proceso de implementación que sirvió para soportar los conocimientos prácticos y principios generales del Toyota Production System, se logra justificar el buen resultado alcanzado, a diferencia de empresas de la Corporación que iniciaron en el mismo tiempo y con procesos y apoyos similares.

La decisión de haber incorporado herramientas de la Ingeniería Industrial, si bien, no con la profundidad que se hubiera deseado, permitió mostrar a la Organización que no es indispensable apoyarse en proyectos de inversión de capital o métodos de entrenamiento masivo, sino más bien hacer un uso

organizado y adecuado tanto de éstas como las ofrecidas por la experiencia como por los análisis técnicos que le confieren la fuerza a las propuestas Toyota que a simple vista parecen sencillas de adoptar.

El TPS no debe ser visto como un todo, sino como un componente importante pero no único del Sistema Total de Calidad, el cual también involucra aspectos administrativos, técnicos, de liderazgo, científicos, económicos, comerciales y por supuesto culturales. En caso de que alguno de ellos falte o no esté correctamente balanceado, acarreará dificultades en la implementación y mayormente en el sostenimiento.

El involucramiento del personal es una de las claves más importantes encontradas, sin embargo, se debe ser muy cuidadoso al hacerlo pues el personal se crea expectativas en torno a los retos que se presentan y si el equipo directivo no logra captar la importancia que representa al hacer caso y responder a los planteamientos y propuestas que emiten, se generará el efecto contrario. Teniéndose como resultado, la falta de confianza, del entusiasmo y de la actitud necesarias para lograr el cambio cultural que se enunció como segundo objetivo específico en este trabajo.

Se pudo constatar que en México se cuenta con personas altamente capaces y trabajadoras, las cuales deben ser dirigidas acertadamente para lograr resultados eficaces. La capacitación constante, el incremento en habilidades múltiples certificadas y la oportunidad ofrecida al personal buscando mejorar su nivel de desempeño, resultarán en un mayor valor agregado a los procesos.

5.7 Investigación futura

Bajo la base del crecimiento alcanzado a la fecha, en forma normal se han incrementado las expectativas que la corporación ha hecho sobre ACEFUN. La decisión de expandir operaciones para crecer implicará poder crecer con los mismos principios sin desviarse por los cambios tecnológicos o el incremento del capital humano.

La manufactura esbelta, tal y como lo propone Taiichi Ohno establece la mejora continua en búsqueda de la perfección, palabra a la que las empresas raramente consideran como un objetivo alcanzable. En una fundición de acero, la variedad de las condiciones de operación, los factores externos como clima, humedad así como la alta dependencia de la mano del hombre en procesos críticos, hacen difícil establecer propuestas tan ambiciosas; sin embargo esto no implica que no se finen los objetivos para lograr este estado en la manufactura.

Las lecciones aprendidas y el camino recorrido hasta ahora, reflejan la posibilidad de llegar a manejar un modelo basado en disciplina, fuerte apego a los valores y orientado a cumplir con los requerimientos del cliente – justo a tiempo – permitirá que Acefun pueda eventualmente reducir los problemas que actualmente enfrenta.

Sin duda el uso de herramientas de la ingeniería tales como la inteligencia artificial, la investigación de operaciones y la simulación de los procesos deberán ser, en el mediano y largo plazo, elementos vitales que distingan el esfuerzo a la mejora que se está empeñado en alcanzar, por lo que posiblemente existirá una segunda parte de este trabajo, donde se explicará la manera en que los obstáculos fueron vencidos y las mejoras conservadas en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Box, E. Hunter, W, Hunter J. (2005). Estadística para Investigadores. Editorial Reverté, México, D. F.
- Caterpillar Production System (2005). Material del Sistema de Producción Caterpillar. Disponible para empleados de la Empresa. [En Línea] <<http://www.catatwork.cat.com>> (Consultado en forma continua)
- Cedillo, M., Sanchez, J., Sanchez, C. (2006). The new relational schemas of inter-firms cooperation: the case of the Coahuila automobile cluster in Mexico. International Journal of Automotive Technology and Management (IJATM), Vol. 6, No. 4, pp. 406-418.
- Cedillo, M., Sanchez, C. (En impresión). Análisis Dinámico de Sistemas Industriales. Editorial Trillas, México.
- Clarke, C. (2005). Automotive Production System and Standardization – From Ford to the Case Mercedes – Benz. Physica - Verlag. Heidelberg
- Collins, J. (2006) Empresas que sobresalen. Grupo Editorial Norma, Bogotá, Colombia.
- Dooley, C (1946) Training Within Industry in the United States. War Manpower Commission. Bureau of Training. United States of America.
- Dahlgaard, J., Dahlgaard, Su, M. (2006) Lean Production, six-sigma quality, TQM and company culture. Linköping University, Linköping, Sweden.
- Fujimoto, T. (2001). Automobiles: Strategy – based Lean Production System. The University of Tokyo, June. (pp 6, 22)
- Graup, P. Sessumes, M. Wrona, R. (2006). Training Within Industry (TWI). Association for Manufacturing Excellence, Dallas, Tx., pp. 11 – 24.
- Hilton, R. (1999). Managerial Accounting. Irwin McGraw – Hill.
- Hino, S. (2006). Inside the mind of Toyota. Management principles for enduring growth. Productivity Press, New York.

- Holweg, M. (2006). *The genealogy of lean production*. Judge Business School University of Cambridge, UK. *Journal of Operations Management*, pp. 5 – 6, 9.
- Imai, M. (1986). *KAIZEN. The key to Japan's competitive success*. McGraw – Hill.
- Kovács, G., Spens, K. (2005). *Abductive Reasoning in Logistic Research*. Swedish School of Economics and Business Administration. Helsinki, pp. 37 – 39.
- Langenwalter, G. (2006). *Life is our ultimate customer: Lean to Sustainability*. Target magazine. The periodical of the Association for Manufacturing Excellence, Volume 22, No. 1, pp. 5 – 6.
- Lean Enterprise Institute (2004). *Lean Lexicon*. LEI, Brookline, Massachusetts.
- Liker, J., Meier, D. (2005). *Understanding the Toyota Way*. Association for Manufacturing Excellence. Boston (pp.29)
- Lu, D. (1987). *Inside Corporate Japan. The art of fumble – free management*. Productivity Press, Massachusetts.
- MacInnes R. (2005). *The Lean Enterprise Memory Jogger*. Goal QPC Salem, NH.
- Ohno, T. (1978). *Toyota Production System*. Diamondo. Tokyo.
- Rehder, R. (1992). *Sayonara Uddevalla – Production methods of Volvo Plant in Sweden*. *Business Horizons*. November – December, pp 8 – 16.
- Smith, Alice E, (1992). *Technology transfer of Computation Intelligence for Manufacturing Process Control*. US National Science Foundation CAREER. University of Pittsburgh.
- Spear, S. Bowen, K. (1999) *Decoding the DNA of the Toyota Production System*. *Harvard Business Review*. September – October, pp 97-99.
- Stich, T., Sporre, J., Velazco, T. *The application of artificial neural networks to monitor and control of an induction hardening process*. *Journal of Industrial Technology*, Vol, 16, Number 1, Nov, 1999
- Rubin, B., Montañó, E. (2005). *Achieving a High Involvement – Continuous Improvement Culture to Power the Lean – Sigma Workplace*. AME Conference, Boston, Ma.

- Welch, J. (2000). GE Quality 2000: A Dream With a Plan. General Electric Company, Charlottesville, Vi.
- Womack, J., Jones, D. Ross, D. (1990). The Machine That Changed The World. Rawson Associated, New York.
- Womack, J. (2003). Here's to Toyota. Lean Enterprise Institute, J. Womack E-letters. April.
- Womack, J. Jones, D. (1996). Beyond Toyota: How to Root Out Waste and Pursue Perfection. Harvard Business Review. September – October, pp 4 – 6.

ANEXO A Términos frecuentes en Lean Manufacturing

5S's	Un proceso y método para crear y mantener un sitio de trabajo organizado, limpio y de alto desempeño. Los pasos incluyen Organizar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar y Sostener.
Andon	Herramienta visual que muestra el estado de uno o más operaciones y señales que se activan cuando ocurre alguna anomalía.
Ensamble de acuerdo al orden	Un medio ambiente donde un bien o servicio puede ser ensamblado después de recibir la orden del cliente. Los componentes clave (Materias primas, semi-terminados, intermedios, sub-ensambles, fabricados, comprados, empacados, etc.), usados en los procesos de ensamble o acabado, son planeados y usualmente almacenados en anticipación a las órdenes del cliente. La recepción de la orden inicia el ensamble del producto. Esta estrategia es útil donde un gran número de productos terminados (basados en la selección de opciones y accesorios) puede ser ensamblados a partir de componentes comunes.
Autonomación	Automatización con la capacidad de distinguir anomalías sin la ayuda de un operador (automatización con toque humano) Ver Jidoka
Carta de balance	Una gráfica de barras que ilustra el contenido de trabajo. Las gráficas rebalance de operadores se usan para balancear operadores para asegurar el flujo, de la misma manera que gráficas de balance de máquina se usan para balancear máquinas para el flujo.
Producir a la orden	Un medio ambiente de producción donde un bien o servicio puede ser hecho y ensamblado después de recibir una orden de cliente. El producto final usualmente es una combinación de partidas estándar.
Flujo Continuo	Los artículos son procesados y se mueven directamente al siguiente proceso una pieza a la vez. Cada paso de proceso completa su trabajo justo antes que el siguiente proceso requiera el artículo.
Ruta crítica	La serie de actividades consecutivas que representan la ruta que invierte el tiempo más largo a lo largo del proceso.
Eficiencia de ciclo (EC)	EC es la medida de la eficiencia relativa en un sistema de producción. Representa el porcentaje de tiempo de valor agregado (cambiando la forma, ajuste o función) de un producto a través de la ruta crítica comparado contra el tiempo total de ciclo TTC.
Intervalo de tiempo de ciclo	La frecuencia con que un artículo particular es hecho durante un periodo de tiempo determinado (típicamente en días)
Demanda	El uso de un artículo sobre un periodo de tiempo. También incluye la comprensión de los requerimientos de calidad, tiempo de entrega y precio por parte del cliente.
Diseño a la orden	Productos cuyas especificaciones de cliente requieren diseños ingenieriles únicos, adaptación significativa o la compra de nuevos materiales. Cada orden de cliente resulta en un juego único de números de parte, explosión de materiales y rutas.
Salidas	La cantidad de trabajo complete sobre un periodo dado de tiempo (semanal / diario) Se expresa en dinero o en unidades embarcadas.

Linea PEPS (Primeras entradas primeras salidas)	Un inventario estratégicamente dimensionado que mantiene la secuencia de producción uniforme a lo largo del flujo de valor y mantiene dicho flujo.
Terminado a la orden	Medio ambiente donde los productos se fabrican a un cierto paso de manufactura y no pueden ser embarcados al cliente hasta que sean configurados por un proceso de terminado a la orden.
Heijunka	Nivelación de la producción por producto y / o cantidad sobre un periodo fijo de tiempo.
Mapa de Flujo de Valor nivel alto	Una representación visual del material agregado y flujo de información dentro de una empresa o unidad de negocio.
Jidoka	Automatización con mentalidad humana. Jidoka significa desarrollar procesos con alta capacidad (pocos defectos producidos) y contención (defectos contenidos en la zona) Auto detección de anomalías, separando al hombre de la máquina. Ver Autonomación.
JAT (Justo a Tiempo)	Producir o mover solo los artículos que son requeridos para el próximo proceso, donde son necesitados en la cantidad necesitada.
Kaikaku	Mejoramiento radical diseñado para eliminar rápidamente desperdicio y / o añadir valor agregado al flujo de valor.
Kaizen	Cambio incremental para mejorar. Uso organizado del sentido común para mejorar el costo, la calidad, las entregas y responder mejor a las necesidades del cliente.
Evento Kaizen	Parte de un programa de mejora continua. Un evento enfocado y bien definido que se usa para proveer un alto valor rápido al implementar soluciones "haz ahora" a través de la eliminación de desperdicio.
Kanban	Una señal designada para especificar que y cuándo producir o retirar artículos dentro de un sistema de jalar (pull)
Punto Kanban	Un contenedor de almacenamiento para tarjetas Kanban jaladas a partir de productos entregados.
Lead-time	Tiempo total desde el inicio de la cadena de valor al tiempo en que algo se necesita embarcar. La suma de actividades de valor y no valor agregado para mover un producto a través de la cadena de valor completa.
Lean	Una propuesta sistemática para identificar y eliminar desperdicio (actividades de no valor agregado) a través de la mejora continua de fuir el producto que es jalado por el cliente en búsqueda de la perfección.
Lean Transaccional	La aplicación de Lean para procesos de negocio (Información, Contabilidad, Recursos Humanos, Administración, etc.)
Tiempo Ciclo máquina	La cantidad de tiempo que una unidad pasa en el ciclo operacional de una máquina.
Media (x barra)	La medida estadística en una muestra que se usa para estimar la media de la población de la cual la muestra ha sido tomada- Numéricamente es igual a la suma de los datos obtenidos dividida entre el número de datos.

Muda	Desperdicio / Actividad que no añade valor
Mura	Variación o fluctuación
Muri	Tensión o constricción. Sobre presupuestado
Actividad de no valor agregado	Una actividad que toma tiempo, recursos o espacio pero que no añade valor al producto. La actividad puede ser necesaria bajo ciertas condiciones, pero no añade valor desde la perspectiva del cliente.
Flujo de una Pieza	Hacer o mover una parte o pieza a la vez. Ver flujo continuo.
Tiempo ciclo Operador	El tiempo que toma a un operario hacer todos los elementos de su trabajo antes de repetirlo.
Intervalo de orden	Representa la frecuencia (en días) en que una parte o pieza es ordenada.
Efectividad Total del Equipo (ETE)	Una medida de Mantenimiento Total Preventivo (TPM) de que tan efectivamente el equipo es utilizado. ETE = Disponibilidad X Desempeño X Calidad.
Restrictor (Pacemaker)	El único punto del proceso de producción que es programado. Se entiende por programación es que es el único punto en el proceso que recibe la señal de la demanda. Es el punto desde el cual el flujo continuo será creado para cumplir con las necesidades del cliente en los tiempos de respuesta requeridos.
Cuello de Botella (Pacesetter)	El punto del proceso que limita la producción del proceso total.
Poka-Yoke	Un método o dispositivo que previene la ocurrencia de errores durante un proceso, también llamado a prueba de errores.
Mapa de Flujo de Valor nivel producto	Una representación visual de flujo de material e información dentro de un producto bien definido.
Producción Kanban	Una señal que especifica la clase y cantidad de producto que el proceso siguiente debe producir.
Sistema Jalar (Pull)	Flujo de material activado por la necesidad actual del cliente- Los procesos anteriores mandan señales a los posteriores exactamente con lo que se requiere en la cantidad requerida.
Sistema Empujar (Push)	Producir sin tomar en cuenta la demanda actual o necesidad del proceso siguiente, usualmente en lotes largos y basado en demanda pronosticada.
Tiempo respuesta	El tiempo en que una orden debe ser cubierta.
Inventario de seguridad	Inventario requerido para compensar variaciones en demanda, calidad y tiempos muertos.
Planeación de Venta y Operación (S&OP)	Un proceso formal dentro de Clase A para mantener un plan de producción actualizado para soportar los requerimientos del cliente y el plan de negocio.
Tiempo de Ajuste (Set up)	El tiempo requerido para cambiar un proceso después de producir la última parte de un producto a la primera parte del siguiente.

Señal Kanban	Una señal que dispara a un proceso superior para producir cuando se llega a una cantidad mínima en un proceso anterior.
SMED Cambio de dados en un minuto	Técnica para ajustar y cambiar de una parte a otra en menos de 10 minutos (tiempo de cambio de un solo dígito.)
Diagrama Spaghetti	Un mapa de una ruta tomada por un producto o persona específica cuando viaja a través de la cadena de valor.
Desv. Estándar ()	Índice estadístico de variabilidad que describe la dispersión de datos en una población.
Varianza (S)	Índice estadístico de variabilidad que describe la dispersión de datos en una muestra de la población.
Trabajo estándar	Método de trabajo prescrito que describe la relación adecuada de herramientas, trabajo requerido, calidad, salud y seguridad definidos en una estación de trabajo.
Supermercado	Inventario controlado, estratégicamente localizado de artículos que serán usados para satisfacer procesos posteriores en el flujo del proceso.
TAKT Time	La cadencia (velocidad) a la cuál el cliente está demandando productos.
Imagen TAKT	La visión de un estado ideal en el cuál se ha eliminado el desperdicio y mejorado el desempeño del Flujo de valor al punto en que es posible alcanzar Flujo de una sola pieza basado en el Takt time.
Razón TAKT	Unidades por día producidas con base a la demanda del cliente o razón de ventas.
Tiempo Ciclo Total (TCT)	Tiempo desde que se libera una orden de trabajo en el Flujo de valor hasta el término o movimiento del producto hacia embarque o producto terminado.
Mantenimiento Total Productivo (TPM)	Medio de maximizar la eficiencia de los sistemas de producción mediante la consideración del ciclo de vida completo del sistema de producción enfocado en la eliminación de accidentes, defectos y tiempos muertos.
Sistema de Producción Toyota (TPS)	Sistema de producción desarrollado y empleado por Toyota Motor Company el cuál está enfocado en la completa eliminación del desperdicio con objeto de mejorar de forma consistente la calidad, reducir costos y recortar los tiempos de entrega.
Actividad de Valor Agregado	Cualquier actividad que transforma o delinea material o información o bien mejora la calidad para cumplir los requerimientos del cliente.
Tiempo de Valor Agregado	Tiempo invertido en actividades de valor agregado para producir una unidad. Tiempo de aquellos elementos de trabajo que transforman el producto de tal manera que el cliente está dispuesto a pagar por él.
Tiempo de ruta crítica de Valor Agregado	Tiempo invertido en cambiar la forma, acomodo y función de una unidad de producción a través de la serie de actividades consecutivas que representan la ruta de tiempo más larga a lo largo del proceso.
Mapa de Flujo de Valor (VSM)	Representación visual de todos los pasos en el Flujo de material e información en un proceso que lleve un producto desde la orden a la entrega.

Control Visual	Colocar en vista simple todas las herramientas, partes y actividades de producción así como indicadores que midan el desempeño del sistema de producción de tal modo que cualquiera involucrado pueda entender el estado del sistema al verlo.
Desperdicio	Cualquier actividad que consume recursos pero que no crea valor para el cliente.