



## “Desarrollo de un Sistema de Manufactura Esbelta específico al contexto mexicano, El caso Caterpillar Ramos Arizpe”

G. R. Gudiño – M. G. Cedillo – P. Pérez

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales

Saltillo, Coahuila, 25920 México

**Resumen:** Este artículo muestra los resultados del análisis referido a la implementación de un sistema de manufactura esbelta bajo el contexto mexicano. Tomando como base el Sistema de Producción Toyota, 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 article shows the results of the analysis related 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, Value chain.

### Introducción

En la economía actual global, la manufactura esbelta – o lean manufacturing – se ha convertido en referente de sistemas eficientes. El paradigma considera que es mediante la constante identificación de todas las fuentes

de desperdicio y variabilidad, que una empresa es capaz de reducir dramáticamente los costos de producción y los tiempos de ciclo a través de toda la cadena de transformación de valor.

Si bien ha sido gracias al incremento de empresas participando en los mismos sectores de mercado lo que ha redundado en mayores ventajas para los consumidores, esto ha transformado drásticamente el ambiente competitivo industrial. Como respuesta, la implementación del enfoque logístico en las operaciones industriales ha sido de gran ayuda. [1] De hecho, parte importante de los actuales enfoques de manufactura es el concepto de cadena de valor. [13] Bajo esta noción, todas las operaciones yendo desde el acopio de materias primas hasta la entrega de productos o servicios al consumidor final deben ser revisadas con el objetivo de reducir las operaciones que no agregan valor. La meta final es la de entregar productos o servicios que logren satisfacer o exceder las expectativas y necesidades planteadas por los clientes.

Es bajo esta perspectiva que el Sistema de Producción Toyota (TPS) se ha vuelto una referencia inevitable. Sin embargo, a pesar de que en la actualidad existen un sinnúmero de referencias y estudios relacionados con Toyota y su sistema de manufactura esbelta, en realidad existen muy pocos documentos disponibles sobre la forma de lograr un adecuado transplante de los principios que están detrás del éxito de esta empresa.

En la mayoría de los casos, quienes intentan implementar el TPS, terminan con una limitada aproximación de lo que potencialmente se puede alcanzar. En otros casos, quienes alcanzan implementaciones exitosas inicialmente, pierden sus



ganancias tratando de asegurar el sostenimiento de las acciones que dieron lugar a la mejora inicial.

Con el interés de facilitar su replicación en otras empresas interesadas en mejorar sus niveles de competitividad, el presente documento presenta los resultados de un análisis sistémico sobre la implementación de sistemas de manufactura esbelta en empresas desarrollando operaciones bajo el contexto mexicano.

El enfoque del estudio contempló tanto las bases teóricas que sustentan los principios encontrados en la literatura, como el análisis de casos de éxito. Esto permitió consolidar una base referencial sobre las características requeridas para una aplicación exitosa del TPS al entorno mexicano de operaciones industriales.

Con la intención de exponer el proceso metodológico seguido en la implementación, el artículo se divide en 4 partes. En una primera parte se analizan los casos de éxito, tomando en cuenta los importantes desarrollos de Womack et. Al. (1990) [2] En segundo lugar, se hace una presentación del proceso metodológico utilizado, donde la base la compone un enfoque abductivo de investigación [3]. Para ello se tomó al TPS como un todo y no como un conjunto de herramientas aisladas. En tercer lugar se detalla el trabajo de campo y los resultados obtenidos, enfatizando en los mecanismos de control que permiten asegurar las ganancias en la empresa ACEFUN. Se estudian los modelos de administración de la información y los procesos de seguimiento que evitan desviaciones y permiten tomar las medidas correctivas pertinentes en caso de presentarse. Finalmente, se exponen las implicaciones y el trabajo futuro derivado del presente desarrollo.

### **Antecedentes**

Si bien el sistema de producción en serie llevado a la práctica por Henry Ford fue el referente de los procesos de manufactura del siglo XX, las nuevas condiciones competitivas demandan tiempos de entrega más cortos, productos cada vez más innovadores y con calidad superior, lo han dejado en la obsolescencia. Sin embargo, ciertos aspectos son aún altamente aplicables, entre ellos, la estandarización de operaciones y la asignación de materiales y herramientas permitiendo mantener el flujo continuo de la producción [7].

Derivado del principio propuesto por Taiichi Ohno a través de la eliminación consistente a todo lo largo de la organización de todas las formas de desperdicio [11], se ha reflejado en la posibilidad de producir con menos recursos (espacio, gente, capital e inventario). Fue éste principio lo que está al origen del concepto que hoy conocemos como “Manufactura Esbelta” o “Lean Manufacturing” como se le conoce internacionalmente

El sistema de manufactura Toyota, con base en ideas y filosofías fuertemente soportadas por principios y valores éticos, pero también con el uso de técnicas innovadoras de producción y diseño, ha logrado enfrentar exitosamente los retos del entorno local japonés y mundial. Es un hecho que hoy por hoy, prácticamente todas las empresas de manufactura utilizan en mayor o menor grado, las enseñanzas derivadas del TPS. [10]

Si bien el Sistema de Producción Toyota es un ejemplo usado como referente, enfoques alternos han sido concebidos. El caso del modelo implementado por la planta de Volvo en Uddevalla, Suecia, es un ejemplo. En la década de 1990 desarrollaron un sistema de manufactura con un enfoque abiertamente humanístico, concordante con la estructura democrática del país. Si bien este modelo resultó no ser tan económicamente rentable en el largo plazo como lo es el japonés, dejó muy claro el hecho que una clave de éxito para los enfoques de la manufactura consiste en considerar la importancia del contexto local de implementación. Entre los factores clave del contexto local están: i) La participación del personal en los procesos de mejora; ii) El dominio de las operaciones ejecutadas; y iii) La disminución de niveles para la toma de decisiones. [8].

Por otro lado, la conjunción de visiones empresariales entre Chrysler y Daimler-Benz, derivó en un sistema de producción y administración híbrido funcional basado en una fuerte conducción sistémica, regulada y normativa. Este modelo se apoya de manera sustancial en la estandarización y los procesos de entrenamiento en cascada, permitiéndole posicionarse competitivamente en el mercado. [9]

Para nuestro estudio, si bien los trabajos se enfocaron de manera importante en los aspectos técnicos empleados por Toyota, durante la implementación se procuró integrar una perspectiva balanceada tanto en lo humanístico como en lo administrativa. Puntos destacables de los modelos de

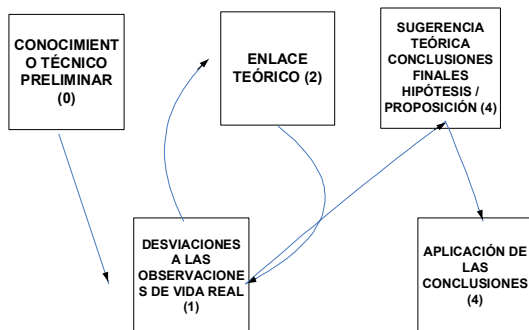


Volvo-Uddevalla y el de Daimler-Chrysler son considerados.

Según varios autores [4, 5, 6] cuatro son los pilares en los que se basa el éxito de la empresa japonesa: a) Completa especificación del trabajo en cuanto a su contenido, secuencia, tiempo de ejecución y resultado; b) Conexión directa entre clientes y proveedores internos y externos; c) Patrones simples de fabricación de cada producto; d) Aplicación del método científico en los procesos de mejoramiento. Estos puntos se usarán continuamente a lo largo del proceso.

### Metodología

Debido a la importancia que representa la conjunción del aspecto práctico como científico para el éxito de la implementación, se consideró pertinente la utilización de un proceso abductivo de investigación (Ver Fig. 1). Este proceso buscó triangular experiencias prácticas de planta con métodos científicos que facilitarían la hibridación de un modelo existente. De este modo, se propició la interacción entre preceptos prácticos con los principios científicos que les sustentan [3], permitiendo que se obtuvieran soluciones de mejora fácilmente entendidas por quienes tenían la responsabilidad de su implementación y mantenimiento.

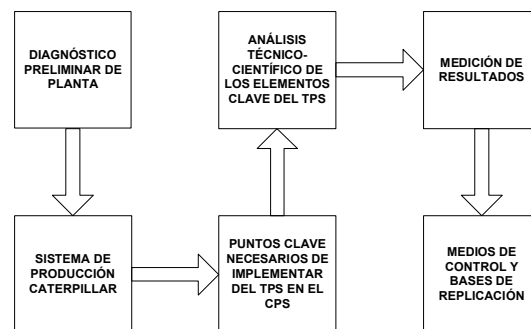


**Figura 1:** Proceso de investigación Abductiva

Posteriormente se definieron los pasos metodológicos a seguir a lo largo de la investigación, desarrollo e implementación de soluciones (Ver Fig. 2). Este proceso inició con un diagnóstico, el cual reveló el estado que guardaba el negocio de forma integral. Al realizar una evaluación “Lean” basada en la identificación de desperdicios, se determinaron los

obstáculos al flujo de valor y las condiciones que reducían la efectividad de los procesos. El proceso formal de implementación se basó en el documento CPS (CAT Production System), que es la adaptación del TPS a las condiciones de operación de las empresas filiales del Grupo Caterpillar y que aplica a la planta Caterpillar Ramos Arizpe, que es una empresa productora de piezas fundidas de acero, con una capacidad anual de producción de 12,000 toneladas de producto terminado y consta de 250 colaboradores.

A pesar de este importante apoyo, fue en este punto que el enfoque abductivo jugó un papel importante al aplicar un estilo propio de implementación basado en la comparación de la herramientas propuestas por el CPS con relación al contexto de implementación. De este modo, se pudo entender mejor el objetivo planteado por cada una de las herramientas y paralelamente, identificar mejor el momento de utilización de la misma.



**Figura 2:** Descripción metodológica empleada

Fueron los resultados del diagnóstico y el orden sugerido de implementación del CPS lo que marcó el arranque al proceso de implementación basado en 3 etapas básicas: 1) Búsqueda de problemas o áreas de oportunidad; 2) Corrección de las condiciones no deseadas encontradas; 3) Sostenimiento de las ganancias. [12]

Para coordinar los frentes de acción descritos, el enfoque CPS, determinó 3 sub-elementos de actividad: a) Operativo; b) Cultural; c) Administrativo.

El **Sistema Operativo** esta constituido por los pasos relacionados con procesos y productos. Durante la



etapa de búsqueda de problemas, se hizo el acopio del primer juego de herramientas “Lean” propuestas por Toyota consistentes en la determinación de un mapa de flujo de valor (VSM), el cual es una representación de todos los factores que intervienen en un proceso para procesar las materias primas y entregar productos terminados bajo una secuencia dada. [13]

El VSM permitió entonces visualizar cuáles eran los factores que impedían el flujo continuo de la producción e información. Para ello se empleó el concepto de “Takt Time”, que se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Takt Time} = \text{Tiempo disponible} / \text{Demanda cliente} \quad (1)$$

El “Takt Time” es un indicador vital que considera la demanda real del cliente en volumen y tiempo. De manera sencilla se trata de un “marcapasos” que determina el paso que deben seguir los procesos para alinearse en forma sincronizada al ciclo de producción que permita entregas “justo a tiempo”. Uno de los objetivos más representativos del TPS. [13]

El siguiente paso consistió en establecer una serie de 12 objetivos de mejoramiento basados en atacar inicialmente aquellos procesos que resultaron incapaces de cumplir la demanda del cliente. Sin embargo, antes de hacerlo, se prepararon las condiciones que favorecieran el mejoramiento de las operaciones. Para ello se implementó el uso de las 5S’s propuesto por el TPS.

Con el área de trabajo en condiciones adecuadas, se arrancó el “portafolio de mejoramiento”, el cual mediante el trabajo en equipo enmarcado en 28 talleres “Kaizen”, ejecutados el primer año, acumulando 52 a la fecha. Estos eventos son sesiones de 5 días llevando a cabo hasta 3 temas diferentes, lo que permite hacer pequeños cambios de alto impacto por vez, tanto al Lay-out como al proceso bajo análisis.

Los talleres Kaizen son una de las herramientas de mejora continua más aplicadas en Toyota y otras empresas manufactureras líderes [11]. Con su uso, además de corregir los problemas y mejorar el desempeño de las operaciones, el personal estuvo constantemente involucrado en los procesos de aumento de satisfacción del cliente. Un grupo de entre 8 y 10 colaboradores de planta, son integrados en los

equipos Kaizen; Éstos fueron escogidos de entre el personal del área sujeta a ser mejorada pues los procesos de análisis y solución de problemas involucrados en la metodología, se basan en la aportación de ideas y sugerencias de los miembros del equipo. De forma adicional, se proporcionó entrenamiento específico en flujo continuo y métodos de reducción de tiempo, tales como SMED (Single Minute Exchange of Dies), sistemas “Pull” y “Kanban”, por mencionar algunos. [13]

Siguiendo el cuarto principio expuesto por Spears [4], el cual menciona el uso del método científico para generar las mejoras, y aunque Toyota no especifica la utilización de la metodología 6Sigma, las experiencias referidas por General Electric, Motorola, Xerox y otras empresas [16], se encontró muy conveniente retirar del proceso a un grupo de 3 personas con habilidades analíticas y alto conocimiento de las operaciones para certificarlos bajo esta metodología como “Blackbelts”. Estas personas se especializaron en análisis de datos por medios estadísticos tales como ANOVA, análisis de regresión, diseño experimental, varianzas, etc., lo que les permitió proponer soluciones alternas mediante proyectos 6Sigma o bien soportado las iniciativas Kaizen que se generaron en el portafolio de puntos de mejora.

En términos generales, los procesos de transformación física orientados a modificar el Lay-out para lograr un flujo continuo, son relativamente sencillos de implementar, sin embargo de acuerdo con lo estudiado tanto en TPS como en casos de éxito analizados [Delphi plantas mexicanas de Reynosa, de Ramos Arizpe y en Kentucky, Estados Unidos] es importante tener una adecuada previsión de los aspectos culturales de implementación.

De allí que esta implementación del CPS buscó cubrir los elementos encontrados tanto en modelo desarrollado por Volvo en la planta de Uddevalla como por Toyota con relación al proceso de administración del cambio. En este proceso se involucra a todo el personal pero se enfoca inicialmente en los mandos medios y equipos gerenciales. Estos niveles, bajo el sistema Ford de manufactura, regularmente son quienes menos sienten la necesidad de cambiar ya que en muchos casos es posible mantener la posición original cumpliendo el mínimo de los requerimientos esperados del puesto. [9]



El **Sistema Cultural** planteó entonces la forma en que el personal de mandos intermedios se comportaba y fue contrastado contra la manera en que se deseaba que la organización condujera. De tal manera que lograran los objetivos planteados, sin ejercer sobre la base operaria una presión que no estuviera sustentada por las capacidades individuales o las condiciones prevalecientes.

Otro factor fundamental de tipo cultural fue referido a la forma de operar bajo esquemas de equipos de trabajo de alto desempeño (ETAD). Este es uno de los puntos fundamentales que distinguen a Toyota de otras empresas más orientadas a resultados individuales que no tienen las herramientas ni la motivación suficiente para procurar mejoras sustantivas a sus áreas de trabajo.

La implementación, el concepto de ETAD quedó soportado por un “Manual de Diseño”, el cual fue desarrollado basado en el modelo TeamPath®. [14] Este documento define los límites y alcances en la responsabilidad de los 17 equipos naturales existentes en planta ( cada uno de los 5 departamentos en 3 turnos, más 2 áreas de soporte, Montacargas y Almacén), quienes bajo un enfoque de sistema, determinaron los 5 elementos que debieron ser cumplidos por todos sus integrantes, los cuáles son: Seguridad, Calidad, Mejora Continua, Mantenimiento de excelencia (TPM) y Productividad Lean. El proceso comienza con la toma de roles y el facultamiento en la toma de decisiones, hasta alcanzar un nivel de madurez que les permitieran autogestionarse. Cabe mencionar que el Sistema Cultural tiene implicación directa con los procesos de capacitación que permiten la “construcción del talento” del personal. Proceso que de hecho, es también fundamental en el Sistema de Producción Mercedes-Benz referenciado. [9]

Posteriormente, la certificación de habilidades confirmó que el personal estaba debidamente capacitado para el desempeño de su actividad. Dado que el TPS descansa en gran medida en el conocimiento y seguimiento estricto que todo el personal tiene sobre la manera de desempeñar su trabajo, se crearon documentos de trabajo estándar. Estos documentos formaron la base del plan de capacitación y adiestramiento del personal., este proceso se desarrolló gracias a encuentros cara a cara de los supervisores con cada uno de sus colaboradores desde un enfoque de

*Entrenamiento Dentro de la Empresa* (Training Within Industry –TWI) [15].

Debido a que el aspecto de comunicación tiene una importancia vital, se buscó asegurar la correcta recepción de la información por parte de todos los involucrados. De esta manera, los objetivos enunciados como fundamentales por la política de calidad, misión, visión y valores, entre otros, pudieron ser comprendidos y seguidos por el personal de todos los niveles. Para ello se crearon “planes de comunicación”, tales como tableros, revistas, póster, información en sobre de pago, los que están dirigidos a grupos de personas de diferentes niveles. Fue este aspecto de comunicación que dio entrada al tercer elemento del Sistema de Producción Caterpillar que es el Administrativo.

El **Sistema Administrativo** tuvo bajo su responsabilidad la manera en que se debían establecer los medios de aseguramiento de las mejoras. Para esto se utilizaron 42 tableros, 7 pizarrones hora por hora, 11 periódicos de sugerencias o manifestación de inconformidades o quejas y en general, sitios donde fue posible colocar gráficos o indicadores que describieran con la frecuencia apropiada, el nivel de cumplimiento que cada indicador llevaba contra los objetivos establecidos.

Fue en los tableros donde se desarrollaron diálogos de mejora de proceso pues al observar los comportamientos de cada uno de los indicadores vitales de desempeño, se pudieron utilizar herramientas administrativas como “las 5 por qué y un cómo”. Dicha herramienta consiste en preguntarse constantemente por qué de la ocurrencia de un problema, una y otra vez hasta llegar a la causa raíz que lo provoca. El cómo concluye el ejercicio al dar alternativas de solución.

Un aspecto importante a señalar es que dentro del Sistema Administrativo es donde se debieron determinar los factores críticos de éxito. Indicadores de desempeño entornados en los principios financieros y operativos que regulan a la empresa y que usualmente involucran términos de seguridad, calidad y productividad.

Es pues con el esfuerzo conjunto de los 3 subsistemas que se pudo lograr un resultado exitoso en la implementación del Sistema de Manufactura Esbelta propio a la planta ACEFUN. Si bien el sistema pudo diferir en sus alcances, no lo fue así en los principios



esenciales postulados por el Sistema de Producción Toyota, ya que se coadyuvó a crear un flujo de producción “Lean”.

## Resultados

Es muy importante subrayar que un sistema de manufactura esbelta no se implementa de manera inmediata. A la empresa Toyota le llevó entre 30 y 40 años desarrollar los elementos que ahora vemos funcionando de forma natural. Dado que durante una implementación esencialmente se está buscando un cambio de cultura, se debe reconocer que ésta no es fácil de lograr. En general es posible afirmar que el ser humano no es muy proclive al cambio a no ser que se encuentre en una situación muy comprometida tal y como lo indica Hino, (et. al) [5]

En cuanto a los resultados, la tabla 1 presenta tanto la situación que tenía la empresa en el año 2005, como los resultados alcanzados al cierre de 2006. Es importante señalar que a pesar de estos indicadores y el muy corto tiempo en el que se alcanzaron, las estrategias adoptadas se han mostrado eficaces ya que han permitido su sostenimiento y mejora constante.

Gracias a ello, el entorno financiero de la empresa, que era negativo los primeros 6 años de operación, comenzó a tornarse en positivo a partir de los primeros meses de 2006, situación que se ha mantenido hasta el momento de redactar este estudio, Abril de 2007.

INDICADOR	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 1: Resultado de indicadores 2005 – 2006

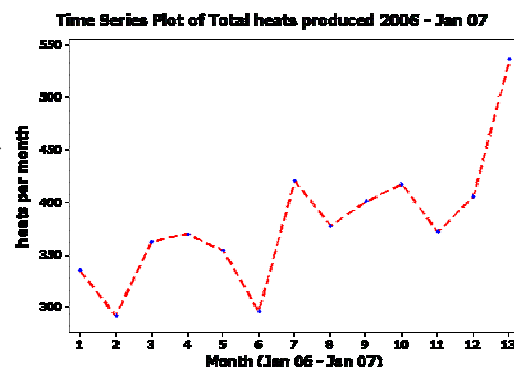
En términos reales, CAT Ramos Arizpe ha pasado de facturar 820 toneladas mensuales a niveles récord de 1,250 toneladas dentro de los requerimientos exigidos por el cliente.

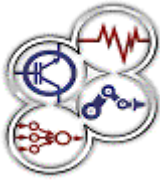
Otro factor a resaltar es la forma en que el índice de accidentes se ha abatido. Para una fundición de acero, los resultados alcanzados en 2006 merecieron el reconocimiento de la Corporación. En forma análoga, para cubrir el requerimiento corporativo de mejorar el ambiente laboral, específicamente en términos de liderazgo y compromiso, ACEFUN logró durante 2006, mejorar en 21 puntos porcentuales su desempeño en la encuesta efectuada al 100% del personal sindicalizado y empleado.

Al mismo tiempo, el tiempo de ciclo ha sido dramáticamente reducido, pues una pieza que originalmente tardaba 19 días en ser procesada en el año 2004, ahora requiere solamente de 3 días para llegar al área de embarques, esto contado a partir de que ha sido liberada su orden para producción. Con estos indicadores, la confianza del cliente se ha reforzado y como consecuencia, se ha incrementado considerablemente el volumen de facturación de partes al mercado. En los primeros 3 meses de 2007 la producción en planta se ha incrementado en 30% sin mayor inversión de capital en equipo o personal.

Un beneficio adicional alcanzado en 2006 fue la posibilidad de lograr la Certificación ISO9001:2000 en toda la empresa y la Certificación MQ12005 en 3 de las 4 Cadenas de Transformación de Valor en que está dividida la planta. Cabe subrayar que esta distinción la tienen solamente 10 plantas productivas de toda la Corporación a nivel global. ACEFUN las logró en un tiempo record si se considera que es la empresa con menor antigüedad del grupo CAT.

Como se muestra en la figura 3, el incremento en capacidad de producción es evidente en el proceso de fusión donde se ha logrado pasar de un promedio de 380 coladas producidas por mes a 511 en los primeros 3 meses de 2007.

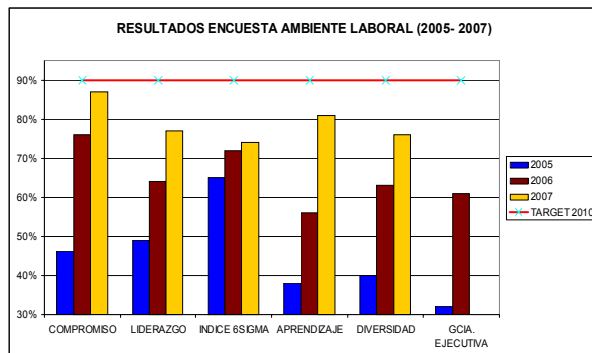




**Fig. 3** Producción mensual de coladas 2006 - 2007

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..

Con el enriquecimiento de las habilidades del personal e incremento en los niveles de satisfacción, compromiso y sentido de pertenencia que se lograron con la implementación de campañas de acercamiento entre empleados, como actividades sociales y deportivas, involucración de la familia y reconocimientos individuales y grupales, la percepción del personal hacia la administración ha comenzado a experimentar un mejoramiento muy significativo de acuerdo a la encuesta de ambiente laboral que se efectúa anualmente y cuyos resultados se aprecian el figura 4.



**Fig. 4** Encuesta de ambiente laboral 2005 - 2007

### Implicaciones y trabajo futuro

Los resultados obtenidos a la fecha están generando gran confianza en el futuro de la empresa. Sin embargo, como todo proceso de mejora, los avances presentados en este artículo pretenden ser sólo una primera etapa en el proceso de replicación del CPS a otras cadenas de transformación de valor con que se cuenta. Entre las tareas a mejorar se encuentra la

generación de los documentos de trabajo estándar, afinar el sistema de capacitación por competencias y regular los aspectos de liderazgo y trabajo en equipo de alto desempeño para poder autogestionar el control y la mejora continua de los procesos.

Se ha podido demostrar que un trabajo enfocado y soportado con bases teóricas en su concepción e implementación, resulta muy rentable, por lo que la expectativa de los autores con relación a este trabajo es que sirva efectivamente como una referencia para iniciar y propagar los conceptos de la manufactura esbelta a otras instituciones que operen bajo el mismo contexto de operaciones que ACEFUN.

De hecho, estos resultados están siendo tomados como referencia al más alto nivel de la Corporación como modelo de Implementación Lean. Del mismo modo, el éxito alcanzado ha derivado en el acercamiento de empresas regionales de otros sectores de actividad que buscan replicar la metodología de implementación, lo que abre una potencial línea de investigación que eventualmente beneficiaría la competitividad de las empresas mexicanas de la región Coahuila Sureste.

### Referencias

- [1] M.-G. Cedillo, J. Sanchez, C. Sanchez, "New Relational Schemas of Inter-Firms Cooperation: The Case of the Coahuila Automobile Cluster in Mexico," *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol. 6, No.4, pp. 406-418.
- [2] J. Womack, D. Jones and D. Ross "The Machine that Changed the World," New York, N. Y. USA; Rawson Associate, 1990.
- [3] G. Kovács and K. Spens, "Adductive reasoning in logistics research," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol.35. No.2, 2005, pp. 132-144.
- [4] S. Spears, K. Bowen "Decoding the DNA of the Toyota Production System," *Harvard Business Review*, pp. 99 - 100 September–October, 1999
- [5] S. Hino, "Inside the Mind of Toyota. Management Principles for Enduring Growth," New York, N. Y. USA, Productivity Press, 2006.



[6] T. Fujimoto, “Automobiles: Strategy – based Lean Production System,” The University of Tokyo, June 2001, pp 6 - 22.

[7] M. Holweg, “The genealogy of lean production,” Judge Business School University of Cambridge, UK, *Journal of Operations Management*, 2006, pp 5 – 9.

[8] R. Rehder, “Sayonara Uddevalla – Production methods of Volvo Plant in Sweden,” *Business Horizons*. November – December, 1992, pp 8 – 16.

[9] C. Clarke, “Automotive Production Systems and Standardization – Form Ford to the Case Mercedes – Benz,” Heidelberg, Germany, Physica – Verlag, 2005.

[10] J. Liker., D. Meier, “Understanding the Toyota Way,” Association for Manufacturing Excellence. Boston, 2005.

[11] T. Ohno, “Toyota Production System,” Diamond, Tokio, 1978.

[12] Caterpillar Production System, “Material del Sistema de Producción Caterpillar,” 2005, <http://www.catatwork.cat.com>

[13] Lean Enterprise Institute, “Lean Lexicon,” LEI, Brookline, Massachusetts, 2004.

[14] B. Rubin, E. Montaña, “Achieving a High Involvement – Continuous Improvement Culture to Power the Lean – Sigma Workplace,” AME Conference, Boston, Ma., 2005.

[15] P. Graup, M. Sessumes, R. Wrona, “Training Within Industry (TWI),” Association for Manufacturing Excellence, Dallas, Tx. 2006, pp 11 – 24.

[16] Welch, J. *GE Quality 2000: A dream with a Plan*. General Electric, Charlottesville, N. C. 2000

Sistemas de Manufactura del Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT) sede COMIMSA. Del mismo modo, en cuanto a su desarrollo profesional, se desempeña como Blackbelt dentro de la empresa ACEFUN y como Consultor en Manufactura en First Consulting Group, S. C.

#### **Miguel Gastón Cedillo Campos**

Es investigador en Logística y Administración de la Cadena de Suministros en el Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas de Manufactura en COMIMSA. En 1999 obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería del Transporte por la Universidad Nacional Autónoma de México. Después de participar como Gerente de Logística y Consultor en varias empresas, obtiene en 2001 el grado de Maestría en Logística y Organizaciones en el Centro de Investigación sobre el Transporte y su Logística (CRET-LOG) de Aix-en-Provence, Francia. En 2004 obtuvo el Doctorado en Análisis Dinámico de los Sistemas Logísticos por la Universidad de Paris XII.

#### **Pedro Pérez Villanueva**

Es Ingeniero Industrial y de Sistemas por la Universidad Autónoma de Coahuila y Maestro en Sistemas de Información por la misma Universidad. Cuenta con 15 años de experiencia en el área de diseño y sistemas de manufactura, sistemas inteligentes y en el área de ensamble y desensamble de productos. Actualmente es Profesor-Investigador y candidato a Doctor en Ciencia y Tecnología con especialidad en Ingeniería Industrial y Sistemas de Manufactura dentro del Programa Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT) sede COMIMSA.

**Dirección de los autores:** Blvd.. Oceanía 190, Fracc. Saltillo 400 Saltillo, 25900, Coahuila, México.

email: [gudigr@cat.com](mailto:gudigr@cat.com)

[mgaston@comimsa.com.mx](mailto:mgaston@comimsa.com.mx)

[pperez@comimsa.com.mx](mailto:pperez@comimsa.com.mx)

#### **Datos generales de los autores**

##### **Guillermo Rafael Gudiño González**

Ingeniero Metalurgista Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, grado que obtuvo en 1981. Actualmente es candidato Maestro en Ciencia y Tecnología con especialidad en Ingeniería Industrial y