

# “Aumento de Producción de Cabezales de Válvulas para Pozos Petroleros”

**Juan Sillero Pérez**

Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, N.L. México  
[juan.sillero@udem.edu](mailto:juan.sillero@udem.edu)

**Julio Rafael Téllez Morales**

Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, N.L. México  
[jtellez6@udem.net](mailto:jtellez6@udem.net)

**Elizabeth Aranda Sandoval**

Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, N.L. México  
[earanda1@udem.net](mailto:earanda1@udem.net)

**Azucena López García**

Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, N.L. México  
[alopez106@udem.net](mailto:alopez106@udem.net)

## RESUMEN

Este artículo presenta el uso de la metodología Seis Sigma DMAIC para aumentar la producción en una empresa mexicana fabricante de válvulas usadas para controlar el flujo de salida de gas o de crudo en los pozos petroleros. El objetivo es hacer frente a un incremento en la demanda del mercado y se desea incrementar la producción en un 25 %. El proyecto se desarrolló en catorce semanas usando la metodología que inició con la definición y alcances del proyecto, seguido de la caracterización de desempeño de los procesos involucrados y el análisis de causas raíz. Al final, tres propuestas de mejora se diseñaron e implementaron: 1) reducción de tiempos muertos, b) cambio rápido de herramental, y c) estandarización de operaciones. Cuatro acciones de mejora fueron diseñadas y desarrolladas. Al término de las implementaciones se logró alcanzar la meta de incrementar el 25% con la posibilidad de lograr mayores resultados posteriores una vez que se estableció el *Kaizen* como una práctica de mejora permanente.

**Palabras claves:** Six Sigma, Cabezal, *tubing head*, *casing head*, tiempos de ciclo, *set up*, *takt time*.

## ABSTRACT

This article presents the use of the Six Sigma DMAIC methodology to increase production by a Mexican company manufacturer of valves used to control the flow of gas or crude oil output in the underground oil deposits. The objective is to increase production by 25% for facing an increase in market demand. The project was developed in fourteen weeks using the that methodology which began with the definition and scope of the project, followed by the characterization of performance of the processes involved and root cause analysis and the proposal initiatives. At the end, four improvement proposals were designed and developed. The initial established goal was rich increasing 25% with the possibility of achieving higher results once settled the *Kaizen* as a practice of continuous improvement.

**Keywords:** Six Sigma, tubing head, casing head, cycle time, Set up, takt time

## 1. INTRODUCTION

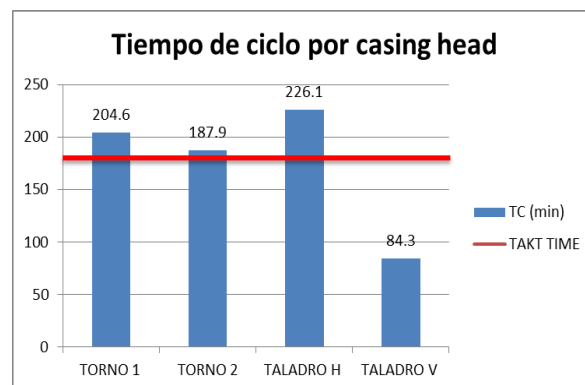
El marco conceptual de referencia que proporciona la metodología DMAIC fue utilizado para llevar a cabo este proyecto (Bhote y Keki, 2002). Esta metodología provee la utilización del método científico para resolver problemas o explotar potencialidades existentes y recientemente ha adquirido popularidad en su uso (Harry, 1998). La fase de DEFINIR provee los lineamientos para identificar los críticos de la calidad CTQ en término de los indicadores llamados KPI y KPO (Rath y Strong, 2006); esto es, los indicadores de críticos de entrada al proceso de transformación y salida del mismo. En esta fase, se planteó y delimitó la situación problemática de la línea de cabezales objeto de estudio. La etapa de MEDIR se busca caracterizar el desempeño exhaustivo del proceso para identificar el valor agregado y no valor agregado involucrado (Forrest, 2003); también se indaga sobre la Capacidad del Proceso. En la etapa de ANALISIS se auscultó en detalle las relaciones entre variables independientes y dependientes para determinar las causas raíz de la situación actual y los valores deseables que lleven a la meta del proyecto (Anderse, et al., 2000); esto es, encontrar la función  $Y=f(x_i)$  de dependencia entre la variable de respuesta Y y las  $x$ 's las variables independientes. En la fase de MEJORA se diseñan las propuestas de solución que han de ejecutarse para alcanzar las metas del proyecto siguiendo la técnica Kaizen (Alukal y Manos, 2006); en nuestro caso, se diseñaron tres propuestas de mejora. Por último en la etapa de CONTROL, se asegura que las mejoras propuestas sean seguidas de acuerdo a lo acordado (GOAL/QPC, 2002).

## 2. DEFINIR

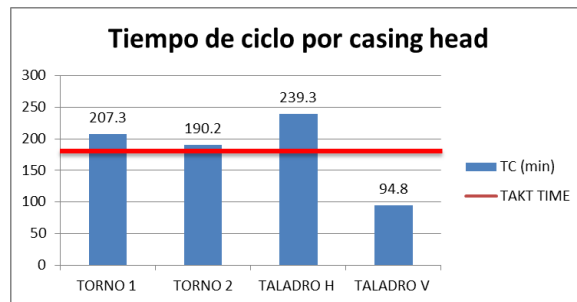
El cliente del proyecto es una empresa internacional con División Oil & Gas, es una empresa líder mundial en equipos y servicios de tecnología avanzada para todos los segmentos de la industria de petróleo y gas, desde la exploración y producción de aguas abajo. Los productos que realiza son sistemas controladores de válvulas, válvulas y el sistema de cabezales, estos últimos es en los que se enfocará el proyecto. La empresa presenta un exceso de demanda por atender durante el presente año fechas de entrega comprometidas que le dan el sentido de urgencia al proyecto. Debido a este incremento de la demanda de 25 a 32 cabezales se genera una reducción del Takt time de 180 min a 156 min. Actualmente existe bajo cumplimiento de Takt time Attainment, generando gastos significativos de tiempos extras para cumplir con los plazos. Por lo tanto, se planteó como objetivo general aumentar la producción en un 25% en la línea de cabezales; para alcanzar este objetivo general, se plantearon dos objetivos particulares: Reducir tiempos de ciclo, reducir inventario (WIP) y reducir desperdicios y tiempos muertos.

## 3. MEDIR

En esta etapa se presenta el proceso de fabricación de los cabezales en la línea que involucra una secuenciación de cuatro estaciones donde hay una máquina en cada uno de ellos: torno 1, torno 2, taladro horizontal y taladro vertical. Para cada una de estas máquinas se hizo un análisis de tiempo de ciclo. Dichos tiempos se contrastan con el *takt time* actualmente de 180 minutos como se muestra en la figura 1. Aquí se incluyen los tiempos de *casing head* y en la figura 2 para *tubing head*. También se puede apreciar que sólo el taladro vertical está dentro del requerimiento del *takt time* en ambos cabezales.



**Figura 1: Tiempos de ciclo por máquina para casing head**



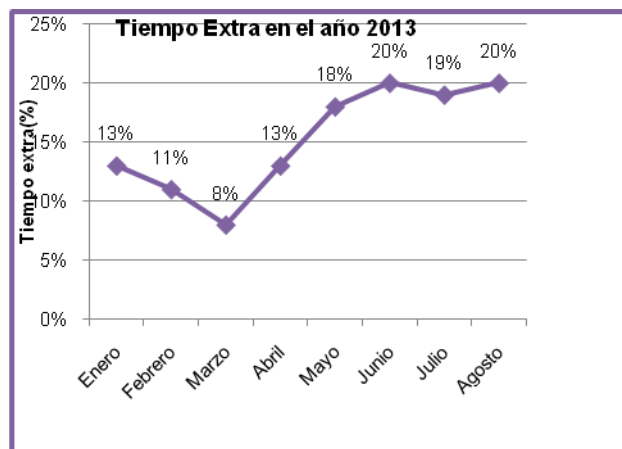
**Figura 2: Tiempos de ciclo por máquina para tubing head**

El *Takt time Attainment* es un indicador que muestra el total de las piezas de un lote producidas dentro del takt time establecido, en este caso 180 minutos. El porcentaje de *takt time attainment* por máquina se muestra en la figura 3. siendo 25 piezas el 100%.

MÁQUINA	CASING HEAD	TUBING HEAD
TORNO 1	12%	13%
TORNO 2	17%	9%
TALADRO H	4%	0%
TALADRO V	94%	95%

**Figura 3: Takt time attainment por máquina y tipo de cabezal**

Un métrico secundario muy relevante en la conducción del proyecto y el cual es un reflejo del esfuerzo por atender los requerimientos del cliente es el gasto de tiempo extra, como se aprecia en la figura 4.



**Figura 4: Porcentaje de tiempo extra durante el 2013**

La tabla 1 and 2 nos muestra el WIP semanal en piezas que se tiene entre cada máquina cuando se producen *casing head*.

**Tabla 1: WIP de casing head en el periodo junio-agosto**

Año 2013: WIP (Piezas) CASING HEAD				
MES	TORNO 1	TORNO 2	TALADRO H	TALADRO V
Junio	0	24	10	2
Julio	20	63	14	5
Agosto	29	16	33	0

**Tabla 2: WIP de casing head en el periodo abril-agosto**

Año 2013: WIP (Piezas) TUBING HEAD				
MES	TORNO 1	TORNO 2	TALADRO H	TALADRO V
Abril	5	4	2	0
Mayo	57	14	24	17
Julio	24	12	47	12
Agosto	109	22	49	13

#### 4. ANALIZAR

El problema de tiempos e ciclo por encima del *Takt time* fue analizado mediante un equipo *kaizen* llegando a las siguientes causas raíz, mismas que fueron validadas:

Para los tornos se encontraron las siguientes causas raíz:

1. Los parámetros de los programas de las máquinas no están estandarizados
2. No existe un método estandarizado de centrado de pieza
3. No existe un método estandarizado de remoción de rebaba
4. No existe un método estandarizado de montaje de pieza
5. La transportación de pieza con grúa no está estandarizada
6. El volteo de pieza es un método no estandarizado

De igual forma, para el taladro horizontal se encontraron las siguientes causas raíz:

1. No existe un método de calibración para las herramientas
2. No existe estandarización en los procedimientos de la operación
3. No existe un método estandarizado de centrado de la pieza

Por lo que respecta al comportamiento del *Takt attainment*, esto se debe fundamentalmente a que hay mucha variabilidad en los tiempos de ciclo; la causa raíz es la falta de proceso estandarizados, la cual se espera sea reducida una vez implementado el programa de estandarización.

Por último, el inventario en proceso demuestra que se tiene un sistema de producción *Push* y además la desnivelación de la línea hace que se acumulen los inventarios mayormente en las estaciones 2 y 3. En estos dos puntos es donde deben enfocarse las propuestas de solución para lograr una mejor fluidez de los materiales evitando los previniendo los inventarios en procesos.

## 5. MEJORAR

Se plantearon distintas propuestas para solucionar las causas raíz de los tiempos de ciclo en cada máquina, a continuación se muestran las propuestas aceptadas:

### **Propuesta1. Reducción de tiempos muertos en torno 1 y 2.**

Consiste en diseñar un mecanismo para eliminar de manera automática la rebaba y ahorrar tiempo cuando la máquina esta parada; esto es, eliminarla mientras se está maquinando la pieza. Con esto se busca reducir el tiempo que actualmente desperdician los operadores en remover manualmente la rebaba. En el torno número uno, se tuvo una reducción de 11.4 min cuando se maquina la pieza *casing head*; mientras que cuando se maquina *tubing head*, se tuvo una reducción de 16.8 min cuando se maquina. En el torno número dos, se tuvo una reducción de 10.9 min cuando se maquina *casing head*, y una reducción de 18.4 min cuando se maquina *tubing head*.

### **Propuesta2. Estandarización de proceso de maquinado en torno 1 y 2**

Con esta propuesta se pretende estandarizar el orden y el tiempo de las operaciones que realiza la máquina, así como el avance y las revoluciones a las que funcionan. El proceso será más consistente con menos variabilidad y se podrá controlar y minimizar las actividades que no. En especial se estudiaron las operaciones fundamentales así como el avance y las revoluciones a las que trabajan las máquinas. En el torno número uno, se obtuvo una reducción de tiempo de maquinado de 33.8 minutos cuando se maquinan *casing head*, y una reducción de tiempo de maquinado de 40.4 minutos cuando se maquinan *tubing head*. En el torno número dos, se obtuvo una reducción de tiempo de maquinado de 22.6 minutos cuando se maquinan *casing head*, mientras que se obtuvo una reducción de tiempo de maquinado de 38 minutos cuando se maquinan *tubing head*.

### **Propuesta 3.Cambio Rápido de modelo en torno 1 y 2**

Con el empleo de la metodología SMED se llevaron a detalle las actividades para analizar las internas y externas buscando pasar las interna a externas lo más posible, y refinar aquellas que es necesario efectuarlas cuando máquina está parada. Dentro de las actividades que impulsaron enormemente la el cambio rápido se encuentra la actividad de Centrado la cual fue estudiada y reducido su tiempo mediante la Centralización usando el método de U relativa. Este método consiste en desaflojar sólo dos mordazas frontales en cada cambio de pieza, después con ayuda de la coordenada U relativa de la máquina y el indicador dial dividir el diámetro de la pieza el cual se despliega en la pantalla, entre 2 y esa es la distancia a apretar en la mordaza y hacer lo mismo con la otra mordaza, de esta manera la pieza queda centrada en el *chuck*. Se tiene una reducción de 5.5 min, teniendo un nuevo tiempo de centrado de 7 min en ambos tipos de cabezal. Menos impactante pero significativo de cierta forma fue cambiar el uso de laines móviles por laines fijas hechas de material de aluminio; esto redujo 2.3 minutos el tiempo de cambio.

### **Propuesta 4. Estandarización de proceso de maquinado en torno vertical**

Para optimizar los tiempos de esta máquina, se propone estandarizar proceso, que incluyan la secuencia y distribución de las herramientas para llevar a cabo las operaciones. Se espera una reducción de 116.1 minutos para *casing head* y 87.7 minutos para *tubing head*.

También se ha identificado llevar a cabo la Calibración de herramientas en el eje positivo que actualmente se realiza en ambos ejes y al “tanteo”. Se propone que la calibración solo se realice en el eje positivo y además crear un lista de herramientas que contenga: la altura, el diámetro y el offset de altura correctas para las operaciones. Para ello se desarrolló una herramienta electrónica que indique especificaciones de altura, diámetro y offset de altura así como el tipo de herramienta necesario; durante dos semanas, se corroboraron estos datos ya que la información aparece en la maquina al momento de que la herramienta está operando. Para facilitar al operador al identificar las herramientas a utilizar, se le agrego una imagen de dicha herramienta. Posteriormente, esta información se colocó en la maquina donde el operador acude a su consulta. Se espera reducir el tiempo de calibración de *Tubing* de 49 min a 0 y de *Casing* de 36 min a 0 min. Finalmente para reducir el tiempo de centrado, se propone colocar una plantilla con dos pernos misma reduciendo el tiempo en un 80% aproximadamente.

## 6. CONTROLAR

Se busca mantener el estatus de las propuestas incorporadas al sistema de producción:

**Auditorías internas a los procesos de maquinado:** El Gerente de producción y el gerente de manufactura se encargarán de realizar dichas auditorías cada dos semanas y en caso de que los tiempos varíen mucho de pieza en pieza para tomar acciones adecuadas. Se desarrollaron los formatos necesarios para su realización.

**Manual de las operaciones estandarizadas:** El operador contará con un manual de las operaciones estandarizadas dependiendo del tipo de pieza y de la operación, el cual incluye paso por paso lo que se tiene que realizar, así como las herramientas necesarias con sus especificaciones. Este manual ya desarrollado estará fijo en su mesa de trabajo.

**Supervisión del cumplimiento de las operaciones estandarizadas:** Despliegue y monitores de los tiempos estándar con verificaciones de “visitas sorpresas” del supervisor al operador, quedándose en el área de trabajo por 15 min y verificar que se esté realizando la actividad correspondiente con el tiempo adecuado de acuerdo al checklist del proceso. El supervisor deberá llevar un registro de estos incumplimientos, las cuales serán una por turno.

**Checklist de herramientas de corte:** El *checklist* será responsabilidad del supervisor revisarlo al inicio de cada turno y al final de cada pieza. Contará con un *checklist* de cada proceso en las máquinas donde reportará el estado de cada herramienta de corte, anticipándose al cambio de herramental, evitando los desplazamientos y tiempos muertos por falta de insertos o herramientas de corte.

**Capacitación y actualización de operarios:** Para el seguimiento de las operaciones estandarizadas es necesario capacitarlos. Los responsables son el Ingeniero de manufactura e ingeniero de calidad, la duración de dicha capacitación es de un mes y se divide por semana: Semana 1: Explicación de procedimientos estandarizados y llenado del *checklist*. Semana 2: Explicación de estándares de calidad. Semana 3 y 4: Evaluación del desempeño del operador durante el proceso de maquinado en presencia de los ingenieros responsables de la capacitación.

## 7. RESULTADOS

El ritmo de la producción se incremento para alcanzar la producción semanal de 32 piezas en vez de las 25 actuales. Esto es, el nuevo *takt time* pasó de 180 min a 156 minutos con una desviación estándar de tan solo 4.12, las tablas 3 y 4 nos muestran los resultados del tiempo de ciclo por máquina y tipo de cabezal.

**Tabla 3: Resultados del tiempo de ciclo para *casing head***

Tiempo de ciclo (min) <i>Casing Head</i>			
MÁQUINA	ANTES	DESPUES	REDUCCIÓN
Torno 1	186.5	140.5	46
Torno 2	204.6	136.3	68.3
Taladro H	226.1	100.5	125.6
Taladro V	84.3	84.3	0

**Tabla 4: Resultados del tiempo de ciclo para *tubing head***

Tiempo de ciclo(min) <i>Tubing Head</i>			
MÁQUINA	ANTES	DESPUES	REDUCCIÓN
Torno 1	207.3	155.1	52.2
Torno 2	190.2	116	74.2
Taladro H	239.3	151.5	138.7
Taladro V	94.8	94.8	0

Las tablas 5 y 6 nos muestran el porcentaje de *takt time Attainment* a cumplir con el nuevo *takt time* de 156 min para cada máquina. El hecho de que no se cumpla con el 100% se debe al tiempo de set up que supera los 156 min en las cuatro máquinas.

**Tabla 5: Resultados del *takt time attainment* para *casing head***

<b><i>Takt time attainment Casing Head</i></b>			
<b>MÁQUINA</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>AUMENTO</b>
<b>Torno 1</b>	12%	96%	84%
<b>Torno 2</b>	17%	96%	79%
<b>Taladro H</b>	4%	96%	92%
<b>Taladro V</b>	94%	96%	2%

**Tabla 6: Resultados del *takt time attainment* para *tubing head***

<b><i>Takt time attainment Tubing Head</i></b>			
<b>MÁQUINA</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>AUMENTO</b>
<b>Torno 1</b>	13%	96%	83%
<b>Torno 2</b>	9%	96%	87%
<b>Taladro H</b>	0%	96%	96%
<b>Taladro V</b>	95%	96%	1%

El objetivo general del proyecto es el aumento del 25% de la producción de cabezales, actualmente se producen 25 cabezales, que pueden ser *casing head* o *tubing head*, dependiendo del plan de producción, el 25% de aumento corresponde a producir 8 piezas por semana, teniendo como meta 32 cabezales por semana. Los resultados para este indicador se aprecian en las tablas 7 y 8.

**Tabla 7: Producción semanal de *casing head***

<b>Producción semanal (piezas) de cabezales <i>Casing Head</i></b>			
<b>MÁQUINA</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>AUMENTO</b>
<b>Torno 1</b>	25	32	8
<b>Torno 2</b>	25	32	8
<b>Taladro H</b>	25	32	8
<b>Taladro V</b>	25	32	8

**Tabla 8: Producción semanal de *tubing head***

<b>Producción semanal de cabezales (piezas) <i>Tubing Head</i></b>			
<b>MÁQUINA</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>AUMENTO</b>
<b>Torno 1</b>	25	32	8
<b>Torno 2</b>	25	32	8
<b>Taladro H</b>	25	32	8
<b>Taladro V</b>	25	32	8

Debido al incumplimiento del *takt time* de 156 min de producción los operadores tenían que trabajar tiempo extra para poder cumplir con la demanda de 32 cabezales por semana, con la implementación de las propuestas, los operadores no tendrán necesidad de laborar horas extra para producir cabezales. Los resultados se pueden observar en la tabla 9.

**Tabla 9: Tiempo invertido en horas extra**

<b>Horas extra por semana en Cabezales</b>			
<b>MÁQUINA</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>REDUCCIÓN</b>
<b>Torno 1</b>	37 hrs.	0 hrs	37 hrs
<b>Torno 2</b>	37 hrs	0 hrs	37 hrs
<b>Taladro H</b>	37 hrs	0 hrs	37 hrs
<b>Taladro V</b>	37 hrs	0 hrs	37 hrs

La tabla 10 nos muestra el WIP semanal en piezas que se tiene entre cada máquina cuando se producen *casing head*.

**Tabla 1 WIP semanal en producción de *casing head***

<b>WIP (piezas) semanal <i>Casing head</i></b>			
<b>MÁQUINA</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>REDUCCIÓN</b>
<b>Torno 1</b>	4	1	3
<b>Torno 2</b>	7	2	5
<b>Taladro H</b>	8	1	7
<b>Taladro V</b>	1	1	0

La tabla 11 nos muestra el WIP en piezas que se tiene entre cada máquina cuando se producen *tubing head*.

**Tabla 2 WIP semanal en producción de *tubing head***

<b>WIP semanal <i>Tubing Head</i></b>			
<b>MÁQUINA</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>REDUCCIÓN</b>
<b>Torno 1</b>	10	8	2
<b>Torno 2</b>	4	2	2
<b>Taladro H</b>	7	1	6
<b>Taladro V</b>	2	1	1

El impacto económico está reflejado en la tabla 12. Se observa observar que el proyectó impacta en un incremento anual de \$798,616 USD en *casing head* y \$1, 126,580 USD en *tubing head*.

**Tabla 3 Impacto económico en utilidad bruta**

<b>PRODUCCIÓN SEMANAL DE 32 CABEZALES</b>	<b>UTILIDAD BRUTA SEMANAL <i>casing head</i></b>	<b>UTILIDAD BRUTA SEMANAL <i>tubing head</i></b>
ANTES	\$54,850.00	\$77,375.00
DESPUES	\$70,208.00	\$99,040.00
	<b>\$15,358.00</b>	<b>\$21,665.00</b>
	<b>\$798,616.00</b>	<b>\$1,126,580.00</b>



Además que se cuenta con un ahorro en el gasto de horas extra que semanalmente eran 36 hrs, y actualmente se eliminan; esto es, se logra un ahorro semanal de \$2,109.00 y 109,668.00 anual.

## CONCLUSIONES

El apego a la metodología DMAIC fue fundamental para darle secuenciación y orden al proyecto de incremento de la producción en de División Oil & Gas. Aunque las metas establecidas fundamentalmente se focalizaron al incremento de la producción, fue muy útil monitorear el indicador *Takt time attainment*, ya que éste indicador denota el desempeño del proceso en términos de su capacidad para operar con mínima variación en sus resultados. A medida que avanzó el proyecto, el *Takt time attainment* fue mejorando significativamente. Las cuatro propuestas de mejora diseñadas e implementadas fueron clave en el logro de la meta de incrementar el 25% la producción; es importante resaltar que una de ellas tuvo un especial significado e impacto en el personal operativo, esta fue, la estandarización de las operaciones ya que ahora tienen una certidumbre y dirección en su quehacer diario, al inicio la resistencia al cambio fue grande puesto que contravenía las prácticas de trabajo de años, pero paulatinamente con el avance del proyecto fue aceptada y hoy se sigue al pie de la letra. Otro punto clave en el desarrollo del proyecto fue el apoyo directivo y gerencial quienes apoyaron y estuvieron pendientes constantemente de los avances y resultado. En suma, los objetivos y metas fueron plenamente alcanzados. Se queda también una nueva forma de trabajar y un camino de mejora continua que aspirar.

## REFERENCES

- Alukal, G., and Manos, A. (2006). *Lean Kaizen: A simplified Approach to Process improvements*, ASQ, Milwaukee.
- Anderse, B., and Fagerhaug, T. (2000). *Root Cause Analysis: Simplified tools and techniques*, ASQ, Milwaukee.
- Bhote, R. (2002). *The Ultimate Six Sigma: Beyond Excellence to total Business Excellence*, Amacom, NY.
- Forrest, W., and Breyfogle III. (2003). *Implementing Six Sigma*, 2th. Edition, Wiley, New Jersey.
- GOAL/QPC. (2002), *Six Sigma Memory Jogger II: A Pocket Guide of Tools for Six Sigma Improvement Teams*. ASQ publisher.
- Harry, M. (1998). Six Sigma: "A Breakthrough Strategy for Profitability," *Quality Progress*. Vol. 31, No. 5, 60-64
- Rath and Strong. (2006). *Six Sigma Pocket Guide*. *Rath and Strong Management Consultants*.

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*