

Impulsando el Pensamiento Estadístico con Seis Sigma

Carlos Abraham Carballo Monsivais^a, Jorge Dominguez Dominguez^b

Email: abraham@cimat.mx

- a. Gerencia en Ingeniería de Calidad, Centro de Investigación en Matemáticas. (CIMAT)*
- b. Grupo de Estadística Aplicada, Centro de Investigación en Matemáticas. (CIMAT)*

Resumen

Los principios del pensamiento estadístico son una herramienta relevante para la enseñanza de la estadística industrial que utilizan los ingenieros en el trabajo que desarrollan en el sector de manufactura. La metodología Seis Sigma tiene importante aplicación en la industria a través de proyectos con alto impacto económico. Existe una relación proactiva entre el pensamiento estadístico y la metodología Seis Sigma que trata de responder a las siguientes preguntas. ¿Qué beneficios ha generado la metodología Seis Sigma para la profesión estadística? ¿Cómo impulsar el uso del pensamiento estadístico en la industria? ¿Cuál es el rol del estadístico industrial en el futuro de la calidad?

Palabras clave: pensamiento estadístico, seis sigma, reducción de la variación.

Driving Statistical Thinking to Six Sigma

Carlos Abraham Carballo Monsivais^a, Jorge Dominguez Dominguez^b

Email: abraham@cimat.mx

- a. Quality Management in Engineering, Mathematics Research Center. (CIMAT)*
- b. Applied Statistics Group, Mathematics Research Center. (CIMAT)*

Abstract

The principles of statistical thinking are a force for education industrial statistics engineers working in the field manufacturing. The Six Sigma methodology has wide application in industry through projects with high economic impact. There is a relationship proactive between statistical thinking and Six Sigma methodology leads to answer the following questions. What benefits has led to the Six Sigma methodology for the profession Statistics? How to boost the use of statistical thinking in industry? What is the role of industrial statistics in the future of quality?

Key words: statistical thinking, six sigma, reducing variation.

1. Introducción

Aportaciones importantes se llevaron a cabo para el desarrollo de la estadística industrial: distribución t (Gosset, 1908), diseños de experimentos (Fisher, 1926), gráficos de control (Shewart, 1931), metodología de superficie de respuesta (Box & Wilson, 1951), muestreo de aceptación (Dodge & Romig, 1959), ingeniería de calidad (Taguchi 1986), diseño robusto (Taguchi, 1987), entre otras. Años más tarde se define el pensamiento estadístico, como una filosofía de aprendizaje y acción. Las personas se relacionan con información del proceso (aprendizaje), en base a la información toman decisiones (acción) para responder al problema. El pensamiento estadístico se basa en tres principios esenciales: a) Todo trabajo ocurre en un sistema de procesos interconectados, b) La variación existe en todos los procesos y c) La clave del éxito se alcanza comprendiendo y reduciendo la variación del proceso. (Statistical Division, 1996). Este pensamiento ha logrado adoptarse con mayor proporción en el ámbito industrial por medio de la aplicación de estadística industrial que los ingenieros realizan en los procesos. Este despliegue en parte, se debe a la gran aceptación de la metodología Seis Sigma como una estrategia para abordar problemas y resolverlos. El enfoque Seis Sigma fue originalmente propuesto por Motorola en 1987.

Seis Sigma es una estrategia para mejorar el negocio que ayuda a eliminar las causas raíz o no conformidades (defectos o defectuosos) del proceso. (Harry & Schroeder, 2000) Seis Sigma en términos estadísticos se traslada en una métrica sigma equivalente a 3,4 defectos por millón de oportunidades. El enfoque Seis Sigma enfatiza entender y documentar el proceso, desarrollo de métricas, recolección de datos y reducción de la variación. Esta metodología usa el proceso DMAMC que consiste de cinco fases (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) con enfoque sistémico. El objetivo principal de Seis Sigma es incrementar la satisfacción del cliente con un impacto positivo en beneficios al negocio. Una definición es un sistema amplio y flexible para alcanzar, sostener y maximizar los éxitos del negocio, Seis Sigma es dirigido por el conocimiento cercano de las necesidades de los clientes, el uso disciplinado de datos, información y análisis estadístico, con una diligente atención para manejar, mejorar y reinventar los procesos del negocio (CIMAT, 2000) Ambas estrategias pensamiento estadístico y seis sigma tienen un enfoque proactivo con concentración sobre la reducción de la variación del proceso.

Sin embargo, a pesar de estos indicios parece que el número de estadísticos que se dedican a la estadística industrial es un número reducido en comparación con la demanda que se requiere de las necesidades de la industria. (Lindsay, 2002)

Tabla 1. Dedicación de la Profesión Estadística

Estadística	49%
Bioestadística	23%
Industria	6%
Ciencias Matemáticas	5%
Matemáticas	4%
Otros	13%

2. Métodos

Hay muchos casos de cooperación entre la Universidad e Industria desde inicios de los años 90 (Snee, 1984). En México, el CIMAT (Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.) ha tenido un trabajo muy fuerte en vinculación con la industria de manera formal, a principios del 2000 con un modelo de vinculación (CIMAT, 2010) que ha dado resultados aceptables. Dentro de esta estructura existe una Gerencia en Ingeniería de Calidad que ha realizado proyectos en la industria de diversa índole. Se ha trabajado en entrenamiento Seis Sigma desde hace 10 años. Actualmente se tiene un programa de entrenamiento con la siguiente estructura:

Figura 1. Estructura de Entrenamiento Black Belt Seis Sigma

CONTENIDO	Horas de capacitación			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
MODULO 1 : DEFINIR Y MEDIR Se exploran a profundidad las primeras dos fases del DMAIC, Definir y Medir, se aprende como validar y definir el alcance de un proyecto de mejora, enlazando los requerimientos del cliente y del negocio (las "Xs").	40			
MODULO 2: ANALISIS Se analizan las herramientas y técnicas asociadas con la siguiente fase del DMAIC, Analizar. Se definen las variables que afectan el proceso (las "Y s"). Se definen las causas potenciales de la variación, aplicando métodos estadísticos. Se presentara una variedad de herramientas técnicas para interpretar el comportamiento de los datos, para comparar los mismos, determinar causas raíz y determinar fuentes de variación.		40		
MODULO 3: ANALISIS II (DOE) Se analizan herramientas estadísticas necesarias en la fase de Analizar de la metodología, para los Black Belt de Manufactura.			40	
MODULO 4: MEJORA Y CONTROL Se cubren las últimas dos fases de la metodología, Mejora y Control. Se generan y avalúan ideas para eliminar las causas raíz de defectos.				40

El entrenamiento se lleva a cabo con 160 horas de instrucción, organizados en 4 módulos, impartiendo un modulo cada mes. (Ver Figura 1). Durante el entrenamiento los participantes desarrollan un proyecto Seis Sigma dentro de su empresa, con la asesoría de los Master Black Belt de CIMAT. Al término del entrenamiento los participantes tienen asesoría telefónica, y por correo, tienen un tiempo límite de dos meses más para concluir sus proyectos.

Dentro del entrenamiento se incorporan las ideas del pensamiento estadístico, todas las herramientas estadísticas que se enseñan se desarrollan desde un punto de vista aplicado apoyado en software estadístico como Minitab o Statgraphics. Algunas de las herramientas estadísticas y no estadísticas que se fomentan dentro del entrenamiento de Seis Sigma se resumen en la Tabla 2. Es notorio que para este tipo de programas también se requiere la formación de competencias no estadísticas. La mayoría de los entrenamientos se ejecutan en planta, lo que permite una interacción más cercana entre los candidatos a Black Belt y los instructores. Hay facilidad de realizar un recorrido a la planta, conocer sus procesos y sus problemas, así como sus objetivos estratégicos. De la misma manera se realizan un monitoreo de los proyectos seis sigma y presentación de todos los proyectos para fines de recomendaciones y retroalimentación.

Tabla 2. Herramientas Estadísticas y No Estadísticas en Seis Sigma

<i>Herramientas Estadísticas</i>	<i>Herramientas No Estadísticas</i>
Probabilidad y Estadística Básica	Administración de Proyectos
Teorema del Limite Central	Team Charter
Análisis de Datos Exploratorios	Mapeo de Procesos
Pruebas de Hipótesis	QFD
Análisis de Sistemas de Medición	Equipo Eficaz
Diseño de Experimentos	Administración de la Medición
Metodología de Superficie de Respuesta	Métricas del Proceso
Calculo Sigma	Herramientas Básicas de la Calidad
Operación Evolutiva	Diseño para Seis Sigma
Tolerancias Estadísticas	Pensamiento Creativo
Muestreo Estadístico	Diagrama de Árbol y Por que, por que
Regresión, Anova	Administración del cambio
Diseño Robusto	Seis Sombreros para pensar
Control Estadístico del Proceso	Plan de control
Estadística No Paramétrica	Herramientas Lean
Pensamiento Estadístico	AMEF

La experiencia de los profesionales en estadística como instructor y guía de proyectos en Seis Sigma es muy significativa debido a que ayuda a aprender nuevas habilidades no estadísticas, lograr un visión de negocios, mejorar habilidades de comunicación, fomentar el trabajo en equipo y compartir el pensamiento estadístico con ingenieros de planta. En la literatura hay sugerencias del rol de un estadístico industrial y como incorporar el pensamiento estadístico para impactos positivos en la industria.

Hahn (2002) comenta sobre la destreza que debe de tener un estadístico proactivo, y algunas reflexiones del impacto en la estadística industrial. Snee (1995 y 1999) discute como desplegar el pensamiento estadístico en las empresas, Hahn y Hoerl (1998) hablan de los cambios claves en la industria que fomentan la labor estadística. Hoerl y otros (1993) discuten sobre las habilidades que un estadístico industrial debe desarrollar y fomentar en las organizaciones actuales.

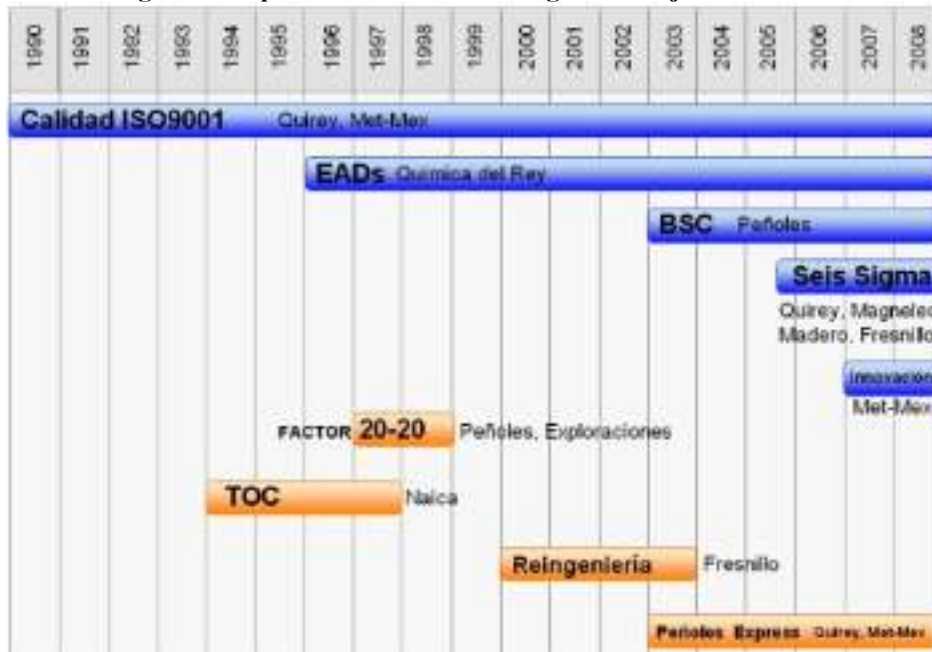
Todas estas experiencias permiten tener una visión amplia y ofrecen una pauta para desarrollar programas especiales para las empresas. En el marco de estas experiencias hace tres años nos contacto una empresa de la industria minera, con la finalidad de iniciar un programa de implementación en Seis Sigma. La primera etapa consistió de un entrenamiento Seis Sigma orientada a la formación de Green Belt. Para este caso el tiempo de entrenamiento tiene una modalidad de tres semanas. La empresa es Química del Rey Peñoles, ubicada en Laguna del Rey, Coahuila. En la fase inicial, nos familiarizamos con los procesos mineros, se considero iniciar el entrenamiento en el nivel operativo del negocio. Se entrenaron 22 participantes y se desarrollaron 15 proyectos en diversos procesos de la planta. En este programa de capacitación Peñoles contaba con un equipo interno de 5 Black Belt, estos impulsaron los proyectos Seis Sigma. A la vez estos ingenieros trabajaron de manera conjunta con los Master Black Belt del CIMAT. Al siguiente año se realizó otro programa de capacitación de Green Belt en donde participaron minas de todo el corporativo de diferentes estados de México, en esta ocasión se contempló el nivel táctico. Debido a los resultados de los

dos años de capacitación e implementación en Green Belt, se creó un departamento de mejora continua para todo el corporativo y estamos trabajando el nivel estratégico, actualmente éste está en función.

3. Ejemplo

Industria Peñoles S.A. de C.V. opera seis minas de metales básicos y tres de metales preciosos. En todo Peñoles se desarrollan proyectos de mejora para optimizar los procesos e incrementar su rentabilidad. Para garantizar la ejecución exitosa de estos proyectos es necesario desarrollar las capacidades de sus profesionistas y tener una cultura de trabajo en equipo direccionada a las necesidades de sus clientes externos e internos. Industria Peñoles ha utilizado diversas filosofías de trabajo y de mejora en sus operaciones como: Calidad e ISO 9001, Balanced Scorecard, Factor 20-20, Teoría de Restricciones, Reingeniería, Peñoles Express (Ver Figura 2). Por estas razones se decide implementar la metodología Seis Sigma.

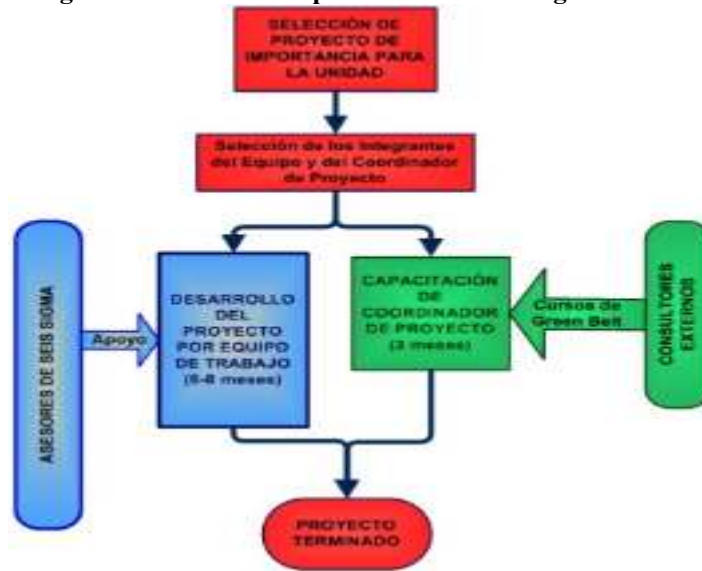
Figura 2. Implementación de Estrategias de Mejora en Peñoles



El modelo de implementación de Peñoles se muestra en la Figura 3, este modelo inicia con una selección de los proyectos Seis Sigma, la selección del proyecto la realiza un patrocinador de una mina y está en función de dos elementos: impacto operativo del proyecto en la mina y beneficios económicos del cliente-negocio. Segundo se selecciona un equipo y un coordinador del proyecto. El coordinador del proyecto recibe el entrenamiento Green Belt por parte de los consultores del CIMAT. El entrenamiento se lleva a cabo durante 3 meses y además se brinda asesoría a lo largo del programa de capacitación. Al término del entrenamiento los asesores internos de Peñoles apoyan los proyectos Seis Sigma durante toda la implementación del proceso DMAMC (Definir,

Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Generalmente en el sector minero un proyecto demora de 6 a 8 meses para su conclusión.

Figura 3. Modelo de Implementación Seis Sigma Peñoles



Por ejemplo: Uno de los proyectos realizados en la mina de cobre de Madero, donde el objetivo es incrementar la recuperación del cobre en el circuito Pb-Cu, rompió el paradigma en toda la mina donde se pensaba de ciertas leyes en el sector minero. Por mucho tiempo la mina trabajo con los procedimientos tradicionales sin lograr incrementar las toneladas de producción del cobre. Al término del proyecto se obtuvieron los siguientes resultados en la recuperación del cobre. Figura 4.

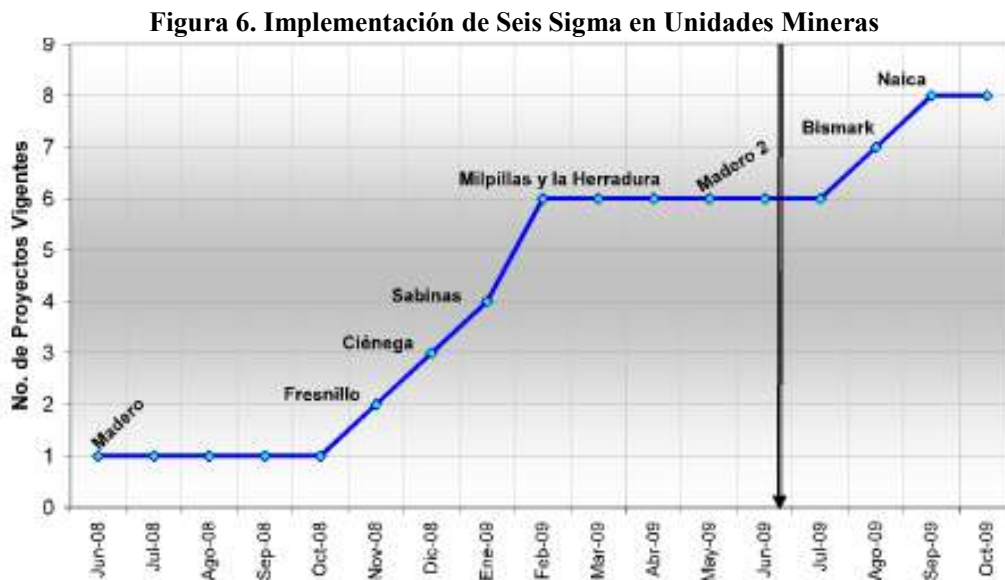
Figura 4. Incremento en la Recuperación Global de Recuperación de CU



Durante el 2009, en la implementación a nivel táctico (en todas las minas de Peñoles). Se entrenaron 22 participantes y se desarrollaron 10 proyectos, de los cuales se presenta un resumen de monitoreo y resultado económico a Junio del 2009 de seis proyectos en minas. (Figura 5). Los proyectos restantes también concluyeron hasta diciembre del 2009. (Torres, 2009). Durante el 2009 se lograron beneficios económicos arriba de 8, 000,000.00 millones de dólares con solo estos seis proyectos.



Se pretende seguir la implementación de Seis Sigma a nivel táctico (Ver Figura 6), posteriormente a nivel estratégico. Se continuará entrenando al personal de las diferentes minas, hay planes para el 2010 de agregar la metodología Lean Seis Sigma, para desarrollar otros proyectos en el sector minero con este enfoque.



4. Discusión

Algunos de los beneficios que ha dejado metodologías como Seis Sigma para la profesión estadística son: uso de herramientas estadísticas en proyectos de alto impacto, necesidad de expertos en estadística para consultoría, profesionales estadísticos impartiendo entrenamiento, incremento de la cultura estadística y aplicación del pensamiento estadístico, recursos propios o beneficios para el lugar de trabajo, oportunidades laborales de profesionales en estadística para la industria, en algunos casos publicaciones en revistas científicas.

El impulso del pensamiento estadístico en la industria, se lleva de la mano, con la implementación de la metodología Seis Sigma, hay muchos casos de mini-proyectos donde no requieren desarrollar todo el proceso DMAMC, y son casos en donde con herramientas del pensamiento estadístico como análisis de datos exploratorio es suficiente para resolver la problemática. El pensamiento estadístico debe de adoptarse como una cultura en el negocio en los tres niveles estratégico, táctico y operativo. El pensamiento estadístico ayuda a romper paradigmas de cómo los procesos funcionan dentro de la empresa.

En el 2008 se realizó un panel sobre el futuro de la estadística industrial (Steinberg, 2008) con una discusión interesante. Sin embargo, concentraremos la discusión sobre el futuro del estadístico industrial relacionado con el futuro de la calidad. Para los próximos 10 años tendremos 7 fuerzas claves:

- Globalización. Debido a este factor los problemas de variabilidad se volverán más complejos, habrá una necesidad fuerte de estadísticos industriales para resolverlos. Los estadísticos industriales tengan que hablar inglés, mandarín y su idioma natal, además de meter la manos en la competencia global.
- Responsabilidad Social. Las empresas tienen una tendencia muy fuerte hacia el planeta, la vida y lo que se puede hacer por la sociedad, en ese sentido se necesitan nuevas metodologías para analizar datos relacionados en como afectamos al planeta, como van cambiando los comportamientos sociales, los estadísticos industriales tendrán que tener más conciencia sobre estos enfoques y trabajar en proyectos que dejen un beneficio a la sociedad.
- Nuevas Dimensiones de la Calidad. El mundo está cambiando de manera muy acelerada, los consumidores buscan cada vez necesidades más sofisticadas, se están desarrollando nuevos mercados. El área de confiabilidad tendrá un crecimiento fuerte, las empresas necesitan concentrarse más en las fases de diseño de proceso y del producto. Los estadísticos industriales deberán de liderar este campo. También tenemos una oportunidad de trabajar en estándares mundiales relacionados con el comité TAG 69 sobre aplicaciones de métodos estadísticos.
- Crecimiento de la Población. Nos encontramos en tiempos difíciles, cada vez más la población mundial está creciendo y tenemos problemas muy fuertes en cadenas de suministro de los alimentos, además la evolución de la medicina ha permitido que el promedio de vida sea más longevo. Necesitamos que algunos estadísticos se concentren en mejorar procesos del sector de alimentos, buscar nuevas fuentes de alimentación para la humanidad.

- Salud. Cada vez más el sector salud tiene necesidades, de mejorar sus procesos, su servicio, medicamentos, técnicas en tratamientos para asegurar el bienestar mundial. Están emergiendo nuevas facetas como biotecnología y nanotecnología, el área de bioestadística seguirá en crecimiento. Tendremos oportunidades laborales como estadísticos para resolver problemas retadores en el sector salud.
- Aspectos Ambientales. El cambio climático es un tema de interés mundial, necesitamos nuevos métodos estadísticos para analizar gran cantidad de datos que se generan sobre estos fenómenos y realizar propuestas para implementar esquemas que permitan monitorear, controlar y reducir los efectos que producimos al ambiente.
- Tecnologías del Siglo 21. La tecnología va en aumento, áreas como: aprendizaje estadístico, data mining, computo estadístico, control estadístico multivariado, entre otras. Se requieren algoritmos de software que puedan ser manejados por ingenieros en las líneas de producción. El crecimiento de las tecnologías favorece el desarrollo de nuevas metodologías para analizar grandes cantidades de datos, estas son necesidades para las futuras generaciones de estadísticos.

5. Referencias

- [1] Box, G. E. P. and Wilson, K.B.. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, 13:1-45.
- [2] CIMAT, (2000). *Material de Entrenamiento Black Belt Seis Sigma*, Guanajuato, México.
- [3] CIMAT A.C. (2010). Modelo de Vinculación. Consultado Junio 2010, desde página principal de CIMAT: <http://www.cimat.mx/index.php?m=55>
- [4] Dodge H F, Romig H G (1959). *Sampling Inspection Tables*. New York: John Wiley.
- [5] Fisher, R.A. (1926). The Arrangement of Field Experiments. *Journal of the Ministry of Agriculture of Great Britain*, 33:503-513.
- [6] Gosset, W.S. (1908). The Probable Error of a Mean. *Biometrika*, 5:351-360.
- [7] Hahn, Gerald J. (2002). Deming and the Proactive Statistician. *The American Statistician*, 56:290-298.
- [8] Hahn, Gerald J. (1995). Deming's Impact on Industrial Statistics: Some Reflections. *The American Statistician*, 49:336-341.
- [9] Hahn, Gerry & Hoerl, Roger (1998). Key Challenges for Statisticians in Business and Industry, *Technometrics*, 40:195-200.
- [10] Lindsay, Bruce, et. al. (2002). A Report on the Future of Statistics. *Statistical Science*, 19:387-407.
- [11] Shewhart, W.A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. Milwaukee, WI: Quality Press.
- [12] Snee, Ronald. (1984). Cooperation Between University and Industry Statisticians. *The American Statistician*, 38:15-20.
- [13] Snee, Ronald D. (1999). Development and use of Statistical Thinking: A New Era, *International Statistical Review*, 67:255-258.
- [14] Statistics Division of the American Society for Quality. (1996). *Glossary and tables for statistical quality control*, Milwaukee, WI: Quality Press.
- [15] Steinberg, David (2008). The future of Industrial Statistics: A Panel Discussion, *Technometrics*, 50:103-126.
- [16] Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering*. Tokyo, Asian Productivity Organization.

-
- [17] Taguchi, G. (1987). System of Experiments Desing. Vol 1 and 2. White Plains, N.Y, Quality Resources, and Dearborn, MI, Ameriocan Supplier Institute.
- [18] Torres O. Jorge (2009). Uso de la Metodología Seis Sigma en las Minas Peñoles, *XXVII Convención Minera Internacional*, 573-581.