



universidad
de león

Metodología para la integración de Seis Sigma y Lean en una empresa PyME:

Un enfoque participativo entre la academia y
las PyMEs Tamaulipecas.

Tesis Doctoral

Por: Edgar Barbosa S.

Directores:

Dr. Santos Gracia V.

Dra. Cristina Hidalgo G.

Dr. Luis Dzul L.



León, 2012



Universidad
de León



Universidad
Tecnológica
de Panamá



Doctorado interuniversitario

Tesis Doctoral

Título:

Metodología para la integración de Lean y Seis Sigma: Un enfoque participativo entre la academia y las PyMEs Tamaulipecas.

Por:

Edgar Alejandro Barbosa Saucedo.

Directores:

Dr. Santos Gracia Villar.

Dra. Cristina Hidalgo Gonzalez.

Dr. Luis Dzul López.

Agradecimientos

Agradezco al Lic. Hector Nuñez y al Ing. Tomas Zapata por su apoyo en la realización de mis estudios de doctorado.

A mi familia y seres queridos.

Al mis directores de tesis, el Dr. Santos Gracia, Dr. Luis Dzul y la Dra. Hidalgo, por su asesoría a lo largo de mi trabajo.

Resumen

La presente investigación parte de la necesidad de las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) del estado Mexicano de Tamaulipas de incrementar su competitividad a través de nuevas estrategias que les permitan a medida de sus posibilidades realizar mejoras en sus procesos y generar el valor que sus clientes están buscando. Seis Sigma y Lean (Manufactura Esbelta) son estrategias aplicadas en organizaciones que en su mayoría son grandes y cuentan con recursos, sistemas y una visión para implementarlas, sin embargo en este trabajo se involucran a las universidades para acercar el conocimiento y las mejores prácticas de estas metodologías y adaptarlas a las PyMEs Tamaulipecas que no las conocen o simplemente no las aplican.

Dentro de la investigación no se ha encontrado evidencia científica de la aplicación de estas metodologías en las PyMEs Tamaulipecas, exceptuando lo publicado por Barbosa et al. (2011) que señala que en estas empresas Tamaulipecas se conoce lo que es ISO9000, los conceptos, las herramientas de calidad y mejora continua pero no se aplica lean o seis sigma, y mucho menos se tiene un enfoque de integración. Dado esto, se ha planteado como uno de los objetivos en esta investigación la unión de estas estrategias, para ello se analizaron por separado sus conceptos, principios, fases y herramientas. Posteriormente se hicieron comparativos para detectar similitudes, fortalezas, debilidades y áreas de oportunidad de las mismas. Para poder proponer una metodología práctica y aplicable que integre Lean y Seis Sigma ha sido necesario conocer el estado general que guardan las PyMEs Mexicanas, y en específico las Tamaulipecas, esto se complementa con la referencia que se hace en este trabajo sobre empresas que han utilizado Lean o Seis Sigma en otras regiones o países.

La vinculación de las PyMEs con las instituciones académicas ha sido clave para la primera aplicación de la metodología, debido a que ésta última hace posible que se den entre otras cosas el entrenamiento, el trabajo en equipo y el seguimiento dentro de un proyecto. Esta vinculación acarrió la necesidad de elegir una universidad y su respectivo programa de estudio, siendo la elegida el Tecnológico de Monterrey Campus Tampico (ITESM), misma que forma parte de un sistema universitario de prestigio y presencia en el municipio Tamaulipeco de Altamira y que cuenta en su oferta académica con estudiantes y profesores consultores dentro del programa de Ingeniería industrial y de sistemas, cuyos conocimientos y experiencias son idóneos para una primera aplicación de esta propuesta. A partir de esta vinculación entre el ITESM y las PyMEs se presentó mediante el método de casos los pasos para la primera aplicación de la propuesta en 4 PyMEs Tamaulipecas, obteniéndose resultados tanto cualitativos como cuantitativos.

Se concluye que dadas las hipótesis planteadas en esta investigación “Lean y Seis Sigma podían complementarse y adaptarse a las necesidades de las PyMEs Tamaulipecas, permitiendo hacer proyectos con resultados positivos, medibles y prioritarios para las organizaciones. Todo lo anterior con la vinculación directa de instituciones universitarias como el ITESM que potencian y acelera los resultados en la aplicación de la metodología integrada propuesta”.

Abstract

This research is derived from the need of small and medium enterprises (SMEs) in the state of Tamaulipas to improve their competitiveness through new strategies that allow them to carry out improvements in their processes and to generate the value that its customers are looking for, within their possibilities.

Strategies such as six Sigma and Lean manufacturing are applied in organizations that are mostly of a large size and with the resources, systems and vision to implement them; however this paper seeks to involve universities in order to bring the knowledge and best practices of these methodologies to disadvantaged businesses such as SMEs.

To meet the objectives proposed an analysis of the two methodologies was done; allowing an in depth assessment of their concepts, principles, phases and tools. Subsequently a comparison of similarities, strengths, weaknesses and areas of opportunity was carried out between them.

Research indicates the general conditions of interest of Mexican SMEs in the state of Tamaulipas and shows cases in which methodologies as those proposed here have been used. Also, the academic curricula of colleges offering industrial engineering degrees were analyzed, making a comparison between the subjects included and those that are present in the training of experts who use Lean as well as Six Sigma.

It was possible to propose a methodology that combines Lean and Six Sigma in a scheme that includes university participation such as the Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). As a research method four study cases in SMEs were developed to implement the proposed methodology, getting both qualitative and quantitative results. Afterwards their follows a description of the steps needed to implement the integrated methodology; this implementation is focused in general terms, not specifically on a service or manufacturing organization, so that when applied it will have to adapt to the type and characteristics of the SME in question.

We conclude that given the assumptions made in this investigation, *“Lean and Six Sigma can be complemented and adapted the way that fits the needs of a SME in Tamaulipas, allowing them to carry out projects with results that are positive, measurable and of a high priority for the organization. All of this can be attained with the direct participation of universities such as ITESM that can enhance and accelerate the results obtained from the application of the methodology”*.

INDICES

Índice.....	IV
Relación de Tablas.....	VII
Relación de figuras.....	VIII
Glosario.....	IX

INDICE

Capítulo 1. Introducción

1.0	Introducción.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Definición del problema, objetivo de investigación y justificación.....	2
1.3	Hipótesis.....	4
1.4	Objetivos.....	5
	1.4.1 Objetivo general	
	1.4.2 Objetivos específicos	

Capítulo 2. Marco teórico

2.1	Calidad.....	6
	2.1.1 Breve revisión de la calidad.....	6
	2.1.2 Los costos de la calidad.....	9
	2.1.3 Sistemas de gestión de la calidad.....	12
	2.1.4 La norma ISO9000.....	13
2.2	Seis Sigma.....	16
	2.2.1 Como se representa Seis Sigma de manera gráfica.....	17
	2.2.2 Breve historia de Seis Sigma.....	18
	2.2.3 Actores principales en proyectos de Seis Sigma.....	19
	2.2.4 Algunos beneficios de la aplicación de Seis Sigma.....	21
	2.2.4.1 Beneficios de Seis Sigma y su aplicación en PyMEs.....	21
	2.2.5 Metodología de proyectos Seis Sigma.....	24
	2.2.6 Conclusiones.....	28
2.3	Manufactura Esbelta (Lean manufacturing).....	28
	2.3.1 Breve historia de sus inicios.....	28
	2.3.2 Principios fundamentales de Lean.....	29
	2.3.3 Los 7 desperdicios.....	30
	2.3.4 Técnicas o herramientas.....	31
	2.3.5 Beneficios.....	32
	2.3.6 Metodología de implementación.....	33
	2.3.7 Conclusión.....	36
2.4	Las PyMEs como organización.....	36
	2.4.1 Importancia de las PyMEs.....	36
	2.4.2 Características de las PyMEs Mexicanas en números.....	40
	2.4.3 Perfil de las PyMEs en México.....	46
	2.4.4 Las funciones de las PyMEs.....	47
	2.4.5 Las PyMEs en Tamaulipas.....	48

Capítulo 3. La sinergia entre Manufactura Esbelta, Seis Sigma y la participación universitaria.

3.1	Introducción.....	50
3.2	Inicios y contrastes entre metodologías.....	50

3.3	Diversos planteamientos en el uso de Lean Seis Sigma.....	57
3.4	Metodología de implementación para empresa tipo PyME.....	65
3.5	Lean Seis Sigma con enfoque participativo PyME-Universidad.....	70
	3.5.1 Una mirada a la situación actual.....	70
	3.5.2 Trabajo participativo entre el sector empresarial y la universidad.....	72
	3.5.2.1 El Tecnológico de Monterrey como institución.	72
	3.5.2.2 La curricula del ingeniero industrial y su relación con Lean y Seis Sigma.....	73
	3.5.2.3 Estrategias de vinculación usadas en el Tecnológico de Monterrey.....	92

Capítulo 4. Metodología para la integración de Lean y Seis Sigmas en PyMEs Tamaulipecas: La intervención de instituciones universitarias.

4.1	Introducción.....	94
4.2	Factores críticos observados en el desarrollo de la metodología.....	94
4.3	Actores y sus roles dentro de la metodología propuesta de Lean Seis Sigma	96
	4.3.1 Empresas PyME.....	96
	4.3.1.1 Importancia.....	96
	4.3.1.2 Rol de los participantes en la metodología.....	96
	4.3.2 Institución universitaria.....	97
	4.3.2.1 Importancia.....	97
	4.3.2.2 Rol de los participantes en la metodología.....	97
4.4	Metodología para la integración de Lean y Seis Sigma en PyMEs Tamaulipecas: Un enfoque participativo con el ITESM.....	98
	4.4.1 Diagnóstico.....	98
	4.4.2 Planeación y proyección.....	99
	4.4.3 Definición detallada.....	101
	4.4.4 Traducción.....	103
	4.4.5 Análisis.....	106
	4.4.6 Estado futuro.....	108
	4.4.7 Estandarización y sesión.....	110
4.5	Diagrama de la metodología.....	112

Capítulo 5. Metodología de investigación, cuestionarios y resultados.

5.1	Introducción.....	114
5.2	El estudio de casos.....	114
	5.2.1 Porque de la elección de un estudio de casos.....	115
	5.2.2 Fases para realizar el estudio de casos.....	117
	5.2.3 Cuestionarios.....	118
5.3	La selección de las empresas.....	119
5.4	Muestras y análisis de datos.....	119
5.5	Casos de proyectos en las empresas	
	5.5.1 Caso de estudios 1.....	120
	5.5.2 Caso de estudios 2.....	126

5.5.3 Caso de estudios 3.....	133
5.5.4 Caso de estudios 4.....	139
5.6 Resultados del cuestionario de evaluación sobre la ejecución de proyectos aplicado a miembros de equipo de la empresa y representantes de proyectos	146
5.6.1 Claves utilizadas en los reportes de resultados.....	146
5.6.2 Resultados de la etapa I.....	146
5.6.3 Resultados de la etapa II.....	147
5.6.4 Resultados de la etapa III.....	148
5.6.5 Resultados de la etapa IV.....	149
5.6.6 Resultados de la etapa V.....	150
5.6.7 Resultados de la etapa VI.....	151
5.6.8 Resultados de la etapa VII.....	152
5.6.9 Resultados a preguntas en relación a la metodología.....	153
5.6.10 Gráficas de resultados de cuestionarios por etapa.....	154
5.7 Conclusiones de los casos de estudio.....	163
5.8 Conclusión del capítulo.....	164
Capítulo 6. Conclusiones.....	165
6.1 Líneas futuras de investigación.....	169
Bibliografía referenciada.....	170
Anexos.....	178
Anexo I. Formatos resumidos de proyectos (casos de estudio).....	178
Anexo II. Guía para la puesta en práctica de proyectos tipo Seis Sigma en las PyMEs	187
Anexo III. Formatos y procedimientos para el desarrollo de la metodología Lean Seis Sigma en las PyMEs	307

Relación de Tablas

Numero	Título de tabla	Apartado	Pag.
1	Comparación conceptual de la calidad.	2.1.1	7
2	Complemento de Seis Sigma con los principios de ISO 9000:2005.	2.1.4	15
3	Nivel de Sigma.	2.2	16
4	Herramientas usadas por las PyMEs Tamaulipecas.	2.2.4.1	22
5	Porcentaje de uso de las herramientas de Seis Sigma en PyMEs.	2.2.4.1	24
6	Tipos de desperdicio.	2.3.3	30
7	Técnicas en Manufactura Esbelta.	2.3.4	31
8	Clasificación de empresas de acuerdo a tamaño.	2.4.1	36
9	División de empresa de acuerdo a personal y ventas anuales.	2.4.1	37
10	Formación completada dividida por sexo.	2.4.2	41
11	Porcentaje de empresas que invierten divididas por áreas y sectores.	2.4.2	43
12	Porcentaje de destinos de inversión en las PyMEs.	2.4.2	44
13	Porcentaje de inversión por sector y tema.	2.4.2	44
14	Valores y actitudes de la PyME Mexicana (Anzola, 1993;Rodriguez ,1999).	2.4.3	46
15	Sinergia de Seis Sigma y <i>Lean Manufacturing</i> .	3.2	52
16	Técnicas y herramientas de Lean y Seis Sigma.	3.2	53
17	Diferencia de enfoque Lean y Seis Sigma.	3.2	54
18	Debilidades de Lean y Seis Sigma.	3.2	54
19	Razones para que Lean y Seis Sigma se complementen.	3.2	55
20	Causa de variación y desperdicios.	3.2	56
21	Herramientas diferentes por área en Seis Sigma y Lean.	3.2	57
22	Modelo de capacitación en Lean y Seis Sigma de Entegris	3.3	65
23	Fortalezas y debilidades de las PyMEs (Antony et al 2008c).	3.4	69
24	Barreras para implementar proyectos Seis Sigma en las PyMEs.	3.4	70
25	Curricula del ingeniero industrial del ITESM.	3.5.2.2	75
26	Comparativo del plan de estudios de ingeniería Industrial del ITESM y programas de capacitación de Seis Sigma y Lean.	3.5.2.2	80
27	Sedes de tecnológicos regionales en México.	3.5.2.2	90
28	Factores críticos observados en el desarrollo de la metodología.	4.2	95
29	Criterios para el estudio de casos.	5.2.1	116
30	Resultados de la etapa 1: Diagnóstico.	5.6.2	146
31	Resultados de la etapa 2: Planeación y proyección.	5.6.3	147
32	Resultados de la etapa 3: Definición detallada.	5.6.4	148
33	Resultados de la etapa 4: Traducción.	5.6.5	149
34	Resultados de la etapa 5: Análisis.	5.6.6	150
35	Resultados de la etapa 6: Estado futuro.	5.6.7	151
36	Resultados de la etapa 7: Estandarización y sesión.	5.6.8	152
37	Preguntas en relación a la metodología.	5.6.9	153

Relación de Figuras

Numero	Título de figura	Apartado	Pag.
1	Evolución de la calidad.	2.1.1	7
2	Modelo del ISO9001.	2.1.4	14
3	Variabilidad y Seis Sigma	2.2.1	17
4	Medición del nivel de Sigma.	2.2.1	18
5	Etapa de definición.	2.2.5	25
6	Etapa de medición.	2.2.5	26
7	Etapa de análisis.	2.2.5	26
8	Etapa de incremento.	2.2.5	27
9	Etapa de control.	2.2.5	27
10	Metodología de Manufactura Esbelta (MIT,2000).	2.3.6	33
11	<i>Enterprise Lean Model</i> (IMT,2004).	2.3.6	34
12	El Lean Production System.	2.3.6	35
13	División de empresas de acuerdo a su sector.	2.4.1	37
14	Porcentaje de empresas afiliadas a organismos por sector.	2.4.2	41
15	Porcentaje de empleados por nivel educativo alcanzado en cada sector.	2.4.2	42
16	Porcentaje de personal capacitado por tipo de personal.	2.4.2	43
17	Porcentaje de empresas con inversión (mayor, menor o igual) por sector.	2.4.2	44
18	Porcentaje de empresas con alguna certificación.	2.4.2	45
19	Porcentaje de empresas que utilizan herramientas de calidad o mejora.	2.4.2	45
20	Mapa del estado de Tamaulipas.	2.4.5	48
21	Porcentajes de participación del PIB del estado de Tamaulipas por sector.	2.4.5	49
22	Evolución paralela de Seis Sigma/Lean.	3.2	51
23	Nivel Sigma comparado con el número de pasos en el proceso.	3.2	55
24	Modelo Lean Sigma (Srikantaiah, 2008).	3.3	60
25	Modelo AIT Group.	3.3	62
26	Integración de Lean Sigma en el AIT group.	3.3	62
27	Modelo Lean Sigma de Seagate.	3.3	64
28	Modelo de implantación Lean Sigma para compañías pequeñas.	3.4	66
29	Sedes y oficinas del ITESM en el mundo.	3.5.2.1	72
30	Campus del ITESM en la república Mexicana.	3.5.2.1	73
31	Curricula de ingeniería industrial versión 2004 para tecnológicos regionales.	3.5.2.2	89
32	Esquema de la metodología Lean Sigma en PyMEs con participación académica.	4.5	113
33	Grafica comparativa de cada proyecto dividido por etapas.	5.6.10	155
34	Gráfica de resultados por empresa en cada pregunta de la etapa 1.	5.6.10	156
35	Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta de la etapa 2.	5.6.10	157
36	Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta de la etapa 3.	5.6.10	157
37	Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta de la etapa 4.	5.6.10	158
38	Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta de la etapa 5.	5.6.10	159
39	Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta de la etapa 6.	5.6.10	159
40	Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta de la etapa 7.	5.6.10	160
41	Resultados de opinión sobre la metodología aplicada.	5.6.10	161

Glosario de Términos

PyME: Pequeña y mediana empresa.
ISO: International Standard Organization.
ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
OTAN: Organización del tratado atlántico norte.
EFQM: Modelo de Calidad Europeo.
PNC: Premio nacional a la calidad en México.
CEO: (Chief executive officer). Director General de la empresa.
FODA: Fuerzas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas.
QFD: (Quality function Deployment). Despliegue de la función de calidad.
FCE: Factores críticos de éxito.
MSA: (Measurement system analysis). Análisis de sistema de medición.
AMEF: Análisis de modo y efecto de falla.
DMAIC: Definición, Medición, Análisis, incremento, control.
PDCA: (Plan-Do-Check-Act). Ciclo de planear, hacer, verificar y actuar.
TPS: (Toyota production system). Sistema de Producción de Toyota.
JIT: (Just in time). Sistema Justo a tiempo.
Pull: Sistema de jalar.
MIT: Massachusetts Institute of Technology.
IIE: (Institute of Industrial Engineers). Instituto de ingenieros industriales.
INEGI: Instituto nacional de estadística y geografía.
PYMEXPORTA: Organización de apoyo a las exportaciones de las MiPyME.
VSM: (Value stream mapping). Mapa de flujo de valor.
SPC: (statistical process control). Control estadístico de procesos.
OEE: (Overall Equipment Effectiveness). Efectividad total del equipo.
TPM: (Total Productive Mantainance). Mantenimiento productivo total.
CTQ: (Critical to quality). Aspecto crítico para la calidad.
ASQ: (American Society for Quality). Sociedad americana para la calidad.
CDP: Centro de desarrollo profesional.
ANOVA: Análisis de varianza.
DFP: Diagrama de flujo de procesos.
SMED: (Single Minute Exchange of Die). Método de cambio rápido de dado.
Cp: Capacidad potencial de un proceso.
Cpk: Capacidad real de un proceso.
DPU: Defectos por unidad.
RTY:(Rolled Throughput Yield). Probabilidad de que un proceso produzca cero defectos.
R&R: Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad.
NPR: Índice de prioridad del riesgo.
DOE:(Design of experiments). Diseño de experimentos.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes

En el mundo globalizado en el que se hacen negocios hoy en día resulta difícil no pensar que las empresas están en una búsqueda constante de herramientas o formas nuevas que les permitan ser mejores que su competencia, esto para poderse diferenciar de la misma y mantenerse vigente en su mercado.

Dicho contexto trae consigo la necesidad de adoptar estrategias que tengan resultados probados y que éstos se puedan alcanzar de manera rápida y con la menor inversión posible. La calidad y la mejora continua representan para cualquier organización unos de los pilares fundamentales en donde se recarga gran parte del peso de su operación al ser éstas esenciales para capturar y mantener la motivación de los clientes por hacerse de un bien o servicio de la empresa.

El término calidad ha surgido y significado diferentes cosas para diferentes personas en tiempos distintos, hay muchas definiciones como la de que calidad es cumplir o exceder las expectativas del cliente suministrando los productos correctos y libres de deficiencias (Chaud,2008). De ésta sencilla pero sustancial definición se han hecho muchas aportaciones, tales como estándares internacionales, metodologías etc, sin embargo no todos estos sistemas están al alcance de las empresas al ser de cierta forma caros, difíciles de implementar o de alguna manera no ser vistos como prácticos ante la veloz necesidad de las empresas por tener resultados a corto plazo que les permitan subsistir.

Metodologías como Seis Sigma y Lean han surgido en diferentes décadas y han abonado en muchas empresas grandes a la mejora en la calidad y productividad en procesos diversos, sin embargo dichas metodologías no han logrado llegar de manera significativa a las MiPyMEs(Micro, pequeñas y medianas empresas), mismas que no cuentan con más de 250 empleados y en donde en países como México representan poco más del 50% del PIB, siendo generadoras de hasta un 72% del empleo del país(Secretaría de economía Mexicana, 2009).

El pensamiento Lean, también llamado esbelto es un proceso que considera el entregar recursos, con la finalidad de generar valor y eliminar desperdicios para el consumidor (Stephen, 2009). Womack y Jones (1994) lo definen como la eliminación

sistemática de desperdicio por parte de todo el personal de la organización de cualquier área de la misma a través del flujo de valor. El pensamiento Lean empezó a tomar forma cuando en el año de 1949 Taiichi Ohno de la Toyota Motor Company visitó la fábrica de autos de Ford en Detroit (Harris, 2006), posteriormente el llamado sistema de producción de Toyota y su uso se ha generalizado en empresas de todo el mundo al ser un sistema noble que permite que con acciones sencillas en su mayoría se puedan hacer cambios que mejoren la operación de las empresas.

Seis Sigma surgió a finales de los años 80 en la empresa Motorola y representa un proceso de negocios que permite a las compañías mejorar drásticamente sus ahorros con el diseño y monitoreo de actividades, de tal manera que se minimicen desperdicios y recursos mientras se incrementa la satisfacción del cliente (Harry y Schroeder, 2000), es también una metodología orientada a procesos que por alguna razón no operan con los estándares que la empresa desea. Al presentarse estas diferencias o variaciones se despliegan una serie de pasos con fuerte énfasis estadístico para lograr ajustar los procesos y hacer que éstos cumplan con las expectativas que la empresa y los clientes tienen.

En este trabajo se pretende hacer una revisión de las metodologías Seis Sigma y Lean de manera separada y analizar diferentes aportaciones de metodologías que las integran, de ésta forma se podrá proponer una metodología que se adapte a las necesidades y limitaciones de las PyMEs Tamaulipecas y que tenga el componente de la participación de instituciones universitarias como el ITESM, todo esto para potenciar el avance del sector empresarial de las PyMEs.

1.2 Definición del problema objeto de investigación y su justificación.

México es un país que económicamente centra mucho la empleabilidad de su población en las llamadas pequeñas y medianas empresas, ya que éstas están primordialmente representadas en las industrias manufacturera, de servicios y comercial del país, proporcionando empleo a cerca del 30.8% de los mexicanos (INEGI, 2004). En el caso específico de Tamaulipas se estima que existen solo 195 empresas grandes (con más de 250 empleados), mientras que las PyMEs ascienden a 1,500 unidades (SIEM, 2011).

Las PyMEs como cualquier empresa requieren de instrumentos diversos para poder ser competitivas y subsistir en un mercado cada vez más voraz, atendiendo necesidades cambiantes de clientes exigentes. Una PyME tiene recursos más limitados que empresas transnacionales o internacionales que cuentan con tecnologías y un sistema directivo más profesionalizado. Estas y otras características determinan que las PyMEs necesiten directrices y herramientas que sean más accesibles para su entorno operativo y alcances, puesto que en su mayoría no pueden

cubrir los costos de certificaciones como ISO9000 y en muchos casos no cuentan con una estructura departamental especializada en calidad o mejora continua.

Durante el año 2008 y de cara al 2009 el optimismo por el crecimiento de las PyMEs se redujo un significativo 37%, el 72% de dichas empresas planeaba quedarse con su plantilla actual o reducirla, estas cifras denotan un inminente retroceso para el sector y en particular para las empresas menos competitivas en el mismo (El financiero, 2008).

El gobierno de México a través de la secretaría de economía ha hecho esfuerzos en los últimos años por poner al alcance de las PyMEs herramientas para reducir la diferencia o desventaja que tienen en cuanto a la mejora en la calidad de sus productos y servicios, estableciendo en sitios de internet capacitaciones y otorgando servicios de consultoría a precios más accesibles para que las empresas se acerquen y puedan ser intervenidas o asesoradas, sin embargo estos esfuerzos parecen ser insuficientes.

La calidad no es una moda ni un lujo, es algo que ya sea tangible o no el cliente demanda para satisfacer una necesidad. Todas las empresas deben buscar metodologías de calidad que puedan adaptar a sus empresas para lograr con mayor facilidad y de forma consistente cumplir con las expectativas de los clientes y ser exitosas en el proceso de enamoramiento del mismo, solo de esta manera se cumplirá el objetivo de toda empresa lucrativa, el cual es generar bienestar para los accionistas y empleados que la conforman.

El objetivo de esta investigación es proponer una metodología que promueva la mejora de la calidad y productividad en las PyMEs Tamaulipecas, esto en base a las metodologías de Seis Sigma y Lean. Esta metodología deberá ser útil para empresas de cualquier giro, ya sea comercial, manufacturero o de servicios.

En la actualidad se estima que solo un 50% de las PyMEs en México utilizan técnicas de calidad y productividad (Promexico, 2011). Metodologías como Lean y Seis Sigma son implementadas en forma conjunta o separada por empresas que han tenido éxitos, pero que en su gran mayoría son grandes y pueden invertir más recursos en capacitación, proyectos y cambios en sus estructuras, sin embargo éste no es el caso típico presente en una PyME, por lo cual es necesario investigar más y aportar para que estas empresas también se vean beneficiadas por nuevas formas que les ayuden a potenciar su crecimiento y subsistencia, es por esto que con la ayuda de instituciones académicas se propone una metodología más económica y que logre generar resultados tangibles, perdurables y a corto plazo para las PyMEs Tamaulipecas.

1.3 Hipótesis

Las PyMEs de Tamaulipas usan herramientas de calidad y en menor medida se certifican en ISO9000, sin embargo existen otras metodologías como Lean y Seis Sigma que pueden incrementar o acelerar mejores resultados en materia de calidad y productividad en las empresas localizadas en dicho estado mexicano.

Las siguientes son las hipótesis del trabajo de investigación:

- Las metodologías de Lean y Seis Sigma se pueden complementar para generar una metodología integral que se adapte a las necesidades de competitividad que tiene una PyME dentro del estado de Tamaulipas.
- Las PyMEs Tamaulipecas podrían vincularse con instituciones académicas como el ITESM, para aplicar la metodología integrada, generando con esto proyectos de beneficio económicos para las PyMEs y de aprendizaje para ambas organizaciones.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

El objetivo de éste trabajo es proponer y dar un acercamiento de aplicación a una metodología que integre Lean y Seis Sigma, de forma que se adapte a las necesidades y limitantes generales de las PyMEs Tamaulipecas, siendo esta una metodología que genere vinculación entre la empresa y las instituciones académicas.

1.4.2 Objetivos específicos.

Basándose en el objetivo general se pueden establecer los siguientes objetivos específicos:

- Analizar por separado las metodologías Lean y Seis Sigma, destacando su importancia en términos de calidad y mejora en las empresas.
- Revisar modelos de aplicación que integren las metodologías de Lean y Seis Sigma en las empresas para con esto obtener las mejores prácticas en cuanto a su correcta implantación basada en proyectos.
- Definir en qué medida los contenidos de programas académicos de ingeniería industrial de universidades como el ITESM contemplan la instrucción de temas ligados con las metodologías de Seis Sigma y Lean.
- Establecer una propuesta metodológica que integre las mejores prácticas de Lean y Seis Sigma en las PyMEs Tamaulipecas; partiendo de la base de la vinculación entre la academia y la empresa.
- Analizar los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología propuesta en las PyMEs, para poder contrastarlo con las hipótesis del trabajo de investigación.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Calidad.

2.1.1 Breve revisión de la calidad.

La mejora es crítica para la supervivencia, en todo el mundo los estándares de calidad y productividad están cambiando. La supervivencia depende del mejoramiento continuo. La clave para progresar es hacerlo más rápidamente que los cambios que se dan en los costos y en la demanda de servicios. La mejora debe ser en todas las áreas: Planeación, diseño y ejecución. Conseguir progresar rápidamente proporcionará una ventaja continua sobre la competencia.

Dentro de la revisión de lo que es Seis Sigma y como punto de partida para esta tesis doctoral es conveniente definir primeramente lo que es calidad, ya que de allí se desprende la necesidad de implementar metodologías más complejas como Seis Sigma y Lean.

Algunas definiciones así como una breve historia de la calidad se presentan a continuación:

**Calidad es en esencia una forma de administrar la organización. (A.FEIGENBAUM).*

**Es el grado en el cual un grupo de características inherentes cumplen requerimientos (ISO 9000).*

La calidad tiene ya su historia al pasar desde inicios de los años 20 por procesos fuertemente enfocados en la inspección visual de los productos, hasta hoy en día en donde vemos modelos que le dan lugar a la calidad como algo estratégico y por consecuencia de largo plazo. La siguiente figura resume la evolución de la calidad en el último siglo (Marez,2007):

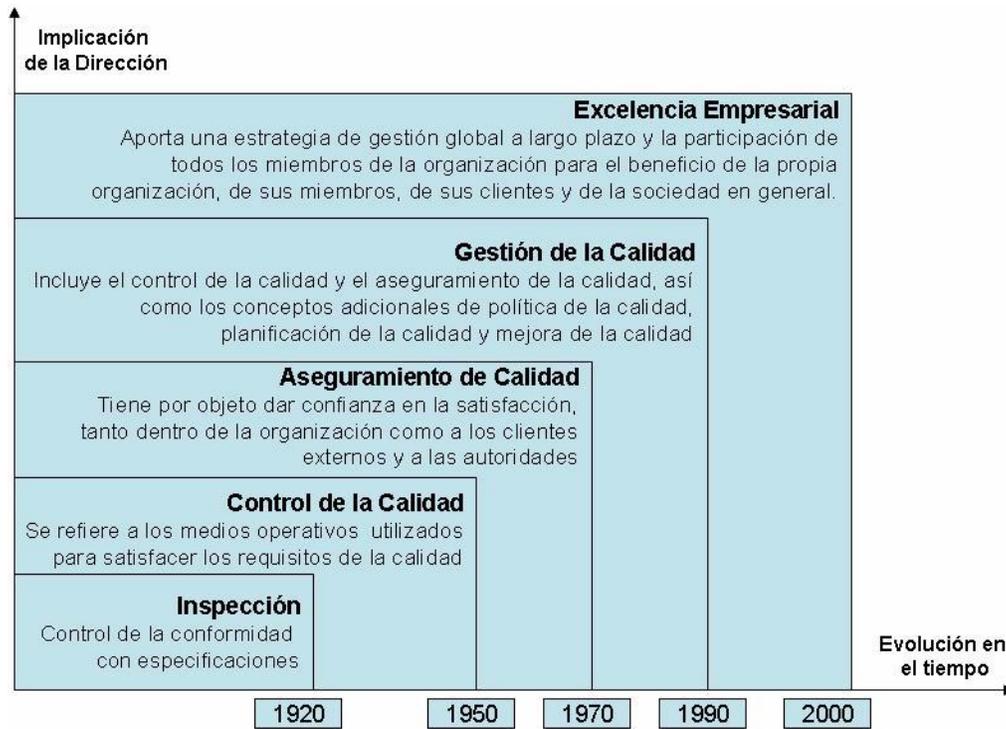


Figura 1. Evolución de la calidad (Marez, 2007)

A mediados del siglo pasado numerosos pensadores sobre la calidad aportaron sus conocimientos y experiencias sobre el tema, siendo Crosby, Juran y Deming algunos de los más importantes, a continuación se hace una comparación de acuerdo al enfoque que dio cada uno a la definición de calidad, la estructura con la que se conceptualizan entre otras variables consideradas de trascendencia:

Enfoque general	Crosby	Deming	Juran
Definición de calidad	Apego a los requerimientos	Un grado predecible de uniformidad y confiabilidad a un costo bajo y adecuado para el mercado	Conveniencia para su utilización (satisface las necesidades del cliente)
Grado de responsabilidad de la gerencia	Responsable de la calidad	Responsable del 94% de los problemas de calidad	Menos del 20% de los problemas de calidad se debe a los trabajadores

Estándar del desempeño/ motivación	Cero defectos	La calidad tiene muchas "escalas"; utiliza estadísticas para medir el desempeño en todas las áreas; la meta: cero defectos	Evitar las campañas para hacer un trabajo perfecto
Enfoque general	Prevención, no inspección	Reducir la variabilidad mediante una mejora continua; acabar con la inspección masiva	Enfoque de la administración general en la calidad, en especial en los elementos humanos
Estructura	14 pasos para mejorar la calidad	14 puntos para la administración	10 pasos para mejorar la calidad
Control estadístico de procesos	Rechazar niveles de calidad estadísticamente aceptables (buscar un 100% de calidad, perfecta)	Deben utilizarse métodos estadísticos de control de calidad	Recomienda el SPC, pero advierte que puede conducir a un enfoque basado en las herramientas
Base del mejoramiento	Un proceso, no un programa; metas de mejoramiento	Continua para reducir la variación; eliminar metas sin métodos	Enfoque de equipos proyecto por proyecto; establecer metas
Trabajo en equipo	Equipos de mejora de la calidad; metas de mejoramiento	Participación de los empleados en la toma de decisiones; derribar las barreras entre los departamentos	Enfoque de equipo y círculo de calidad
Costos de calidad	Costo de falta de apego; la calidad es gratuita	No óptimos; mejora continua	La calidad no es gratuita; no hay un óptimo

Compras y bienes recibidos	Manifiestar los requerimientos; el proveedor es una extensión del negocio; la mayoría de los defectos se debe a los compradores mismos	La inspección se hace demasiado tarde; las muestras permiten que los defectos ingresen al sistema; se requiere una evidencia estadística y gráfica de control.	Los problemas son complejos; llevar a cabo encuestas formales
Calificación del proveedor	Si, las auditorías de la calidad son inútiles	No, es decisiva en la mayoría de los sistemas	Sí, pero ayudando al proveedor a mejorar

Tabla 1. Comparación conceptual de la calidad (Chace et al., 2005).

En esencia los modelos de calidad y mejora continua siguen teniendo su base en la filosofía compartida por estos y otros gurúes. Se destaca la necesidad del involucramiento de la gerencia, ya que es en gran medida responsable de la calidad así como la formación de equipos de trabajo que hagan mejoras, siendo participativos y con poder de decisión. Se reconoce la necesidad de utilizar la estadística para identificar causas de la mala calidad, pero no aplicar éstas solo como herramientas. Todo esto nos lleva a pensar que una metodología que involucre a la gerencia, a equipos de trabajo, en donde se lleven a cabo mejoras en base a herramientas estadísticas sería una buena alternativa para prosperar en lo que a calidad se refiere.

2.1.2 Los costos de la calidad.

La administración de estos costos es necesaria, ya que las empresas ven reflejados los mismos en sus finanzas. Los costos de calidad son diversos y dependerán de cada empresa el identificarlos y encontrar la forma de tener un control y disminución en los mismos.

Los costos de calidad son aquellas categorías asociadas a la producción, identificación, elusión o reparación de productos que no satisfacen los requisitos. Muchas organizaciones que producen un bien o dan un servicio utilizan cuatro categorías básicas para dividir los de costos de calidad según Montgomery (1991):

1- Costos de prevención:

Son aquellos que están enfocados a prevenir las inconformidades o no cumplimiento de especificaciones. Es decir se enfocan en que las cosas salgan

bien desde el principio, sin recurrir a re trabajar el producto o tener un desencuentro con un cliente.

Dentro de los tipos de costos se pueden encontrar las siguiente subcategorías:

- Planeación e ingeniería para la calidad.
- Revisión de nuevos productos.
- Diseño de productos y procesos.
- Control de procesos.
- Super vigilancia.
- Adiestramiento.
- Obtención y análisis de los datos de la calidad.

2- Costos de evaluación:

Son aquellos relacionados con la medición, evaluación o revisión de producto, componentes y otros materiales. Se incurre en ellos para determinar que el producto cumple con las especificaciones.

De igual forma existen otras subcategorías para estos costos, tales como:

- Inspección y prueba de material entrante.
- Inspección y prueba de producto.
- Materiales y servicios consumidos.
- Conservación de la precisión del equipo de pruebas.

3- Costos de fallas internas:

Los costos de los defectos en que se incurre dentro del sistema, previo a entregarse al cliente.

Algunas categorías de estos costos son:

- Desperdicios.
- Re trabajo o re elaboración.
- Re examen.
- Análisis de fallas.
- Tiempo muerto.
- Pérdidas en producción.
- Sub preciación/venta a precio menor.

4- Costos por fallas externas:

Se presentan cuando el producto o servicio no funciona satisfactoriamente después de entregado o expuesto ante el cliente.

Se pueden categorizar de la siguiente manera:

- Garantías.
- Devoluciones.
- Ajustes por reclamación.
- Costos por responsabilidad legal.

Dzul (2009), señala que a pesar de que muchas empresas consideran esta clasificación de costos directos de calidad, es importante tener presente consideraciones tales como:

-Las definiciones deben ser un traje a la medida de cada empresa; algo que se acostumbra hacer, es repasar la bibliografía y seleccionar aquellos costos que se apliquen al tipo de empresa.

- Los costos clave al iniciar un sistema de costos de calidad, son los relativos a los costos de fallas, ya que estos suministran las mayores oportunidades de reducción de costos y de eliminación de causas de insatisfacción de los clientes. Estos son los costos que deberían ser atacados primero. Los costos de evaluación representan también un área de reducción, especialmente si las causas de las fallas son identificadas y eliminadas.

Los costos de calidad, anteriormente se asociaban a costos que directamente afectaban el producto, desperdicios, inspección, etc. Pero la tendencia actual es la de ampliar ese enfoque, considerando el concepto de mala calidad en todas las actividades de la empresa. De esta manera, cualquier trabajo que deba ser rechazado o repetido es considerado como un costo debido a una baja calidad.

Tanto las viejas como nuevas tendencias de análisis de costos de calidad nos llevan a pensar en metodologías y herramientas que ayuden a detectar, prevenir e inhibir de manera eficiente lo que desencadena los costos. Es por eso que Seis Sigma y Lean abonan en el sentido de que siendo bien aplicadas pueden eliminar fuentes de variación y desperdicios que se traducen en cualquiera de los costos catalogados con anterioridad.

2.1.3 Sistemas de gestión de la calidad.

En sus orígenes, los sistemas de gestión de la calidad fueron exigidos por los ejércitos de la OTAN a sus proveedores de materiales y componentes militares. Posteriormente, estos sistemas se implementaron en las grandes organizaciones por las ventajas competitivas y económicas que representaban frente a otras del mismo sector.

Más adelante, estas grandes organizaciones, fundamentalmente del ramo automotriz y el de la electrónica de consumo, exigieron a sus proveedores más directos la implementación de estos sistemas de gestión de la calidad. El resto de organizaciones, sin importar su tamaño y sector, también los fueron implementando, consiguiendo una importante reducción en los costos, así como un aumento en la satisfacción de los clientes.

Actualmente, la legislación de los países, sobre todo en la Unión Europea (UE), obliga a que las organizaciones que realizan productos y prestan servicios que afectan a la seguridad y salud de las personas, tengan implantado un sistema de gestión de calidad (Marez, 2007).

Existen dos tipos de modelos de gestión de calidad:

- Modelos Certificables: Son modelos que tienen que ser aprobados y certificados por otra organización, por ejemplo la norma ISO 9001:2008 cuya validez mundial la han hecho la norma más utilizada.
- Modelos de Autoevaluación: Son modelos aprobados por la misma organización, como el premio Deming (Nacional de la calidad en Japón, 1951); el Malcom Baldrige (Estados Unidos, 1987); el modelo EFQM (Europa, 1991), y el PNC (México, 1989).

Debido a su aplicación genérica y mayor cobertura dentro de México para fines del presente trabajo se introduce y reflexiona sobre la utilización de la norma ISO9000.

2.1.4 La norma ISO9000.

La ISO9000 es un conjunto de normas internacionales orientadas a asistir a las empresas en la implementación de un sistema de gestión de la calidad. Las normas principales que componen la familia ISO son:

ISO 9000: Describe los fundamentos y el vocabulario que se utilizan en la norma.

ISO 9001: Esta norma establece los requisitos para la certificación de un sistema de gestión de calidad.

ISO 9004: Directrices para mejorar el desempeño.

ISO 19011: Directrices sobre las auditorías al sistema de gestión. La ISO 9001 es la norma que contiene las especificaciones y requisitos para que una empresa pueda certificarse.

Actualmente la versión de ISO 9001 ha sufrido una actualización a partir de finales del año 2008, por ello ahora se reconoce como ISO 9001:2008, y se estructura con 8 capítulos (ISO9001,2008):

- Capítulo 1 al 3: Contiene información de los objetivos, campo de aplicación, normas para consulta, términos y definiciones.
- Capítulo 4: Contiene información sobre requisitos del manual de calidad, control de documentos y registros.
- Capítulo 5: Nos habla de la Responsabilidades de la Dirección y contiene puntos como políticas, planificación, autoridad y revisión de la dirección.
- Capítulo 6: Contiene aspectos de la gestión de los recursos humanos, infraestructura y ambiente de trabajo.
- Capítulo 7: Habla de la realización del producto y están contenidos los requisitos sobre el cliente, diseño, compras, producción/servicio y control de dispositivos de seguimiento y medición.
- Capítulo 8: Se refiere a la medición, análisis y mejora. Se sitúan los requisitos para los procesos que recopilan información, la analizan, y que actúan en consecuencia.

El énfasis de ISO es el de satisfacer al cliente mediante la facilitación de productos o servicios que respondan a sus necesidades y expectativas.

En esencia, la versión ISO9001:2008 es una revisión de la establecida con la ISO9001:2000, en donde se han introducido aclaraciones a los objetivos con el fin de que sea más compatible con la ISO14001:2004.

El modelo de ISO9001:2008 se sigue respetando de la siguiente manera:



Figura 2. Modelo del ISO9001 (ISO9001,2008)

Pires (2008) afirma que en muchas organizaciones se siguen preguntando porqué la certificación ISO 9001 todavía no ha tenido un impacto tangible en el desempeño global de las empresas.

Una de las razones por las que muchas organizaciones siguen “trabajando para ISO” es que no entienden que la certificación es tan solo una meta en el camino de la mejora continua, la cual nunca termina, de ahí la importancia que se le da en esta tesis a esta norma, puesto que todavía se piensa en algunas empresas que con estar certificadas en ISO será suficiente para tener una ventaja competitiva, sin embargo esto no es así y se tienen que buscar alternativas que generen mejoras sostenidas en base a proyectos, con equipos de trabajo, fomentando el liderazgo y el desarrollo, de ahí la necesidad de voltear hacia metodologías como Seis Sigma y Lean en empresas como las PyMEs. La Implementación de un cambio estratégico en una organización requiere un gran conocimiento de lo que se desea lograr, mientras Seis Sigma puede proporcionar un progreso significativo en la excelencia de las operaciones, ISO 9001:2000 es esencial para mantenerlas (Marez, 2007).

Sistemas como ISO9001:2008 son genéricos y compatibles con empresas de cualquier tamaño, esto hace que las PyMEs se puedan beneficiar y adaptar al tener un lenguaje claro y ser flexible, con esto las empresas pequeñas pueden ser más competitivas.

Marez (2007) hace una comparación entre Seis Sigma y la norma ISO9001 concluyendo en una propuesta de directriz que genera una sinergia entre ambas, con beneficios para la empresa. Para ello su estudio se enfoca también en las PyMEs.

Dey (2002) establece cómo Seis Sigma complementa a la norma ISO 9000:2005 de la siguiente manera:

ISO 9000:2005	SEIS SIGMA
Enfoque al Cliente	Muestra como alinear la organización a través de la medición con enfoque a clientes del desempeño.
Liderazgo	Los líderes de la alta gestión apoyan los proyectos de Seis Sigma a través del participación activa. Seis Sigma incluye el entrenamiento en la selección, preparación y liderazgo de los proyectos de Seis sigma.
Participación del Personal	Los proyectos de Seis Sigma están específicamente diseñados para involucrar al personal. El programa incluye el entrenamiento en las técnicas de facilitación y de desarrollo de equipos.
Enfoque de Procesos	Un proyecto de Seis Sigma mapea y analiza los procesos de la compañía para mejorarlos.
Enfoque de Sistemas para la Gestión	Los proyectos exitosos de Seis Sigma reconocen que la gente y los procesos están conectados en un sistema independiente. Éstos llevan a cabo progresos significativos esforzándose para alcanzar las metas medibles, las cuales se expanden por todo el sistema.
Mejora Continua	Estas mejoran constantemente, viendo la calidad como una ventaja.
Toma de Decisiones basada en hechos	Los equipos de Seis Sigma centran sus esfuerzos en recoger y analizar los datos, y de ahí basan sus opciones y argumentos y así ganan entendimiento colaborativo.
Beneficios mutuos de relación con proveedores.	Seis Sigma ve a los clientes y proveedores como una sistema conectado, donde cada uno tiene unas necesidades que deben satisfacer.

Tabla 2. Complemento de Seis Sigma con los principios de ISO 9000:2005 (Dey, 2002).

2.2 Seis Sigma.

El concepto de Seis Sigma parece haber sobrevivido casi dos décadas (nació a finales de los años 80) a pesar de que muchos reportes lo han clasificado como un capricho (Henderson y Evans ,2000; Snee, 2004a; Antony et. al 2005a; Kumar et al., 2006 a,b) .

Montgomery (2005) opina que Seis Sigma ha sido muy exitoso y es quizás la estrategia más poderosa para la mejora de negocios en los últimos 50 años.

Esta simple letra σ simboliza en estadística la llamada desviación estándar, misma que es un parámetro que ayuda al estadista a conocer como se distribuyen una serie de datos o cual es la “ variación” que tienen los mismos con respecto a un valor referente llamado “media o promedio”.

Como métrica esas Seis Sigmas representan: Una medida de calidad que entre más grande es mejor, en donde en escala del 1 al 6 el Seis Sigma representa en términos numéricos tener solo 3.4 defectos en un millón de oportunidades para cometerlos (Breyfogle et al. ,2000).Para ponerlo de manera práctica relacionaremos en la Tabla 3 el número de defectos en un proceso cualquiera con su correspondiente número de Sigmas (Harry y Schroeder, 2000):

Nivel Sigma	Defectos por millón de oportunidades
2	308537
3	66807
4	6210
5	233
6	3.4

Tabla 3. Nivel de Sigma.

Minitab (2000) menciona que la mayoría de las organizaciones operan entre dos y tres Sigmas. Blakeslle y Jerome (1999) mencionan que las manufactureras americanas frecuentemente tienen niveles de 4 Sigmas, mientras que las empresas de servicio operan entre 1 y 2 Sigmas.

Como metodología: Es una estrategia enfocada a disminuir la variación en los procesos, de tal manera que los productos o servicios que emanan de esos procesos sean cada vez mejores y la empresa sea por ende más competitiva. A la metodología

empleada se le ha denominado como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Incrementar y Controlar).

Otras definiciones de Seis Sigma son:

Seis Sigma es un esfuerzo para posicionar a una empresa de manera que satisfaga mejor a los clientes y hacerla más productiva y competitiva (Pande et al., 2002).

Seis Sigma es un sistema completo y flexible para conseguir, mantener y maximizar el éxito en los negocios. Funciona especialmente gracias a una comprensión total de las necesidades del cliente, del uso disciplinado del análisis de los hechos y datos, de la atención constante a la gestión, mejora y reinversión de los procesos empresariales (Pande et al., 2002).

2.2.1 Cómo se representa Seis Sigma de manera gráfica.

Las figura 3 y 4 nos muestran claramente la relación de la variabilidad con los defectos y el nivel de Sigma (Montgomery, 2004):

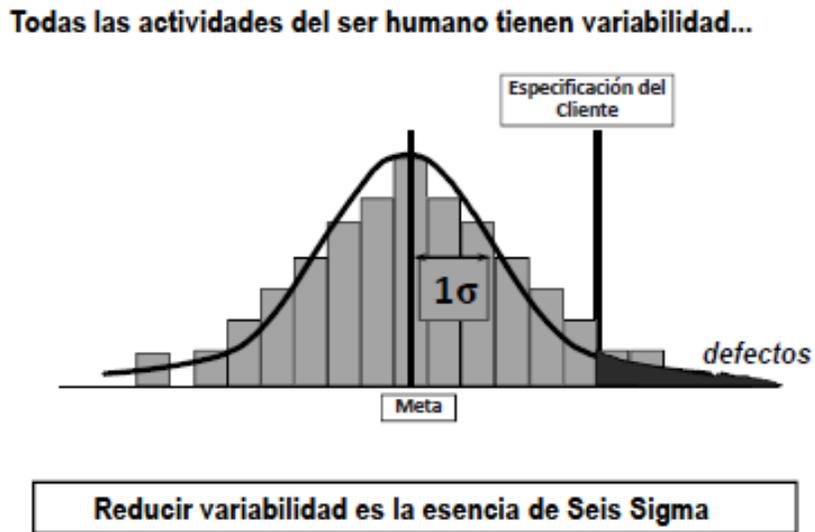


Figura 3. Variabilidad y Seis Sigma.

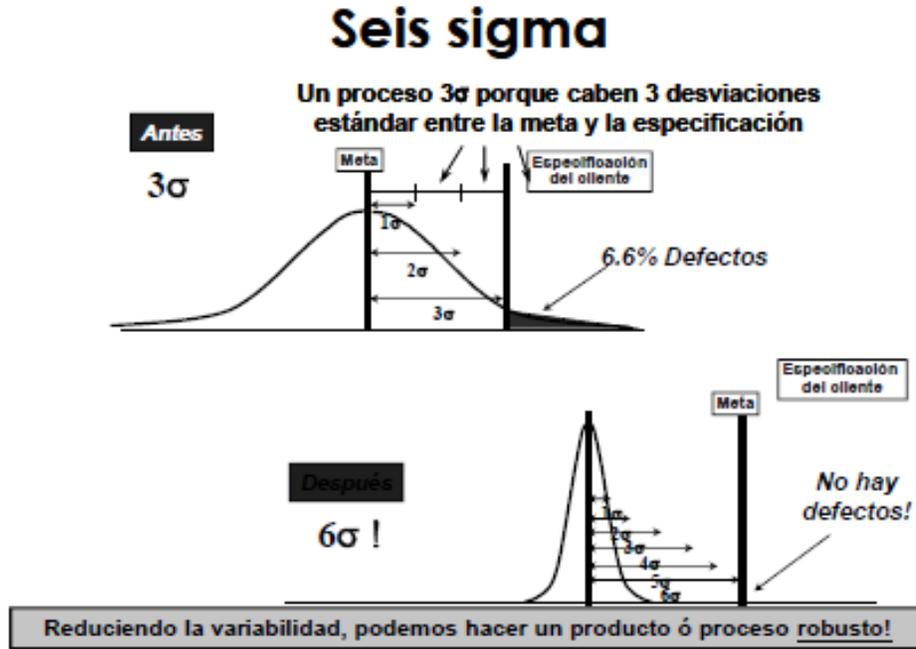


Figura 4. Medición del nivel de Sigma.

2.2.2 Breve historia de Seis Sigma.

En resumen podemos describir la historia del surgimiento de Seis Sigma de manera cronológica como sigue (Eckes, 2001):

1987: El CEO de Motorola declara que van a estar en Seis Sigma para 1992 (meta de 5 años).

1988: Se forma el consorcio original de Seis Sigma con empresas como Motorola, Raytheon, ABB, CDI, Kodak.

1989/1990: IBM, DEC prueban Seis Sigma y fracasan.

1993: Larry Bossidy de Allied Signal adopta un nuevo enfoque para Seis Sigma: Black Belts dedicados con una infraestructura de soporte.

1995: Jack Welch de GE adopta Seis Sigma.

1996/1997: La implantación de Seis Sigma comienza en masa al ver los éxitos de GE y Allied signal.

- Siebe, Bombardier, Whirlpool, Navistar, Gencorp, Lockheed Martin, Polaroid, Sony, Nokia, John Deere.

1997/1998: El número de compañías Seis Sigma crece rápidamente.

- Siemens, BBA, Seagate, Compaq, PACCAR, Toshiba, McKesson, AmEx etc.

1999: Se empieza a ver un crecimiento exponencial. La ASQ empieza a ofrecer cursos de entrenamiento.

En el caso de México en nuestros días ya hay empresas sobre todo del ramo industrial que han implementado esta filosofía. Dentro de las más importantes encontramos a las siguientes:

Galvacer, GAMESA, VITRO, CEMEX, CFE, GRUPO IMSA, SIGMA ALIMENTOS, METALSA, CONDUCTORES DE MONTERREY, COPA MEX, FEMSA, TELMEX, BANAMEX. Estas son solo algunas de las empresas de capital Mexicano que le siguen apostando a Seis Sigma como parte importante de su visión de ahorro y mejora continua, **ninguna de ellas es PyME.**

2.2.3 Actores principales en proyectos Seis Sigma.

Seis Sigma es una labor de equipo y como tal se tiene que entender que todos deben colaborar a medida de sus tiempos y capacidades, para ello Seis Sigma contempla una serie de roles recomendados para poder administrar los proyectos de forma adecuada (Gutierrez y De la Vara, 2004).

Champions

Son los líderes del negocio, encargados de fijar metas y seleccionar proyectos. Están completamente entrenados y facilitan la labor de los *Black Belt* al ser los que gestionan recursos para el proyecto.

Master Black Belt

Apoyan en la definición y selección de proyectos. Son los gurúes de Seis Sigma y están para brindar apoyo en la implementación o herramientas específicas que requieran los *Black Belts*.

Black Belt

Son los líderes de los proyectos, entrenan a los miembros de equipos y están capacitados ampliamente en Seis Sigma.

Green Belt

Individuos con entrenamiento Seis Sigma que dan soporte a los equipos y aceleran el despliegue del proyecto.

Miembros de equipo

Trabajan específicamente en tareas del proyecto, son gente que trabaja en el área en donde se realiza el proyecto y aporta su experiencia en el mismo. Breyfogle et al. (2000) sugieren que el entrenamiento de estos individuos involucre un total de 4 meses de trabajo en clase, en sesiones semanales intensivas y en el área de trabajo. El tamaño del grupo debe de ir de entre 10 a 25 gentes como máximo, debe haber equipo de cómputo por persona con Minitab instalado. A los participantes se les deben de asignar proyectos al inicio de la capacitación que deben documentar y entregar secuencialmente durante cada semana de curso.

Un beneficio muy importante de dicho entrenamiento es que en la empresa se empieza a permear el mismo lenguaje, y cosas como mejora de calidad, procesos, mejora continua, variación y otros términos son comúnmente escuchados en los pasillos o áreas de trabajo y no solo en los típicos departamentos o áreas encargadas de monitorear la calidad en la empresa.

No es necesario que una organización que por ejemplo tenga 1000 empleados capacite a 100 *Black Belts* o 300 *Green Belts*, la regla es que una organización madura en Seis Sigma desarrollara a cerca 1% de sus empleados como *Black Belt*, a pesar de que es común que esta cifra sea de 0.5% (Keller, 2005).

Pande et al. (2000) nos dicen que la deferencia en la definición y preparación de los *Black Belt* entre unas empresas y otras parece proceder de cuatro factores principales:

Tipo de proceso/ proyectos sobre los que se va a trabajar, la estructura del rol de los *Black Belts* en la organización, objetivos de la iniciativa Seis Sigma y el consultor o asesor elegido para implementarlo.

De acuerdo con Clifford Roebuck CEO de la compañía Canada Inc, la inversión en entrenamiento para convertir a una persona sin conocimiento de Seis Sigma en un *Black Belt* lleva alrededor de \$1,000 dólares por semana, a lo largo de un promedio de 4 semanas. Para David Nave miembro de la sociedad americana de calidad (ASQ) Seis Sigma se enfoca en 5 pasos en los que se define, mide, analiza, mejora y controla el proyecto (Stephen, 2009).

2.2.4 Algunos beneficios de la aplicación de Seis Sigma.

La razón por la que Seis Sigma es popular alrededor del mundo es porque muchas empresas han visto como esta metodología genera amplios márgenes de retornos para las inversiones al implementarla (Szeto y Tsang, 2005). Se ha reportado que los ahorros de Motorola ascendieron a \$1 billón en 1998 y a \$16 billones en 2005 (Ingle y Roe, 2002; Brett y Queen, 2005). La marca sueca de carros Volvo ha generado más de 55 millones de euros en beneficios en base a su programa de Seis Sigma (Magnusson et al., 2003). Otros ejemplos de empresas que han generado billones de dólares en ahorros son GE, Honeywell, Bombardier, ABB, Sony entre otras (Snee,2004; Antony et al., 2005a, b).

Los beneficios de implementar la medida Seis Sigma en la empresa son los siguientes (Pande et al. 2000):

1-Definición clara de lo que debe considerar de acuerdo a lo realmente importante para el cliente.

2-Centrandose en los defectos y en sus oportunidades de ocurrir, las medidas de Seis Sigma pueden utilizarse para comparar procesos muy diferentes dentro de una organización, o entre organizaciones.

3-Se crea una palanca significativa para la mejora, generando un lenguaje de medición común y utilizable en toda la empresa.

2.2.4.1 Beneficios de Seis Sigma y su aplicación en PyMEs.

De acuerdo a un estudio en el Reino unido presentado por Antony et al. (2005a), se muestra que las pequeñas y medianas empresas dicen tener grandes beneficios implementando Seis Sigma en la reducción de variación en los procesos, en el aumento de ganancias, reducción de costos operativos, reducción del costo por pobre calidad entre otros.

En el mismo estudio se reporta que cerca de un 62% de las compañías PyME que han utilizando Seis Sigma tienen beneficios superiores a los 250,000 euros anuales, 30% reportan tenerlos en el orden de entre los 250,000 y 500,000 euros anuales, estos resultados se basan en que un 69% de las empresas completaron entre uno y 5 proyectos del tipo Seis Sigma en un año.

En México existe muy poca información sobre la aplicación de esta metodología en empresas PyME, ya que en general los esfuerzos se han enfocado el sistemas de

gestión como el Premio Nacional de la Calidad (PNC) o el ISO9000, sin embargo estrategias como Seis Sigma pueden abordar los problemas de la empresa independientemente del tamaño de la misma (Brue, 2006), por lo que no hay indicio de que esta metodología aplicada a una empresa PyME no pueda tener beneficios equiparables para ellas de acuerdo a su tamaño e inversión en los proyectos.

Barbosa et al. (2011) desarrolló una investigación que se enfocó en el estado Mexicano de Tamaulipas, encontrado a partir de una muestra de 30 empresas PyME de todos los giros, que los factores críticos para implementar Seis Sigma tales como el entendimiento de la metodología, el entrenamiento y compromiso de la gerencia (Antony et al. 2008c), eran potencialmente cubiertos por el 50% de las PyMEs de la muestra. En esta investigación se propone un modelo basado en Seis Sigma que se adapta más a las carencias de las PyMEs Tamaulipecas. En la Tabla 4 se resumen las etapas del modelo, sus herramientas y el porcentaje de empresas que en la encuesta manifestaron conocerlas.

Etapas	Herramienta	% de empresas que la conocen
Planeación	FODA	50%
	Focus groups	60%
	QFD	25%
	Benchmarking	50%
	FCE	35%
Proyección	Matrices	50%
	Diagrama de Gantt	60%
	Análisis costo/beneficio	35%
Definición	Definición del problema	80%
	Diagrama de flujo	70%
Traducción	Matrices	50%
	MSA	20%
	Cálculo de capacidad	25%
Análisis	AMEF	30%
	Pruebas de hipótesis	20%
	Histograma	50%
	Gráficos de Pareto	45%
Mejora	Diseño de experimentos	15%
	Eventos tipo Kaizen	25%
Estandarización	Mapas de procesos	65%
	AMEF	30%
	Manual operativo	50%

Tabla 4. Herramientas usadas por las PyMEs Tamaulipecas.

La investigación de Barbosa et al. (2011) marca la pauta en cuanto a la oportunidad de generar metodologías que integren Lean y Seis Sigma en empresas con características similares a las planteadas en la misma.

En otro contexto, en el caso de los países europeos pertenecientes al Reino Unido se han hecho estudios que muestran que de acuerdo al compromiso de la empresa con la metodología éstas han tenido mejoras tanto operativas como estratégicas (Anthony, 2008a). Otros estudios llevados en Alemania han descrito que si existen empresas que junten factores como el seguimiento constante en sus proyectos, el enfoque en proyectos que dejan ganancia para la empresa y el entrenamiento entre otros, esto les permitiría adoptar la estrategia de Seis Sigma con éxito (Wessel y Burcher, 2004).

Algunos factores críticos de éxito para implementar Seis Sigma en PyMEs, se destacan a continuación (Antony et al., 2008c):

- (a) Involucramiento y participación de la gerencia.
- (b) Infraestructura organizacional
- (c) Cambio cultural
- (d) Entrenamiento
- (e) Ligar el Seis Sigma con los clientes
- (f) Ligar Seis Sigma con la estrategia del negocio
- (g) Ligar Seis Sigma con los empleados
- (h) Ligar Seis Sigma con los proveedores
- (i) Entender la metodología
- (j) Tener habilidades para administrar proyectos
- (k) Priorizar en la selección de proyectos

También se documentan las herramientas de mayor uso en las PyMEs en la tabla 5, cosa que resulta interesante ya que se puede decir que en su mayoría son las mismas que las usadas en empresas grandes solo que en las PyMEs se enfatiza más el uso de herramientas más visuales y sencillas de aplicar (Antony et al., 2008c).

Herramienta	Familiar (%)	No familiar (%)
Process mapping	100	0
Project charter	44	56
Cause and effect analysis	100	0
Histogram	100	0
Scater plot	94	6
run charts	56	44
Control charts	94	6
ANOVA	88	12
Regression analysis	94	6
Design of experiments	88	12
Taguchi methods	81	19
MSA	63	37
Non parametrics test	25	75
Hypothesis testing	94	6
Quality Function deployment	69	31
FMEA	100	0
Poka Yoke	94	6
Process capability analysis	100	0
Affinity diagram	31	69
Benchmarking	94	6
Quality costing analysis	50	50
SIPOC model	44	56

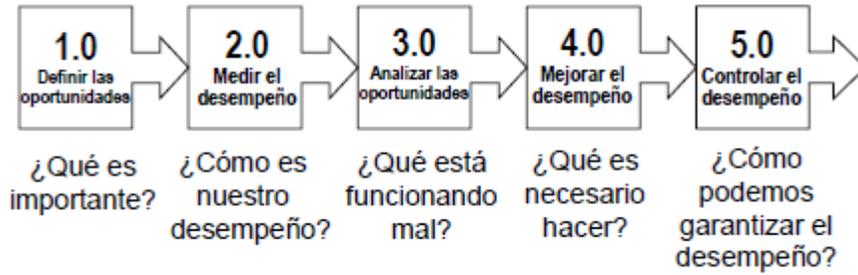
Tabla 5. Porcentaje de uso de las herramientas de Seis Sigma en PyMEs.

De la tabla 5 observamos que son 18 las herramientas que más del 50% de las empresas usan, que aquí 4 de las 5 que les resultan más familiares (100%) son más sencillas y visuales dado que son diagramas o graficas.

Proyectos que contribuyan económicamente a la empresa, el seguimiento más amplio a los proyectos, un buen programa de entrenamiento pero más corto que en una empresa grande, los proyectos hechos por sus líderes (*Black Belts*), el añadir elementos de administración de procesos y que la capacitación externa se adapte a las necesidades de la PyME resultan ser variables a considerar en el éxito de la implementación de Seis Sigma.

2.2.5 Metodologías de implementación de proyectos Seis Sigma.

El también llamado DMAIC (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar) se ha convertido en algo cada vez más común en las organizaciones que trabajan con Seis Sigma. Como otras metodologías de mejora Seis Sigma se basan en el ciclo original de mejora PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) (Pande et al.,2000).Con el fin de tener una mayor comprensión de lo que involucra cada etapa del DMAIC se presenta la información desglosada en las siguientes figuras de acuerdo al centro de calidad y manufactura del ITESM Campus Monterrey.



Definición

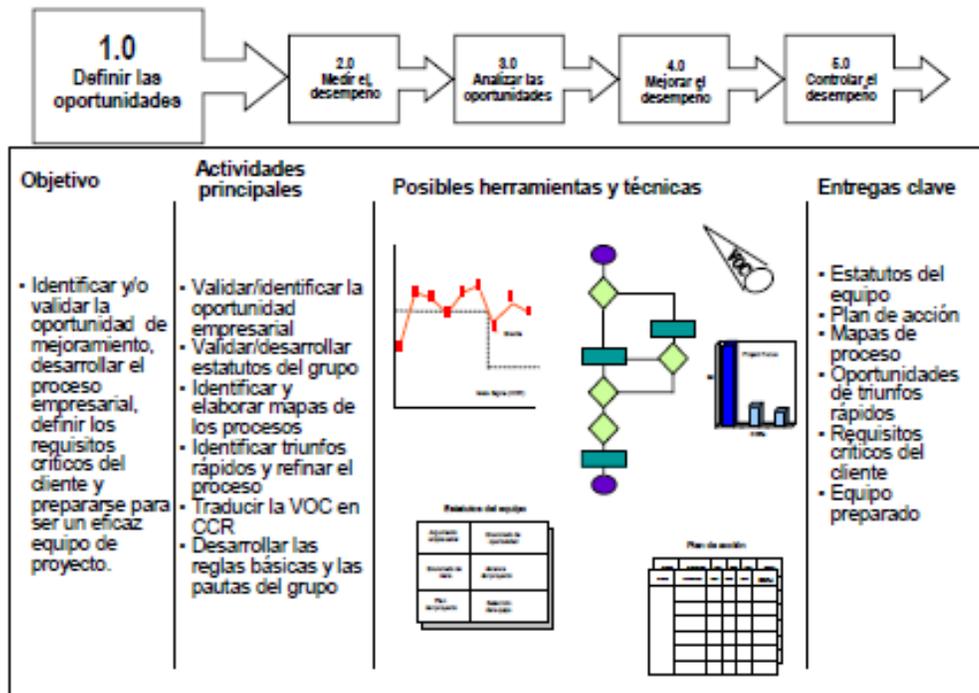


Figura 5. Etapa de definición.

Medición

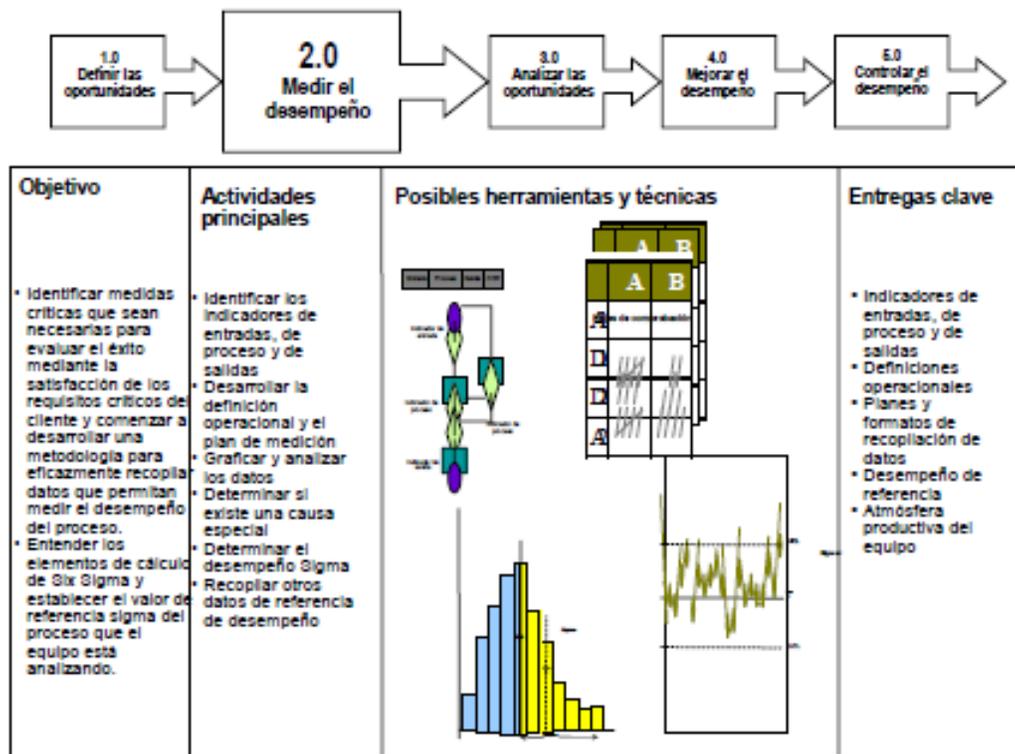


Figura 6. Etapa de Medición.

Análisis

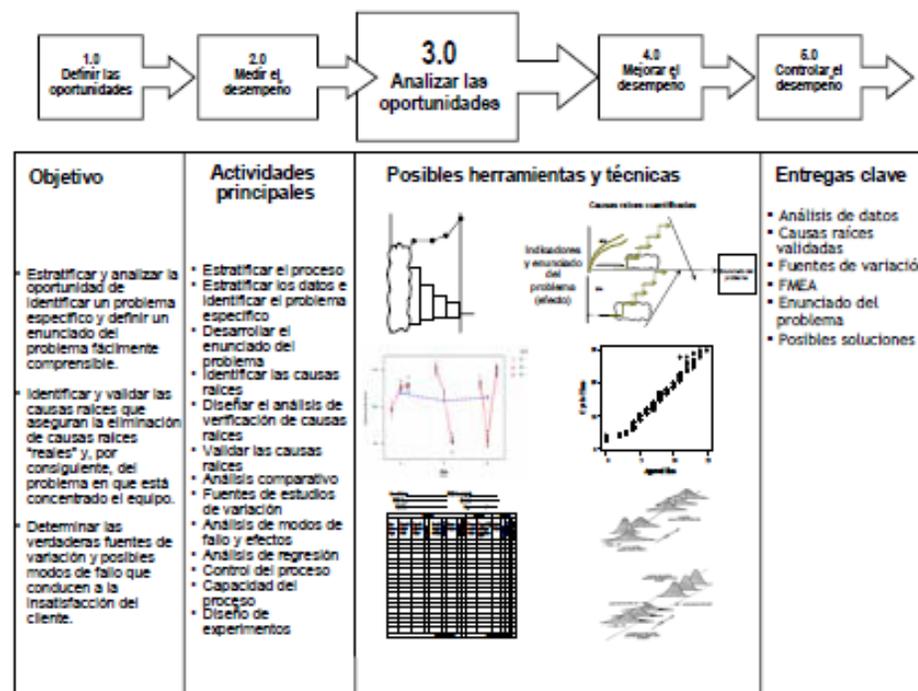


Figura 7. Etapa de Análisis.

Incremento

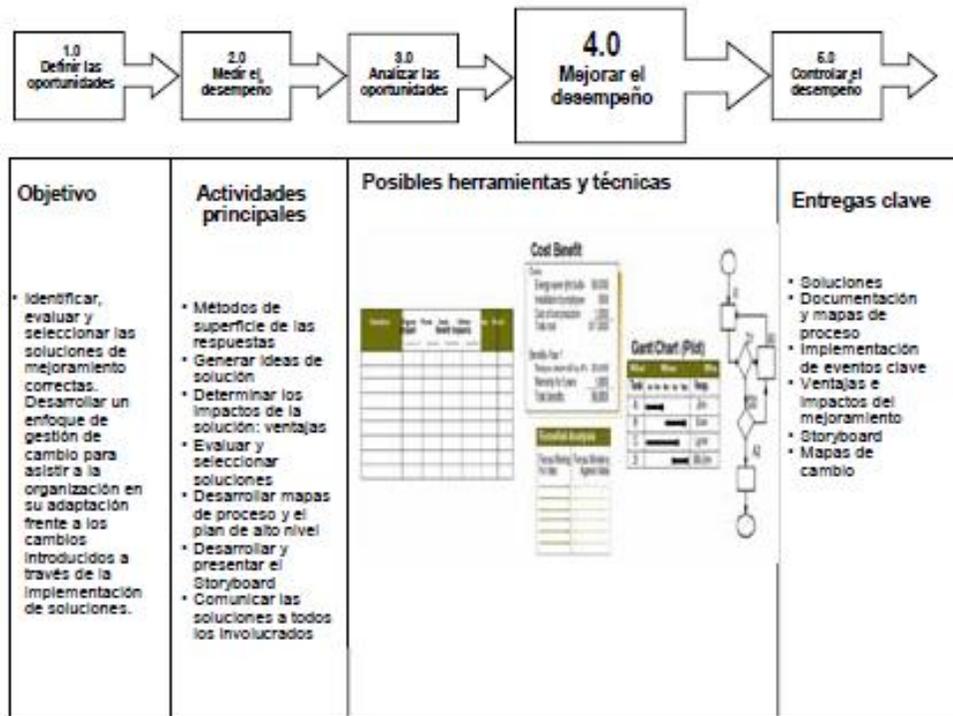


Figura 8. Etapa de incremento.

Control

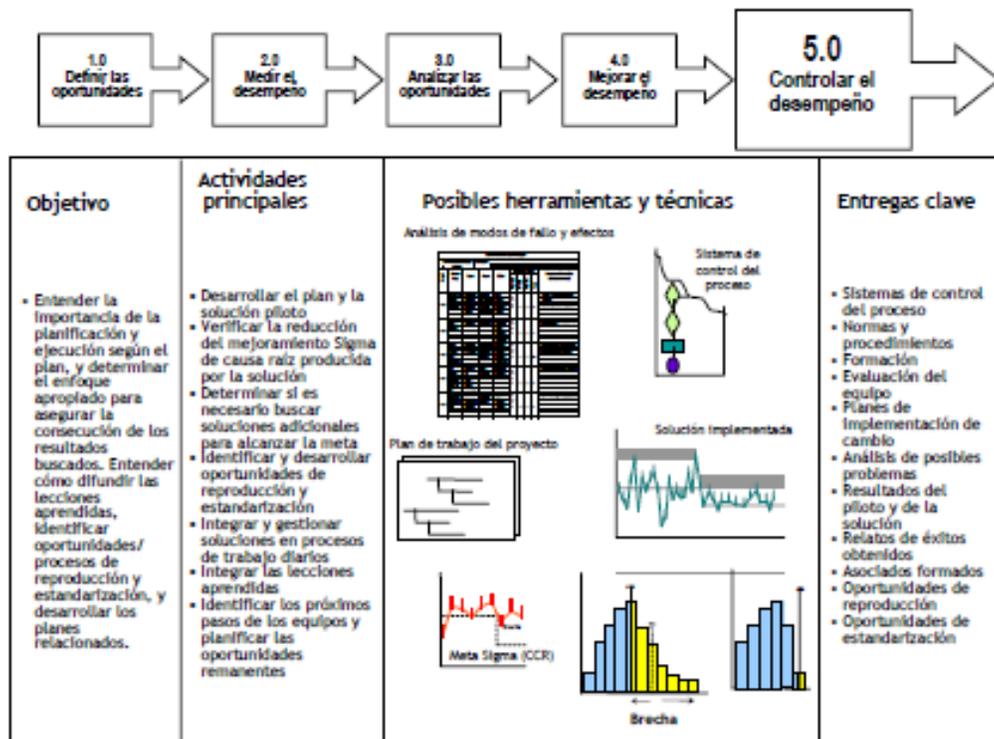


Figura 9. Etapa de control.

El DMAIC ha permitido a las empresas lograr proyectos de Seis Sigma rompiendo el paradigma de reaccionar a las causas de problemas en vez de a sus síntomas (Basem y Raid, 2006).

2.2.6 Conclusión.

Seis Sigma es una metodología vigente y con potencial de crecimiento en su uso en las PyMEs como se ha documentado principalmente en Europa. En Tamaulipas existe muy poca evidencia sobre su uso, sin embargo la cualidad de la metodología de poder convivir con ISO9000 y tener herramientas conocidas por la gente hacen posible su uso en organizaciones en las que exista un liderazgo para ejecutarla, una motivación hacia aprender nuevas formas de mejorar y deseos de desarrollo mediante entrenamiento.

2.3 Manufactura Esbelta (Lean).

2.3.1 Breve historia de sus inicios.

La Manufactura Esbelta (Lean) tiene sus orígenes en el sistema de producción de Toyota, cuando a finales de los años 40 Taiichi Ohno se dio a la tarea de incrementar la productividad de la empresa de automóviles que lleva dicho nombre. La fábrica Toyota se encontraba en un mercado pequeño y ofrecía un amplio rango de vehículos, sin embargo la fuerza laboral altamente organizada y las políticas severas en despidos ayudaron a sacar a la empresa adelante en contra de las adversidades que representaban el estar operando en un país devastado por la guerra y con necesidad de capital, todo esto sumado a la prohibición del gobierno Japonés en materia de inversiones extranjeras para la industria automotriz (Ohno, 1998).

Taiichi Ohno, uno de los directores ejecutivos de la empresa viajó a Norteamérica y adquirió conocimientos tanto de fábricas de Ford como de los típicos supermercados americanos, que para ese entonces eran desconocidos en el Japón, posteriormente con su aprendizaje adaptó en su planta una serie de principios que ayudaron a sentar las bases del también llamado TPS por sus siglas en inglés (*Toyota Production System*), mismo que se fue desarrollando hasta ser reconocido por la industria Japonesa a mediados de los 70's y ya fue todo un éxito mundial en los 80's (Shingo, 1989).

El término *Lean Manufacturing* como se le conoce hoy en día en México tiene una rica historia que inicia en Ford en los años 20 y posteriormente en Toyota en los 50's. Las llamadas prácticas Lean fueron traídas inicialmente de Japón a principios de los años 80, y tenían la intención de copiar el éxito del sistema japonés JIT (Justo a

tiempo) implementado en la industria automotriz de ese país. En los Estados Unidos se reconoció que para implementar el JIT primero debían eliminar operaciones o procesos que eran innecesarios (desperdicios), esto incluía no solo reducir inventarios sino otra clase de cosas que no agregaban un valor a sus productos.

A partir de esta eliminación de desperdicios surgió la palabra *LEAN*, cuyos principales objetivos eran mejorar la productividad de los procesos, reducir los inventarios, mejorar la calidad e involucrar cada vez más a los trabajadores. La palabra *Lean* hoy se enfoca tanto a procesos de manufactura como a servicios que tienen un bajo nivel de desperdicios.

2.3.2 Principios fundamentales de Lean.

Los principios fundamentales de *Lean* tienen su base en los principios del sistema de producción de Toyota que se presentan a continuación (Liker,2004):

Filosofía a largo Plazo.

1. Base sus decisiones administrativas y gerenciales en la filosofía de largo plazo, aún a expensas de las metas financieras a corto plazo.

El proceso correcto produce resultados correctos.

2. Cree un proceso de flujo continuo para que los problemas salgan a la superficie.
3. Use un sistema tipo *Pull* (Jalar) para evitar el desperdicio de la sobreproducción.
4. Nivele la carga de trabajo (Heijunka).
5. Construya en su organización sistemas que detengan y resuelvan los problemas para fabricar productos de calidad a la primera.
6. Estandarice las tareas y capacite a su personal para lograr el mejoramiento continuo.
7. Use control visual para que no se escondan los problemas.
8. Utilice equipos confiables; pruebe cuidadosamente la tecnología que sirve al proceso y a la gente.

Agrégueme valor a su organización desarrollando a su gente y a los socios.

9. Desarrolle líderes que entiendan detalladamente el trabajo, vivan esta filosofía y enseñen a otros.

10. Desarrolle gente y equipos excepcionales que sigan la filosofía de la compañía.
11. Respete a sus socios y proveedores y ayúdelos a mejorar por medio de retos a alcanzar.

Continuamente resuelva los problemas de raíz y haga una organización que aprenda.

12. Vea y observe cuidadosamente la situación por usted mismo.
13. Tome decisiones por consenso en forma lenta. Considere cuidadosamente todas las opciones pero impleméntelas rápidamente.
14. Conviértase en una organización que aprenda a través de una reflexión implacable y un mejoramiento continuo.

2.3.3 Los 7 desperdicios.

Lean Manufacturing originalmente identifica 7 tipos de desperdicio, aunque actualmente se habla de un 8vo desperdicio a causa del exceso o la falta de información que se tiene, así como el mal uso que se le puede dar a la misma (Dennis, 2002).

Tipo de Desperdicio	Clasificación
1. Defectos	Desperdicios
	Desp. Material Defectuoso
	Errores de documentación
2. Sobreproducción	Producción para mantener ocupado
	Tamaño de lotes excesivos
	Desp. de Capacidad
3. Sobreprocesamiento	Proceso innecesario
	Proceso para retrabajos
4. Espera	Espera por materiales
	Espera por autorización
5. Inventario Innecesario	Exceso Materia Prima
	Exceso en Inv. En Proceso
	Exceso Producto Terminado
	Desp. de espacio
6. Movimiento	Levantar-bajar, adelante-atrás
	Despl. por herramental o material
	Mov. Innecesario del operador
7. Transporte	Mov. De materiales (layout)
	Movimiento de papelería

Tabla 6. Tipos de desperdicio.

Otros autores sugieren que deben de ser 10 desperdicios, agregando a los tradicionales los siguientes (Cabeza, 2003):

8. Falta de aprovechamiento del talento humano.**9. Uso inadecuado de los sistemas computacionales.****10. Trabajar con las métricas/indicadores equivocadas.****2.3.4 Técnicas o herramientas.**

Las técnicas que se aplican en Manufactura Esbelta son prácticamente las mismas que surgieron con el TPS, he aquí en la tabla 7 algunas de las más relevantes para su implementación (Womack et al, 1996).

Técnica	Descripción
Flujo	El logro progresivo de tareas a lo largo del flujo de valor de tal forma que un producto que proceda de diseño a su lanzamiento, de la orden a la entrega, de ser materia prima a las manos del cliente, lo haga sin paros, desperdicios o re trabajo.
Heijunka	La creación de un programa nivelado mediante el orden secuencial de las órdenes en un patrón repetitivo y la suavización de las variaciones día a día en las órdenes totales para corresponder a la demanda de largo plazo.
Hoshin Kanri	Una herramienta estratégica para la toma de decisiones que enfoca los recursos en las iniciativas críticas necesarias para realizar los objetivos de la compañía. Unifica y alinea los recursos y establece indicadores meta claros contra los cuales el progreso de los objetivos clave es medido regularmente.
JIT-Justi in time	Un sistema para producir y entregar el producto correcto, en el tiempo correcto, en las cantidades correctas. Los elementos clave del JIT son el flujo, Jalar, trabajo estandarizado y el Takt time.
Kaikaku	La mejora radical de una actividad para eliminar desperdicio o muda, también es llamada "Breakthrough Kaizen", "Flow Kaizen", y " System Kaizen".
Kaizen	La mejora continua e incremental de una actividad para crear más valor con menos desperdicios o muda. También es llamado "Point kaizen" y "process Kaizen".
Kanban	Una pequeña tarjeta anexada a cajas de partes que regula el sistema de "jalar" en el sistema de producción Toyota, mediante la señalización de la producción y entrega flujo arriba.
Muda	Cualquier actividad que consume recursos pero que no crea valor.
Poka Yoke	Un dispositivo de prueba y error o un procedimiento para prevenir un defecto durante la toma de una orden o manufactura.
Mapa de flujo de valor (Value Stream Mapping)	La identificación de todas las actividades específicas que ocurren a lo largo del flujo de valor para un producto o familia de productos.

Tabla 7. Técnicas en Manufactura Esbelta.

Existen varias técnicas de *Lean* disponibles, de las cuales otros autores hacen referencia. Entre algunas de estas técnicas, llamadas Técnicas Esbeltas, están: Mapeo del flujo de valor (*Value Stream Mapping*), administración visual del espacio de trabajo, reducción de los tiempos de preparación de las máquinas, manufactura celular, sistemas "jalar" (*Pull System*) y mantenimiento productivo total (*Total*

Productive Maintenance). Es absolutamente esencial que *Lean* sea visto desde una perspectiva de un sistema total. La intención es proveer un mejor entendimiento de cómo estas técnicas se ajustan al desarrollo del proceso esbelto (Rizzardo et al, 2002).

2.3.5 Beneficios.

Los beneficios típicos que las compañías han obtenido al aplicar el pensamiento *Lean* son (Womack et al., 1996):

- Liberar hasta 50% de espacio en piso.
- Aumentar la productividad de 15% a 25% anual.
- Disminuir tiempos de entrega de semanas a días.
- Mejorar la calidad de los productos.

Basem y Raid (2006) mencionan que una empresa que aplica *Lean* debería de esperar los siguientes resultados:

- Reducción de *Lead time*.
- Reducción de inventarios.
- Reducción de defectos.
- Mejora en la utilización de la capacidad de los recursos.
- Mejora en la tasa de entrega de productos.
- Incremento en la productividad.
- Reducción en el costo por unidad.

Evans y Lindsay (2008), exponen en su libro de manera más cuantitativa beneficios similares a los anteriores y algunos complementarios como:

- Al menos un 60% en la reducción del tiempo de ciclo.
- 40% de mejora en la utilización de espacio.
- Mejora de 25% en el flujo.
- 50% de reducción en inventarios de producto en proceso y final.
- 50% en mejora de la calidad.
- 20% de mejora en el capital de trabajo y productividad del trabajador.

2.3.6 Metodologías de implementación.

La implementación de la metodología *Lean* es sumamente interesante y se han hecho buenas aportaciones para su implementación, el Instituto Tecnológico de Massachusetts en un programa de colaboración que tienen con la fuerza aérea norteamericana propone los siguientes modelos.

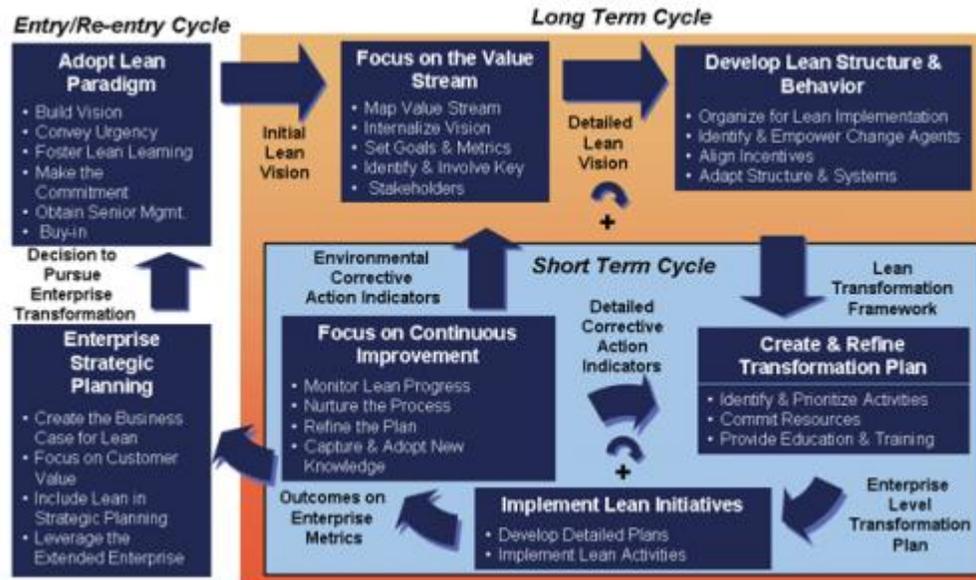


Figura 10. Metodología de Lean manufacturing (MIT,2000)

La figura 10 describe con sus principales componentes o acciones 7 fases para poder hacer la transición a una empresa tipo *Lean* (MIT, 2000). La metodología es cíclica, lo cual evoca a metodologías de mejora continua básicas como el PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) popularizado por Deming y desarrollado por Shewhart en los 30's, solo que en el modelo del MIT se particularizan las actividades para implementar *Lean*, tales como el cambio de paradigma que debe de tener la organización basado en el apoyo de los administradores, pasando a establecer un mapa de flujo de valor que nos diga claramente que metas se tienen, quienes están involucrados en las mismas para posteriormente en un esfuerzo de equipo implementar el pensamiento y cultura *Lean* a través de actividades descritas en planes específicos que a lo largo del tiempo permitan ver resultados que mejoren la empresa y que serán revisados en una planeación estratégica.

La segunda metodología llamada *Enterprise Lean Model* es derivada de un estudio del MIT en el 2004 y la *Lean Aerospace Initiative* para potenciar las mejores prácticas en la ejecución de esta metodología en las organizaciones, provee una serie de pasos en donde se especifican las prácticas exitosas en aspectos que están ligados con la implementación de *Lean* en la empresa. La metodología sugiere métricas para monitorear los resultados de los cambios hechos en los procesos internos de la

organización. Esta metodología intenta optimizar flujos de información, humanos y materiales en los procesos proporcionándonos métricas que respondan directamente a cada uno de los 12 puntos a monitorear en la metodología. El *Enterprise Lean Model* a diferencia del anterior que era para iniciar la implementación de Lean se usa mas para refinar y hacer que trabajen mejor los procesos en base a un pensamiento esbelto.

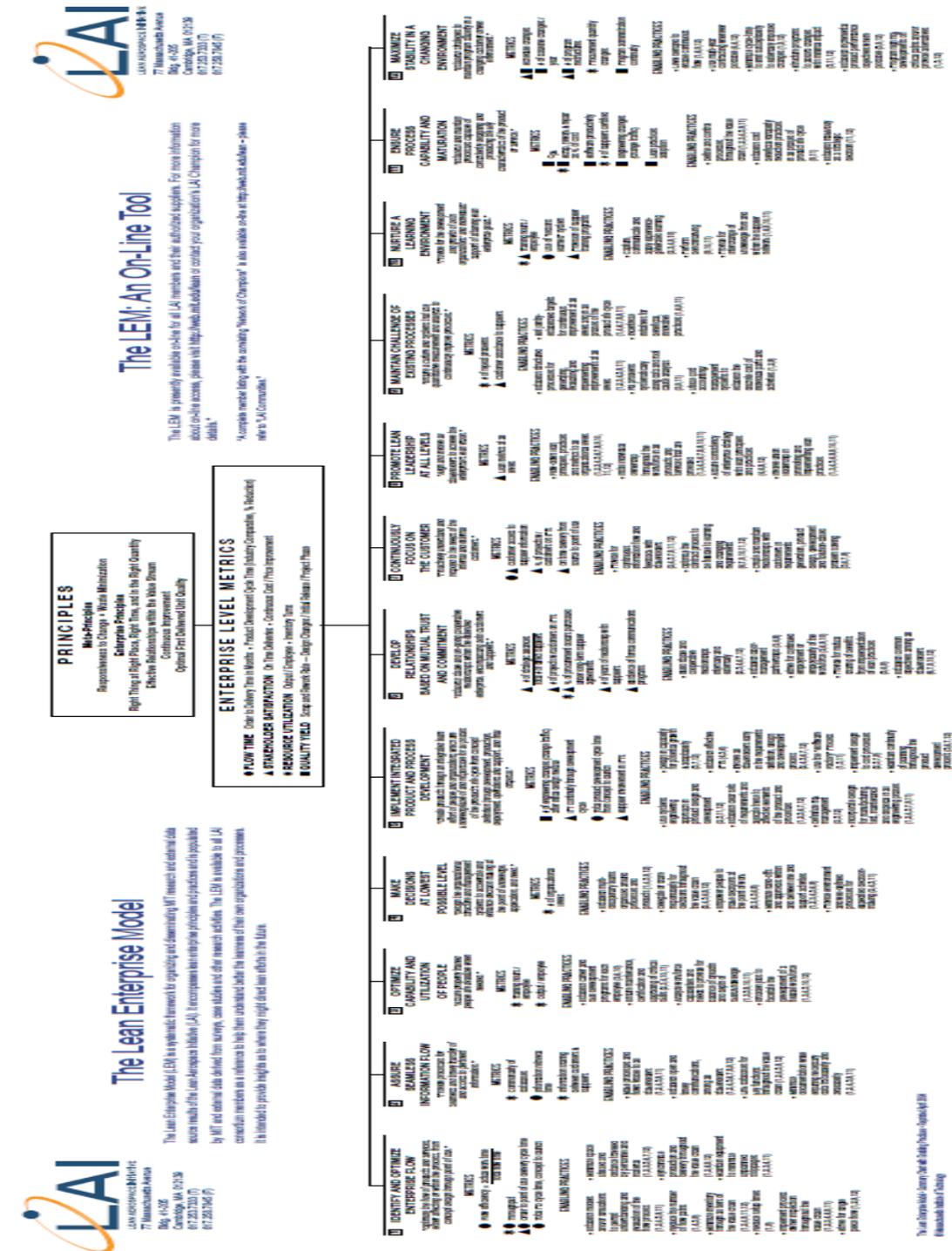


Figura 11. Enterprise Lean Model (MIT,2004).

También se pueden identificar 5 pasos básicos para tener un proceso *Lean* (Nave, 2002; Snee, 2004b; Womack, 2006):

- (1) Definir qué agrega valor en un proceso dado.
- (2) Identificar el flujo de valor, el flujo cronológico de como las actividades del proceso agregan valor, ya que la gente es visual por naturaleza y pueden colocar las actividades de valor cuando pueden ver con ayuda los flujos del proceso.
- (3) Forzar que las actividades fluyan sin interrupciones. Cualquier actividad que no agregue valor debe ser removida o minimizada (en el caso que las actividades que no agreguen valor sean requeridas el impacto al proceso es minimizado).
- (4) Permitir al cliente jalar el producto o servicio a través del proceso.
- (5) Búsqueda continua de la perfección del proceso revisando los pasos anteriores nuevamente para formar un ciclo y asegurarnos continuamente que el proceso es mejorado.

Jing (2008) en una conferencia para la IIE(*Institute of Industrial Engineers*) resumió de la forma en que se muestra en la figura 12 la metodología *lean*, en esta metodología se aprecia cómo las herramientas son comunes a otras anteriormente presentadas y el evento llamado Kaizen se resalta porque es bajo su ejecución continua como se llegan a producir mejoras en la organización.

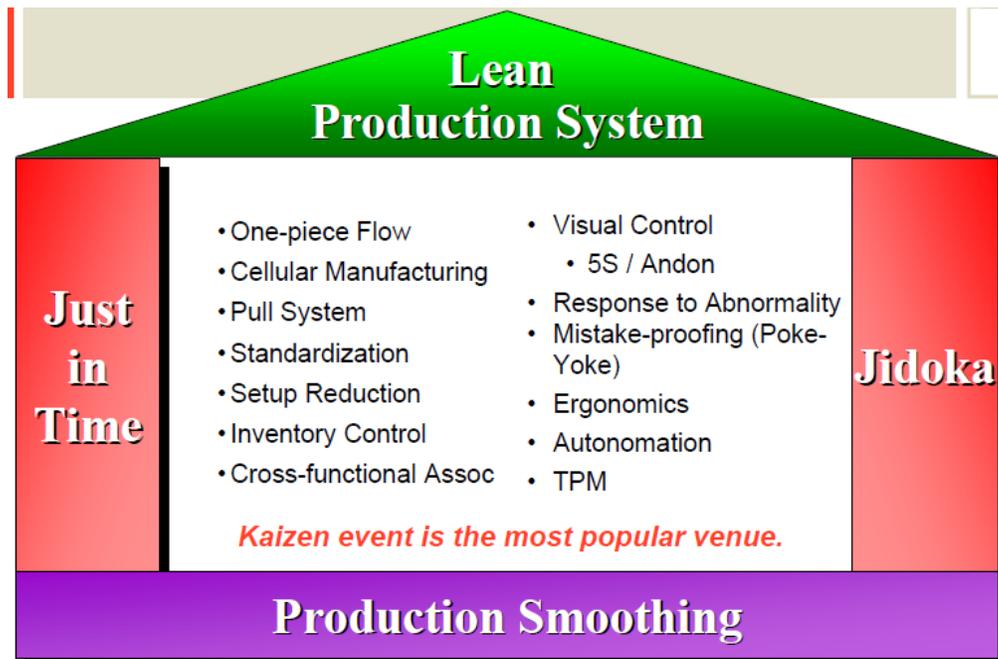


Figura 12. El Lean production system.

El llamado *Lean Production System* de la figura 12 se consolida al aplicar la mayoría de estas herramientas, siendo interdependientes unas con otras.

2.3.7 Conclusiones.

La metodología *Lean* es muy importante para empresas con consolidado liderazgo a nivel mundial, su práctica al igual que Seis Sigma tiene como fundamento el ciclo de mejora PDCA (*Plan-Do- Check- Act*) desarrollado por Shewhart, solo que se enfoca más en la eliminación sistemática de actividades, áreas o elementos que no agregan valor a la organización.

Al igual que Seis sigma, Lean es poco conocido en las PyME Tamaulipecas, de acuerdo a lo mostrado por Barbosa et al. (2011) **solo 13% de estas empresas en el estado cuentan con conocimientos sobre esta metodología y ninguna la aplicaba en sus operaciones o proyectos.**

2.4 Las PyMEs como Organización.

2.4.1 Importancia de las pequeñas y medianas empresas.

En el actual entorno de competitividad y globalización existe más conciencia de la importancia que tienen las PyMEs en la economía mundial, ya que éstas aportan en algunos casos, más del 95% de las exportaciones (Soto y Dolan, 2004).

Las empresas según Mercado (1995) se pueden clasificar de acuerdo a sus actividades en: Industriales, de las cuales se subdividen en fabriles y extractivas, o en comerciales, de las que se derivan las mercantiles o financieras y las de transporte o servicios personales.

La tabla 8 muestra como las empresas Mexicanas se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño e ingresos (Observatorio PyME México, 2002):

SECTOR	MANUFACTURERO	COMERCIO	SERVICIOS
TAMAÑO			
Micro	0-10	0-10	0-10
Pequeña	11-50	11-30	11-50
Mediana	51-250	31-100	51-100
Grande	251 en adelante	101 en adelante	101 en adelante

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2002.

Tabla 8. Clasificación de empresas de acuerdo a su tamaño.

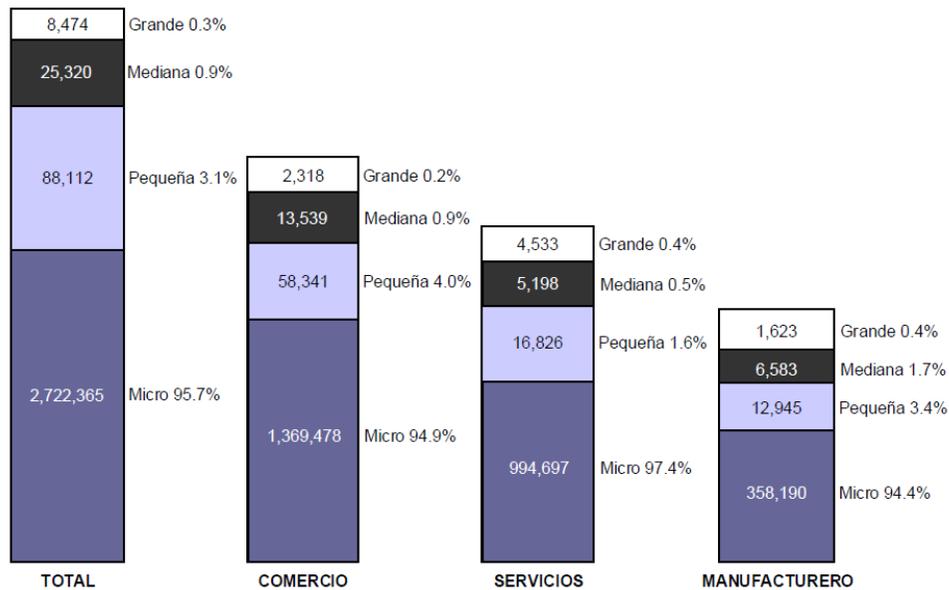
Partiendo de esto, en la tabla 9 se presenta la información de cómo se subdividen en sectores las pequeñas y medianas empresas:

SECTOR	PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA	
	PERSONAL OCUPADO	VENTAS ANUALES (DÓLARES)
Manufacturero	10 a 200	500,000 a 24,000,000
Comercio	5 a 100	1,000,000 a 48,000,000
Servicios	5 a 100	250,000 a 12,000,000

Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Tabla 9. División de la empresa de acuerdo a su personal y ventas anuales.

De acuerdo a esta última división por sector se puede desglosar el porcentaje de empresas de acuerdo a su tamaño en la figura 13:



Fuente: INEGI, Censos Económicos 1999.

Figura 13. División de empresas de acuerdo a su sector.

Se nota como el sector Micro empresarial es considerablemente el de mayor auge dentro de las empresas Mexicanas.

Algunas de las características generales que presentan las PyMEs son (Mercado, 1995):

- 1-Sirven a un mercado limitado o dentro de un mercado más amplio a un número reducido de clientes.

2-El tamaño de estas empresas corresponde al programa de producción de cada una de ellas y a la capacidad de los empresarios para administrarlas.

3-Fabrican productos, con tendencias a cierta especialización, y usan procesos sencillos de fabricación.

4-Disponen de medios financieros limitados.

5-Sus equipos de producción y maquinaria son sencillos.

6-Cuentan con personal reducido.

7-Utilizan en su mayoría materias primas locales de fácil acceso, no siempre conservables o bien semi terminados.

8-Los empresarios cooperan personalmente en la producción, la supervisión directamente o la dirigen mediante un número reducido de supervisores.

Dentro de las problemáticas que más se suelen presentar en las PyMEs se encuentran las siguientes (Soto y Dolan, 2004):

1-Dirección con visión a corto plazo.

2-Falta de atención a la calidad:

Se enfatiza que se da más importancia a la producción y a la venta, sin prestar atención a la gestión de procesos, productos y servicios.

3-Tecnología de producción inadecuada:

Las PyMEs no reinvierten lo suficiente en el mejoramientos de instalaciones y avances tecnológicos.

4-Información de gestión insuficiente:

Aquí se presenta un área de oportunidad importante y con necesidades de atención, ya que sin información y datos difícilmente se puede medir la eficiencia de la empresa.

5-Productividad insuficiente:

Este concepto no se da a menudo debido en gran parte a la falta de motivación y compromiso de los trabajadores.

6-Estructura organizativa inadecuada:

No se realizan revisiones con frecuencia.

7-Recursos humanos poco calificados:

La capacitación y desarrollo sigue siendo visto por muchos empresarios como un gasto superfluo.

Entre las limitaciones que genera el entorno de la PyME se encuentran muy a menudo, la falta de estabilidad económica en los países, debido a la ausencia de políticas adecuadas que redundan negativamente en la actividad empresarial. Por lo general, un manejo equivocado de las políticas económicas resta competitividad a las actividades de la PyME y a sus exportaciones e incrementa las ventajas de los productos importados (Prado y Millar, 2003).

La inexistencia de gremios de pequeños y medianos empresarios, lo suficientemente fuertes para actuar como grupo de presión y lograr políticas beneficiosas para el sector, es otra de las debilidades inherentes a la PyME (Prado y Millar, 2003).

La legislación vigente por lo general no se compadece de las restricciones de éste sector. Las leyes laborales son inflexibles y encarecen la mano de obra, impidiendo las contrataciones temporales, lo cual es un elemento primordial en el funcionamiento de la pequeña y mediana empresa (Prado y Millar, 2003).

2.4.2 Caracterización de las PyMEs Mexicanas en números.

Es importante para éste trabajo de investigación establecer cuáles son las características más importantes que se deben observar en una PyME para poder emprender un proyecto de mejora con las metodologías que se proponen, para ello se tiene la información del artículo de Antony et al. (2008c) que documenta cuales son los factores críticos de éxito para implementar Seis Sigma en una PyME, esta información es muy válida al ser Seis Sigma la columna vertebral de la metodología que se propone, las características a buscar en las PyMEs son:

- La gerencia general debe tener el compromiso de la implementación del programa de mejora y motivar a sus empleados a participar en él.
- La gerencia general debe establecer claramente la necesidad de implementar el programa de mejora con empleados de todos los niveles.
- Los proyectos de mejora deben ser cuidadosamente elegidos y con alta probabilidad de éxito.
- Entrenar a un grupo de la empresa con la colaboración de universidades locales.
- Las PyMEs no requieren una infraestructura masiva con *Master Black Belts*, *Black Belts* , en opinión del autor es adecuado desarrollar *White* y *Yellow Belts* que conozcan el proceso de llevar el proyecto y que puedan hacer entre 6 u 8 proyectos anuales de un valor entre 8,000 y 10,000 euros.

En la dirección de estas recomendaciones se ha extraído información cuantitativa del Observatorio PyME México (2002) que se considera relevante de acuerdo a lo aportado por Antony et al.(2008c):

1-Principales características de los responsables de las empresas:

La educación es considerara importante, ya que considero que entre mayor educación el empresario tiende a tener mayor visión del negocio e interés en el desarrollo profesional del mismo, a través de metodologías que demandan tiempo, esfuerzo y recursos como lo es la que se propone en éste trabajo de investigación.

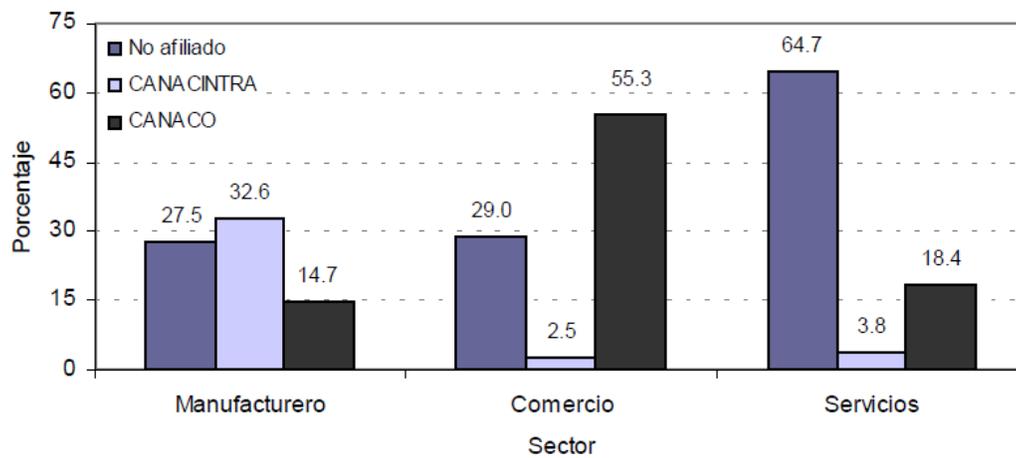
La tabla 10 muestra resultados positivos al tener el 50% de los responsables de las PyMEs una preparación de licenciatura y un porcentaje más discreto estudios de posgrado.

FORMACIÓN	MASCULINO		FEMENINO		TOTAL	
	INCOMPLETA	COMPLETA	INCOMPLETA	COMPLETA	INCOMPLETA	COMPLETA
Primaria	1,522	6,085	1,109	1,430	2,631	7,515
Secundaria	2,078	7,190	1,242	6,710	3,320	13,900
Preparatoria o profesional técnico	8,719	20,077	3,236	11,395	11,955	31,472
Licenciatura	17,101	83,328	6,593	25,907	23,694	109,235
Maestría	3,418	9,443	348	742	3,766	10,185
Doctorado	0	812	0	244	0	1,056
Total	32,838	126,935	12,528	46,428	45,366	173,363

Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Tabla 10. Formación completada dividida por sexo.

2-Otro factor importante que está directamente relacionado con el responsable de la empresa y sus decisiones es la participación de la PyME en organismos empresariales, esto se considera relevante, ya que dichos organismos incentivan el compartir información, recursos y prácticas que pueden apoyar a que la empresa sea más competitiva.



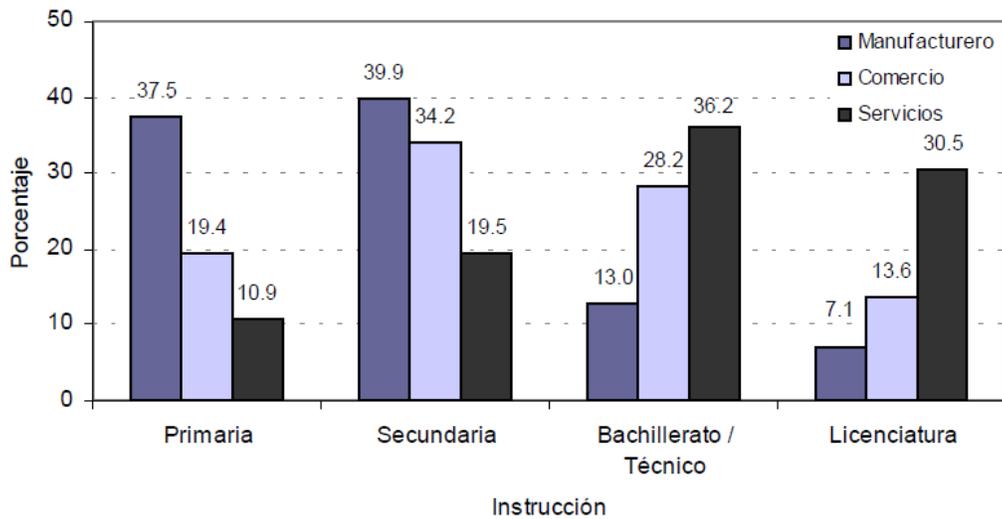
Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Figura 14. Porcentaje de empresas afiliadas a organismos por sector.

La figura 14 muestra como existe aún un rezago importante sobre todo en el sector servicios en donde la afiliación se da en tan solo poco más del 20%, cosa que contrasta con el sector manufacturero, cuya estandarización y mayor regulación supone el número de 60% de afiliaciones.

3- Características del personal que trabaja en la empresa y su capacitación:

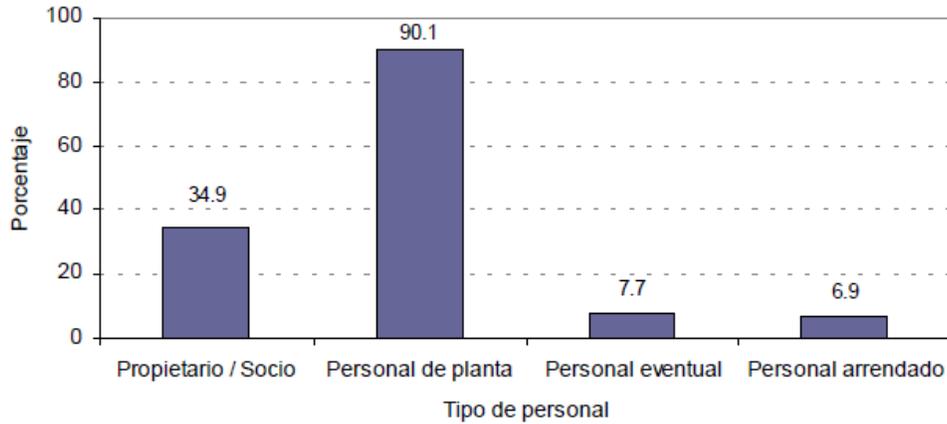
El nivel de educación del personal es de suma importancia para la metodología propuesta en esta tesis, ya que para implementarla es necesario que exista gente preparada para entrenarse. En la figura 15 vemos como en promedio los empleados por sector que tienen licenciatura terminada no rebasan el 15%, lo cual no es una cifra alta pero si suficiente para los fines de las metodologías a implementar, ya que según Keller (2005) lo más común es que una empresa tenga 0.5 % de sus empleados capacitados como *Black Belt*.



Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Figura 15. Porcentaje de empleados por nivel educativo alcanzado en cada sector.

La capacitación que se da en las empresas es otro punto importante para la implantación de metodologías de mejora basada en proyectos como es la que se propone, es por eso que en la figura 16 observamos que el personal al que se capacita es preponderantemente al de planta cosa muy normal en cualquier empresa.



Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Figura 16. Porcentaje de personal capacitado por tipo de personal.

En la tabla 11 observamos como las áreas bien vistas para la inversión son las medulares para el negocio de acuerdo a su giro, por lo que el proponer una metodología que se enfoque en resolver problemas ligados a la producción, el aumento de ventas y la mejor administración resultaría atractiva para las PyMEs.

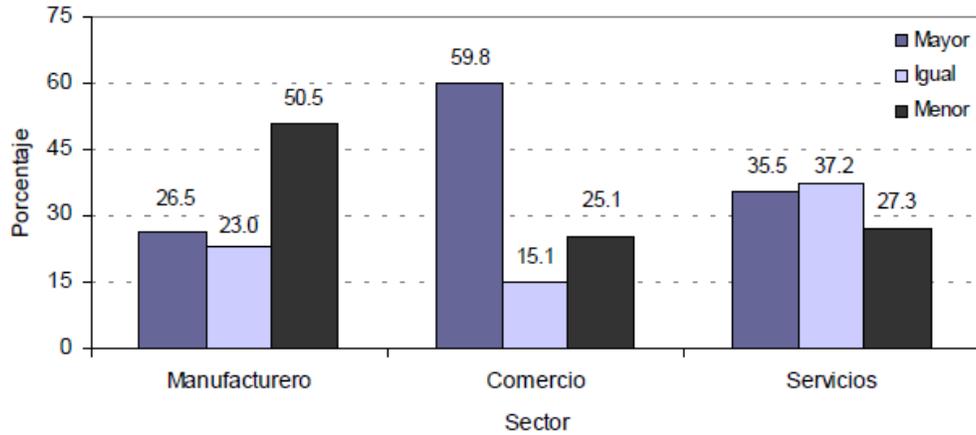
SECTOR	TEMAS EN ORDEN DE IMPORTANCIA Y PORCENTAJE DE DEMANDA (EN PARENTESIS)			
	MAYOR			MENOR
Manufacturero	Producción (75.7%)	Seguridad e higiene (41.5%)	Manejo, mantenimiento y reparación de equipos y maquinaria (39.5%)	Administración y contabilidad (31.3%)
Comercio	Comercialización, mercadotecnia, promoción, publicidad y ventas (64.8%)	Computación (47.2%)	Administración y contabilidad (43.8%)	Aspectos fiscales y contables (35.1%)
Servicios	Aspectos fiscales y contables (46.0%)	Computación (45.4%)	Administración y contabilidad (41.6%)	Manejo, mantenimiento y reparación de equipos y maquinaria (25.8%)

Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Tabla 11. Porcentaje de empresas que invierten divididas por áreas y sectores.

4-Inversión en las PyMEs:

Este punto es relevante, ya que la inversión se traduce en proyectos, mismos que dan entrada al mejoramiento y a la posible aplicación de metodologías como la que se está proponiendo. De ésta manera vemos en la figura 17 como en el sector manufacturero la inversión en el año 2001 se redujo, mientras que la tendencia en los otros sectores es de al menos mantener la inversión, cosa que nos da indicios de que en estos sectores se puede invertir en mas proyectos de mejora.



Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Figura 17. Porcentaje de empresas con inversión (mayor, menor o igual) por sector.

En las tablas 12 y 13 se hace un desglose más a detalle de los destinos de inversión, aquí podemos destacar como los proyectos de incremento en productividad, nuevos productos, incremento en ventas y de optimización son en donde están las opciones más viables para hacer proyectos de mejora al ser prioritarias para las empresas.

DESTINOS EN ORDEN DE IMPORTANCIA Y PORCENTAJE DE EMPRESAS (EN PARENTESIS)			
1°	2°	3°	4°
Expansión de la planta productiva (37.9%)	Elaboración de nuevos productos (29.8%)	Reducción de costos (29.0%)	Automatización del proceso productivo (21.4%)

Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Tabla 12. Porcentaje de destinos de inversión en las PyMEs.

SECTOR	DESTINOS EN ORDEN DE IMPORTANCIA Y PORCENTAJE DE EMPRESAS (EN PARENTESIS)			
	MAYOR			MENOR
Manufacturero	Modernización y optimización del área, en el mercado nacional (46.9%)	Cambios en la estrategia en el mercado nacional (43.9%)	Investigación en el mercado nacional (16.1%)	Publicidad (7.1%)
Servicios	Modernización y optimización del área, en el mercado nacional (56.0%)	Cambios en la estrategia en el mercado nacional (14.1%)	Mejor eficiencia en las actividades de la empresa (14.1%)	Investigación en el mercado nacional (5.3%)

Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

DESTINOS EN ORDEN DE IMPORTANCIA Y PORCENTAJE DE EMPRESAS (EN PARENTESIS)			
1°	2°	3°	4°
Incremento en las ventas (39.5%)	Incorporación de nuevas tecnologías (34.1%)	Cambios en la estrategia de ventas (21.2%)	Reducción de costos (15.3%)

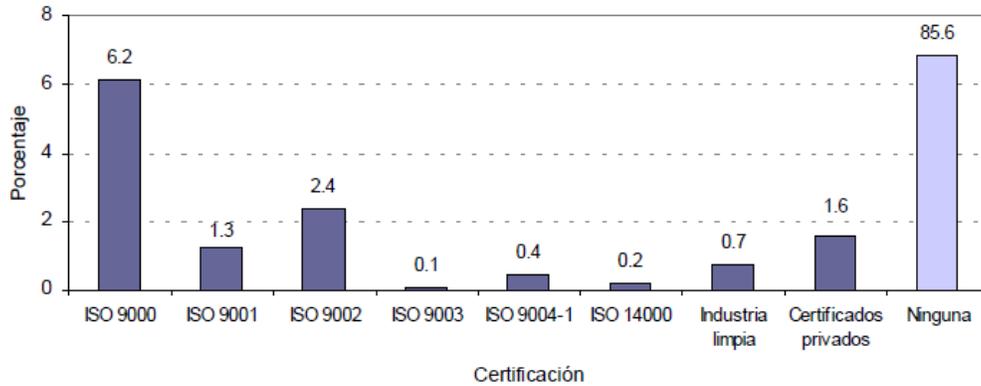
Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Tabla 13. Porcentaje de inversión por sector y tema.

5- Sistemas de calidad o herramientas de mejora utilizadas.

Este es otro indicativo de la oportunidad para implementar una metodología como la propuesta, ya que si la PyME utiliza herramientas de calidad o mejor aún, esta certificada en ISO9000 tiene una buena base para aplicar la metodología.

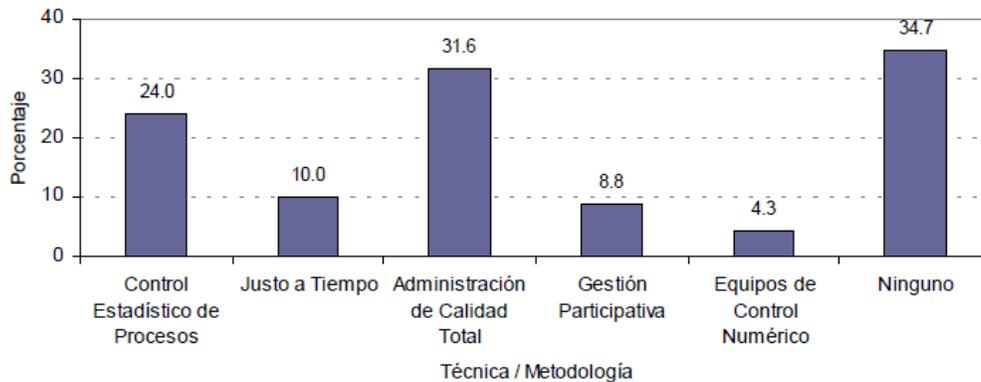
En la figura 18 se muestra como sólo un 10% de las empresas tienen algún tipo de certificación para sus procesos.



Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Figura 18. Porcentaje de empresas con alguna certificación.

En la figura 19 se ve mas específicamente como ya algunas empresas utilizan tecnicas que van a ser propuestas en la metodología de proyectos, tales como el Control Estadístico, Justo a tiempo, Administración por calidad total y la Gestión participativa.



Fuente: Encuesta del Observatorio PyME 2002.

Figura 19. Porcentaje de empresas que utilizan herramientas de calidad o mejora.

2.4.3 Perfil de las PyMEs en México.

La situación de las PyMEs mexicanas se puede caracterizar de la siguiente manera (Anzola ,1993; Rodríguez ,1999):

FACTORES	RESULTADOS
DATOS ESTRUCTURALES	Los criterios para establecer el "tamaño" de una empresa gozan de poco consenso. La inflación cambia los valores financieros o de ventas con demasiada rapidez. En empresas pequeñas y medianas la estructura organiza es familiar.
TECNOLOGIA	La mayor parte "utiliza sistemas de producción tradicional" aun un porcentaje ya esta utilizando procesos automatizados
MEDIO AMBIENTE	Su medio es complejo y sostiene relaciones con otras organizaciones: Proveedores, clientes, competencia, asociaciones, bancos, gobierno, despachos profesionales de consultaria
PROBLEMATICA A LA QUE DEBEN ENFRENTARSE	El orden de la importancia atribuida, son ocho problemas que a juicio de los empresarios, son los mas difíciles que actualmente encaran en sus organizaciones: Recursos Humanos, Deficiencias del Gobierno (demasiados controles), falta de seriedad de los proveedores, financiamiento, materias primas (calidad y escasez). Mercado, competencia, deficiente organización.
VALORES Y OBJETIVOS	Para la mayoría de directores el objetivo principal es maximizar las utilidades. La toma de decisiones es centralizada y la ejecución la realizan los jefes de Área, aqui se les responsabiliza de los resultados obtenidos
CRECIMIENTO Y PLANEACION	La mayoría de las empresas han crecido en los últimos años. Por lo que se refiere a la planeación (estratégica y táctica), ésta es casi inexistente
PROCESOS INFORMATIVOS	Lo relevante a estar al día en cuanto a productos y tecnología. Los datos los obtienen mediante: visitas al extranjero, revistas especializadas, información de sus clientes, sobre técnicas administrativas las adquieren por cursos, los aspectos financieros los obtienen con otros industriales y banqueros

Tabla 14. Valores y actitudes de la PyME Mexicana (Anzola, 1993; Rodríguez, 1999).

De la tabla anterior podemos resaltar que en general el liderazgo en una PyME Mexicana es de tipo centralizado, los procesos no son avanzados y las relaciones entre clientes y proveedores no se dan de manera tan efectiva, por otra parte las fuentes de información que utilizan (revistas, clientes, viajes) nos indican que no tienen procesos establecidos de mejora en base a proyectos o indicadores. Todas estas variables denotan el área de oportunidad en las PyMEs.

2.4.4 Las funciones de las PyMEs.

Existen tres aspectos en los que las pequeñas y medianas empresas cumplen con una función definida en el desarrollo general del país y específicamente, en el proceso de industrialización (Viliesid, 1980):

1. Completar faltantes en materia de producción: Existen muchos productos que se hacen en cantidades menores. Esta situación trae como necesidad el que se deba producir un bajo volumen con máquinas, procesos y empresas adaptadas especialmente al producto en cuestión. Esto trae consigo que lejos de competir, la PyME realmente venga a complementar lo que se hace en las empresas de mayor tamaño.
2. Crear y fortalecer una clase empresarial: La PyME es importante en el contexto de formar empresarios, administradores, y técnicos. Su tamaño facilita la adquisición de experiencia sin sacrificar tanto dinero en el camino. Lo anterior no se da tan fácilmente en las empresas grandes, puesto que éstas requieren de mayor especialización, técnicas y de gran experiencia, donde una mala toma de decisiones puede costarle a las empresas grandes pérdidas de capital.
3. Genera muchos empleos: La creación de fuentes de trabajo es una constante necesidad no solo en México sino en la mayoría de los países del mundo.

La pequeña empresa se caracteriza porque las principales actividades de toma de decisiones, tales como el rumbo que la empresa sigue, su situación financiera, su operatividad y aspectos del personal las toma el dueño o encargado. En la mediana empresa, comparada con la anterior, se tiene más oportunidad de financiamientos, se cuenta con mayor soporte de personal capacitado, existe una organización de los procesos más profesional, y la gente a cargo tiene un grado de especialidad mayor. Sin embargo a pesar de que las PyMEs poseen una posición importante en la generación de empleos en el país, tienen una serie de problemas que obstaculizan su desarrollo. Esto determina condiciones de desventaja en su competencia con las grandes empresas y sobre todo con empresas transnacionales.

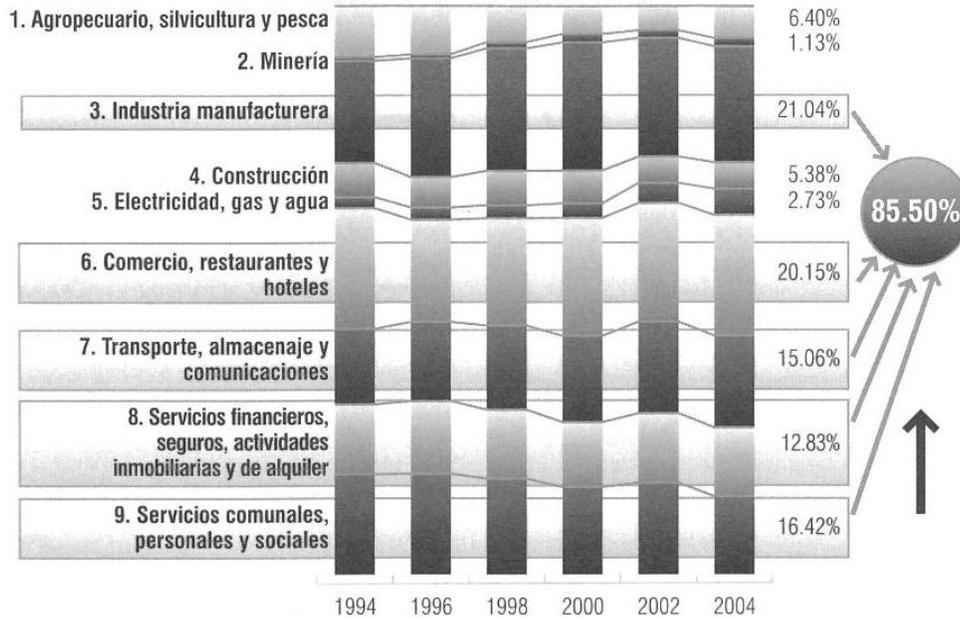


Figura 21. Porcentajes de participación del PIB del estado de Tamaulipas por sector (Moya et al.,2009).

En materia de exportaciones las PyMEs que exportan solo representan el 1.22% de las empresas estatales. De ese porcentaje el 86% exporto hacia Estados Unidos, 13% exporto a Europa, 5% a Sudamérica y 4% a Canadá (Robles et al., 2008).

Los tratados de libre comercio que México tiene aunado a su privilegiada ubicación fronteriza con los Estados Unidos hacen que las PyMEs deban de explotar éstas ventajas, por esto deben ser más competitivas, sin embargo estas empresas en Tamaulipas han tenido que lidiar con la problemática de la ignorancia de la existencia de programas nacionales y estatales para su apoyo financiero, su tamaño y alta rotación de personal. Solís (2007) en su estudio ha resaltado que del 2000 al 2005 en México han desaparecido más de 11,000 empresas y con ellas cerca de 500,000 empleos en las PyMEs.

En materia de empresas se contabilizan cerca de 20,000 establecidas en el estado de Tamaulipas, de las cuales cerca de 1,500 se catalogan por su tamaño como PyME (SIEM, 2011). Barbosa et al. (2011) expone que en Tamaulipas cerca de un **16% de las empresas que encuestó en su investigación cuentan con conocimientos en materia de herramientas de calidad y productividad y el 30% están certificadas en ISO9000**. Tomando como referencia estas cifras, la localización de instituciones de educación superior de prestigio como el ITESM Campus Tampico en el estado, así como la accesibilidad geográfica del autor de esta tesis para trabajar en el estado han sido factores decisivos para que sea éste el seleccionado para el estudio de casos sobre la metodología integrada de Lean y Seis Sigma.

Capítulo 3: La Sinergia entre Lean, Seis Sigma y el ITESM

3.1 Introducción.

En este capítulo se efectuarán comparaciones y complementos entre las metodologías descritas con anterioridad, se señalarán sus diferencias, sus características en común y se darán detalles sobre su integración, todo ello basado en la investigación realizada por el autor y lo planteado en trabajos realizados por expertos en materia de calidad. También se abordará información sobre las formas en que las universidades pueden intervenir en un modelo que promueva la sinergia entre *Lean* y Seis Sigma. De acuerdo a lo escrito en páginas anteriores tenemos ahora una idea más clara de las similitudes y diferencias que pueden tener éstas metodologías.

Para algunos fabricantes, la unión de *Lean* con Seis Sigma es el matrimonio perfecto, proveyendo éste las herramientas necesarias para cubrir la demanda real con productos de alta calidad en el menor tiempo posible. Una vez que las empresas adoptan estos principios, algunos beneficios llegan rápido, otros más lentos. Pero lo atractivo de *Lean* es su enfoque en la mejora continua y en un flujo estable de beneficios. Los usuarios más avanzados de estas dos técnicas expanden este concepto más allá de un proceso de manufactura, aplicándolo a todas las actividades corporativas, de comunicaciones y procesos que involucran a proveedores. Aquí el enfoque es de una empresa *Lean*, en lugar de simplemente Manufactura Esbelta (Latuga, 2007).

3.2 Inicios y contrastes entre metodologías:

Lean Seis Sigma ha estado alrededor del mundo empresarial como un programa de calidad por alrededor de dos décadas (Fraser,2009). La figura 22 expone cómo han ido evolucionando las metodologías en paralelo (TBM, n.d):

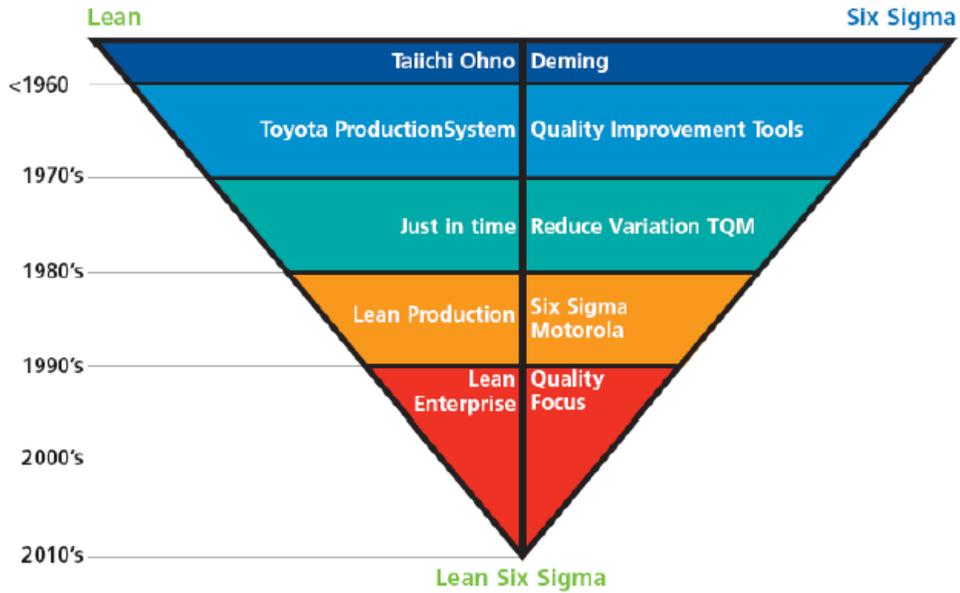


Figura 22. Evolución paralela de Seis Sigma/Lean.

Seis Sigma y *Lean* son útiles porque se complementan, ambas son enfocadas en los requerimientos del cliente, el ahorro en dólares reales, tienen el potencial de hacer mejoras financieras que impactan significativamente a la organización y pueden ser fácilmente usadas en un ambiente que no sea el de manufactura. Existen diferencias también entre ambas, ya que *Lean* se enfoca en problemas visibles como el de inventarios, flujos de material y seguridad, mientras que Seis Sigma se enfoca más en cuestiones no tan visibles como la variación en los procesos (Evans y Lindsay, 2008).

La sinergia entre Seis Sigma y *Lean* se puede mostrar en la tabla 15 (Pyzdek, 2000):

<i>Lean Manufacturing</i>	<i>Six Sigma</i>
Establecer una metodología para la mejora	Despliegue de una política de metodologías
Enfoque en la cadena de valor del cliente	Medición de requerimientos del cliente, administración cross-funcional
Utilizar una implantación basada en proyectos	Habilidades de administración de proyectos
Entender las condiciones actuales	Descubrimiento del conocimiento
Recolectar datos del producto y de la producción	Herramientas de recolección de datos y de análisis
Documentar el arreglo de maquinaria actual y el flujo	Hacer mapeos y diagramas de flujo del proceso
Medir el tiempo del proceso	Herramientas y técnicas de colección de datos, control estadístico de proceso (CEP)
Calcular la capacidad de proceso y el Takt Time	Herramientas y técnicas de colección de datos, CEP
Crear hojas de combinación de estándares de proceso	Planeación de control de procesos
Evaluar opciones	Causa y efecto, Análisis de Modo y Efecto de Fallas (FMEA, por sus siglas en inglés)
Planear nuevos arreglos de maquinaria	Habilidades de equipos, administración de proyectos
<i>Lean Manufacturing</i>	<i>Six Sigma</i>
Pruebas para confirmar la mejora	Métodos estadísticos para comparaciones válidas, CEP
Reducir tiempos de ciclo, defectos en productos, tiempos de cambio, fallas de equipos, etc.	Siete herramientas administrativas, siete herramientas de control de calidad, diseño de experimentos.

Tabla 15. Sinergia entre Seis Sigma y Lean Manufacturing.

Wheat et al. (2003), en su libro “*Leaning into Six Sigma*”, exponen los principios y técnicas de ambas metodologías vistas en la tabla 16:

<i>Principios y técnicas de Lean Manufacturing</i>	<i>Principios y técnicas de Six Sigma</i>
Organización del lugar de trabajo	DMAIC
5 S	Cintas negra maestra, negra y verde
Trabajo estandarizado	Reducción de la variación
Identificación y eliminación del desperdicio	Enfoque en proyectos (de uno a tres meses)
Mapeo de la cadena de valor	Control estadístico de procesos (Cp, Cpk)
Fuerza de trabajo multihabilidades y en equipo	Evaluación del sistema de medición (Estudios R&R de herramientas de medición)
Eventos kaizen (una semana)	Análisis de causas raíz y prueba de hipótesis
Jidoka (A prueba de errores)	Diseño de experimentos, Método Taguchi
Justo a tiempo	Análisis de regresión
Manufactura en celdas	Análisis de varianza (<i>ANOVA</i> , por sus siglas en inglés)
Flujo de una pieza (takt time)	Análisis de Modo y Efecto de Falla (<i>FMEA</i>)
Reducción de tiempos de preparación (SMED)	Operación evolutiva (<i>EVOP</i> , por sus siglas en inglés)
Sistema de jalar (kanban)	Metodología de Superficie de Respuesta (<i>RSM</i> , por sus siglas en inglés)
Suavizamiento de la producción	Estabilidad del proceso
Flujo de trabajo balanceado	
Reducción de inventarios	
Administración visual	
Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés)	

Tabla 16. Técnicas y herramientas de Lean y Seis Sigma.

La complementariedad en los enfoques que presentan las metodologías con sus éxitos está documentada. La tabla 17 muestra tanto las diferencias fundamentales en las metodologías de Seis Sigma y *Lean*, como la complementariedad de las mismas (Antony et al. 2003):

<i>Puntos / Problemas / Objetivos</i>	<i>Six Sigma</i>	<i>Lean Production</i>
Enfoque en el flujo de valor del cliente	No	Si
Enfoque en crear un área de trabajo visual	No	Si
Creación de hojas estándares de trabajo	No	Si
Ataque al inventario de trabajo en proceso	No	Si
Enfoque en un buen mantenimiento del lugar de trabajo	No	Si
Planeación y monitoreo del control de procesos	Si	No
Enfoque en reducir variación y lograr salidas del proceso uniformes	Si	No
Enfoque fuerte en la aplicación de herramientas y técnicas estadísticas	Si	No
Emplea una metodología de solución de problemas estructurada, rigurosa y bien planeada	Si	No
Ataca el desperdicio debido a espera, sobreproceso, movimiento, sobreproducción, etc.	No	Si

Tabla 17. Diferencia de enfoque Lean y Seis Sigma.

Las metodologías son buenas más no infalibles, es por eso que un enfoque de integración puede subsanar estas posibles omisiones o fallas, haciendo de ésta manera un proyecto más completo (Mantilla,2009). En la tabla 18 se muestran las debilidades de Lean y Seis Sigma.

Lean	Six sigma
<ul style="list-style-type: none"> No describe explícitamente proyectos, no define una metodología y no involucra los roles de las personas para el logro del resultado. No provee herramientas para el análisis y detección de las fuentes de variabilidad No reconoce el impacto de la variabilidad en los procesos Enfoque en la cadena de valor 	<ul style="list-style-type: none"> No tiene un enfoque de eliminación del desperdicio Por si solo no puede mejorar la velocidad de los procesos dramáticamente El objetivo de reducción de defectos de six sigma se logra más rápido con el enfoque lean de eliminar las actividades que no agregan valor

Tabla 18. Debilidades de Lean y Seis Sigma.

El instituto de Lean Sigma (n.d) expone en la figura 23 que el resultado de los procesos en los que se combinan Lean y Seis Sigma generan una mejor resultado, puesto que al ir reduciendo el numero de pasos e incrementando el nivel de sigma se obtienen procesos mas esbeltos y confiables.

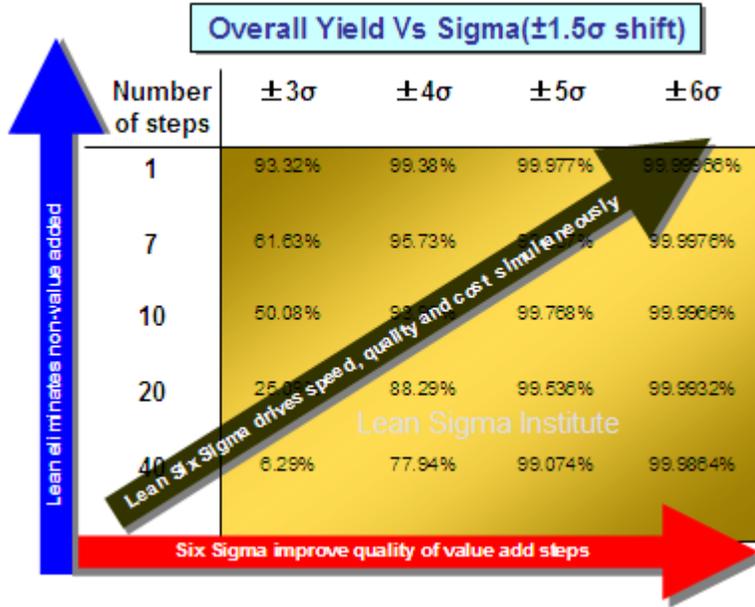


Figura 23. Nivel Sigma comparado con número de pasos en el proceso.

El complemento que se da entre Lean y Seis Sigma puede ser cuestionado al requerir éste una visión más amplia de los procesos y un agregado en capacitación y a fin de cuentas un reto mayor, al ser metodologías afines pero con herramientas y técnicas diferentes, es por eso que en la tabla 19 se exponen otras razones por las que deben complementarse (Redenbacher y Goake,2007):

Lean necesita Seis Sigma por que	Seis Sigma necesita Lean por que
Lean no prescribe explícitamente los roles necesarios para alcanzar resultados sustentables.	Se identifica el desperdicio. Seis Sigma sub optimiza procesos.
Provee una serie de herramientas para entender problemas y fuentes de variación.	Mejora el tiempo de ciclo y la velocidad de los procesos.
Lean no reconoce el impacto de la variación.	Incluye métodos de rápida acción (Kaizen).
Lean no es tan fuerte en las fases de medición y análisis como en el DMAIC.	Seis Sigma se hace más rápido si con Lean se eliminan los pasos que no agregan valor.

Tabla 19. Razones para que Lean y Seis Sigma se complementen.

Es importante observar de donde surge la necesidad de usar las metodologías y enfocarse específicamente en los casos en donde convergen tanto las causas de variación de los procesos relacionadas con Seis Sigma como las causas que originan desperdicios en cualquiera de sus formas, en la tabla 20 se resume esta información (Alukal , 2003).

Causas de variación y desperdicios
Pobre lay out
Largo tiempo de preparación
Pobre mantenimiento del equipo
Entrenamiento inadecuado
Uso de métodos inapropiados
Procesos estadísticamente incapaces
No se siguen procedimientos
Instrucciones o información que no es clara
Pobre planeación
Problemas de calidad con los proveedores
Malos instrumentos de medición
Malas condiciones de trabajo (luz, calor, humedad etc)

Tabla 20. Causa de variación y desperdicios.

Las metodologías con sus diferencias y semejanzas tienen herramientas que son en algunos casos únicas para su despliegue (Bevan et al,2005). La tabla 21 muestra cuáles herramientas son diferentes. En mi opinión las herramientas estadísticas (Diseño de experimentos, regresión) son las que hacen diferente en complejidad y profundidad a Seis Sigma, esto contribuye a que tenga la característica única de sustentar sus resultados en hechos y datos cualitativos y cuantitativos.

Area	Lean	Seis Sigma
Mapeo de procesos	VSM	SIPOC
		Mapa detallado
		Diagrama Swim lane
Voz del cliente	Entrevistas	Entrevistas
		Árbol de CTQ
Análisis	5 por qué	SPC
	SPC	Capacidad de proceso
	Takt time	Estadística aplicada
	OEE	Diagrama causa-efecto
		Gráficas de Pareto
Mejora del proceso	5S	Rediseño de procesos
	Diseño del proceso	
	TPM	
	Control visual	

Tabla 21. Herramientas diferentes por área en Seis Sigma y Lean.

3.3 Diversos planteamientos en el uso de la metodología Lean Seis Sigma.

La metodología Lean Seis Sigma no tiene una forma estandarizada de uso como Seis Sigma con el DMAIC. Dentro de la revisión que se ha hecho se han podido identificar dos vertientes dentro de las propuestas de Lean Seis Sigma:

1-Desarrollo de Lean Seis Sigma partiendo de la estructura del DMAIC, anexando a través de ella herramientas Lean.

2-Desarrollo de Lean Seis Sigma con un enfoque de paso 1 y paso 2, es decir algunos autores recomiendan utilizar primero una y proseguir con la otra en un proyecto y no mezclarlas.

De acuerdo a esto es conveniente analizar ambas vertientes iniciando por la 1:

En su metodología de Lean Seis Sigma, Fraser (2009) se enfoca en el ambiente de servicios, que es un sector en donde la metodología no es tan fuerte por sus inicios en el sector manufacturero. Fraser basa sus explicaciones en el caso de una división de servicios de GE en el Reino Unido.

Los pasos en la metodología expuesta en el caso son los siguientes:

- 1- Definición del problema en base a factores críticos para la calidad llamados CTQ's (*Critical to Quality*).
- 2- Se define una hoja del proyecto en donde se definen :
 - 2.1 Caso de negocios en donde se define la razón de hacer el proyecto.
 - 2.2 Declaración del problema detallándolo cuando se presentó por primera vez y donde.
 - 2.3 Definir la meta numérica específica.
 - 2.3.1 Que incluye el proyecto en cuanto a alcance.
 - 2.3.2 Que no incluye el proyecto.
 - 2.3.3 Quiénes integran el equipo de trabajo.
- 3-Definir el mapa del proceso.
- 4-Seleccione los CTQ's involucrados y a mejorar con el proyecto.
- 5-Definir estándares de rendimiento.
- 6- Análisis del sistema de medición para reducir variabilidad.
- 7-Establecer la capacidad del proceso.
- 8- Establecer metas de valor agregado.
- 9- Mapeo del flujo de valor.
- 10-Establecer causas potenciales.
- 11-Establecer el nuevo flujo del proceso.
- 12-Implementar una solución piloto.
- 13-Análisis del sistema de medición para las causas (X's).
- 14-Establecer la nueva capacidad del proceso.
- 15-Implementar el control al proceso.
- 16-Conclusiones.

Esta metodología probó su éxito en este proyecto que duró 6 semanas y representa de acuerdo al autor el valor de Lean Seis Sigma para la industria de servicios, **sin embargo este modelo no se aplicó directamente en una PyME, sino en una división de negocio de una empresa grande.**

Otra metodología interesante es la planteada por Srikantaiah (2008), inspirada en la modelo axiomático de Zermelo Fraenkel en donde las variables más importantes en Lean se definen de la siguiente forma:

A=Valor total del producto

U=Componente de valor agregado

V=Componente de no valor agregado

Y=Componente de salida

X=Componentes de entrada

Dicho modelo mostrado en la figura 24 busca la maximización del valor agregado del producto (U).

LEAN SIGMA MODEL

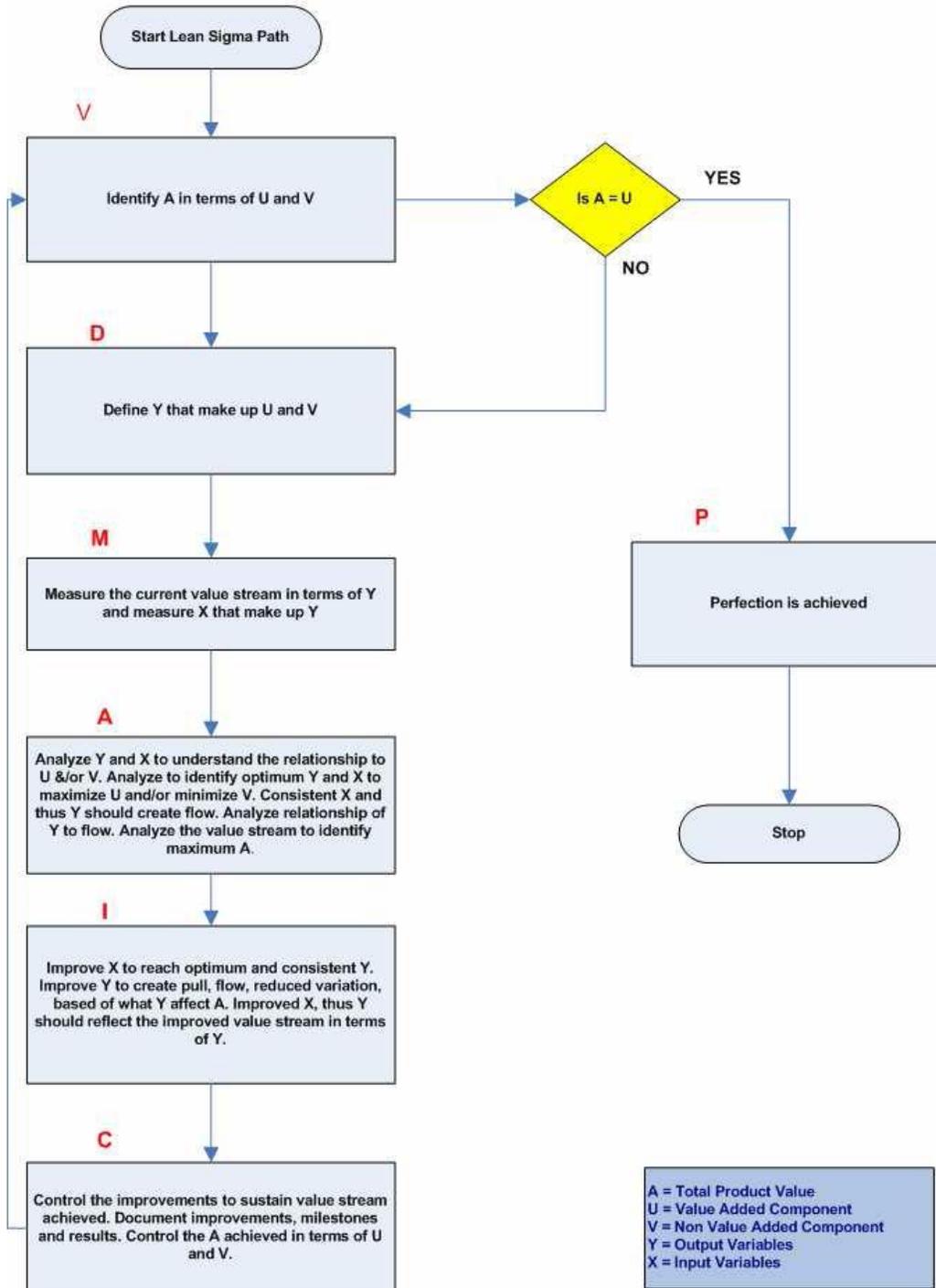


Figura 24. Metodología Lean Sigma. (Srikantaiah, 2008)

Como se observa el diagrama forma un ciclo que se cierra con la perfección alcanzada cuando $A=U$, es decir cuando el valor del producto se da vía los componentes que agregan valor, lo cual es en esencia lo que se busca con *Lean*, respetando un flujo Seis Sigma a través del DMAIC.

Esta metodología tiene mucha lógica, sin embargo **no se toman en cuenta factores como el tamaño de la empresa, el liderazgo en la misma, capacitación y algunos otros que están documentados como importantes para aplicar el DMAIC y por ende una metodología adaptada como ésta.**

Otras metodologías que integran al DMAIC la filosofía *Lean* y que valen la pena señalar son aquellos que utilizan las compañías consultoras, ellas intervienen mucho en la implantación de estas metodologías en todo tipo de empresas y es conveniente ver como aplican estas técnicas:

AIT Group

La metodología de esta firma de consultoría en la parte de Lean Seis Sigma la definen como (Bonacorsi,2005):

“Lean y Seis Sigma pueden co existir de manera independiente pero los beneficios de su integración son tremendos”

En base a esta postura expone una metodología de integración en la figura 25:

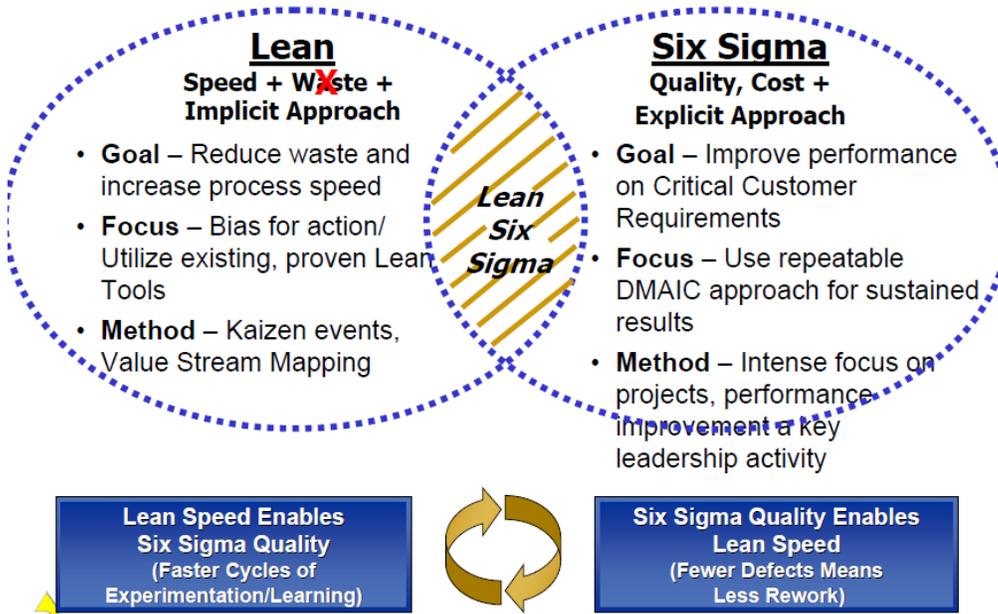


Figura 25. Metodología AIT Group (Bonacorsi,2005)

De esta metodología se desprende su idea de adherir al DMAIC las herramientas Lean, tal como se muestra en la figura 26:



Figura 26. Integración de Lean Sigma AIT group(Bonacorsi,2005).

De la figura vemos como las actividades más significativas de Lean tales como el mapeo de valor actual y futuro del proceso, 5's y *Pull System* están consideradas a través del DMAIC.

Jing (2008) en su conferencia para la IIE expuso diversos comparativos entre Lean y Seis Sigma. De dicha información se extraen conclusiones sobre las prácticas de las siguientes empresas consultoras en proyectos Lean Seis Sigma:

TBM

Esta compañía integra la metodología Seis Sigma y el DMAIC con una metodología Lean existente, ejecuta su implementación en actividades llevadas como eventos, en donde en cada semana de trabajo se despliega alguna fase del DMAIC.

SEAGATE

Esta empresa incorpora *Lean* a un metodología DMAIC, ejecuta el despliegue en forma de proyecto basándose en eventos tipo Kaizen, los cuales son identificados como eventos de Lean. Dichos proyectos son llevados a cabo básicamente por gente con capacitación de *Green Belt*. Las actividades que son impactadas por la metodología *Lean* son de alto nivel, es decir que tienen importancia directa en la cadena de suministros de la empresa no en áreas pequeñas o aisladas de la misma.

Un esquema de trabajo de acuerdo a la metodología que aplica Seagate se muestra en la figura 27:

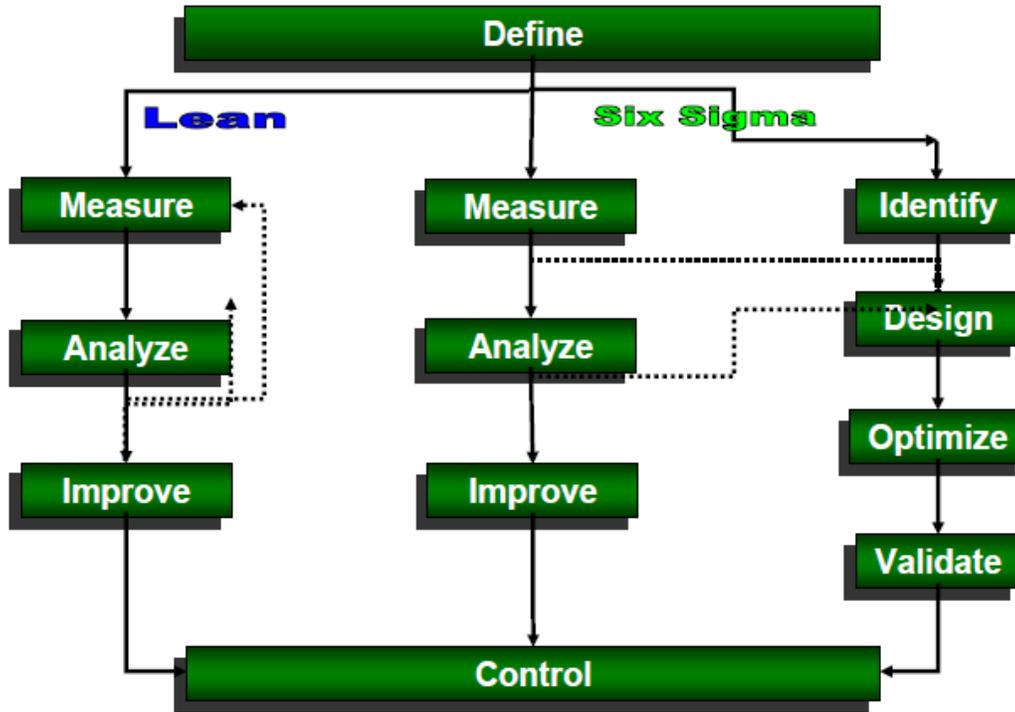


Figura 27. Metodología Lean Sigma de Seagate.

Vemos claramente la columna vertebral del modelo caracterizado por el DMAIC y la aplicación de Seis Sigma enfatizando una optimización y validación de acuerdo a su enfoque estadístico, mientras que *Lean* se despliega de forma más sencilla debido a su menor rigidez.

METODOLOGIA ENTEGRIS

Por último citaremos la metodología de esta empresa consultora, misma que está más alineada a la vertiente 2 que nos propone aplicar una metodología seguida de otra.

Entegris utiliza un sistema para definir qué tipo de actividades o enfoque va a poner en el proyecto de mejora. Combina Lean y Seis Sigma en una serie de actividades empezando a aplicar primero Lean para después llegar a una segunda mejora utilizando Seis Sigma.

La consultora tiene un esquema en donde la gente se capacita tanto en Lean como en Seis Sigma según la tabla 22:

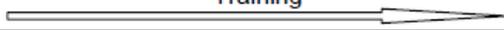
		Training 					
		Lean Facilitaor	Lean Master	GB	BB	MBB	
Cateer 	Lean Facilitaor	x					Equivalent level
	GB			x			
	Lean Master		x	x			Equivalent level
	BB	x			x		
	MBB		x		x	x	

Tabla 22. Metodología de capacitación en Lean y Seis Sigma de Entegris.

Esto da la posibilidad de tener gente multi preparada que pueda participar en cualquier tipo de proyecto.

3.4 Metodologías de implementación propuestas para empresas PyME.

Esta tesis se enfoca en las PyMEs y la necesidad de proponer un metodología que contemple el uso de *Lean* y Seis Sigma con la participación de instituciones universitarias de manera que éste sea económico, para ello es conveniente revisar metodologías de mejora que contemplen el uso de Lean, Seis Sigma o ambos en las PyMEs.

Thomas et al. (2008) expone en su artículo *“Applying Lean six Sigma in a small engineering company – a model for change”*, la metodología presentada en la figura 28:

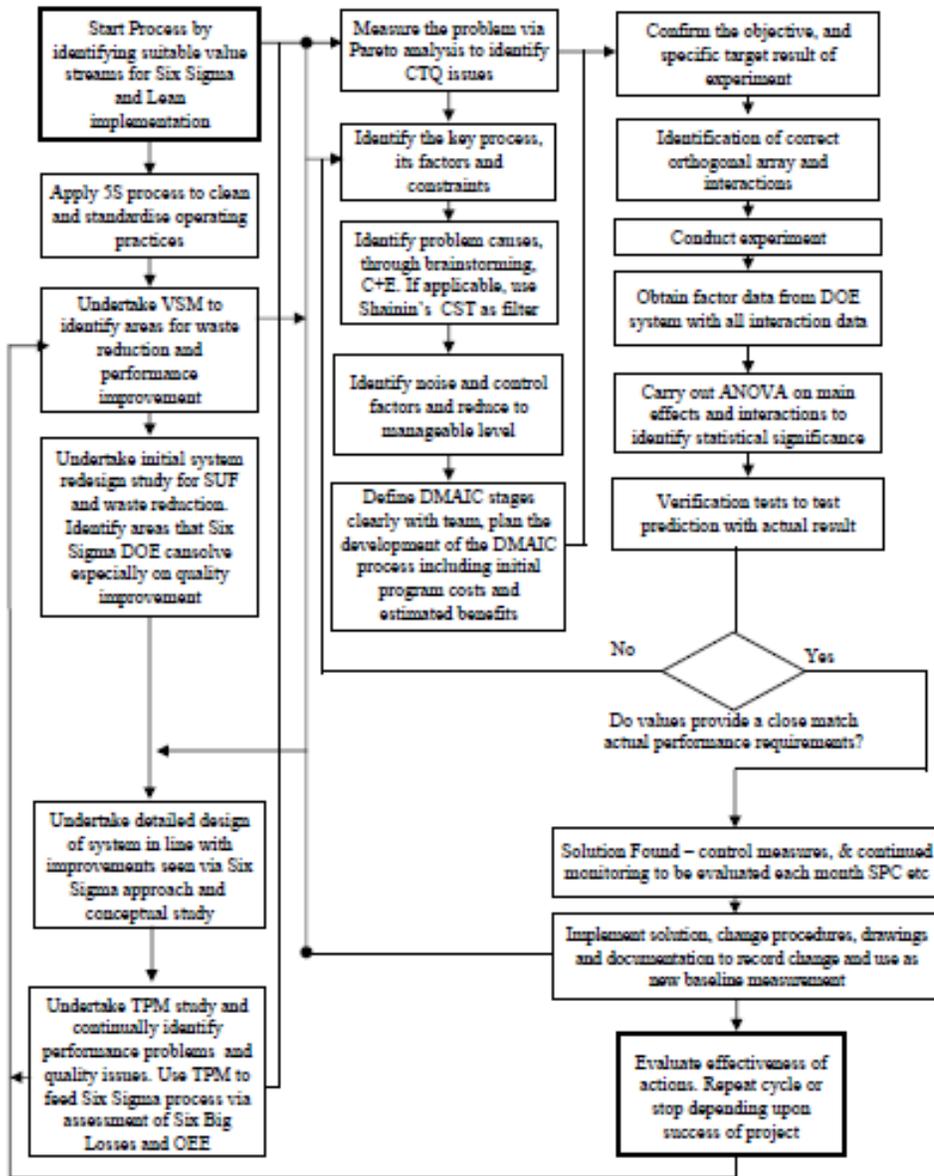


Figura 28. Metodología de implantación Lean Sigma para compañías pequeñas (Thomas, et al 2008).

Esta metodología fue probada en una compañía manufacturera pequeña del Reino Unido y demostró ahorros importantes en la misma, a pesar de que contaba con 15 empleados y los conocimientos de estadística no eran muy profundos.

El modelo a diferencia de otros está más adaptado a la realidad de una empresa PyME, al proponer un diseño de experimentos sencillo y de menor costo, por otra parte **no se toma en cuenta que es común que las PyMEs no tengan bien definidas sus prioridades, indicadores y estructura organizacional, lo cual sumado a la poca capacitación y a la falta de experiencia en proyectos lleva a que previo a la**

aplicación de la metodología la empresa deba ser intervenida por algún grupo externo a la misma.

Anthony (2008b) en su artículo “*Can Six Sigma be effectively implemented in SMEs?*”Pone a discusión de varios expertos la aplicación de la metodología en las PyMEs, he aquí un extracto tomadas del artículo:

Dr Ronald Snee – *Principal of Tunnell Consulting, USA*

Las PyMEs pueden y han aplicado efectivamente Seis Sigma. Hay algunas cosas en las que les cuesta más trabajo que a una empresa grande para implementarlo tales como:

- . La dificultad de enfocarse en su uso tras distractores de otro tipo en el negocio.
- . La dificultad de tener *Green* o *Black Belts* para ejecutar proyectos.
- . Los empleados hacen múltiples funciones de manera diferente a las compañías grandes.
- . El liderazgo de la dirección es importante.

Dr Roger Hoerl – *GE Global Research, USA*

No hay nada inherente en Seis Sigma que lo haga más adecuado para las empresas grandes.

La barrera más importante para su implementación en las PyMEs es la manera en que los proveedores de entrenamiento han estructurado su oferta. Estos entrenamientos requieren mucho tiempo y dan material didáctico restringido. Poco a poco estas estructuras han ido cambiando y el precio ha sido un poco más accesible.

Mr Thomas Pyzdek – *Pyzdek Consulting, USA*

Hay dos factores en Seis Sigma: El enfoque y la infraestructura. El enfoque y liderazgo puede darse en una empresa de cualquier tamaño. Primeramente las PyMEs tendrán *Green Belts* asesorados por expertos fuera de la compañía.

En una empresa mediana se puede tener a un *Black Belt* y a un *Master Black Belt* que entrenen a unos 10 o 20 *Green Belts*.

Professor T N Hoh – *National University of Singapore, Singapore*

Los directores deben ser conscientes de que Seis Sigma no les retribuirá grandes cantidades de dinero como en las empresas más grandes. No hay base científica para decir que una persona debe de pasar 4 meses entrenándose y pagando antes de que Seis Sigma sea iniciado. Un experto puede observar sus operaciones y ayudar en la decisión de en qué áreas puede aplicarse Seis Sigma.

Dr Matthew Hu – *American Supplier Institute, USA*

Las empresas pequeñas son muy buenas para encontrar pretextos de por que algo no puede funcionar en ellas. En mi experiencia los resultados usualmente son más rápidos y visible en pequeñas compañías.

Mr Larry Smith – *Past Vice President of Design and Innovation, Juran Institute, USA*

Una compañía grande tiende a estar organizada en pequeños y medianos departamentos, por lo que sospecho que lo hecho en una compañía grande aplica a la PyMEs.

Mr Alan Harrison - *Weir Pumps, UK*

Creo que las PyMEs pueden tener mejoras aplicando el ciclo de Deming y Seis Sigma en su nivel básico (por ejemplo en un nivel de Green Belt).

Dr Lynne Hare – *Kraft Foods Research, USA*

El tamaño de la empresa no debería ser factor decisivo para adoptar la filosofía Seis Sigma. Todas las compañías tienen muchas cosas en común. El que una compañía tenga más ganancias por su tamaño no sugiere que las pequeñas no puedan adaptar Seis Sigma.

Professor Jiju Antony – *Centre for Research in Six Sigma and Process Excellence - University of Strathclyde, UK*

En las PyMEs el soporte de la gerencia es clave, la participación de estos debe ser demostrada. Estas PyMEs son más ágiles y es mucho más fácil tener el apoyo y compromiso de la gerencia comparado con una empresa grande. La parte del entrenamiento es más difícil para una PyME por lo que las instituciones académicas deberían ayudar a las PyMEs en la creación de valor para sus clientes.

Antony et al. (2008c), exponen en su artículo *“Gearing Six Sigma into UK manufacturing SMEs: results from a pilot study”*, información sobre fortalezas y debilidades de las PyMEs ante la implementación de sistemas de calidad y mejora como lo es Seis Sigma o Lean (véase tabla 23):

Fortalezas	Debilidades
Flexibles y con rapidez para el cambio	Bajo nivel de estandarización y formalización.
Menos interferencia departamental	Enfoque en la operación y no en planeación.
Dirección visible para todos	Pocos o nulos programas de incentivos.
Se tiende a tener más lealtad de empleados.	Falta de planeación y de visión.
Menos burocracia en la administración	Poca gente responsable de muchas decisiones.
Más involucramiento directo de los gerentes con el cliente.	Falta de capacidades, entrenamiento y recursos.
Rápida ejecución e implementación de decisiones.	Decisiones más intuitivas que analíticas.
Entrenamiento enfocado	No hay orientación sistémica.
Cultura de aprendizaje y cambio más que de control	Las decisiones de dictatoriales causan daño a iniciativas nuevas.
Más respuesta a las necesidades del mercado.	

Tabla 23. Fortalezas y debilidades de las PyMEs (Antony et al 2008c)

En el mismo artículo se exponen algunas de las principales barreras para que este tipo de proyectos de mejora sean implementados en las PyMEs, a continuación se resumen en la tabla 24:

<p>Barreras para implementar proyectos Seis Sigma en Pymes</p> <p>Equipos no apoyados por los administradores. No hay <i>Champions</i> y <i>Black Belts</i> asignados. Los <i>Champions</i> no se juntan con los <i>Black Belts</i>. Poca revisión de la administración. Los recursos no son bien asignados.</p> <p>Alcance del proyecto muy largo Duran de tres a Seis meses. Alcance irreal, muy amplio.</p> <p>Los objetivos de los proyectos no son importantes para la organización Objetivos poco claros y pocos indicadores de desempeño en procesos.</p> <p>A los <i>Black Belts</i> no se les da tiempo de trabajar en los proyectos El <i>Black Belt</i> debería al menos destinar 80% de su tiempo a proyectos. El <i>Green Belt</i> debería al menos destinar 20% de su tiempo a proyectos.</p> <p>El equipo es muy grande Los equipos trabajando con los <i>Black Belts</i> deben de ser de entre 4 y 6 miembros.</p>

Tabla 24. Barreras para implementar proyectos Seis Sigma en PyMEs.

3.5 Lean Seis Sigma con enfoque participativo PyME-Universidad.

3.5.1 Una mirada a la situación actual.

La Universidad forma parte importante de cualquier sociedad, ya que provee de conocimientos, habilidades y fomento de valores al futuro recurso humano de las empresas en un país.

La educación sin duda puede usarse como parámetro para medir el rezago o en su caso el potencial de una región o país entero. Las universidades, ya sean públicas o privadas tienen el importante reto de apoyar en esa labor y preparar a profesionistas que no solo buscarán un puesto de trabajo compitiendo con mexicanos, sino con extranjeros que vienen con sus industrias a este país, esto último siguiendo la tendencia de globalización apuntalada desde los años 80 con el Tratado de libre comercio de América del Norte y otros convenios que México ha contraído con diversos países.

De acuerdo a la metodología propuesta, las PyMEs pueden ser intervenidas por medio del uso de recursos humanos presentes en las universidades, primordialmente profesores y alumnos. Una PyME generalmente no invierte en procesos de mejora para sus operaciones, su administración se lleva más al día a día y su planeación oscila entre el corto y el mediano plazo, sumado a esto los recursos que puede destinar a rubros como capacitación o compra de nueva tecnología son limitados. Una barrera importante para que en una PyME no quiera implementar una metodología tipo Seis Sigma es el desconocimiento de la misma y sobretodo de la parte estadística (Antony et al. ,2008c) , dicha barrera está contemplada en la propuesta de esta tesis al ser el mismo Seis Sigma parte de ella, sin embargo el aporte que puedan dar los académicos es en gran parte para cubrir estos y otros temores o paradigmas.

Las universidades en México típicamente buscan intervenir en el mundo empresarial con la visión limitada de preparar a sus alumnos para el mismo, sin embargo su interés deben ir cambiando para buscar esquemas de mutuo desarrollo (empresa-universidad) que privilegien el conocimiento aplicado y el desarrollo de sus comunidades de influencia.

Antony (2008a) es de los pocos autores que han escrito algo referente a Seis Sigma y el rol que juega la academia en su desarrollo. En dicho artículo es de llamar la atención su visión acerca de la todavía lenta aceptación de esta metodología en las empresas y academia en Europa, cosa que ha llevado a que no exista más investigación sobre estos temas.

Las instituciones académicas pueden ofrecer soluciones de bajo costo a muchos problemas de la industria utilizando las mejores prácticas de Lean y Seis Sigma, las organizaciones se ven beneficiadas si sus futuros empleados ya son entrenados en estas metodologías (Antony 2008a).

La metodología propuesta en esta tesis vincula a la universidad con el sector empresarial y no solo incluye la preparación de futuros profesionales en modelos de éste tipo, sino que busca la intervención de éstos para que a corto plazo ayuden a las PyMEs vinculándose en proyectos de mejora sin costo para ellas.

En Europa no existe una curricula estandarizada para enseñar Seis Sigma en las universidades, son pocos los programas que contemplan una curricula estandarizada y generalmente la metodología se enseña en basa a casos y enseñanza de herramientas de manera aislada a lo largo de la curricula. Pocos son los programas de formación que en la academia se ofrecen a los estudiantes dentro de su curricula para certificase como *Green o Black Belt*, tal es el caso de lo que ofrece la Universidad estatal de Arizona y la universidad tecnológica de Virginia. La academia debe tener como rol principal el reducir la brecha entre la parte teórica de Seis Sigma y su entendimiento en los negocios (Antony, 2008a).

3.5.2 Trabajo participativo entre el sector empresarial y las Universidades.

3.5.2.1 El Tecnológico de Monterrey como institución.

El Tecnológico de Monterrey es una institución universitaria privada que nació en 1943, tiene presencia en las ciudades más importantes e industrializadas de México, a continuación se presentan en las figuras 29 y 30 los mapas con los campus con los que opera el sistema dentro y fuera de México (Moreno y Hernandez , 2008):



Figura 29. Sedes y oficinas del ITESM en el mundo.



Figura 30. Campus del ITESM en la república Mexicana.

El Tecnológico cuenta con una oferta educativa en los niveles de preparatoria, profesional, maestría y doctorado, siendo el enfoque particular de este trabajo el área de profesional, en donde se ofrecen 52 carreras, de las cuales la de interés central para ésta metodología es la de Ingeniería industrial y de sistemas, misma que se ofrece en 27 de los 31 Campus en México (ITESM,2010a).

Es importante para esta tesis mencionar que se hace referencia al ITESM por ser a partir de ella de donde se elaborará la base teórica y práctica de la aplicación inicial de la metodología que integra Lean y Sigma para las PyMEs Tamaulipecas, misma que se abordará en los capítulos 4 y 5.

3.5.2.2 La currícula del Ingeniero Industrial y su relación con Lean y Seis Sigma.

De acuerdo al artículo de Scott y Higel (2009) los Ingenieros Industriales en Norteamérica no han sido capaces de tomar el liderazgo como los principales expertos en Lean y Seis Sigma, pese a esto se considera a los programas de Ingeniería Industrial como los de mejores características para generar *Green* y *Black Belts*. En la Universidad estatal de Ohio se ha creado en base a la currícula de Ingeniería Industrial un programa de certificación en Lean Seis Sigma, mismo que los autores reportan como exitoso al incorporar una materia de fundamentos y un proyecto real como requisito para certificarse, los proyectos han sido realizados en compañías de diferentes giros y tamaños.

Watson (2006) expone que en la aplicación un *Black Belt* y un Ingeniero Industrial comparten herramientas y metodologías de solución de problemas, de igual forma el autor hace la comparación del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad estatal de Oklahoma y lo que establece la Sociedad Americana para la calidad (ASQ, 2006), como estándar de entrenamiento en Seis Sigma, derivándose lo siguiente:

Industrial Engineering Courses Related to DMAIC: Define

- IEM 5103 – Breakthrough Quality
- IEM 5113 – Total Quality Management
- IEM 5753 – Manufacturing Enterprise Modeling
- IEM 5773 – Supply Chain Modeling
- ETM 5311 – Value Engineering
- ETM 5421 – Leadership Strategies
- IEM 3523 – Engineering Cost and Control Systems
- IEM 5603 – Project Management

Industrial Engineering Courses Related to DMAIC: Measure

- IEM 5103 – Breakthrough Quality
- IEM 5113 – Total Quality Management
- IEM 5753 – Manufacturing Enterprise Modeling
- IEM 5773 – Supply Chain Modeling
- ETM 5311 – Value Engineering
- ETM 5421 – Leadership Strategies
- IEM 3523 – Engineering Cost and Control Systems
- IEM 5603 – Project Management

Industrial Engineering Courses Related to DMAIC: Analyze

- STAT 4033 – Engineering Statistics
- IEM 4014 – Operations Research I
- IEM 5023 – Operations Research II

Industrial Engineering Courses Related to DMAIC: Improve

- IEM 4113 – Industrial Experimentation
- IEM 5013 – Linear Programming
- IEM 4713 – System Simulation
- IEM 5713 – Statistical Topics in Simulation Modeling

Industrial Engineering Courses Related to DMAIC: Control

- IEM 4723 – Management Information Systems
- IEM 5503 – Advanced Engineering Economic Analysis

En general el programa de *Black Belt* es una sub parte de un currícula de Ingeniería Industrial, la diferencia radica en que los temas se ven de manera aislada en los diferentes periodos académicos, mientras que lo ideal es ligar las herramientas y conceptos de Seis Sigma de forma secuencial, práctica y aplicada en proyectos en una empresa para su mejor aprendizaje.

Farrington et. al(2007) en su investigación propone la integración de Lean y Seis Sigma como parte integral de la currícula del ingeniero industrial en la Universidad de Alabama. Los autores proponen estandarizar en la carrera de Ingeniería Industrial una

forma única de solución de problemas en base a Seis Sigma, con esta metodología se harían proyectos en áreas de investigación de operaciones o en ingeniería de métodos de la misma forma, abonando con ello a crear incluso una identidad y diferenciación que la carrera ha ido perdiendo a través del tiempo.

La propuesta de aplicación de la metodología integrada en esta tesis contempla la necesidad de vincular la PyME con una institución académica. Dado que para esta investigación se busca un acercamiento de aplicación para la metodología propuesta en Tamaulipas, se seleccionarán empresas de este estado, por lo tanto se ha elegido una institución universitaria en dicha región de influencia, siendo el ITESM Campus Tampico la elegida debido a que oferta un programa de Ingeniería Industrial y de sistemas acreditado y consolidado a través de 30 años de existencia. A continuación se presenta la curricula en su versión 2007 (ITESM, 2010b):

Primer Semestre				
Clave		C	L	U
BT1001	Biología	3	0	8
F1002	Física I	3	1	8
H1016	Lengua extranjera	5	0	8
H1017	Taller de análisis y expresión verbal	5	0	8
IN1000	Introducción a la ingeniería industrial	2	0	2
MA1002	Matemáticas para ingeniería I	3	0	8
Q1001	Química	3	0	8
Segundo Semestre				
Clave		C	L	U
F1003	Física II	3	1	8
H1018	Ética, persona y sociedad	3	0	8

H2001	Expresión verbal en el ámbito profesional	3	0	8
M1002	Dibujo computarizado	2	2	8
M1003	Estática	3	0	8
MA1004	Matemáticas para ingeniería II	3	0	8
Q1004	Laboratorio de química	0	3	4
Tercer Semestre				
Clave		C	L	U
CF1007	Contabilidad y administración de costos	3	0	8
F1004	Electricidad y magnetismo	3	1	8
IN2001	Diseño del trabajo	2	2	8
M1005	Dinámica	3	0	8
MA1006	Probabilidad y estadística	3	0	8
MA2002	Matemáticas para ingeniería III	3	0	8
Cuarto Semestre				
Clave		C	L	U
HS2007	Perspectiva humanística	3	0	8
IN2002	Diseño y análisis de experimentos	3	0	8
IN2003	Planeación de plantas industriales	2	2	8
IQ2001	Termodinámica	3	0	8

M2009	Métodos numéricos en ingeniería	3	0	8
MA2001	Ecuaciones diferenciales	3	0	8
Quinto Semestre				
Clave		C	L	U
HS2008	Perspectiva científica y tecnológica	3	0	8
IN2004	Control estadístico de la calidad	3	0	8
IN2005	Dinámica de sistemas	3	0	8
IN2006	Ingeniería de proyectos	3	0	8
IN2007	Investigación de operaciones I	3	0	8
IN2008	Planeación y programación de la cadena de suministro	3	0	8
Sexto Semestre				
Clave		C	L	U
HS2009	Perspectiva sociopolítica	3	0	8
IN2010	Gestión de abastecimiento e inventarios	3	0	8
IN2011	Ingeniería estadística	3	0	8
IN2012	Investigación de operaciones II	3	0	8
IN3011	Ingeniería económica	3	0	8
M2018	Procesos de manufactura	2	2	8

Séptimo Semestre				
Clave		C	L	U
HS2010	Optativa de perspectivas	3	0	8
IN3012	Gestión de la producción	3	0	8
IN3013	Laboratorio de sistemas integrados de manufactura	0	3	4
IN3014	Simulación	3	0	8
IN3015	Sistemas integrados de manufactura	3	0	8
VA2010	Tópicos I	3	0	8
VA2011	Tópicos II	3	0	8
Octavo Semestre				
Clave		C	L	U
EM1001	Desarrollo de emprendedores	3	0	8
IN2014	Sistemas de información	3	0	8
IN3016	Estrategias de manufactura	3	0	8
IN3017	Laboratorio de diseño y optimización de operaciones	0	3	4
IN3018	Metodologías para el diseño y mejora de procesos	3	0	8
VA2012	Tópicos III	3	0	8
VA2013	Tópicos IV	3	0	8

Noveno Semestre				
Clave		C	L	U
H2002	Ética, profesión y ciudadanía	3	0	8
IN3019	Administración de la tecnología	3	0	8
IN3020	Planeación estratégica	3	0	8
IN3021	Proyecto empresarial	3	0	8
IN3022	Sistemas de calidad	3	0	8
IN3023	Sistemas logísticos	3	0	8

Tabla 25. Currícula del ingeniero industrial y de sistemas de ITESM.

Para entrar más a profundidad en el análisis de la currícula, se ha reunido a un grupo de 3 profesores consultores del sistema ITESM que aplican las metodologías de *Lean* y Seis Sigma a nivel empresarial, dichos consultores en conjunto definieron qué asignaturas y temas son los que aportan conocimiento a la formación del alumno en esta materia.

Cada tema por asignatura se ha categorizado de acuerdo a los siguientes criterios:

- El tema no se relaciona con la metodología o no es un conocimiento que se deba tener.
- El tema debería de ser conocido pero no es determinante para la aplicación de la metodología.
- ✓ Es determinante que se dominen estos conceptos para la aplicación de la metodología.

Materia ITESM	Objetivo	Temas	Seis Sigma	Lean
Diseño del trabajo	Es un curso de nivel intermedio, que tiene la intención de dar al estudiante las herramientas necesarias para medir, mejorar, diseñar y rediseñar los métodos de trabajo requeridos en un sistema productivo considerando los factores humanos inherentes a las operaciones de los procesos y conceptos de desarrollo sostenible que refuercen lo anterior. Requiere conocimientos previos de probabilidad y estadística. Como resultado del aprendizaje, se espera que el alumno considere los factores humanos inherentes a las operaciones de los procesos para medir, mejorar, diseñar y rediseñar los métodos, movimientos y tiempos de trabajo requeridos en un sistema productivo.	1-Productividad	➤	➤
		2-Introducción al Estudio del Trabajo	➤	✓
		3-Desarrollo histórico y precursores del estudio del trabajo	○	○
		4-Técnicas de registro y análisis de procesos y operaciones	✓	✓
		5-Análisis de la operación	✓	✓
		6-Diseño de Estaciones de Trabajo: Introducción a la Ergonomía	✓	✓
		7-Diseño de Estaciones de Trabajo: Diseño del trabajo manual	✓	✓
		8-Diseño de Estaciones de Trabajo: Equipo y herramientas	✓	✓
		9-Diseño de Estaciones de Trabajo: Condiciones del entorno de trabajo	✓	✓
		10-Seguridad e	✓	✓

		Higiene Industrial		
		11-Estudio de Tiempos	✓	✓
		12-Calificación del desempeño	✓	✓
		13-Suplementos	➤	✓
		14-Estudio de tiempos predeterminados	➤	✓
		15-Muestreo de trabajo	➤	✓
		16-Curva de aprendizaje y capacitación	➤	➤
		17-Resistencia al cambio	✓	✓
Probabilidad y estadística	Al finalizar éste curso el alumno comprenderá los conceptos básicos de probabilidad y solución a problemas con técnicas de conteo, probabilidad condicional, variables aleatorias discretas y continuas y sus distribuciones, analizará un conjunto de datos experimentales y sacar inferencia estadísticas de los datos.	1-Teoría de probabilidad.	✓	➤
		2-Estadística descriptiva	✓	➤
		3-Distribuciones de variables aleatorias.	✓	➤
		4-Estadística Inferencial Básica	✓	➤
Diseño y análisis de experimentos	Es un curso de nivel intermedio, que tiene la intención de proporcionar a los alumnos las herramientas necesarias para que sea capaz de diseñar y realizar experimentos, así como	1-Definición de conceptos estadísticos básicos	✓	➤
		2-Inferencia Estadística	✓	➤
		3-Modelos	✓	➤

<p>analizar e interpretar la información obtenida para resolver problemas. Requiere conocimientos previos de Distribuciones de probabilidad, muestreo y pruebas de hipótesis. Como resultado del aprendizaje, se espera que los alumnos diseñen y lleven a cabo experimentos acordes a su disciplina en diferentes contextos, para probar hipótesis.</p>	Lineales			
	4-Regresión Lineal Simple	✓	➤	
	5-Regresión Lineal Múltiple	✓	➤	
	6-Construcción del Modelo	✓	➤	
	7-Diseño de Experimentos Simples	✓	➤	
	8-Diseño de un factor	✓	➤	
	9-Diseño Factorial	✓	➤	
	10-Diseño Factorial 2k	✓	➤	
	11-Diseño Factorial 2k fraccionado	✓	➤	
	12-Diseño de Experimentos Alternativos	✓	➤	
	<p>Planeación de plantas industriales</p>	1-Diseño de producto, proceso y programa de producción	✓	✓
		2-Localización de Plantas	➤	➤
3-Requerimientos del Personal		➤	✓	
4-Principios de Lay out		➤	✓	
5-Distribución de		➤	✓	

	<p>resultado del aprendizaje, se espera que el alumno solucione problemas sobre localización, distribución y manejo de materiales dentro de las instalaciones de las empresas, así como analizar y seleccionar sistemas de mantenimiento a las instalaciones. Que el alumno sea capaz de determinar la localización y el arreglo (Layout) óptimos de las instalaciones de una empresa. Diseñar sistemas de manejo de materiales, incluyendo la selección de maquinaria y equipo correspondiente. Seleccionar sistemas de mantenimiento a las instalaciones considerando, entre otros, el concepto de confiabilidad.</p>	la planta (Lay out)		
		6-Métodos de Distribución	➤	✓
		7-Sistema de Manejo de Materiales	➤	✓
		8-Almacenes	➤	➤
		9-Recibo y Embarque	➤	➤
		10-Normatividad	➤	➤
		11-Mantenimiento de Instalaciones y del Equipo	➤	✓
Control estadístico de calidad	<p>Curso de nivel intermedio en ingeniería industrial que proporciona a los estudiantes las herramientas estadísticas para controlar, monitorear y mejorar la calidad de productos y servicios; así como para la solución de problemas. Requiere conocimientos previos de pruebas de hipótesis, distribuciones de probabilidad, distribución muestral. Como resultado del aprendizaje el alumno plantea soluciones a problemas de la calidad</p>	12-Evaluación económica del Lay out	➤	✓
		1-Definiciones de calidad, variabilidad	✓	✓
		2-La Metodología de Solución de Problemas	✓	✓
		3-Las Herramientas Básicas para la Calidad	✓	✓
		4-Gráficos de Control	✓	➤
		5-Capacidad de Proceso para variables y	✓	➤

	<p>utilizando metodologías del control estadístico. El alumno aplica las herramientas del control de calidad para controlar y mejorar procesos de producción y de servicios. Al finalizar éste curso el alumno será capaz de seleccionar y aplicar las herramientas de control estadístico de calidad para el mejoramiento de procesos de producción y de servicios.</p>	atributos		
		6-Gráficos especiales	✓	➤
		7-Especificaciones y tolerancias	✓	✓
		8-Muestreo de Aceptación	➤	➤
Ingeniería de proyectos	<p>Ingeniería de Proyectos es un curso de nivel intermedio, que tiene la intención de proveer los conocimientos y herramientas necesarias para la administración eficiente de proyectos bajo los lineamientos de la administración de proyectos y las bases de evaluación económica de proyectos con el fin de asegurar una eficiente culminación del mismo ante posibles contingencias y bajo diversos escenarios. Requiere conocimientos previos de matemáticas básicas. Como resultado del aprendizaje, se espera que los alumnos utilicen métodos y principios de administración de proyectos y de ingeniería económica para evaluar alternativas de solución y administrar proyectos de inversión de manera eficiente y eficaz. El</p>	1-Introducción a la Ingeniería Económica	➤	➤
		2-Derivación de fórmulas y factores de Ingeniería Económica.	➤	➤
		3- El concepto de equivalencia económica y la utilización de las fórmulas y factores de Ingeniería Económica	✓	➤
		4-Métodos para comparar y seleccionar alternativas	✓	✓
		5-Análisis de reemplazo.	➤	➤
		6-Ingeniería de Proyectos	✓	✓
		7-Planeación y Programación de	✓	✓

	alumno será capaz de:1. Planear, Administrar y Controlar el uso adecuado de recursos humanos, materiales y tecnológicos para la ejecución de un proyecto2. Seleccionar la mejor alternativa de inversión e implementación para cumplir con los objetivos o necesidades del cliente	Proyectos		
		8-Planeación y Programación de Proyectos	✓	✓
Ingeniería estadística	Es un curso de nivel intermedio, que tiene la intención de dar al estudiante las herramientas estadísticas avanzadas necesarias para que utilice series de tiempo para predecir el comportamiento de los procesos, aplique la metodología 6 SIGMA para el mejoramiento de procesos y mida el desempeño en el servicio (SERVQUAL). Requiere conocimientos previos de Control estadístico de Calidad y Diseño de Experimentos. Como resultado del aprendizaje, se espera que el alumno utilice adecuadamente las herramientas estadísticas avanzadas en el análisis de procesos de producción y de servicios.	1-Introducción a la optimización	➤	➤
		2-Series de Tiempo	✓	➤
		3-Metodología Seis Sigma	✓	➤
		4-Medición en servicios	✓	➤
Estrategias de manufactura	Es un curso de nivel avanzado, que tiene la intención de utilizar los fundamentos, principios y herramientas de Manufactura Esbelta para la mejora de un proceso	1-Fundamentos de Manufactura Esbelta	✓	✓
		2-Herramientas y principios de Manufactura Esbelta para la	➤	✓

	productivo. Requiere conocimientos previos de planeación y programación de la cadena de suministros, abastecimiento e inventario, y planeación y control de la producción. Como resultado del aprendizaje se espera el alumno sea capaz de aplicar los principios y herramientas de Manufactura Esbelta para la mejora de procesos productivos	mejora de procesos		
		3-Mapeo de procesos	✓	✓
		4-Planeación y ejecución de eventos de mejora (Kaizen)	➤	✓

Sistemas de calidad	Es un curso de nivel avanzado que tiene la intención de dar al estudiante las bases de las principales corrientes de pensamiento de la calidad; los conceptos de planeación estratégica con la perspectiva de calidad total; y las principales normas de calidad. En éste curso se abordarán temáticas relacionadas con el desarrollo sostenible en aspectos ambientales y económicos. Requiere conocimientos previos de ingeniería de sistemas. Como resultado del aprendizaje, se espera que los alumnos utilicen las diferentes herramientas en el planteamiento de un modelo organizacional con características del Premio	o Principios en que se sustentan los Sistemas de Calidad	✓	✓
		o Norma ISO 9000. Sistemas de Gestión de Calidad; Fundamentos y terminología.	✓	✓
		o Implantación de un Sistema de Gestión de Calidad	✓	✓
		o El enfoque de procesos	✓	✓
		o Identificación, Mapeo, Estandarización, Medición, Control y Mejora de Procesos	✓	✓

<p>Nacional de Calidad. El curso Sistemas de Calidad ubica al alumno en un contexto global, brindándole conocimientos acerca de los modelos de administración basados en los principios de calidad que fomentan el cumplimiento de las expectativas de los cuatro grupos clave de interés de una organización: clientes, accionistas, empleados y comunidad.</p>	<p>o Norma ISO 9001. Requisitos para un Sistema de Gestión de Calidad.</p>	➤	➤
	<p>o Otras normas industriales para la gestión de la calidad</p>	➤	➤
	<p>o Norma ISO19011. Directrices para administrar programas de auditoría a sistemas de calidad</p>	➤	➤
	<p>o Norma ISO9004. Directrices para la mejora de un sistema de gestión de la calidad.</p>	➤	➤
	<p>o Norma ISO14001. Requisitos para un Sistema de Gestión de Calidad Ambiental</p>	○	
	<p>o Modelo de Dirección por Calidad (Premio Nacional de Calidad Mexicano)</p>	➤	➤
	<p>o Otros premios internacionales (Premio Baldrige y EFQM)</p>	➤	➤

Tabla 26. Comparativo entre el plan de estudios del ingeniero Industrial y de sistemas del ITESM y programas de capacitación en Seis Sigma y Lean.

De la tabla 26 resumimos que en estas materias se concentra el conocimiento que necesariamente debe tener una persona que vaya a utilizar las metodologías de Lean y/o Seis Sigma. Muchos otros conceptos son marcados como que deben ser conocidos pero no son aplicados necesariamente en Lean o Seis Sigma, ya que son temas comunes en el ambiente de las empresas y están presentes de una manera u otra en los proyectos de mejora.

El entrenamiento completo para certificarse en Seis Sigma oscila entre las 150 y las 200 horas para un *Black Belt* y entre 70 y 90 horas para los *Green Belts* (ITESM y BMG, 2010), mientras que la suma de horas de clase marcadas como necesarias en curricula de Ingeniería Industrial en el ITESM para que una persona aplique Seis Sigma suman cerca de 200 horas, por otro lado los temas señalados también están en su mayoría presentes dentro de los estándares de entrenamiento para un *Green* y un *Black Belt* de acuerdo a la ASQ(ASQ,2006).

Los cursos de estrategias de manufactura e ingeniería estadística impartidos en la curricula de ingeniería industrial del ITESM, cubren de manera teórica y práctica los conceptos de las metodologías Lean y Seis Sigma respectivamente. Dichos cursos contemplan en su rúbrica de evaluación la aplicación de proyectos en empresas, mismos que tienen un alcance y duración limitada.

Como referencia, es importante ver como otras instituciones de gran impacto educativo en México ofrecen la carrera de ingeniería industrial, tal es el caso del sistema formado por los tecnológicos regionales, cuya curricula se presenta a continuación (Dgest, 2004a):

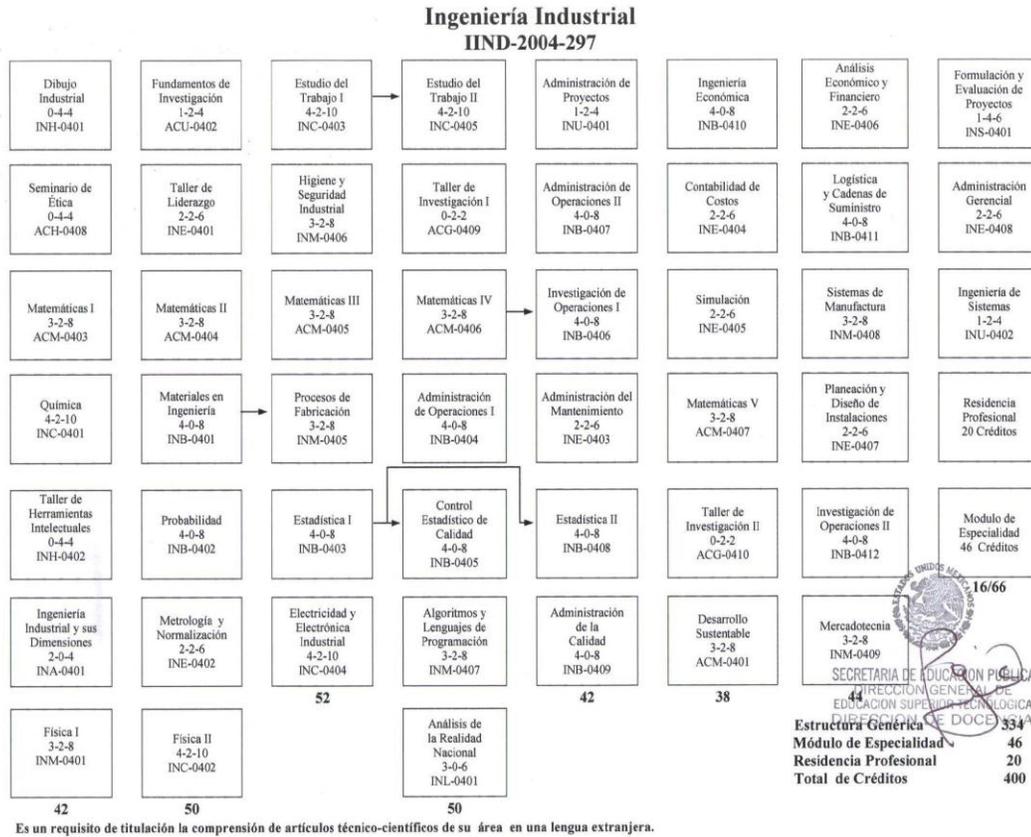


Figura 31. Curricula de Ingeniería Industrial versión 2004 para tecnológicos regionales.

Comparando la tabla 25 con la figura 31, se puede observar como existe una base común de materias que son también afines a las metodologías de Lean y Seis Sigma, tales como:

- Estudio del tiempo I y II
- Higiene y seguridad industrial
- Probabilidad
- Estadística I y II
- Administración de proyectos
- Administración de la calidad
- Planeación y diseño de las instalaciones
- Ingeniería de sistemas

Todas las materias anteriores tienen contenidos similares o equivalentes a las de la curricula del sistema ITESM, por lo que potencialmente reúnen el contenido de un programa de entrenamiento en Seis Sigma. La diferencia particular es que en el ITESM existen dos cursos especiales para el entendimiento de conceptos específicos de ambas metodologías que integran también conocimiento adquirido previamente por

el alumno (curso de estrategias de manufactura y curso de Ingeniería estadística). La red de tecnológicos regionales se extiende por todo el territorio nacional y ofrece la carrera de Ingeniería Industrial en los siguientes planteles:

Instituto Tecnológico de Agua Prieta	Instituto Tecnológico de Nogales
Instituto Tecnológico de Aguascalientes	Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo
Instituto Tecnológico de Apizaco	Instituto Tecnológico de Nuevo León
Instituto Tecnológico de Campeche	Instituto Tecnológico de Oaxaca
Instituto Tecnológico de Celaya	Instituto Tecnológico de Ocotlán
Instituto Tecnológico de Cerro Azul	Instituto Tecnológico de Orizaba
Instituto Tecnológico de Chihuahua	Instituto Tecnológico de Pachuca
Instituto Tecnológico de Chihuahua II	Instituto Tecnológico de Parral
Instituto Tecnológico de Ciudad Cuau	Instituto Tecnológico de Piedras Negras
Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán	Instituto Tecnológico de Pinotepa
Instituto Tecnológico de Ciudad Jiménez	Instituto Tecnológico de Puebla
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez	Instituto Tecnológico de Querétaro
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero	Instituto Tecnológico de Reynosa
Instituto Tecnológico de Ciudad Valles	Instituto Tecnológico de Saltillo
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria	Instituto Tecnológico de San Juan del Río
Instituto Tecnológico de Colima	Instituto Tecnológico de San Luis Potosí
Instituto Tecnológico de Comitán	Instituto Tecnológico de Tapachula
Instituto Tecnológico de Cuautla	Instituto Tecnológico de Tehuacan
Instituto Tecnológico de Culiacán	Instituto Tecnológico de Tepic
Instituto Tecnológico de Delicias	Instituto Tecnológico de Tijuana
Instituto Tecnológico de Durango	Instituto Tecnológico de Tláhuac III
Instituto Tecnológico de Ensenada	Instituto Tecnológico de Tlalnepantla
Instituto Tecnológico de Guaymas	Instituto Tecnológico de Tlaxiaco
Instituto Tecnológico de Hermosillo	Instituto Tecnológico de Toluca
Instituto Tecnológico de Huatabampo	Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Instituto Tecnológico de Iguala	Instituto Tecnológico de Veracruz
Instituto Tecnológico de Istmo	Instituto Tecnológico de Villahermosa
Instituto Tecnológico de Jiquilpan	Instituto Tecnológico de Zacatecas
Instituto Tecnológico de La Laguna	Instituto Tecnológico de Zacatepec
Instituto Tecnológico de La Paz	Instituto Tecnológico de Zitácuaro
Instituto Tecnológico de La Piedad	Instituto Tecnológico Superior de Acayucan
Instituto Tecnológico de La Región Mixe	Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio
Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas	Instituto Tecnológico Superior de Alamo Temapache
Instituto Tecnológico de León	Instituto Tecnológico Superior de Alvarado
Instituto Tecnológico de Linares	Instituto Tecnológico Superior de Apatzingan
Instituto Tecnológico de Los Mochis	Instituto Tecnológico Superior de Arandas
Instituto Tecnológico de Matamoros	Instituto Tecnológico Superior de Atlixco
Instituto Tecnológico de Matehuala	Instituto Tecnológico Superior de Cajeme
Instituto Tecnológico de Mérida	Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Instituto Tecnológico de Mexicali	Instituto Tecnológico Superior de Cananea
Instituto Tecnológico de Minatitlán	Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Acuña
Instituto Tecnológico de Morelia	Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Const.

Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo	Instituto Tecnológico Superior de Mascota
Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán	Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Instituto Tecnológico Superior de Centla	Instituto Tecnológico Superior de Monclova
Instituto Tecnológico Superior de Chalco	Instituto Tecnológico Superior de Motul
Instituto Tecnológico Superior de Chapala	Instituto Tecnológico Superior de Mulegé
Instituto Tecnológico Superior de Chimalhuacán	Instituto Tecnológico Superior de Naranja
Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa	Instituto Tecnológico Superior de Nochistlán
Instituto Tecnológico Superior de Coacalco	Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes
Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco	Instituto Tecnológico Superior del Occidente. del Estado de Hidalgo
Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan	Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado del México
Instituto Tecnológico Superior de Cuautitlán Izcalli	Instituto Tecnológico Superior de Pánuco
Instituto Tecnológico Superior de la Región Carbonífera	Instituto Tecnológico Superior de Perote
Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos	Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica
Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra	Instituto Tecnológico Superior de Puerto Peñasco
Instituto Tecnológico Superior de Purhépecha	Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra
Instituto Tecnológico Superior de Rioverde	Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla
Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital	Instituto Tecnológico Superior de Valladolid
Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias	Instituto Tecnológico Superior de Valle de Bravo
Instituto Tecnológico Superior de Ebanó	Instituto Tecnológico Superior de Xalapa
Instituto Tecnológico Superior de Ecatepec	Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla
Instituto Tecnológico Superior de Felipe Carrillo Puerto	Instituto Tecnológico Superior de Zacatecas Occidente
Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo	Instituto Tecnológico Superior de Zamora
Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato	Instituto Tecnológico Superior de Zapopan
Instituto Tecnológico Superior de Guasave	Instituto Tecnológico Superior de Zapotlanejo
Instituto Tecnológico Superior de Huatusco	
Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango	
Instituto Tecnológico Superior de Huetamo	
Instituto Tecnológico Superior de Huichapan	
Instituto Tecnológico Superior de Huixquilucan	
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato	
Instituto Tecnológico Superior de Jilotepec	
Instituto Tecnológico Superior de Jocotitlán	
Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara	
Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan	
Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla	
Instituto Tecnológico Superior de Lagos de Moreno	
Instituto Tecnológico Superior de las Choapas	
Instituto Tecnológico Superior de Lerdo	
Instituto Tecnológico Superior de Libres	
Instituto Tecnológico Superior de Loreto	
Instituto Tecnológico Superior de los Cabos	
Instituto Tecnológico Superior de los Ríos	
Instituto Tecnológico Superior de Macuspana	
Instituto Tecnológico Superior de Mante	

Tabla 27. Sedes de los tecnológicos regionales en México (Dgest, 2004b).

De la tabla 27 se destaca que existen varios planteles a lo largo del estado de Tamaulipas. La metodología propuesta en esta tesis contempla la participación primordialmente de profesores con experiencia como consultores y con nivel *de Black Belt*, así como de alumnos de la carrera de Ingeniería Industrial que hayan completado satisfactoriamente las materias señaladas en la tabla 26. Según información de la dirección de carreras profesionales del ITESM Campus Tampico actualmente existen 20 alumnos que han completado dichas materias, además de que se cuenta con 2 profesores certificados como *Black Belt* y 4 más con estudios de maestría o doctorado en áreas directamente relacionadas con las metodologías, tales como estadística, calidad, administración de operaciones e Ingeniería Industrial, todos con experiencia en consultoría empresarial.

3.5.2.3 Estrategias de vinculación usadas en el ITESM.

La vinculación con el sector empresarial es muy importante para el ITESM, según información concedida por su Centro de Desarrollo Profesional y la dirección de carreras profesionales los estudiantes y profesores se vinculan empresarialmente mediante alguna de estas formas:

1-Via proyectos o trabajos académicos de asignatura:

Aquí es en donde de acuerdo a las políticas de la asignatura, el alumno ya sea de manera individual o en equipo elije o es asignado a una empresa para hacer alguna investigación o proyecto que integre parte de los temas vistos en clase. El profesor funge como facilitador de estos procesos y revisa los avances y presentaciones finales ante la empresa.

2-Proyectos empresariales:

Esta es una modalidad más enfocada a la consultoría, ya que un grupo de alumnos en conjunto con un profesor trabajan en un proyecto durante 4 meses en la empresa. El equipo reporta avances y el profesor tiene el rol facilitador y de contacto con la empresa. La empresa es relativamente pasiva en este proceso al estar solo recibiendo informes de avances y proporcionando información relevante.

3-Proyectos de estancia:

El alumno sigue un proceso de reclutamiento (entrevistas, exámenes de conocimiento y médicos) tradicional para trabajar en horario completo en una empresa bajo un proyecto definido y competente a su área de estudios. El profesorado en este caso tiene la figura de un tutor y solo da seguimiento a avances del proyecto, sirve como enlace con la empresa, misma que tiene un empleado que actúa como jefe directo del alumno y lo asesora en todo el proyecto, mismo que tiene una duración de 6 meses.

4-Proyectos de extensión:

Estos son proyectos llevados por el departamento de Posgrado y extensión del instituto, se cuenta con la participación de profesores en seminarios, diplomados o consultorías pagadas. Los alumnos no participan en ellos.

5-Proyectos de investigación:

Es una forma en la que el alumno y el profesor hacen investigación sobre problemáticas en la zona de influencia de la institución, teniendo contacto y obteniendo información de las empresas involucradas de acuerdo al objetivo y alcance del estudio. Libros y trabajos sobre la industria del plástico así como del área de logística han sido generados en base a estas investigaciones.

El tema de vinculación es importante para la metodología propuesta en esta tesis, puesto que el correcto acercamiento, selección, tratamiento de empresas y proyectos son claves para que se den los resultados esperados en su primera aplicación.

Capítulo 4: Metodología para la integración de Lean y Seis Sigmas en PyMEs Tamaulipecas: La intervención de instituciones universitarias.

4.1 Introducción

La metodología propuesta en esta tesis integra dos actores fundamentales, la universidad con sus recursos centrados en profesores y alumnos de Ingeniería Industrial, así como las PyMEs que tienen la necesidad de mejora y ceden también recursos humanos y tecnológicos para llevar a cabo los proyectos que potencien su competitividad ante la creciente exigencia de los clientes.

Para la propuesta se hace necesario integrar metodologías de aplicación en la industria como lo son *Lean* y *Seis Sigma*, adaptándolas de acuerdo a las barreras, oportunidades y entorno de las PyMEs, así como la participación del sector universitario como catalizador de la metodología. Para la investigación se ha optado por el método de casos, por ser el que proporciona flexibilidad en la presentación y análisis de información cualitativa y cuantitativa. La primera aplicación de la metodología se ha documentado y analizado en el estado de Tamaulipas, en base al trabajo realizado con el Tecnológico de Monterrey Campus Tampico al ser esta unidad representativa de un sistema múltiple campus que cuenta en su programa de Ingeniería Industrial y de sistemas con las condiciones analizadas en el capítulo anterior y con profesores consultores capacitados en temas relativos a *Lean* y *Seis Sigma*.

4.2 Factores críticos observados en el desarrollo de la metodología.

Dada la investigación, documentación, estudio de casos y resultados de las encuestas se identificó que para poder integrar *Lean* y *Seis Sigma* en una PyME teniendo como mediador o catalizador de la metodología a una institución universitaria se deben de cumplir los 5 factores siguientes, mismos que son catalogados como críticos para que se den resultados positivos en los proyectos:

Factor	ITESM	PyME	Lean	Seis Sigma
Enfoque hacia procesos	Estructura y definición detallada de actividades, fases y resultados esperados en el proyecto.	El personal tiene bien identificados los procesos, su secuencia, el resultado esperado por el cliente.	Se centra en identificar acciones que no agregan valor en los procesos.	Busca de forma secuencial y ordenada identificar las variables significativas de variación en los procesos.
Liderazgo	Proyectos de vinculación gestionados por el departamento o CDP.	Compromiso de la gerencia y su staff con el proyecto desde un inicio.	Enfatiza la participación de la gente en el proceso y su disciplina para seguirlo.	Estructura con un <i>Champion</i> que en éste caso es el gerente que quita barreras existentes para llegar a la meta en los proyectos.
Enfoque en el cliente	Proceso de intervención en PyMEs enfocado en el resultado y satisfacción del cliente.	Conocimiento de la empresa de sus clientes, sus necesidades y prioridades.	Procesos y productos con lo necesario para generar valor para el cliente.	Reducción de la variabilidad para cumplir especificaciones del cliente.
Entrenamiento	Conocimiento de profesores y alumnos sobre las metodologías .	La empresa sede sus empleados clave para la capacitación en Lean/Seis Sigma.	Entrenamiento a equipos de trabajo sobre conceptos de Lean (5's, SMED etc.)	Estructura de entrenamiento definida (<i>Green Belt</i> , <i>Black Belt</i>).
Mejora continua	La metodología permite que se retroalimenten áreas de oportunidad o ajustes a la misma.	Directivos con visión de mejora, identifican su posición ante el cliente y proyectan algo alcanzable	Tiene base en el PDCA y busca hacer de la eliminación del desperdicio una cultura en la empresa.	Sistemáticamente busca reducir defectos, variación en procesos hasta acercarse a la perfección.

Tabla 28. Factores críticos observados en el desarrollo de la metodología.

4.3 Actores y sus roles dentro de la metodología propuesta de Lean Seis Sigma.

En la metodología planteada a continuación interactúan los siguientes componentes con sus respectivos roles:

4.3.1 Empresas PyME:

4.3.1.1 Importancia:

La principal zona de influencia del ITESM Campus Tampico comprende las ciudades Tamaulipecas de Tampico, Medero y Altamira, mismas que acumular en conjunto 660,000 habitantes y cuyas principales actividades son la industria del plástico, polímeros, medicina, biomedicina, logística internacional y servicios (Moya et al. 2009). Las empresas donde se realizaron los estudios de casos son de esta zona y no son de un solo giro particular. La importancia de la PyME en la metodología radica en que es en ésta donde se aplican las herramientas, recursos humanos y tecnológicos contemplados en la propuesta de unión de Lean y Seis Sigma, teniendo que darse una vinculación entre la organización y la Universidad.

4.3.1.2 Rol de los participantes en la metodología:

Los principales participantes dentro de la empresa en la metodología son:

Gerente general o dueño: Es quien debe aprobar el proyecto, designar los recursos que competan al mismo y comprometerse con la ejecución y continuidad de los resultados logrados en los objetivos establecidos. Tomando de base la estructura de Seis Sigma hace las veces de un *Champion* en el proyecto.

Staff de gerentes: Son los gerentes de áreas que conforman la línea de mando inmediata al gerente general o dueño. Tienen un voto para proponer proyectos, mismos que se derivan de oportunidad en sus áreas de responsabilidad. Tomando la base de la estructura de Seis Sigma hacen las veces de un *Process Owners* (dueños del proceso), al ser en sus departamentos donde se llevará el trabajo medular del proyecto.

Personal que compone el equipo del proyecto: Aquel personal que proviene principalmente de las áreas o procesos de donde se desprende el proyecto. Son personas seleccionadas de acuerdo a la metodología dado su perfil de conocimientos y experiencia. Estas personas ejecutan cada una de las etapas de la metodología en conjunto con los alumnos de la institución universitaria.

4.3.2 Institución Universitaria

4.3.2.1 Importancia:

La institución universitaria en este caso representada por el ITESM debe participar en el desarrollo de su zona de influencia (Tamaulipas), ayudando al desarrollo de sus comunidades y privilegiando el crecimiento profesional de sus principales componentes, los alumnos y los profesores. De aquí que la vinculación empresarial sea una estrategia para documentar casos de estudio (planteados en el capítulo 5) que no lleven a definir una metodología de sinergia entre Lean y Seis Sigma que pueda aplicarse por parte de alumnos de la carrera de Ingeniería Industrial y de los profesores afines a esta área.

4.3.2.2 Rol de los participantes en la metodología:

Los principales participantes dentro de la institución universitaria en la metodología son:

Profesores consultores: Profesores vinculados con la universidad, que tengan experiencia en el uso de Lean y Seis Sigma, puesto que su rol primordial será el de evaluadores, entrenadores y líderes en el despliegue de la metodología integrada en la PyME.

Estudiantes de Ingeniería Industrial: Alumnos seleccionados para el proyecto primordialmente de acuerdo a su cumplimiento en requisitos académicos (sección 3.5.2.2, tablas 25 y 26) y que formarán un equipo con el personal de la empresa. Su rol principal es el de ejecutar el proyecto, así como el brindar asesoría sobre el uso de técnicas o herramientas poco conocidas por el personal de la empresa.

Centro de desarrollo profesional: Entidad o departamento que depende de la institución universitaria. Tiene como rol principal ser el primer contacto con las

empresas, recibir y canalizar las solicitudes de proyectos, así como la gestionar contratos y dar seguimiento a los cierres de proyectos.

4.4 Metodología para la integración de Lean y Seis Sigma en PyMEs Tamaulipecas: Un enfoque participativo con el ITESM.

A partir del trabajo realizado con el método de casos y el análisis de resultados de las encuestas (capítulo 5), se procede a describir cada etapa de la metodología propuesta. El tiempo de duración de cada etapa depende del alcance y otros factores del proyecto, sin embargo se estima que este tiempo es menor al que se tendría si se aplicaran individualmente Lean o Seis Sigma. En el anexo III se encuentran identificados de forma secuencial todos los formatos utilizados para documentar la metodología.

4.4.1 Diagnóstico.

En esta etapa se realizan los primeros contactos entre las empresas que manifiestan por escrito sus necesidades y la institución académica.

Aquí es donde el personal de la institución académica (CDP y profesores consultores) evalúa la solicitud del proyecto, dicha etapa concluye con una retroalimentación formal sobre la conveniencia de hacer o no un proyecto en la PyME bajo la metodología integradora.

4.4.1.1 Recibimiento de propuesta:

- El departamento interno de la institución académica (CDP) recibe las solicitudes por escrito por parte de las PyMEs.
- Las solicitudes son turnadas a un comité compuesto por profesores consultores.
- Los profesores consultores se reúnen y definen que solicitudes se aprueban para diagnóstico y quien la llevará a cabo.
- Se llena un informe con las solicitudes aprobadas, no aprobadas y comentarios de las mismas, estas solicitudes se envían al departamento interno de la institución académica (CDP).

4.4.1.2 Diagnóstico de la empresa:

- El departamento interno de la institución académica (CDP), notifica por escrito a las empresas la resolución de sus solicitudes y establece una cita

para visita de profesor(es) consultor(es) en aquellas en donde se haya aprobado un diagnóstico en sus instalaciones.

- El o los profesores consultores se presentan en la empresa y evalúan en base a un cuestionario (anexo III) los siguientes factores:

4.4.1.2.1 Liderazgo:

- Tiene como propósito evaluar si los directivos de la empresa están dispuestos a trabajar bajo una metodología nueva que involucrará a sus recursos humanos y tecnológicos por un periodo de entre 3 y 4 meses.

4.4.1.2.2 Conocimiento de Lean/ Seis Sigma:

- Se evalúa directamente con el encargado de recursos humanos de la empresa y/o los supervisores correspondientes el nivel de preparación de sus empleados (licenciaturas, posgrados, conocimientos de Lean y/o Seis Sigma).

4.4.1.2.3 Entrenamiento:

- Se tiene como principal objetivo conocer el nivel de compromiso que tendría la dirección de la PyME reflejado a través del número de horas en que cedería a miembros de la empresa para su entrenamiento, mismo que de acuerdo a la evaluación del punto anterior pudiera ser de entre 20 y 60 horas.

4.4.1.3 Resultados y retroalimentación:

- De acuerdo a la evaluación hecha en cada uno de los puntos anteriores se establece si será posible o no la intervención en la empresa basándose en la metodología de integración Lean/ Seis Sigma.
- El departamento interno de la institución académica (CDP) emite la resolución final a la PyME correspondiente.

4.4.2 Planeación y proyección

4.4.2.1 Introducción a la metodología Lean Seis Sigma:

- El o los profesores consultores hacen una presentación introductoria sobre la metodología integradora Lean/Seis Sigma ante los directivos de la PyME.
- Se invita a una nueva sesión en donde los directivos de la PyME deberán de llevar por escrito la misión y visión de la empresa.

4.4.2.2 Priorización de proyectos:

- En sesión grupal el profesor consultor funge el rol de facilitador y cuestiona a los directivos sobre cuáles son los principales problemas que están inhibiendo los resultados esperados en la empresa.

- Las ideas planteadas se agrupan de acuerdo a su afinidad, dándole así forma a proyectos potenciales.
- El facilitador clarifica las características primarias de los problemas que pueden ser tratados bajo el enfoque de la metodología de integración Lean Seis Sigma.
- Se pide a los participantes de la sesión que llenen la tabla de priorización de proyectos (anexo III) marcando cuales son las características que cumple cada proyecto.
- El proyecto a seleccionar deberá de surgir de entre los que tengan más marcas en la tabla.
- En caso de empate en el número de marcas entre dos proyectos se sugiere someter la decisión a una votación abierta.
- Los proyectos no elegidos serán los primeros a tomarse en cuenta en un futuro a corto plazo.
- Se define un *Champion* o responsable del proyecto por parte de la empresa.

4.4.2.3 Formación y formalización del equipo de trabajo:

- El profesor consultor se reúne con el director o coordinador de la carrera de Ingeniería Industrial para definir alumnos candidatos para participar en el proyecto.
- Se seleccionan de 2 a 3 alumnos de acuerdo a su cumplimiento y desempeño en la curricula de materias afines a las metodologías Lean Seis Sigma (Tabla 26).
- El profesor consultor presenta el proyecto a los alumnos. Los alumnos que aceptan participar acuden con su coordinador o director de carrera para solicitar le sea convalidado el proyecto por dos asignaturas de su plan de estudios.
- Cada alumno tendrá una dedicación al proyecto de 16 horas por semana de manera fija.
- El director o coordinador de la carrera define que materias del plan de estudios convalidará de acuerdo a cada caso.
- El profesor(es) consultor(es) será(n) responsable(s) de impartir entre 20 y 60 horas de capacitación para el equipo de trabajo y entre 20 y 50 horas para actividades como juntas y asesorías dentro del proyecto.
- El profesor(es) consultor(es) se reúne(n) con el *Champion* (representante de la empresa) y en conjunto definen que elementos de la empresa participarán en el equipo del proyecto.
- Los participantes de la empresa primordialmente provendrán de las áreas o procesos de donde se desprenda el proyecto. Serán personas seleccionadas por su perfil de conocimiento y experiencia.
- Los participantes de la empresa tendrán el compromiso con ellos y ante la dirección de la PyME de estar presentes en la totalidad de la capacitación y de tener una dedicación parcial promedio en el proyecto de 8 horas por semana, este tiempo representa aproximadamente un 20% de su jornada semanal y es

equivalente a lo que Brue (2006) recomienda para un *Green Belt* en una empresa de menos de 100 empleados.

4.4.2.4 Recursos físicos y tecnológicos:

- El profesor consultor acuerda con la PyME el uso de un espacio físico para trabajar en el proyecto (oficina, sala).
- Se solicita a la institución académica la instalación de 1 Pc en el área destinada para el proyecto en la empresa, así como la instalación del software office, minitab y Visio.

4.4.2.5 Entrenamiento:

- El profesor consultor y el *Champion* definen el calendario de entrenamiento, mismo que puede variar de acuerdo a la profundidad de conocimientos previos de los integrantes de la empresa pero usualmente éste será de entre 20 y 60 horas distribuidas en 5 módulos a lo largo de los 4 meses que aproximadamente dura un proyecto en promedio.

4.4.3 Definición detallada

4.4.3.1 Enunciado detallado del problema:

- El equipo del proyecto debe llegar a un enunciado del problema más detallado en base a responder al menos las siguientes preguntas: ¿Qué es el problema?, ¿Dónde ocurre?, ¿Cuándo ocurre? , ¿Cuándo pasó por primera vez?, ¿Qué magnitud tiene el problema? (i.e. ¿Qué tanto?), ¿Cómo lo saben?. El enunciado del problema está construido a partir de las respuestas a las 5 preguntas de identificación.
- El equipo selecciona que métrico (primario) se relaciona más con el problema (nivel de Sigma, número de defectos, cantidad de inventario, tiempo de ciclo etc), y éste será el que se monitoree a partir de este momento y hasta la conclusión del proyecto. Debe haber una congruencia entre el título del proyecto y la redacción del enunciado del problema.
- El enunciado detallado del problema se complementa de forma gráfica con un gráfico llamado de serie de tiempos, este representa el estado pasado y actual del indicador principal definido para el proyecto (métrico primario).

4.4.3.2 Definir la meta del proyecto:

- La meta deberá ser sugerida por el profesor consultor y el *Champion* y respaldada por la dirección de la empresa. Basado en la metodología Seis Sigma se puede tomar como referencia que la meta puede ser calculada como el desempeño actual + o - el 70% de la diferencia entre el desempeño actual o promedio del métrico primario y su mejor desempeño histórico.

- La meta del proyecto deberá ser entonces un enunciado compuesto de la siguiente forma :
Transformación (verbo en infinitivo + métrico primario), **enfoque** (¿dónde ocurre?) **meta** (desempeño actual +/- objetivo), **período de tiempo** y **restricciones**.

4.4.3.3 Mapeo amplio del proceso:

- El equipo construye un mapa amplio del proceso (macro mapa) alrededor de la fuente de donde se origina el problema que detona el proyecto.
- Se deben incluir en el macro mapa pasos anteriores y posteriores a la parte del proceso en la que se ubica el proyecto.
- Se ubica exactamente el alcance del proyecto en el proceso.
- El macro mapa debe estar en forma de bloques de funciones y no de equipos. No debe haber decisiones (rombos).
- Las actividades deben estar en infinitivo y debe haber entre 5 y 12 bloques.
- La actividad de transformación se refiere a un cambio de estado (energético).
- El equipo define en que procesos del macro mapa se concentra el problema que genera este proyecto.

4.4.3.4 Validación financiera:

Esta validación debe estar respaldada por la empresa y es importante ya que hace al proyecto atractivo en términos de dinero ahorrado y reducción de costos y valor agregado para el cliente.

- Los integrantes del proyecto con asesoría del profesor consultor deben tener a medida de lo posible los datos para estimar: Ingresos, gastos y la satisfacción del cliente derivada del proyecto.
- En el anexo III se presenta una guía de ayuda para el cálculo de esta información. Los cálculos derivados será validos por el *Champion*, el gerente o responsable financiero de la empresa y deberá estar aprobada por la dirección general de la PyME.
- En esta etapa se obtiene un estimado preliminar del beneficio del proyecto, siendo éste monitoreado y ajustado después de la mejora dada a partir de la etapa de estado futuro de la metodología.

4.4.3.5 Presentación y aprobación de la propuesta de proyecto:

- El equipo presenta ante los mandos de la PyME los siguientes puntos: Problema, objetivo, macro mapa, validación financiera, equipo de trabajo y propuesta de cronograma de trabajo para finalizar el proyecto.

4.4.3.6 Entrenamiento:

- A partir de la formalización del equipo y siendo calendarizado en el cronograma de trabajo del proyecto el profesor consultor imparte los temas que cubren la fase de definición detallada, teniendo éstos una duración promedio de 5 horas.
- Dentro del cronograma se fijan las juntas con una periodicidad semanal tanto para asesoría de temas del proyecto como para seguimiento del mismo.
- Como parte del material a utilizar para el apoyo en el entrenamiento se ha desarrollado un manual práctico que simplifica la metodología (anexo II).

4.4.4 Traducción.

4.4.4.1 Analizar cómo se obtienen los datos:

- Se establece la fuente de donde se tomarán los datos a analizar en el proyecto.
- Se define qué tipo de datos son atributos/ variables.
- Se hace una prueba para determinar al menos la repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición (operador(es) que mide e instrumento de medición) utilizando Excel o minitab.
- Se revisa el procedimiento de recolección y captura de datos en caso de que estos se introduzcan mediante algún sistema computacional.

4.4.4.2 Cálculo de la capacidad del proceso:

- La estimación de la capacidad del proceso está relacionada con el métrico primario.
- Se definen adecuadamente los límites de especificación para el cálculo de capacidad y los datos utilizados son clasificados adecuadamente (Corto y Largo Plazo), los subgrupos son definidos racionalmente.
- Se aplica la prueba de normalidad a los datos y el análisis de capacidad con la ayuda del software minitab.
- Si es de la línea automotriz, pedir preferentemente al menos 125 datos y estabilidad del proceso y el cálculo de Cp, Cpk, Pp y Ppk .
- En caso de menos de 12 datos (promedios) incluir una nota que indique la falta de validez estadística.
- Al menos se debe calcular el Cp y el Cpk, cuyos valores mínimos deben ser de 1.0.
- Se debe relacionar el Cp y Cpk con el métrico principal del proyecto.

4.4.4.3 Mapeo para conocer a profundidad como se genera valor mediante el proceso y aplicar técnicas Lean:

- A partir del macro mapa tome el proceso(os) en donde se centra el problema del que se deriva el proyecto.

- Defina cuál es el producto(os) que pasan por el proceso.
- Cree el Value stream map (VSM) actual del proceso para lo cual los pasos básicos son:
 - Definir el producto(os) que se van a seguir o mapear su cadena de valor.
 - Defina la cadena de valor que sigue el producto desde la llegada de materiales, hasta su entrega al cliente.
 - Colocar en cada etapa de la cadena de valor los indicadores actuales que le sean más representativos (tiempo de ciclo, inventario, tiempo de set up, operadores etc.).
 - Identificar los flujos de información dentro de la cadena de valor, es decir cómo llega la información a la misma.
 - Identificar los flujos de materia prima dentro de la cadena de valor, es decir de donde vienen y a dónde van los materiales, quien los lleva y como.
- Identificar los 7 desperdicios base en el VSM.
- Desarrollar un plan para inhibir estos desperdicios que se deben incluir en el cronograma del proyecto.
- Dar seguimiento y secuencialmente eliminar los desperdicios.

4.4.4.4 Diagrama de flujo del proceso:

- Crear un diagrama de flujo, éste debe incluir todos los pasos del proceso de manera escrita, con distancias, tiempos y observaciones que complementan el VSM, el diagrama se puede hacer a partiendo de estos pasos:
 1. Graficar los procesos documentados
 - Incluir todos los pasos de las especificaciones, mediciones y transportación.
 - Identificar todos los puntos de recolección de datos.
 2. Mostrar los documentos de control para cada paso del proceso.
 3. Identificar cada paso del proceso como con valor agregado (VA) o sin valor agregado (NVA).
 - Identifique las variables independientes significativas en el proyecto (X's) y su(s) efecto(s) (Y's), para cada paso del proceso.
 - Resaltar los pasos NVA que son candidatos a eliminarse.
 4. Agregar y resaltar los pasos del proceso de la "fabrica oculta".
 - Identificar como VA o NVA. Identificar los candidatos a eliminarse.
 - Resaltar los pasos que requieren documentación de control.

5. Agregar estimados como DPU, RTY R&R etc.

- Resaltar candidatos para la calibración y los estudios de capacidad.

6. Verificar la exactitud a través de observación directa y discreta.

4.4.4.5 Matriz causa y efecto:

- Elabore un Diagrama Causa-Efecto, el cual contiene el métrico primario expresado en términos de problema (por ejemplo “Bajo Rendimiento”) y será evaluado considerando las 6M’s (proyecto operacional) o las 6P’s (proyecto transaccional). Los pasos para el llenado de la matriz son:

1-Primero debe de tener a la gente adecuada para hacer una lluvia de ideas como se hizo en el mapeo de procesos o en el diagrama de pescado.

2-En un formato de hoja de cálculo haga lo siguiente:

- Liste las salidas en la parte superior del formato. Recordar que éstas son las salidas guiadas por el cliente.
- Clasificar las salidas de acuerdo con las prioridades del cliente, una escala de 1 al 10 donde el valor mayor tiene más prioridad.
- Listar los pasos del proceso y las salidas en la parte izquierda del formato.
- Clasificar la contribución de cada entrada en cada salida.
- Identificar entradas críticas del valor de la columna de los TOTALES.

4.4.4.6 Detección y priorización de problemas:

- Elaborar un Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) concreto en donde se identifiquen los modos de falla y el efecto de falla, esto a partir de los pasos del proceso identificados con altos valores en la matriz Causa-Efecto. El AMEF se puede desarrollar siguiendo los siguientes pasos:

1-Formar el equipo que realizará el AMEF.

2- Identificar los modos potenciales de falla.

3-Para cada falla, identificar su efecto y estimar la severidad del mismo.

4- Encontrar las causas potenciales de la falla y estimar la frecuencia de falla debido a cada causa.

5-Hacer una lista de los controles o mecanismos que existen para detectar la ocurrencia de la falla, antes de que el producto salga hacia procesos posteriores o antes de que salga al área de manufactura.

6- Calcular el número prioritario de riesgo (NPR), que resulta de multiplicar la severidad por la ocurrencia por la detección por la probabilidad de que los mecanismos de control detecten cada causa de falla.

7-Haga especial énfasis en los NPR con valores altos.

8-Utilice la Regla empírica de selección de variables: NPR arriba de 100 ó Severidad mayor o igual a 9 ó 80-20% (acción sobre el 20%).

4.4.4.7 Entrenamiento:

- A partir del término de la etapa de definición detallada y siendo calendarizado en el cronograma de trabajo del proyecto el profesor consultor imparte los temas que cubren la etapa de traducción, teniendo ésta una duración promedio de 8 horas.
- Dentro del cronograma se fijan las juntas con periodicidad semanal, tanto para asesoría de temas del proyecto como para seguimiento del mismo.
- Dentro del material a utilizar como apoyo para el entrenamiento en la metodología propuesta se ha desarrollado un manual práctico (anexo II).

4.4.5 Análisis

4.4.5.1 Análisis gráfico de variables:

- Se estudian todas las variables definidas como variables estadísticas con NPR más grande provenientes del AMEF de la etapa anterior, se debe procurar seleccionar entre 3 y 5 variables máximo, aunque esto dependerá del proyecto.
- El tipo de graficas utilizadas son congruentes con el tipo de variable.
- Es recomendable realizar comparaciones entre gráficos, y que las escalas sean definidas apropiadamente.
- Las variables cuantitativas discretas se pueden analizar como continuas siempre y cuando los intervalos sean suficientemente pequeños (dependerá del proyecto).
- Si la variable es cuantitativa se utiliza en minitab alguna o varias de las siguientes gráficas: *Graphical Summary, Scatterplot o Marginal Plots*.
- Si la Variable X es cuantitativa Discreta o Variable cualitativa nominal-ordinal o tipo presencia-ausencia usar: *Box Plot With Groups, Interval Plots With Groups o Individual Value Pots With Groups*.
- Se presentan conclusiones sobre el comportamiento de las variables.

4.4.5.2 Relaciones entre variables con el problema:

- Se estudian todas las variables definidas al inicio de la etapa de Análisis.
- Las variables se estudian con la misma escala.
- Se identifican variables de mayor influencia y las interacciones entre ellas a partir de alguna de las siguientes gráficas disponibles en minitab: Gráficos de Efectos Principales, Gráficos de Interacciones, Multi-Vari Chart.
- El tipo de gráficas a utilizar dependerá del tipo de proyecto y de los datos con los que se cuenten.

4.4.5.3 Análisis inferencial:

- En base a las conclusiones del análisis exploratorio se listan todas las hipótesis a investigar mediante estadística inferencial, se identifica el método a utilizar y se especifican las hipótesis estadísticas a probar.
- El análisis estadístico incluye al menos el cálculo del tamaño de muestra así como alguna prueba para las medias/medianas, varianzas o proporciones. El método a utilizar depende del proyecto y los datos con los que se cuente.
- El equipo debe plantear las hipótesis necesarias.
- Se debe definir el criterio de evaluación. Por defecto el nivel de significancia = 0.05.
- Se hace un análisis por cada hipótesis planteada.
- El análisis es congruente con la hipótesis.
- Se definen los valores de alfa y beta con antelación y son utilizados para determinar el tamaño de la muestra.
- Se validan los supuestos estadísticos de las pruebas realizadas.
- Se evalúan resultados de la prueba utilizando el criterio de evaluación previamente definido.
- Se concluye en base a las hipótesis estadísticas y las hipótesis de investigación.
- Se identifican las variables que resultaron significativas estadísticamente para el proyecto y las que no lo fueron pero que en la práctica el equipo sabe que deben ser incluidas en análisis posteriores.

4.4.5.4 Mapa preliminar del futuro proceso:

- Se evalúan cuáles son los desperdicios en el VSM actual.
- Se compara la relación entre dichos desperdicios y las variables que resultaron significativas del paso de análisis inferencial.
- Se construye un VSM futuro en donde se planteen las metas de eliminación de desperdicios y ajuste de las variables significativas encontradas.
- Se generan actividades para intervenir en estas variables y se incluyen en el cronograma del proyecto.

4.4.5.5 Entrenamiento:

- Previo al inicio de la fase de análisis y siendo calendarizado en el cronograma de trabajo del proyecto el profesor consultor imparte los temas que cubren dicha fase, teniendo una duración promedio de 10 horas.
- Dentro del cronograma se fijan las juntas con una periodicidad semanal tanto para asesoría de temas del proyecto como para seguimiento del mismo.
- Dentro del material a utilizar como apoyo para el entrenamiento en la metodología propuesta se ha desarrollado un manual práctico (anexo II).

4.4.6 Estado futuro

4.4.6.1 Inicio del evento de mejora:

- Del cronograma del proyecto partiendo de la fase de análisis, se programa una sesión Kaizen.
- Se debe juntar a los involucrados que trabajan en los procesos en donde existen los desperdicios y se desprenden las variables significativas encontradas (X's).
- El equipo del proyecto presenta el mismo al personal y da una introducción a los conceptos fundamentales de 7 desperdicios.
- El personal va al área de los procesos en búsqueda de los desperdicios con la encomienda de idear formas económicas de inhibirlos.
- El equipo del proyecto trabaja en complementar el VSM futuro con los hallazgos y sugerencias del personal.

4.4.6.2 Plan 5's:

- Durante una segunda sesión con el personal se clarifica lo que son las 5's.
- El personal va al área de los procesos e identifica en donde pueden aplicarse las 5's.
- El personal expone sus conclusiones y aporta ideas.
- El equipo del proyecto complementa el VSM futuro con las áreas en donde se aplicarían las 5's.

4.4.6.3 Experimentación:

- El equipo de trabajo plantea en papel el experimento que debe hacer para mejorar las condiciones de las variables significativas (X's), utilizando de manera genera un diseño experimental con los siguientes pasos:

Paso 1: Establecer el problema práctico.

Paso 2: Establecer el objetivo del experimento.

Paso 3: Seleccionar la variable de respuesta.

Paso 4: Seleccionar los factores de entrada.

Paso 5: Seleccionar los niveles de los factores de entrada.

Paso 6: Seleccionar el diseño de experimentos y el tamaño de muestra.

Paso 7: Se crea una matriz de experimentación que contenga el arreglo de las corridas efectuadas (i.e. cada una de las combinaciones de los niveles de las variables y los resultados obtenidos en cada experimento). Para éste paso se invita al personal del proceso a coadyuvar en el experimento.

Paso 8: Se introducen los datos resultantes del experimento a Minitab.

Paso 9: Se obtienen de minitab las gráficas de efectos principales, interacciones.

Paso 10: Se validan los supuestos del experimento: Gráfica de residuos Four in One + Conclusiones. Disponibles en minitab.

Paso 11: Se incluyen conclusiones finales que contienen:

- La ecuación que define el comportamiento del sistema (Diseño de experimento).
- Las variables de mayor influencia.
- Donde fijar las entradas para obtener los valores de salida deseados.
- Donde fijar las entradas de mayor influencia para reducir la variabilidad.

4.4.6.4 Eliminación de desperdicios y fuentes de variación:

- En éste paso se involucra al personal del proceso, mismo que tendrá un rol activo en la eliminación de desperdicios.
- El equipo del proyecto presenta al personal del proceso el VSM futuro, mismo que ya debe contener los identificado como desperdicios, donde se deben aplicar las 5's y ajustes que deben hacerse en las variables resultantes del diseño de experimentos realizado con antelación.
- Se genera un plan de actividades para implementar estos cambios y se anexa al cronograma del proyecto.

4.4.6.5 Cierre de la Mejora:

- El equipo del proyecto debe hacer los cambios pertinentes en los proceso, derribando obstáculos o restricciones administrativas o burocráticas con el apoyo del *Champion*.

- La fase concluye con dos actividades de comprobación primordiales:
 - 1-La comparación entre lo ahora actual y el VSM futuro, debiéndose ver el proceso lo más apegado posible a ese estado definido.
 - 2-El haberse apegado a la meta del proyecto mediante el ajuste o cambio que se hizo en las variables que resultaron significativas para el mismo.

4.4.6.6 Entrenamiento:

- Previo al inicio de la fase de Estado futuro y siendo calendarizado en el cronograma de trabajo del proyecto el profesor consultor imparte los temas que cubren dicha fase, teniendo una duración promedio de 10 horas.
- Dentro del cronograma se fijan las juntas de con periodicidad semanal tanto para asesoría de temas del proyecto como para seguimiento del mismo.
- Dentro del material a utilizar como apoyo para el entrenamiento en la metodología propuesta se ha desarrollado un manual práctico (anexo II).

4.4.7 Estandarización y sesión.

4.4.7.1 Plan de control:

- El Plan de Control describe las acciones que serán tomadas para asegurar los resultados y tiene su base para construirse y evaluarse en el VSM futuro construido en la fase anterior.

El plan de control incluye:

- 1-Indicar lo qué se está controlando.
- 2-Límites de especificación o tolerancia en el desperdicio.
- 3-Método de medición.
- 4-Método de Control (sólo mencionar).
- 5-Tamaño de muestra o tipo de auditoría o revisión.
- 6-Frecuencia con la que se observará o tomará la muestra.
- 7-Responsables de toma y análisis de los datos.
- 8-Procedimientos aplicables.
- 9-Responsables y acciones a tomar en caso de una desviación contra los parámetros definidos en el proceso y niveles de desperdicios establecidos (VSM futuro).

4.4.7.2 Estandarización:

- Después de tener un control en las diversas variables y desperdicios en las que recayó el proyecto se busca en esta etapa incrementar la probabilidad de que los resultados del proyecto sigan dándose de manera continua y que sirva esto como pauta para una futura mejora. Para ello se recomienda el uso de la herramienta AMEF pero con un enfoque hacia estandarizar/controlar lo que se ha conseguido.
- En el anexo III se muestra el AMEF de control para llenado.

4.4.7.3 Sesión del proyecto:

La sesión del proyecto se aborda a través de un plan de transición del mismo.

El Plan de Transición describe lo siguiente:

- Acciones que serán requeridas para la terminación del proyecto (re entrenamiento, colocar ayudas visuales, comprar cosas pendientes etc.).
- Responsable de llevar a cabo cada acción.
- Fecha compromiso de terminación de la actividad.

4.4.7.4 Evaluación final del proyecto y retroalimentación del cliente

- El equipo del proyecto presenta el mismo ante los dirigentes de la PyME.
- Firmas de conjunto acuerdo en la finalización del proyecto por parte del Responsable de la Transición (normalmente sería el *Champion*), Dueño del Proceso, Profesor consultor y director de la PyME.
- El profesor consultor reporta al departamento interno de la institución académica la evaluación individual de los alumnos, misma que le será registrada en 2 materias de su plan de estudios.

4.4.7.5 Entrenamiento:

- Previo al inicio de la fase de Estandarización y sesión y siendo calendarizado en el cronograma de trabajo del proyecto el profesor consultor imparte los temas que cubren dicha fase, teniendo una duración promedio de 10 horas.
- Dentro del cronograma se fijan las juntas de con periodicidad semanal tanto para asesoría de temas del proyecto como para seguimiento del mismo.
- Dentro del material a utilizar como apoyo para el entrenamiento en la metodología propuesta se ha desarrollado un manual práctico (anexo II).

4.5 Diagrama de la metodología.

El diagrama en donde se representa la metodología de acercamiento de la integración de Lean y Seis Sigma muestra a través de sus etapas la forma en la que se desarrolla la vinculación entre el ITESM y la PyME correspondiente.

A continuación el esquema de la metodología propuesta:

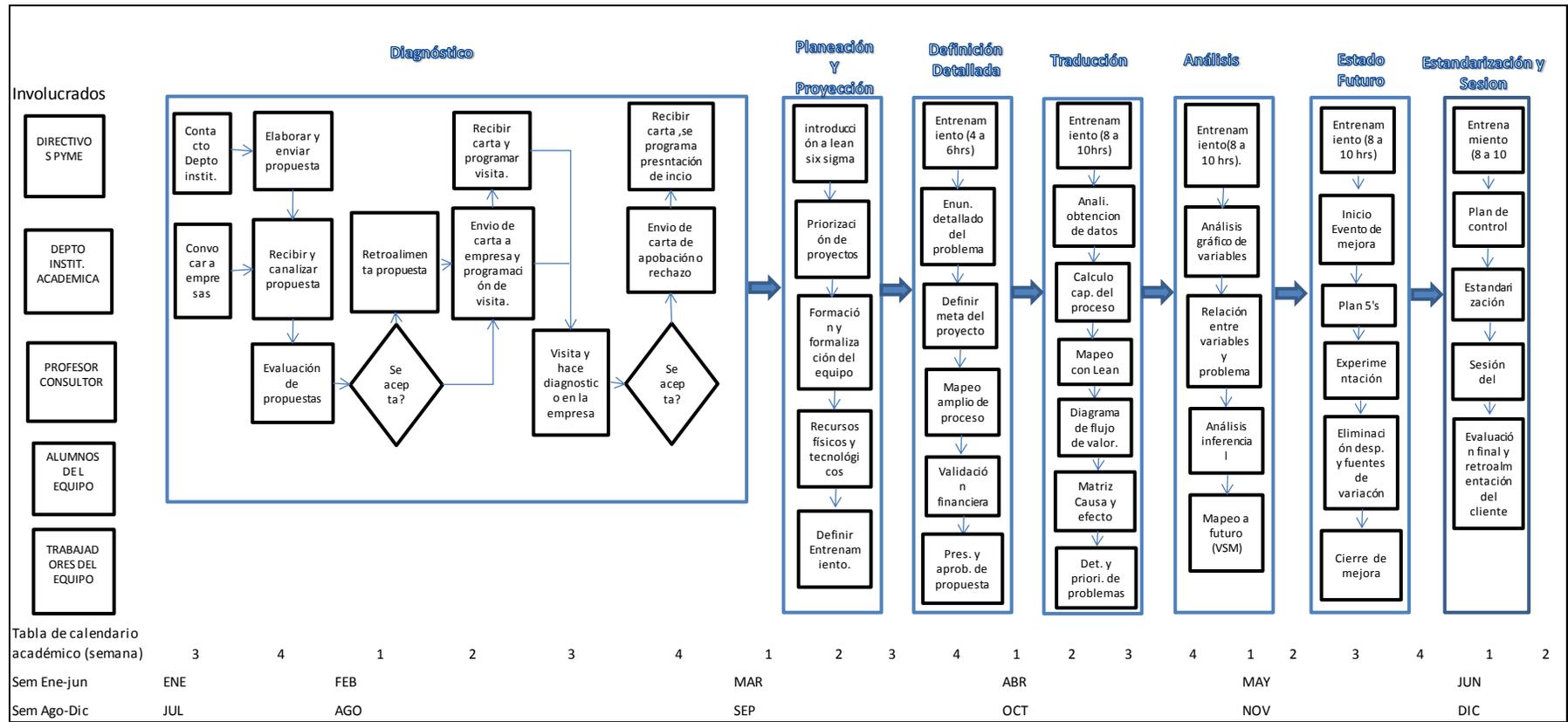


Figura 32. Esquema de la metodología Lean Sigma en PyMEs con participación académica.

Capítulo 5: Metodología de investigación, cuestionarios y resultados.

5.1 Introducción

Para llevar a cabo todo trabajo de investigación es necesario tener una metodología que permita enfocar el problema que se presenta en las empresas y dé posteriormente pie a establecer conclusiones a partir de los resultados de su correcta aplicación.

Algunos expertos en metodologías de investigación abogan desde hace tiempo por el uso conjunto de más de un método de investigación, combinando metodologías cuantitativas y cualitativas para incrementar la fiabilidad de los estudios realizados.

Según Dzul (2009) la metodología cuantitativa consiste en el contraste de teorías ya existente a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio. Por lo tanto, para realizar estudios cuantitativos es indispensable contar con una teoría ya construida, dado que el método científico utilizado en la misma es el deductivo; mientras que la metodología cualitativa consiste en la construcción o generación de una teoría a partir de una serie de proposiciones extraídas de un cuerpo teórico que servirá de punto de partida al investigador, para lo cual no es necesario extraer una muestra representativa, sino una muestra teórica conformada por uno o más casos (Martínez y Piedad, 2006).

Dado que en esta tesis se pretende definir una metodología en base a un marco teórico, el estudio de casos ofrecería mejores resultados al enfocarse en la generación de teorías, mientras que los estudios cuantitativos se consideran aptos para contrastar las teorías.

5.2 El estudio de casos.

Yin (1994) sugiere que la cuestión de generalizar a partir del estudio de casos no consiste en una “generalización estadística” (desde una muestra o grupo de sujetos hasta un universo), como en las encuestas y en los experimentos, sino que se trata de una “generalización analítica” (utilizar el estudio de caso único o múltiple para ilustrar, representar o generalizar a una teoría).

Dzul (2009) sugiere que los resultados del estudio de un caso pueden generalizarse a otros que representen condiciones teóricas similares. Los estudios de casos múltiples refuerzan estas generalizaciones analíticas al diseñar evidencia corroborada a partir de dos o más casos o, alternativamente, para cubrir diferentes condiciones teóricas que dieran lugar, aunque por razones predecibles, a resultados opuestos. De ahí que en esta tesis se esté proponiendo el uso de casos de estudio múltiples (diferentes empresas) para de una manera estructurada y analítica inducir conclusiones.

Dzul (2009) destaca que la credibilidad de las conclusiones obtenidas a partir de un estudio de casos se basa, en última instancia, en la calidad misma de la investigación desarrollada. De aquí la importancia de diseñar el estudio de casos de una forma apropiada e introducir una serie de tácticas a lo largo del proceso en que éste se desarrolla.

Yin (1994) considera el método de estudio de caso apropiado para temas que se consideran prácticamente nuevos, pues en su opinión, la investigación empírica tiene los siguientes rasgos distintivos:

- Examina o indaga sobre un fenómeno contemporáneo en su entorno real.
- Las fronteras entre el fenómeno y su contexto no son claramente evidentes.
- Se utilizan múltiples fuentes de datos.
- Puede estudiarse tanto un caso único como múltiples casos.

El método de estudio de caso fue aplicado tanto a la resolución de problemas empresariales como a la enseñanza, tal es el caso de las mismas metodología de Seis Sigma y Lean, cuyo éxito y generalización se llevó a cabo en base a casos de éxito de su aplicación en una diversidad de industrias (múltiples casos). Por tanto la incertidumbre de si el uso de casos de estudio para hacer investigación puede arrojar conclusiones válidas y fiables ha sido despejada.

5.2.1 Porque de la elección de un estudio de casos.

La principal justificante para el uso de casos de estudio es que en ellos se puede combinar muy bien tanto la información cualitativa como cuantitativa que se generará a partir de la aplicación de la metodología propuesta en diversas empresas (casos múltiples).

Para que los casos tengan la validez requerida y cumplan con el rigor de una investigación se muestran cuáles son los criterios considerados en esta investigación

en base a los criterios citados por Ayuso (2004) y lo realizado para cumplirlos en la propuesta de metodología:

- **La validez** es el grado en que un instrumento de medida mide lo que realmente pretende o quiere medir; es decir, lo que en ocasiones se denomina exactitud. Por lo tanto, la validez es el criterio para valorar si el resultado obtenido en un estudio es el adecuado; existiendo varios tipos de validez.
- **La fiabilidad** es la garantía de que un fenómeno es definido del mismo modo por diferentes investigaciones que usen el mismo método, o si utilizado más de una vez por la misma persona y con las mismas circunstancias nos da el mismo resultado.
- **La consistencia interna** es el grado en que una investigación presenta una coherencia lógica entre todas las partes que la componen, sin que haya discrepancias o incongruencias entre unas partes y otras.

Criterio de calidad	Táctica empleada	Fase en la investigación
Validez	Los instrumentos de medición utilizados en los casos se calibraron e hicieron estudios de repetibilidad y reproducibilidad, asegurando de ésta forma la correcta medición de variables.	Traducción.
Fiabilidad	Los resultados en los casos fueron validados en los procesos correspondientes y por la gente responsable de los mismos, dándose también una retroalimentación en la aplicación de cuestionarios.	Estandarización, sesión y cuestionarios.
Consistencia interna	Definición clara de objetivos, metas en base a un conocimiento de la situación actual del problema.	Diagnóstico y definición.

Tabla 29. Criterios para el estudio de casos.

De esta manera, los motivos que justifican el que se haya seleccionado el método de casos como metodología de investigación son los siguientes:

1-Permite el uso de información tanto cualitativa (teorías y herramientas base como Lean y Seis Sigma), como cuantitativa (resultados de análisis numéricos y gráficos a partir de la aplicación de las etapas en cada caso).

2-Se hace necesario tener un contexto real para que de acuerdo a la metodología propuesta un grupo de personas resuelvan problemas prácticos con herramientas y métodos.

3-Se genera el documento que de manera práctica se puede leer y aprender de él, sirviendo el mismo como respaldo en cada caso y permitiendo hacer una comparación de resultados (casos múltiples).

5.2.2 Fases para realizar el estudio de casos.

Yin (1994) propone un “protocolo de estudio de caso” como principal instrumento para asegurar la objetividad del mismo, tanto en función de su fiabilidad como de su validez.

A continuación se describe cada una de los elementos sugeridos por éste autor:

1-Semblanza del caso:

En éste sentido se busca soportar la investigación y que se del mejor entendimiento del caso, para lo cual se tienen en esta investigación en particular lo siguiente:

- Antecedentes de la empresa.
- Diagnóstico preliminar en cada caso.
- Una definición detallada del problema.

2-Preguntas a responder por el estudio de casos:

- Diseño de cuestionario por etapa en cada caso.
- Preguntas contestadas en base a lo realizado en cada caso y en presencia de evidencia.

- Cierre y conclusiones de cada etapa en el caso.

3-Procedimientos a realizar:

Queda establecido en la metodología que se debe de proceder de cierta forma, que se den eficientemente los siguientes procesos:

- Acercamiento de la empresa (caso).
- Selección de equipo de trabajo.
- Selección de programa de entrenamiento (cronograma y temas).
- Puntos de control (etapas) en cada caso para identificar desviaciones, prevenir confusiones o riesgos en la investigación.

4-Guía para informe de estudio de casos:

No existe un formato único para esto por lo que en esta investigación cada caso se ha ido documentando por etapa y por escrito dentro de la metodología propuesta. Cada etapa cierra y abre un ciclo de aprendizaje (entrenamiento-conclusiones). Este formato permite hacer revisiones sobre lo que se lleva en el proyecto y lo que falta de acuerdo a las expectativas definidas en cada meta.

5.2.3 Cuestionarios

La utilización de un enfoque de casos no sesga el uso de técnicas que cuantitativamente puedan ser de ayuda para validar el resultado de los casos y obtener información para conclusiones de los mismos que se puedan contrastar con otros casos en donde se utiliza también la metodología propuesta.

Para esta investigación se han diseñado dos cuestionarios, el primero está dividido por etapas y representa en total 68 preguntas. Este cuestionario tiene como objetivo el que los miembros de la empresa involucrados en el caso evalúen por cada etapa lo realizado, de esta forma el investigador pueda detectar diferencias entre lo ocurrido en cada empresa y entre ellas en lo referente a el uso de herramientas, entendimiento o pasos de la metodología propuesta.

La segunda encuesta está representada por 20 preguntas que tienen como finalidad tomar las opiniones en cada caso sobre el éxito que éste tuvo, evaluando factores críticos como lo es el modelo en si, el entrenamiento, lo resultados y la intervención de la institución académica en la PyME.

Los cuestionarios están divididos en columnas, en una de ellas está la etapa de la metodología propuesta a la que se refiere esa pregunta, en otra va la pregunta planteada y posteriormente las empresas con una abreviación distintiva. El número asignado por el personal de la empresa a cada pregunta va de una escala de 1 (cuando se está en total desacuerdo con lo planteado en la pregunta), hasta 5 (cuando se está en total acuerdo con lo planteado en la pregunta). Para el propósito de tener algo que nos indique si los resultados de los cuestionarios son buenos o no se han establecido puntuaciones mínimas por pregunta y/o etapa de la metodología.

5.3 La selección de las empresas.

Se tomaron como casos de estudio 4 empresas pequeñas o medianas, es decir que cuenten con más de 11 empleados y menos de 250. Dichas empresas están ubicadas en las ciudades de Tampico y Altamira (estado de Tamaulipas) y no utilizan las metodologías Lean y Seis Sigma de forma integrada.

La elección de estas PyMEs se dio mediante el procedimiento de diagnóstico por parte de personal académico del ITESM Campus Tampico y el CDP, por lo que hubo más empresas que pudieron ser candidatas para documentar sus casos pero no reunían los requisitos planteados y documentados en la propuesta de metodología del capítulo 4.

El contacto con la empresa se hizo vía solicitud de proyecto de la misma hacia el centro de desarrollo profesional (CDP), departamento encargado en el ITESM Campus Tampico de las relaciones de proyectos con las empresas.

5.4 Muestras y análisis de datos.

El tipo de muestra a seleccionar es no probabilística, ya que la selección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación, (Hernandez et al., 2002). En éste estudio se seleccionaron cuatro PyMEs en el estado de Tamaulipas que pasaban ciertos criterios.

Esta investigación se puede clasificar dentro de los casos de estudio descriptivos (Yin, 1994), porque se tiene teoría descriptiva que cubre el alcance y la profundidad del objeto bajo estudio y a su vez sirve como referencia para el diseño de un caso de estudio descriptivo.

5.5 Casos de proyectos en las empresas.

5.5.1 Caso de estudios 1

Empresa: Aire proyectos del golfo

Giro: Producción y comercialización de equipo de aire acondicionado.

Tamaño: Mediano

Contacto de la empresa: Ing. Manuel Robles Betancourt

Puesto: Ingeniería y Proyectos.

5.5.1.1 Antecedentes.

El acercamiento de esta empresa para ser intervenida se dio mediante la relación como proveedor de equipo de aire acondicionado con el ITESM Campus Tampico, por lo que esta mediana empresa que concentra principalmente sus operaciones en el sur del estado de Tamaulipas, México solicitó ayuda en un problema específico que tenían en sus áreas de producción.

5.5.1.2 Diagnóstico.

Recibimiento de propuesta: Esta actividad se hizo en base a la gestión del departamento CDP del ITESM Campus Tampico al solicitar un diagnóstico de la empresa contactando a un profesor del área de calidad y manufactura perteneciente al equipo de trabajo de proyectos de extensión del Campus.

Diagnóstico de la empresa: El profesor consultor evaluó la empresa en base a los siguientes factores:

Liderazgo: Los mandos superiores e intermedios están motivados con la idea de una mejora y un proyecto de sinergia en donde intervengan ideas nuevas, comprometiéndose a destinar recursos humanos, físicos, tecnológicos y dando apertura a la información si el proyecto se concreta.

Conocimiento Lean/ Seis Sigma: El ingeniero de proyectos tiene un conocimiento básico de herramientas de ingeniería industrial al ser egresado de esta carrera; tiene en su equipo operativo a 2 personas que cuentan con conocimientos de herramientas

básicas de calidad tales como histogramas, paretos, diagramas de proceso y procedimientos. La empresa no sigue formalmente un modelo de calidad, solo se hacen proyectos siguiendo el modelo básico propuesto por W. Shewhart (PDCA).

Entrenamiento: Existe recurso humano dispuesto y con un conocimiento suficiente para iniciar con el esfuerzo de un proyecto tipo Lean Seis Sigma. Las condiciones de flexibilidad para la capacitación en las metodologías a lo largo del proyecto es viable al poderse destinar un total de 40 horas para dicho fin.

Resultados y retroalimentación: Como resultado de la fase se tuvo un diagnóstico positivo sobre el potencial que tiene la empresa para ser intervenida con éxito y generar sinergia en el aprendizaje de la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma.

El convenio se firmo entre Aire proyectos y el ITESM a través del CDP, teniendo éste último la coordinación del proyecto y el primero la participación directa en el mismo mediante un representante.

5.5.1.3 Planeación y proyección.

Introducción a la metodología Lean Seis Sigma: Se llevó a cabo una sesión de aproximadamente dos horas en donde el profesor consultor explicó a la dirección de la empresa y su staff dichas metodologías, sus beneficios y forma de trabajo.

Priorización de proyectos: En sesión grupal, mediante una lluvia de ideas y un diagrama de afinidad se llegó a un mejor entendimiento de la problemática en el área de producción y se creó una definición más acertada del problema:

“En varias líneas de producción en el área de manufactura de la empresa Aire Proyectos del Golfo, durante las últimas órdenes de producción se ha reportado un gran número de defectos”.

Presentación y aprobación de la propuesta inicial de trabajo en la empresa: Se definieron las fases genéricas de un proyecto tipo Lean Seis Sigma, se presentó mediante un gráfico de Gantt las fechas límite para monitorear el avance del mismo, todo esto mediante una reunión en la empresa con el director general y su staff.

Formación y formalización del equipo de trabajo: Se presentaron en la empresa 2 estudiantes de 8vo semestre de la carrera de Ingeniería Industrial y dos profesores consultores que estarán a cargo del proyecto en conjunto con 2 ingenieros de Aire Proyectos del Golfo.

Recursos físicos y tecnológicos: Se aprobó la asignación en la empresa de una oficina y una sala de juntas para trabajar en el proyecto. En el caso de los recursos tecnológicos se asignaron una PC dotada de software de Office, Visio y minitab, dichos software son propiedad del ITESM.

Entrenamiento: Se definió la calendarización de fechas compromiso de capacitación, quedando comprendida ésta por 5 sesiones de 8 horas en sábados. Los participantes son los 2 ingenieros responsables del proyecto, 2 estudiantes y dos profesores instructores.

5.5.1.3 Definición detallada.

Enunciado detallado del problema: En equipo se llegó a un enunciado del problema más detallado en base a la metodología de 5w y 1 h(what, who, when, where,why, how), resultando la siguiente:

“En varias líneas de producción en el área de manufactura de la empresa Aire Proyectos del Golfo, durante los últimos ordenes de producción se ha reportado un gran número de defectos, que representan el 13.09% de la producción total de la pieza niple, en un periodo trimestral, este producto se manufactura en 2 líneas de producción, se sabe que se encuentra una oportunidad de mejora debido a que este porcentaje se divide de la siguiente manera, en la línea de producción 1 de 6300 piezas producidas existieron 1134 piezas con defectos (18% de las piezas producidas) mientras que en la línea de producción 2 de 4800 piezas producidas, 320 salieron con defectos mínimos (6.66%) lo que nos indica que algo está fallando en la línea 1”.

Mapeo amplio del proceso: El equipo identificó 5 actividades principales dentro del proceso de laminado para fabricar el niple, esto sirvió para enfocar más el área en donde se ocasionan las fallas o defectos.

Definir la meta del proyecto: Mediante un análisis de la producción en la línea 1 de ese producto y el conocimiento profundo que el personal tiene de los mejores desempeños del proceso, se logo definir la siguiente meta alcanzable:

“Lograr que en la línea base de la fabricación de la pieza niple se esté generando un porcentaje de defectos por debajo del actual, tratando de reducirlo del actual 18% de defectos a un máximo de 7%”.

Validación financiera: El beneficio financiero de la disminución del porcentaje de piezas defectuosas en el caso de este proyecto fue difícil de calcular, puesto que la empresa no cuenta con la documentación que respalde los costos de la mala calidad del producto.

Revisión de factores críticos para el cliente: El equipo hizo un análisis, encontrando de qué manera impacta positivamente al cliente la disminución en el porcentaje de defectos de la pieza. Se definió que este porcentaje fuera el métrico a monitorear a través de la evolución del proyecto, se utilizó un gráfico de barras para éste fin.

Entrenamiento: El entrenamiento y las lecciones aprendidas por el equipo son claves en la finalización y comienzo de cada etapa de la metodología, puesto que son un punto de reflexión y conocimiento para los integrantes. El entrenamiento que incluyó conceptos para desarrollar la etapa de definición detallada se hizo de acuerdo a la calendarización. Se concluyó que los estudiantes del ITESM debían trabajar más de cerca con los elementos de la empresa para que estos últimos pudieran asimilar más rápidamente los conceptos vistos en el entrenamiento pero ya en la práctica del proyecto. Los profesores consultores siguen asumiendo su rol de mentores y facilitadores de la metodología.

5.5.1.4 Traducción.

Analizar cómo se obtienen los datos: Se definió que lo que se debe medir es el diámetro del niple. Actualmente se ocupa en el proceso un instrumento llamado flexo metro, dos operadores hacen mediciones aleatorias varias veces mediante un protocolo establecido para ver qué resultado arrojan en su medición. Este estudio llevo al equipo a la conclusión de que las piezas no se estaban midiendo bien por parte de los operadores y que también existen problemas con el flexo metro, todo lleva a que algunas piezas buenas se tomaban como malas y viceversa.

Cálculo de la capacidad del proceso: Mediante la obtención de datos del proceso, El equipo de trabajo calculó en minitab éste índice, el cual resulto ser de 0.56, muy inferior a un valor de 1 que sería el mínimamente aceptable para cumplir la meta del proyecto.

Mapeo para conocer a profundidad como se genera valor mediante el proceso: Se tomó como base el mapa amplio del proceso para definir que partes incluirá el mapa de valor. Aquí se observó que el flujo de proceso era claro, pero que los tiempos del mismo no estaban definidos, los operadores no tenían un estándar o procedimiento detallado a seguir y se generaban acumulamientos de piezas.

Matriz causa y efecto: Se realizó un diagrama de Ishikawa para en conjunto con la matriz causa y efecto localizar cuales eran las principales variables (X's) que contribuían a los defectos de las piezas, encontrándose que la medición de la lámina y varios aspectos de la soldadura eran los más críticos en el proceso.

Aplicabilidad de técnicas Lean: Se hizo un análisis de cuáles eran los principales desperdicios detectados de acuerdo al mapeo de valor, encontrándose el re trabajo y el acumulamiento de inventario como los de mayor impacto.

Detección y priorización de problemas: Este análisis permitió al equipo definir cómo se presenta potencialmente el problema con la soldadura y la medición de la lámina, resultando crítica la calibración del flexo metro y la alineación de los puntos de soldadura.

Entrenamiento: Se llevó de acuerdo al calendario enfatizándose mucho en el sistema de medición, por ser la técnica sobre la que se tenía mayor desconocimiento de los ingenieros de la empresa. El uso de Minitab fue intensivo, las plantillas pre hechas en Excel facilitaron la aplicación y entendimiento de las herramientas al equipo.

5.5.1.5 Análisis.

Análisis gráfico de variables: Se crearon algunas gráficas mediante el uso de minitab y se empezaron a comparar las relaciones que tenían las variables de medición y soldado.

Relaciones entre variables con el problema: El equipo encontró que el proceso de medición de la lámina es el elemento que mayormente afecta a que se presenten defectos en el niple.

Análisis inferencial: Se plantearon hipótesis y se verificaron estadísticamente mediante minitab, esto permitió corroborar la fuerte afectación de la medición de la lámina sobre el niple.

Mapa del futuro proceso: Una vez teniendo un conocimiento de las variables que afectan al proceso y de la situación actual del mismo, se trabajó sobre cómo se pensaba que debía ser el proceso ya mejorado. Se concluyó con un bosquejo con menos desperdicios, más claro y con menos defectos.

Entrenamiento: El entrenamiento tuvo que ser recortado por actividades de la empresa, sin embargo se cumplió con el objetivo de aprendizaje mediante el asesoramiento continuo del profesor consultor y de los alumnos que intervinieron más en la explicación de lo que se podía hacer en el análisis inferencial.

5.5.1.6 Estado futuro

Inicio evento de mejora: Se dio inicio a una dinámica de presentación más a detalle del proyecto al personal que trabaja en el área donde se plantearán cambios que llevarán al mejoramiento del estado de las variables relacionadas con el problema. El equipo de proyecto facilitó la sesión y se pidió al personal que aportara ideas sobre condiciones de trabajo, ergonomía, limpieza entre otras.

Plan 5's: Durante una segunda sesión se dio una explicación de los que son las 5's y se pidió al personal que en un tiempo límite de 4 horas desplegara esta herramienta en sus áreas de trabajo.

Experimentación: Se diseñó un experimento que fue realizado involucrando al personal del área, aquí se tomaron a consideración las 3 variables significativas que ocasionan los defectos: Instrumento de medición, grosor de la punta de soldadura y número de los puntos de la soldadura. Se obtuvo como resultado la mejor combinación de las variables para lograr el menor porcentaje de defectos en los nipples, a partir de esto se ordena la producción de una corrida de nipples bajo estas nuevas condiciones.

Eliminación de desperdicios: En base a la aplicación de técnicas Lean y el mapa del futuro proceso, el equipo facilitador mostró al personal qué pasos del proceso debían eliminarse, simplificarse o cambiarse de orden ya que no generaban ningún valor en el proceso, facilitando esta explicación los conceptos y generando un debate de su aplicabilidad.

Cierre evento de Mejora: El equipo de trabajo presentó los resultados del proyecto dentro del área de trabajo en presencia de supervisor y trabajadores, resolviendo dudas y comprometiéndose a dar seguimiento hasta cederles el proyecto con sus mejores resultados.

Entrenamiento: En esta etapa el entrenamiento fue más intensivo puesto que no solo se tenía que capacitar al equipo del proyecto, sino que estos a su vez tenían que transmitir la idea de su proyecto y vender el beneficio del mismo mediante sesiones grupales de involucramiento al personal operativo.

5.5.1.7 Estandarización y sesión.

Plan de control: En este punto se hizo un archivo que contenía los datos de las variables que se estudiaron, como se analizaron, en qué punto fueron colocadas para que se arrojaran mejores resultados y como se debe monitorear de aquí en adelante el proceso.

Estandarización: En este momento se capacitó al personal operativo sobre los niveles que deben de tener el instrumento de medición, el grosor de la soldadura y el número de puntos para soldar. El operador es quien hace una prueba y documenta con apoyo las modificaciones al proceso para que las pueda identificar y seguir.

Sesión del proyecto: Se llevó a cabo una reunión de presentación de resultados, lecciones aprendidas y futuros proyectos, entre los directivos y staff de Aire proyectos del Golfo, el equipo de proyectos incluyendo a los profesores consultores, al supervisor del área de producción del niple así como a la persona encargada de proyectos del CDP.

Evaluación final del proyecto y retroalimentación del cliente: Los directivos de la empresa recibieron el trabajo impreso y en formato electrónico. Se suministró una encuesta para evaluar el aprendizaje de los integrantes del equipo de la empresa y capturar las sugerencias sobre el proceso llevado en el proyecto. En otra encuesta el responsable de la empresa del proyecto contestó unas preguntas enfocadas a obtener datos cuantitativos para la tesis doctoral en cuestión.

5.5.2 Caso de estudios 2

Empresa: Grupo industrial Águila.

Giro: Proyectos de mantenimiento y construcción.

Tamaño: Mediano.

Contacto de la empresa: Ing. David Frausto Belleza.

Puesto: Ingeniería y Proyectos.

5.5.2.1 Antecedentes

El acercamiento para la evaluación de un proyecto de mejora se dio al ser el líder de proyectos ex alumno del ITESM y tener estudiantes de la carrera de IIS haciendo prácticas profesionales en el área de proyectos de esta empresa. El ingeniero de

proyectos decidió exponer la problemática que vivía ya que no encontraba una forma práctica de iniciar a resolverla al estar involucrados aspectos de calidad y recursos humanos en principalmente dos departamentos de esta PyME.

5.5.2.2 Diagnóstico.

Recibimiento de propuesta: La empresa contactó a la dirección de carrera de IIS para exponer su problemática y ésta lo refirió con el CDP para que se iniciara el proceso de diagnóstico del problema en la empresa.

Diagnóstico de la empresa: El profesor consultor evaluó la empresa en base a los siguientes factores críticos de éxito encontrándose con lo siguiente:

Liderazgo: El director de la empresa y el director de proyectos están de acuerdo en que se deben de intervenir ciertos procesos que están llevando a inconformidades, por lo que están dispuestos a asignar recursos durante un periodo máximo de 6 meses para que se ataque la problemática y tener un resultado.

Conocimiento Lean/ Seis Sigma: En la empresa están siguiendo un proceso de certificación hacia ISO 9000, por lo que tienen ya algunos procesos mapeados y cierto soporte en personal dedicado ya a documentar y apuntalar los aspectos que tienen que ver con la calidad en la empresa. El ingeniero de proyectos y el encargado de almacenes tienen formación como ingenieros industriales y conocen Seis Sigma a nivel de herramientas básicas como mapas de procesos, matrices, estadística y gráficos de control. De Lean se conoce superficialmente la filosofía de minimizar inventarios, las 5's y la minimización del re trabajo.

Entrenamiento: En la empresa se autoriza la capacitación por 40 horas, y a conveniencia de sus horarios ésta se impartirá por las tardes en su sala de juntas. Se hizo una entrevista a dos ingenieros que a sugerencia de la empresa deberían estar involucrados en el proyecto.

Resultados y retroalimentación: Como resultado de la fase se tiene un diagnóstico positivo sobre el potencial que tiene la empresa para ser intervenida con éxito y generar sinergia en el aprendizaje de la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma.

El convenio se firmó entre Grupo industrial Águila y el ITESM a través del CDP, teniendo el segundo la coordinación del proyecto y el primero la participación directa en el mismo mediante un representante que sería el gerente de proyectos.

5.5.2.3 Planeación y proyección.

Introducción a la metodología Lean Seis Sigma: Se llevó a cabo una sesión de aproximadamente hora y media en donde el profesor consultor explicó a la dirección de la empresa y a su staff dichas metodologías, sus beneficios y forma de trabajo.

Priorización de proyectos: En sesión grupal, mediante una lluvia de ideas y un diagrama de afinidad se llegó a un mejor entendimiento de la problemática y se creó una definición más acertada del mismo:

“Grupo Industrial Águila es una compañía que se dedica principalmente a la construcción y mantenimiento de las empresas dentro del corredor industrial. El objetivo del proyecto consta de implementar la metodología de Lean Seis Sigma para aumentar el porcentaje de las entregas de las requisiciones hechas por el usuario y por el departamento de administración de proyectos dentro de las fechas establecidas. Para esto se va a necesitar el apoyo de los involucrados que sería el departamento de administración de proyectos, el departamento de abastecimientos y el almacén”.

Presentación y aprobación de la propuesta inicial de trabajo en la empresa: Se definieron las fases genéricas de un proyecto tipo Lean Seis Sigma, se presentó mediante un gráfico de Gantt las fechas límite para monitorear el avance del mismo, todo esto mediante una reunión en la empresa con el director general y su staff.

Formación y formalización del equipo de trabajo: Se presentaron en la empresa 2 estudiantes de 9no semestre de la carrera de Ingeniería Industrial y dos profesores consultores que estarán a cargo del proyecto en conjunto con el ingeniero de proyectos y el ingeniero de almacenes de grupo industrial Águila.

Recursos físicos y tecnológicos: Se aprobó la asignación en la empresa de una oficina para trabajar en el proyecto. En el caso de los recursos tecnológicos se contaría con 2 lap tops dotadas de software de Office, Visio y minitab, dichos software es propiedad del ITESM.

Entrenamiento: Dadas las restricciones de espacio y tiempo se aprobaron sesiones de capacitación entre semana en la sala de juntas de la empresa siendo éstas calendarizadas los martes y viernes de 3 a 6 de la tarde. Los participantes serían los 2 ingenieros responsables del proyecto, los 2 estudiantes y 2 profesores instructores.

5.5.2.4 Definición detallada.

Enunciado detallado del problema: En equipo se llegó a un enunciado del problema más detallado en base a la metodología de 5w y 1 h (what, who, when, where, why, how), resultando la siguiente:

Los datos con los que se cuentan para poder analizar el problema son los registros que se tienen de entrada de almacén y programas que muestran la información detallada sobre los requerimientos de los residentes que piden el material.

En el mes se tuvo el 57.03% de las entregas fuera de tiempo.

- Qué – porcentaje de requisiciones no entregadas a tiempo.
- Cuanto – 57.03% de las requisiciones.
- Quién – En el área de compras y subcontratos.
- Tiempo – dentro de las fechas delimitadas por el departamento de Administración de Proyectos.
- Cuando – abril, mayo, junio, julio.
- Como lo sé – en el programa de abastecimientos se puede observar que solo el 42.97% de las requisiciones fue entregada a tiempo por lo que existe una oportunidad de mejora.

Mapeo amplio del proceso: El equipo identificó 5 etapas del proceso en donde se centra la problemática planteada del proyecto, éstas van desde la requisición del usuario, cotización de los proveedores, compra de material, revisión de material y por último el almacenamiento.

Definir la meta del proyecto: La meta principal del proyecto es reducir los costos de mano de obra que se generan por no tener disponible el material del producto a fabricar.

El alcance del proyecto es enfocarse únicamente en las causas que provocan que el material no llegue al almacén en el tiempo o la fecha establecida con anterioridad.

Validación financiera: El beneficio financiero no fue calculado en un inicio debido a la poca información recolectada sobre demoras en entregas de proveedores. El proyecto es redituable al reducir el costo de mano de obra, cuya unidad de medición será el costo/día, para ello se aproximará el estimado de reducción de costo mediante los estados financieros mensuales del departamento de compras.

Revisión de factores críticos para el cliente: La revisión de dichos factores se hizo mediante un diagrama de árbol encontrándose que un material entregado en el

almacén en tiempo tardío podía ser provocado por problemas con los residentes de obras, proveedores, departamento de compras o una combinación de ellos, esto impacta a la empresa y al cliente en el encarecimiento de la mano de obra y retraso en el programa por entregas de material tardías.

Entrenamiento: El entrenamiento incluyó conceptos para desarrollar la fase de definición de tallada y se hizo de acuerdo a la calendarización. Los profesores consultores siguen asumiendo su rol de mentores y facilitadores de la metodología.

5.5.2.5 Traducción.

Analizar cómo se obtienen los datos: Se definió que se deben medir los días que tardan los operadores en hacer una requisición de materiales, mediante un estudio de repetibilidad y reproducibilidad llevado a cabo con 3 operadores, que tuvieron 2 oportunidades para hacer 10 requisiciones diferentes se observaron variaciones importantes.

Cálculo de la capacidad del proceso: El equipo de trabajo mediante la obtención de datos del proceso calculó en minitab este índice, el cual resultó ser de 0.46, muy inferior a un valor de 1 que sería el mínimo aceptable para cumplir la meta del proyecto.

Mapeo para conocer a profundidad como se genera valor mediante el proceso: Se toma como base el mapa amplio del proceso para definir qué partes incluirá el mapa de valor. El flujo de proceso es claro pero se observa que no se tiene un estándar o mejor práctica en el proceso de requisición, ya que cada operador tiene diferentes formas de conseguir proveedores, cotizar y las tolerancias para esperar cotizaciones y evaluarlas no se tienen definidos.

Matriz causa y efecto: Se realizó un diagrama de Ishikawa para en conjunto con la matriz causa y efecto localizar cuáles eran las principales variables que contribuían al problema. Se concluyó que las entradas al proceso que más afectan eran la revisión en la calidad del material comprado, la cotización correctamente por parte de los proveedores y que los usuarios pidan correctamente el material.

Aplicabilidad de técnicas Lean: Se hizo un análisis de cuáles eran los principales desperdicios detectados de acuerdo al mapeo de valor, encontrándose la acumulación de requisiciones a ser procesadas, la no organización en base de datos de proveedores así como el re trabajo en el llenado y redundancia de llamadas de

seguimiento a pedidos como las principales contribuidoras a restar eficiencia al proceso.

Detección y priorización de problemas: Este análisis permitió al equipo definir cómo se presenta potencialmente el problema, resultando en este caso que el equipo encontró que los proveedores poco confiables y no evaluados así como la no revisión del cumplimiento de especificaciones del material solicitado son las más importes para detonar los problemas que se tienen en el proyecto.

Entrenamiento: Se llevó de acuerdo al calendario enfatizándose en el sistema de medición, debido a que este proyecto es de tipo transaccional, motivo por el cual se tuvo que pensar cómo adaptar el estudio de reproducibilidad y repetibilidad. El uso de Minitab se dio de manera natural y las plantillas pre hechas en Excel facilitaron la aplicación y entendimiento de las herramientas al equipo.

5.5.2.6 Análisis.

Análisis gráfico de variables: Se crearon algunas gráficas mediante el uso de minitab y se empezaron a comparar las relaciones que tenían las variables: Selección de proveedores confiables, especificaciones cumplidas y especificar los materiales correctamente.

Relaciones entre variables con el problema: El equipo recabó datos de cada variable y con el uso de minitab se corrió un análisis de correlación de Pearson, mismo que arrojó que estas 3 variables explicaban cerca del 68% del problema planteado en el proyecto.

Análisis inferencial: Se plantearon hipótesis y se verificaron estadísticamente mediante minitab, esto permitió descartar la variable de especificación del material correctamente como significativa, por lo cual el equipo se quedó con las primeras 2 variables para continuar el proyecto.

Mapa del futuro proceso: Una vez teniendo un conocimiento de las variables que afectan al proceso y de la situación actual del mismo, se trabajó sobre cómo contener el que estas variables siguieran afectando a la empresa. Se utilizó un AMEF como herramienta preventiva y que puede derivar en procedimientos más detallados.

Entrenamiento: El entrenamiento se dio de manera intensiva con el uso de minitab, sobre todo en los conceptos de correlación y pruebas de hipótesis a través del Análisis de Varianza (ANOVA).

5.5.2.7 Estado futuro.

Inicio evento de mejora: Se dio inicio a una dinámica de presentación más a detalle del proyecto al personal que trabaja en el área donde se plantearán cambios que llevarán al mejoramiento del estado de las variables relacionadas con el problema. El equipo de proyecto facilitó de la sesión y se pidió al personal que aportara ideas sobre condiciones de trabajo, ergonomía, limpieza entre otras.

Plan 5's: Durante una segunda sesión se dio una explicación de los que son las 5's y se hizo el compromiso de establecer un programa para ordenar y seleccionar las cotizaciones de los proveedores en los archiveros y escritorios en donde éstas se concentraban.

Experimentación: Se diseñó un experimento que fue realizado involucrando al personal del área de compras y almacén, aquí se tomaron en consideración las 3 variables significativas que tienen mayor contribución al problema: Selección de proveedores confiables, especificaciones cumplidas y especificar los materiales correctamente. El experimento arrojó como resultado que se necesitaban altos niveles de calidad en las 3 variables para obtener entregas en 2.52 días, descubriéndose que también existen interacciones en las variables mencionadas. A partir de esto se ordenó la elaboración de un nuevo procedimiento que regularía el nivel óptimo de las 3 variables.

Eliminación de desperdicios: En base a la aplicación de técnicas Lean y el mapa del futuro proceso, mediante una sesión participativa el personal identificó qué pasos del proceso debían eliminarse, simplificarse o cambiarse de orden ya que no generaban ningún valor en el proceso, esto trajo como consecuencia que la comunicación se mejorara entre los departamentos, se redujeran tiempos de ciclo para pasar los pedidos y entregarlos.

Cierre evento de Mejora: El equipo de trabajo presentó los resultados del proyecto dentro del área de trabajo en presencia de supervisor y trabajadores, resolviendo dudas y comprometiéndose a dar seguimiento hasta cederles el proyecto con sus mejores resultados.

Entrenamiento: En esta etapa el entrenamiento fue más intensivo puesto que no solo se tenía que capacitar al equipo del proyecto, sino que éstos a su vez tenían que transmitir la idea de su proyecto y vender el beneficio del mismo mediante sesiones grupales de involucramiento del personal operativo.

5.5.2.8 Estandarización y sesión.

Plan de control: En este punto se hizo una tabla en donde se describe el qué, el cómo, la frecuencia, el responsable y las acciones para controlar y prevenir que lo que se ajustó para mejorar no vuelva a su estado anterior.

Estandarización: El plan de control fue presentado tanto al departamento de calidad como al de compras, puesto que en esencia se estandarizan tanto la práctica de evaluar constantemente a los proveedores, como la de revisión del cumplimiento de especificaciones de las compras por parte del departamento de calidad como punto de control.

Sesión del proyecto: Se lleva a cabo una reunión de presentación de resultados, lecciones aprendidas y futuros proyectos, entre los directivos y staff de Grupo Aguila, el equipo de proyectos incluyendo a los profesores, así como a la persona encargada de proyectos del CDP.

Evaluación final del proyecto y retroalimentación del cliente: Los directivos de la empresa recibieron el trabajo impreso y en formato electrónico. Se suministró una encuesta para evaluar el aprendizaje de los integrantes del equipo de la empresa y capturar las sugerencias sobre el proceso llevado en el proyecto. En otra encuesta el responsable de la empresa respondió preguntas enfocadas a obtener datos cuantitativos para la tesis doctoral en cuestión.

5.5.3 Caso de estudios 3

Empresa: Cooper T. Smith.

Giro: Servicio de Carga y descarga de barcos en el Puerto de Altamira.

Tamaño: Mediano.

Contacto de la empresa: Ing. Arturo Encinas.

Puesto: Gerente de la empresa.

5.5.3.1 Antecedentes.

El contacto con la empresa se dio ya que alumnos de la carrera de IIS hacían prácticas profesionales en la misma. El gerente de la empresa personalmente solicitó la intervención del ITESM al tener la sospecha de que los niveles de eficiencia en sus operaciones básicas de carga y descarga iban a la baja.

5.5.3.2 Diagnóstico.

Recibimiento de propuesta: La empresa referida contactó al CDP para que se iniciara el proceso de diagnóstico del problema.

Diagnóstico de la empresa: Un profesor fue asignado y evaluó durante una semana a la empresa en base a los siguientes factores críticos de éxito, encontrándose con lo siguiente:

Liderazgo: El gerente de la empresa está consciente de que existen muchas áreas de oportunidad al no tener indicadores de desempeño y reconocer que faltan estándares y estudios en las operaciones del personal, motivo por el cual respalda ampliamente cualquier iniciativa de mejora mientras ésta sea factible.

Conocimiento Lean/ Seis Sigma: Los mandos intermedios de la empresa tienen conocimiento de temas de tiempos, movimientos y administración de proyectos. No conocen ni Lean ni Seis Sigma en lo absoluto.

Entrenamiento: En la empresa se autoriza la capacitación de hasta 60 horas. Se acordó que dicho entrenamiento sería dado en las instalaciones del ITESM en horarios de viernes y sábados. Se estuvo de acuerdo con el gerente en cuanto a que el gerente de operaciones y el ingeniero supervisor se entrenaran.

Resultados y retroalimentación: Como resultado de la fase se tiene un diagnóstico favorable sobre el potencial que tiene la empresa para ser intervenida, esto a pesar de que el conocimiento de las metodologías y herramientas es más precario, pero el entusiasmo y liderazgo de la gente es alto.

El convenio se firmó entre Cooper T Smith y el ITESM, teniendo el segundo la coordinación del proyecto y el primero la participación directa en el mismo mediante un representante que sería el gerente de la empresa.

5.5.3.3 Planeación y proyección.

Introducción a la metodología Lean Seis Sigma: Se llevó a cabo una sesión de aproximadamente hora y media en donde el profesor consultor explicó al gerente de la empresa y su staff dichas metodologías, sus beneficios y forma de trabajo.

Priorización de proyectos: En sesión grupal y mediante una lluvia de ideas y un diagrama de afinidad se llegó a un mejor entendimiento de la problemática creándose una definición más acertada del mismo:

“El manejo del tiempo es muy importante para el cliente ya que la mayoría de los barcos que llegan no son de los clientes, sino que ellos lo rentan a una empresa subsidiaria. El cliente renta un barco por un periodo de tiempo estimado en lo que intercede el traslado de un lugar a otro y la carga/descarga de su material.

Debido a todas estas características, se decidió tomar como métrico el número de ciclos por hora (carga y descarga)”.

Presentación y aprobación de la propuesta inicial de trabajo en la empresa: Se definieron las fases genéricas de un proyecto tipo Lean Seis Sigma, se presentó mediante un gráfico de Gantt las fechas límite para monitorear el avance del mismo, todo esto mediante una reunión en la empresa con el gerente.

Formación y formalización del equipo de trabajo: Se presentaron en la empresa el grupo de 4 estudiantes de 8vo y 9no semestre de la carrera de Ingeniería Industrial y dos profesores consultores que estarían a cargo del proyecto en conjunto con el gerente de operaciones y el ingeniero supervisor.

Recursos físicos y tecnológicos: Se asignó un horario de trabajo para utilizar una sala de juntas en la empresa para trabajar en el proyecto. En el caso de los recursos tecnológicos se contó con 2 lap tops dotadas de software de Office, Visio y minitab, dichos software es propiedad del ITESM.

Entrenamiento: Dada la anuencia de la empresa de dar capacitación (60 horas), se estableció un calendario por módulos para ver los temas que cubren las metodologías Lean y Seis Sigma, dando un periodo de dos semanas entre cada módulo para aplicar lo aprendido en el proyecto.

5.5.3.4 Definición detallada.

Enunciado detallado del problema: En equipo se llega a un enunciado del problemas más detallado en base a la metodología de 5w y 1 h(what, who, when, where,why, how) y el análisis de un gráfico llamado de serie de tiempos, los resultandos fueron los siguientes:

- ¿Qué?. Número de ciclos/horas.
- ¿Cuánto?. 24% de Gap de Oportunidad.
- ¿Cuándo?. 7 meses (desde enero 2010 a julio 2010).
- ¿Dónde?. Grúas
- ¿Cómo lo sé? En los reportes de los últimos 7 meses se presentan variaciones en los números de ciclos por hora, lo cual nos da un gap de oportunidad de hacer más eficiente el proceso de grúas.

Mapeo amplio del proceso: El equipo identificó 3 etapas del proceso en donde se centra la problemática planteada del proyecto, éstas van desde la comercialización del servicio que ofrece la empresa, pasando por una etapa de administración de la orden de servicio, hasta la ejecución física de la carga y descarga en los muelles.

Definir la meta del proyecto: La meta principal del proyecto es incrementar el número de ciclos por hora en las operaciones de carga y descarga de un promedio actual de 52 ciclos a 99.

Validación financiera: El beneficio financiero se calcula en base a las horas hombre y máquina que se ahorrarían con el incremento de ciclos por hora en las operaciones de carga y descarga, dando ahorros potenciales por llegar a la meta de alrededor de los \$100,000 dls (esto tomando una demanda de trabajo promedio).

Revisión de factores críticos para el cliente: La revisión de dichos factores se hizo mediante un diagrama de árbol encontrándose que los tiempos de cargas y descargas de toneladas diarias son la principal preocupación de la empresa al relacionarlo directamente con el costo cargado al cliente.

Entrenamiento: El entrenamiento que incluyó conceptos para desarrollar la fase de definición de tallada se hizo de acuerdo a la calendarización. El equipo de alumnos trabaja más intensamente entre las semanas de curso para aclarar dudas en el uso de herramientas con el personal de la empresa.

5.5.3.5 Traducción.

Analizar cómo se obtienen los datos: Los datos se obtienen de registros históricos de meses recientes y se comprobó que se miden correctamente al evaluar cómo un supervisor hace un registro en base a contabilizar visualmente las cargas y descargas

de los barcos, se utilizaron gráficos de control para medir los promedios y los rangos de variación de las principales grúas.

Cálculo de la capacidad del proceso: Mediante una muestra de 20 ciclos de dos de las principales grúas de la empresa, el equipo de trabajo calculó en minitab éste índice, mismo que resultó ser de 0.71 para la grúa 1 y de 0.85 para la grúa 2, siendo estos datos inferiores a 1 se concluyó que el proceso no era capaz.

Mapeo para conocer a profundidad como se genera valor mediante el proceso: Se llevó a cabo un diagrama VSM de proceso, encontrándose áreas de oportunidad en cuanto a tiempos perdidos por los operadores y la no sincronía en su ritmo de operación.

Matriz causa y efecto: Se realizó un diagrama de Ishikawa para en conjunto con la matriz causa y efecto localizar cuales eran las principales variables que contribuían al problema. Se concluyó que las entradas que más afectaban eran el cambio de herramienta, la posición de la almeja, el bajar la almeja abierta y el bajar la almeja sobre bodega.

Aplicabilidad de técnicas Lean: Se hizo un análisis de cuáles eran los principales desperdicios detectados de acuerdo al mapeo de valor, encontrándose una serie de inspecciones que se podrían simplificar así como demoras por falta de material y herramientas en el área de grúas.

Detección y priorización de problemas: Este análisis permitió al equipo definir cómo se presenta potencialmente el problema, resultando en este caso que el equipo encontró que la mayoría de los defectos (retrasos en el tiempo de ciclos) son causados principalmente por no tener un seguimiento de la secuencia de carga y porque el material no llegaba a tiempo al área de embarque, entre otros.

Entrenamiento: Se llevó de acuerdo al calendario enfatizándose en el sistema de medición y el uso de herramientas como el VSM y técnicas Lean.

5.5.3.6 Análisis.

Análisis gráfico de variables: Se crearon algunas gráficas mediante el uso de minitab y se empezaron a comparar las relaciones que tenían las variables: Cambiar almeja, posicionar almeja, bajar almeja abierta, bajar almeja sobre bodega.

Relaciones entre variables con el problema: El equipo recabó datos de cada variable y con el uso de minitab se elaboraron varias gráficas de caja y análisis ANOVA para establecer que variables eran estadísticamente significativas.

Análisis inferencial: Se plantearon hipótesis y se verificaron estadísticamente mediante minitab, esto permitió descartar variables como herramientas usadas, tipo de barco descargado y validar que la variable de tipo de material manejado y el operador si eran importante.

Mapa del futuro proceso: Una vez teniendo un conocimiento de las variables que afectan al proceso y de la situación actual del mismo, se trabajó en evitar que estas variables siguieran afectando a la empresa. Se utilizaron el VSM y el AMEF como herramientas.

Entrenamiento: El entrenamiento se dio de manera intensiva con el uso de minitab, sobre todo en los conceptos de correlación y pruebas de hipótesis a través del análisis ANOVA.

5.5.3.7 Estado futuro.

Inicio evento de mejora: Se dio inicio a un evento Kaizen en donde participaron los operadores de grúas al ser identificados éstos como la principal variable que incide en el bajo número de ciclos por hora.

Plan 5's: Durante una segunda sesión se dio una explicación de los que son las 5's y los operadores fueron seleccionando que herramientas eran necesarias para el proceso.

Experimentación: Se diseñó un experimento en base a datos anteriores y se replicó con nuevos datos. Esto se hizo para ver el número de ciclos por operador por grúa, etiquetándose los mismos para detectar diferencias.

Eliminación de desperdicios: Con este taller se llegaron a diversas conclusiones, y se establecieron proyectos a realizar durante los siguientes meses, buscando la mejora de la empresa tanto en el aspecto del empleado como en aspectos de mantenimiento, área de trabajo, etc. A cada problema se le asignó una acción correctiva y un responsable que verifique su cumplimiento.

Cierre evento de Mejora: El equipo de trabajo presenta los resultados del proyecto dentro del área de trabajo en presencia del supervisor y los trabajadores, resolviendo dudas y comprometiéndose a dar seguimiento y a presentarlo ante la gerencia.

Entrenamiento: En esta etapa el entrenamiento fue más intensivo puesto que no solo se tenía que capacitar al equipo del proyecto, sino que estos a su vez tenían que transmitir la idea de su proyecto y vender el beneficio del mismo mediante sesiones grupales de involucramiento del personal operativo.

5.5.3.8 Estandarización y sesión.

Plan de control: Se hizo una tabla con los principales problemas encontrados de acuerdo al análisis gráfico, experimentación y comentarios de los operadores.

Estandarización: La tabla con problemas, acciones correctivas y causas raíz fueron presentados a la gerencia y su staff.

Sesión del proyecto: Se lleva a cabo una reunión de presentación de resultados, y futuros proyectos entre los que destacaron las mejoras de las condiciones de trabajo de los operadores de las grúas como estrategia para incrementar el número de ciclos por hora.

Evaluación final del proyecto y retroalimentación del cliente: Los directivos de la empresa recibieron el trabajo impreso y en formato electrónico. Se suministró una encuesta para evaluar el aprendizaje de los integrantes del equipo de la empresa y capturar las sugerencias sobre el proceso llevado en el proyecto. En otra encuesta el responsable de la empresa respondió preguntas enfocadas a obtener datos cuantitativos para la tesis doctoral en cuestión.

5.5.4 Caso de estudios 4

Empresa: SABIC

Giro: Productor de resinas.

Tamaño: Mediano

Contacto de la empresa: Ing. Javier Diaz

Puesto: Líder de Calidad.

5.5.4.1 Antecedentes.

El acercamiento se dio con esta empresa en base a un convenio de estancias para proyectos por parte de alumnos de 7mo y 8vo semestre de la carrera de Ingeniería Industrial. Esta es una mediana empresa por el número de empleados de base con que cuenta pero tiene sistemas de calidad implementados como ISO9000 y gente capacitada en Seis Sigma.

5.5.4.2 Diagnóstico.

Recibimiento de propuesta: El CDP está en contacto con la empresa y en base a la modalidad de estancia profesional la empresa propone 2 o 3 proyectos en los que necesita la intervención de alumnos de la carrera de Ingeniería Industrial de semestres avanzados.

Diagnóstico de la empresa: El profesor consultor evaluó la empresa en base a los siguientes factores críticos de éxito:

Liderazgo: La empresa está en búsqueda constante de mejora, asigna recursos a proyectos de calidad y muestran un número de proyectos hechos en temas relacionados con calidad y mejora que marcan la pauta para considerar a la empresa como muy potencial.

Conocimiento Lean/ Seis Sigma: La empresa tiene gente con entrenamiento de *Green Belt* y *Black Belt*, mismos que hacen proyectos en base a la metodología Seis Sigma, esto primordialmente liderado por el departamento de calidad, sin embargo se tiene solo un conocimiento básico de las herramientas de *Lean*.

Entrenamiento: En el caso de esta empresa, se tienen recursos humano capacitados en Seis Sigma, por lo que se plantearon entre 15 y 20 horas de capacitación en temas de *Lean* y su integración con Seis Sigma.

Resultados y retroalimentación: Como resultado de la fase se tiene un diagnóstico positivo sobre el potencial que tiene la empresa para ser intervenida con éxito y generar sinergia en el aprendizaje de la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma.

El convenio es firmado por SABIC y el ITESM, teniendo el segundo la coordinación del proyecto y el primero la participación directa en el mismo mediante un representante.

5.5.4.3 Planeación y proyección.

Introducción a la metodología Lean Seis Sigma: Se llevó a cabo una sesión de aproximadamente una hora en donde el profesor consultor explicó a la dirección de la empresa y su staff las bondades de hacer un proyecto a través de la integración de Lean y Seis Sigma.

Priorización de proyectos: En sesión grupal entre el líder de calidad y el profesor consultor se definió que el proyecto más atractivo y factible para la empresa era uno que mejorara el proceso de pigmentación de algún producto de alto volumen:

“Se escoge un producto (el GRM2600L- WH9388F) debido a que es el grado que más se produce, es de color blanco, es solicitado continuamente por el máximo cliente de Sabic Innovative Plastics Tampico, MABE, su DE debe oscilar entre el 0 al .6 , se le realizan hasta 3 ajustes en su fórmula lo cual implica tiempo extra para la realización de pruebas de laboratorio, mezclado, y producción, desperdicio de resinas, pigmentos y aditivos , estas operaciones propician el rezago de otros pedidos estipulados en el plan de trabajo y por lo tanto implica el riesgo de no satisfacer la necesidad de otros clientes a tiempo.

Presentación y aprobación de la propuesta inicial de trabajo en la empresa: Se definieron las fases genéricas de un proyecto tipo Lean Seis Sigma, se presentó mediante una tabla de actividades y fechas que fueron aprobadas tanto por el líder de calidad como por el CDP y el profesor consultor.

Formación y formalización del equipo de trabajo: La empresa seleccionó a 2 alumnos de 8vo semestre de la carrera de Ingeniería Industrial, mismo que iban a tener un trabajo fijo de acuerdo al modelo de estancias profesionales y aparte participarían activamente en este proyecto. Por parte de la empresa los involucrados en el proyecto fueron 1 ingeniero del área de calidad y 1 de la supervisión del proceso.

Recursos físicos y tecnológicos: Se contó con un anexo a la oficina del líder de calidad. En el caso de los recursos tecnológicos los alumnos y empleados tienen instalados el minitab y el office en sus lap tops y el ITESM dio acceso al software Visio.

Entrenamiento: Se definió la calendarización de fechas compromiso de capacitación, quedando comprendida ésta por 5 sesiones de 4 horas en sábados. Los participantes son los 2 ingenieros responsables del proyecto, 2 estudiantes y el profesor instructor.

5.5.4.4 Definición detallada.

Enunciado detallado del problema: En equipo se llegó a un enunciado del problema más detallado:

“Se detectó un área de oportunidad en el FPC del producto GRM2600L-WH9338F en la línea B. Actualmente al 53.33% de los lotes producidos de este grado-color se les realiza un ajuste después del primer arranque o durante el mismo por lo que se pretende disminuir éste porcentaje de lotes ajustados GRM2600L-WH9338F /mes a un 16% /mes, el mejor desempeño a lo largo de estos Seis meses del presente año ha sido de 42% /mes del mes de julio”.

Mapeo amplio del proceso: El equipo identificó 5 procesos en los que se comprende el problema planteado: Gestión de orden, técnica de color, pesaje y mezclado, extrusión, empackado y embarque.

Definir la meta del proyecto: Mediante un análisis del producto y el proceso a través del tiempo se definió una meta ambiciosa pero alcanzable:

“Disminuir el porcentaje de lotes ajustados del producto GRM2600L-WH9338F /mes a un 16% en un periodo menor a 6 meses.”

Validación financiera: El beneficio financiero no fue calculado a nivel de dinero, sin embargo el proyecto resulto atractivo porque al disminuir el porcentaje de lotes ajustados se tiene un impacto en los re trabajos y materiales añadidos al producto que representa una producción de más de 2,000 toneladas al año.

Revisión de factores críticos para el cliente: Mediante un diagrama de árbol y un Pareto se establece que la calidad del producto más demandado de la empresa (GRM2600L-WH9338F) debe ser más eficiente, motivo por el cual se encuentra un área de oportunidad en el porcentaje de lotes que tienen que ser ajustados.

Entrenamiento: El entrenamiento formal no habían comenzado, puesto que los conceptos de Lean serían aplicados previo a la siguiente fase de la metodología.

5.5.4.5 Traducción.

Analizar cómo se obtienen los datos: Para validar que los datos que se iban a analizar fueran validos se revisó el proceso de calibración del espectrómetro, llegándose a la conclusión de que debía ser calibrado cada 4 horas. Se midieron 10 piezas avaladas por un laboratorio externo a la empresa obteniéndose niveles satisfactorios en la máquina.

Cálculo de la capacidad del proceso: El equipo de trabajo mediante la obtención de datos del proceso calculó en minitab este índice, el cual resulto ser de 0.25, muy inferior a un valor de 1 que era el mínimo aceptable para cumplir la meta del proyecto.

Mapeo para conocer a profundidad como se genera valor mediante el proceso: Se tomó como base el mapa amplio del proceso para definir que partes incluirá el mapa de valor. Aquí se observó que el flujo de proceso no era tan simple y la información se retrasaba.

Matriz causa y efecto: Se realizó un diagrama de causa y efecto así como un Pareto encontrándose las siguientes variables vitales:

- Cambio de código de grado-color.
- Capacidad de analistas y practicantes.
- Cantidad de pigmentos.
- Limpieza de mezcladora.
- La influencia del reproceso en el lote.
- Limpieza de extrusor.
- Tipo de resinas y cantidad.

Aplicabilidad de técnicas Lean: Se hizo un análisis de cuáles eran los principales desperdicios detectados de acuerdo al mapeo de valor, encontrándose del diagrama de flujo de procesos que el transporte de pigmentos consumía mucho tiempo.

Detección y priorización de problemas: Este análisis permitió al equipo definir cómo se presenta potencialmente el problema con la limpieza de la mezcladora y del extrusor primordialmente.

Entrenamiento: Se llevó de acuerdo al calendario enfatizándose mucho en el sistema de medición y las técnicas Lean, por ser las técnicas sobre la que se tenían mayor desconocimiento de los ingenieros de la empresa. El uso de Minitab fue intensivo, las

plantillas pre hechas en Excel facilitaron la aplicación y entendimiento de las herramientas al equipo.

5.5.4.6 Análisis.

Análisis gráfico de variables: Se crearon algunas gráficas mediante el uso de minitab y se empezaron a comparar las relaciones que tenían las variables resultantes del Pareto de la etapa anterior.

Relaciones entre variables con el problema: Se encontró que el tipo de reproceso así como su peso eran las variables que impactaban más en el problema.

Análisis inferencial: Se plantearon hipótesis y se verificaron estadísticamente mediante minitab, resultando significativa solamente la variable de peso de reproceso del lote.

Mapa del futuro proceso: Una vez teniendo un conocimiento de las variables que afectan al proceso y de la situación actual del mismo, se trabajó sobre cómo se pensaba que debía ser el proceso ya mejorado. Se concluyó con un bosquejo con menos desperdicios, más claro y con menos defectos.

Entrenamiento: El entrenamiento fue llevado de acuerdo al programa establecido, se cumplió con el objetivo de aprendizaje mediante el asesoramiento continuo del profesor consultor y de los alumnos que intervinieron más en la explicación de lo que se podía hacer en el análisis inferencial.

5.5.4.7 Estado futuro.

Inicio evento de mejora: Se dio inicio a una dinámica de presentación más a detalle del proyecto al personal que trabaja en el área donde se plantearán cambios que llevarán al mejoramiento del estado de las variables relacionadas con el problema. El equipo de proyecto facilitó la sesión y se pidió al personal que aportara ideas sobre condiciones de trabajo, ergonomía, limpieza entre otras.

Plan 5's: Durante una segunda sesión se dio un recordatorio al personal de los que son las 5's, puesto que ya conocían este método. Posteriormente durante el turno se marcaron las áreas que necesitaban ser limpiadas y ordenadas.

Experimentación: El equipo diseño un experimento con 3 niveles (10,15y20%) considerando la variable de peso del reproceso del lote. Se involucró en las pruebas al personal del área y se concluyó que el nivel de 10% era el que mejor resultados daba en el proceso.

Eliminación de desperdicios: En base a la aplicación de técnicas Lean y el mapa del futuro proceso, el equipo facilitador mostró al personal qué pasos del proceso debían eliminarse, simplificarse o cambiarse de orden ya que no generaban ningún valor en el proceso, facilitando esta explicación los conceptos y generando un debate de su aplicabilidad.

Cierre evento de Mejora: El equipo de trabajo presenta los resultados del proyecto dentro del área de trabajo en presencia de supervisor y trabajadores, resolviendo dudas y comprometiéndose a dar seguimiento hasta cederles el proyecto con sus mejores resultados.

Entrenamiento: En esta etapa el entrenamiento fue más intensivo puesto que no solo se tenía que capacitar al equipo del proyecto, sino que éstos a su vez tenían que transmitir la idea de su proyecto y vender el beneficio del mismo mediante sesiones grupales de involucramiento del personal operativo.

5.5.4.8 Estandarización y sesión.

Plan de control: En este punto se hizo un archivo que contenía los datos de las variables que se estudiaron, como se analizaron, en qué punto fueron colocadas para que se arrojaran mejores resultados, como se debe monitorear de aquí en adelante el proceso.

Estandarización: En este momento se capacita al personal operativo sobre la importancia de calibrar el espectrómetro, los beneficios de seguir con las 5's y sobre todo el fijar a 10% el peso del reproceso del lote.

Sesión del proyecto: Se lleva a cabo una reunión de presentación de resultados, lecciones aprendidas y futuros proyectos, entre los directivos y staff de Sabic, el equipo de proyectos incluyendo al profesor consultor, así como a la persona encargada de proyectos del CDP.

Evaluación final del proyecto y retroalimentación del cliente: Los directivos de la empresa recibieron el trabajo impreso y en formato electrónico. Se suministró una encuesta para evaluar el aprendizaje de los integrantes del equipo de la empresa y

capturar las sugerencias sobre el proceso llevado en el proyecto. En otra encuesta el responsable de la empresa del proyecto respondió preguntas enfocada a obtener datos cuantitativos para la tesis doctoral en cuestión.

5.6 Resultados de cuestionarios de evaluación sobre la ejecución del proyecto aplicados a miembros de equipo de la empresa y a responsables de éstas en el proyecto.

Lo documentado en los casos anteriores nos da información cualitativa de la aplicabilidad y éxito de la metodología propuesta, sin embargo el complemento cuantitativo es explorado a continuación en base a una serie de cuestionarios.

5.6.1 Claves utilizadas en los reportes de resultados.

Claves para designar las empresas:

AP: Aire Proyectos del Golfo.

GA: Grupo industrial Aguila.

CS: Cooper T. Smith.

SB: Sabic.

Claves para la escala de valores utilizados en el cuestionario

1=Total desacuerdo

Hasta el;

5 =Total acuerdo.

5.6.2 Resultados de la etapa 1: Diagnostico.

Paso	Pregunta	Empresa			
		AP	GA	CS	SB
Recibimiento de propuesta	1-La empresa presento su propuesta de proyecto ante el CDP	5	5	4	5
Liderazgo	2-La empresa ha impulsado proyectos nuevos en el último año.	3	4	3	5

Liderazgo	3-La empresa está certificada o en proceso de hacerlo en algún sistema de calidad.	2	5	2	4
Conocimiento Lean/SS (Seis Sigma)	4-La empresa tiene algún departamento de calidad, mejora continua o proyectos.	5	5	3	5
Liderazgo	5-La empresa ha promovido cursos para desarrollar a su personal.	4	4	4	5
Conocimiento Lean/SS	6-Se conoce en la empresa la metodología Seis Sigma.	2	2	2	5
Conocimiento Lean/SS	7-Se conoce en la empresa la metodología de Lean.	2	2	2	3
Entrenamiento	8-Se han capacitado en la empresa en la metodología Seis Sigma.	1	1	1	5
Entrenamiento	9-Se han capacitado en la empresa en la metodología de Lean.	1	1	1	2
Resultados y retroalimentación	10-Existió retroalimentación clara y oportuna de la propuesta de la empresa por parte del CDP.	5	4	5	5
Promedio		3.0	3.3	2.7	4.4

Tabla 30. Resultados de la etapa 1: Diagnóstico.

5.6.3 Resultados de la etapa 2: Planeación y proyección.

Paso	Pregunta	Empresa			
		AP	GA	CS	SB
Intro. a la met. Lean/SS	1- La gerencia y staff comprendieron la aportación que tendría SS y Lean como metodología en un proyecto.	4	5	4	5
Priorización de proyectos.	2-Se analizaron al menos dos alternativas de proyectos en base a herramientas como matrices y/o diagramas de afinidad, seleccionándose un proyecto.	4	4	4	5
Priorización de proyectos.	3- El proyecto seleccionado fue el de mayor beneficio para la empresa y el cliente.	4	3	4	3
Presentación y aprobación	4-Se definió claramente el proyecto con sus etapas y tiempos estimados de realización.	4	4	3	5

Formación de equipo	5-El grupo de estudiantes y el personal del ITESM están capacitado en las metodologías Lean/SS.	3	4	5	4
Formación de equipo	6-Se involucraron al menos a dos personas de la empresa directamente en el proyecto.	5	4	5	4
Recursos físicos y técnicos	7-El equipo del proyecto tuvo acceso a equipo de cómputo con el software office, minitab y Visio.	4	5	4	4
Recursos físicos y técnicos	8-El software estadístico minitab facilitó el entendimiento y ejecución de conceptos y herramientas estadísticas.	5	4	5	4
Entrenamiento	9-Se estableció un calendario que cubrió tanto temas de Lean como de Seis Sigma	5	5	5	4
Entrenamiento	10- El temario contempla al menos 40 horas de entrenamiento.	4	5	4	3
Promedio		4.2	4.3	4.3	4.1

Tabla 31. Resultados de la etapa 2: Planeación y proyección.

5.6.4 Resultados de la etapa 3: Definición detallada.

Paso	Pregunta	Empresa			
		AP	GA	CS	SB
Definir la meta	1-Se definió detalladamente el proyecto, incluyéndose el estado actual que guarda la empresa y su meta.	4	4	4	5
Definir la meta	2-Se definió dónde, cuándo y cómo se detectó el problema.	4	4	4	5
Mapeo de proceso	3-El equipo definió en base a bloques los procesos en los que se ve involucrado el proyecto.	4	4	4	4
Mapeo de proceso	4-El equipo logró identificar cual es el proceso que pudiera estar inhibiendo el llegar a la meta del proyecto.	4	4	4	5
Validación financiera	5- El equipo cuantificó el beneficio financiero incluyendo ahorros anualizados.	3	4	4	3
Validación financiera	6- Los ahorros para la empresa fueron validados por el personal de finanzas y operación de la misma.	2	2	3	3

Factores críticos	7-Se validó que la realización del proyecto mejoró algo que el cliente valora.	4	3	3	4
Factores críticos	8-Se utilizaron herramientas como árboles de decisión y/o matrices para analizar la importancia del proyecto.	5	4	3	4
Entrenamiento	9- Se cubrió la fase de definición detallada del proyecto.	5	5	4	5
Entrenamiento	10-Se entregó a gerencia y presento un avance del estatus actual del proyecto.	4	4	3	4
Promedio		3.9	3.8	3.6	4.2

Tabla 32. Resultados de la etapa 3: Definición detallada.

5.6.5 Resultados de la etapa 4: Traducción.

Paso	Pregunta	Empresa			
		AP	GA	CS	SB
Análisis de datos	1-Se identificó la fuente de datos para el proyecto.	4	4	4	4
Análisis de datos	2-Se validó estadísticamente que los datos están bien medidos de acuerdo a un estándar.	5	4	4	5
Cálculo de capacidad	3-Se tomó una muestra del proceso valida y con distribución normal.	4	4	5	4
Cálculo de capacidad	4-Se calculó la capacidad del proceso y concluyo sobre su estado actual.	5	5	4	5
Mapeo	5-El bloque que se identificó como el que inhibe el llegar a la meta de proyecto fue mapeado a más profundidad con un VSM o Diagrama de flujo.	4	4	5	4
Mapeo	6-Se lograron identificar las actividades o partes del proceso que no agregan valor al mismo.	4	4	4	3
Matriz causa y efecto	7- Se analizó a profundidad en base a una matriz causa y efecto o un diagrama de Ishikawa cuáles eran las variables del proceso que más inciden en el proyecto.	5	5	4	4
Matriz causa y efecto	8-Se seleccionaron las 3 o 4 variables más significativas y con impacto para el proyecto.	5	5	4	4

Técnicas Lean	9-De las variables más significativas del proyecto se analizaron cuáles estaban relacionadas con más desperdicios, defectos o errores.	4	3	4	4
Detección y priorización	10-El equipo hizo un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) de las variables significativas para el proyecto.	4	4	4	5
Entrenamiento	11- El equipo recibió la capacitación aprendiendo lo que es capacidad de procesos, estudio de medición, VSM, AMEF y Matriz Causa y Efecto como base para esta etapa.	4	5	5	4
Entrenamiento	12-El equipo entregó y presentó un avance del proyecto para su retroalimentación	3	3	3	5
Promedio		4.25	4.17	4.17	4.25

Tabla 33.Resultados de la etapa 4: Traducción.

5.6.6 Resultados de la etapa 5: Análisis.

Paso	Pregunta	Empresa			
		AP	GA	CS	SB
Análisis gráfico	1-Se identificó mediante histogramas, diagramas de caja o intervalos el comportamiento de las variables por separado.	4	4	5	4
Relación entre variables	2-Se identificó mediante una gráfica de multivariable o de interacciones alguna relación entre las variables.	4	4	4	5
Análisis inferencial	3-De las gráficas anteriores se pudo establecer alguna hipótesis para investigar.	4	3	4	4
Análisis inferencial	4- Se calcula el tamaño de muestra y validan supuestos estadísticos.	3	4	3	4
Análisis inferencial	5- Se evalúan los resultados aceptando o rechazando hipótesis.	3	4	3	4
Mapa del futuro	6-El equipo logro plasmar en un mapa (VSM o DFP) como debería de ser el proceso libre de fallas, desperdicios y variación para lograr la meta del proyecto.	4	4	5	4

Entrenamiento	7- El equipo recibió la capacitación enfatizándose el planteamiento de hipótesis y el uso de software para las gráficas planteadas en la fase.	4	4	5	4
Entrenamiento	8-El equipo entregó y presentó un avance del proyecto para su retroalimentación	4	4	4	5
Promedio		3.75	3.88	4.13	4.25

Tabla 34. Resultados de la etapa 5: Análisis.

5.6.7 Resultados de la etapa 6: Estado futuro.

Paso	Pregunta	Empresa			
		AP	GA	CS	SB
Evento de mejora	1-Se identificó y convocó a la gente allegada a los procesos en donde inciden las variables del problema y los desperdicios o defectos.	4	4	5	4
Evento de mejora	2-Se hizo un evento de mejora en donde se explicó el proyecto.	4	3	4	4
Plan 5's	3-Se introdujo a los empleados la metodología 5's y los desperdicios.	3	4	4	4
Plan 5's	4-Mediante el mapa actual de proceso (VSM o DFP) los empleados ayudaron a identificar donde estaban las variables del proyecto y las áreas de aplicación para las 5's .	3	4	5	4
Experimentación	5-Se diseñó un experimento para ver cómo se deben ajustar las variables de interés en el proyecto.	4	4	4	5
Experimentación	6-El experimento se llevó a cabo con participación de la gente allegada al proceso y se obtuvieron resultados.	3	4	5	4
Eliminación del desperdicio	7- Con el involucramiento de los empleados se lograron hacer los ajustes a las variables del proyecto y se empezó con la aplicación de las 5's.	4	3	4	4
Eliminación del desperdicio	8-Al terminar los ajustes de variables y las 5's los resultados arrojaron que el proceso es igual o muy semejante al planteado en el mapa del futuro.	4	4	5	4

Cierre del evento de mejora	9-Se hizo una presentación de los resultados entre los responsables del proyecto y los empleados.	4	4	5	4
Entrenamiento	10- El equipo recibió la capacitación enfatizándose en las 5's y el diseño de experimentos.	4	5	4	4
Entrenamiento	11-El equipo entregó y presentó un avance del proyecto para su retroalimentación	5	4	4	5
Promedio		3.82	3.91	4.45	4.18

Tabla 35. Resultados de la etapa 6: Estado futuro.

5.6.8 Resultados de la etapa 7: Estandarización y sesión.

Paso	Pregunta	Empresa			
		AP	GA	CS	SB
Plan de control	1-Se realizó algún documento que definiera claramente el qué, quién, cómo, cuándo y dónde se debían de llevar a cabo los procesos ya mejorados.	5	4	4	5
Estandarización	2-El documento se mostró a los usuarios del proceso y estos entendieron el funcionamiento del mismo.	5	5	5	5
Estandarización	3-El documento es accesible para todos los usuarios y está aprobado por los jefes de área relacionadas.	4	5	5	4
Sesión	4-El proyecto completo fue entregado y presentado ante la gerencia de la empresa y su staff.	5	5	5	5
Sesión	5- El equipo del proyecto hizo recomendaciones y presento futuros proyectos potenciales en la empresa.	5	5	5	4
Evaluación final	6- La empresa y su personal participante directo en el proyecto dieron sus sugerencias en base a una encuesta suministrada por el CDP.	5	5	4	4
Promedio		4.83	4.83	4.67	4.5

Tabla 36. Resultados de la etapa 7: Estandarización y sesión.

5.6.9 Preguntas en relación a la metodología.

Factor analizado	Pregunta	Empresa			
		AP	GA	CS	SB
Resultados	1-Se cumplió con la meta del proyecto.	4	5	4	4
Resultados	2-El plan de control derivado del proyecto es aplicable en los procesos y se llevan actualmente a cabo.	4	4	5	5
Resultados	3- Los procesos ligados directamente al proyecto pueden seguir mejorando haciendo más proyectos de éste tipo.	5	4	4	4
Desarrollo	4-El proyecto le permitió aprender más de su empresa.	4	3	4	4
Desarrollo	5- Considera que el proyecto contribuyo en el aprendizaje de los empleados involucrados.	4	3	3	4
Desarrollo	6-Considera usted que logró aprender una nueva forma estructurada de tener resultados positivos en su empresa.	4	4	4	3
Entrenamiento	7-Consideras que el entrenamiento fue el adecuado para afrontar éste u otros proyectos.	4	4	5	4
Entrenamiento	8-Te consideras más capacitado para aplicar éste entrenamiento en otros proyectos	3	4	4	4
Entrenamiento	9- Consideras que cualquier persona con estudios universitarios de ingeniería o negocios puede aprender esta metodología	4	3	3	4
Entrenamiento	10- No fue necesario dominar técnicas estadísticas complejas o herramientas para poder llegar al objetivo del proyecto.	4	4	4	4
Entrenamiento	11- Consideras que el uso práctico de software contribuye ampliamente a asimilar los conceptos de la metodología.	5	5	4	5
Intervención de la academia	12-Te dejo una buena experiencia el trabajar con alumnos y profesores del ITESM.	4	4	5	4
Intervención de la academia	13-Los conocimientos de los estudiantes y profesores fueron fundamentales para llevar a cabo el proyecto.	4	4	4	3

Intervención de la academia	14-Consideras que éste modelo podría funcionar en otras empresas.	4	4	4	4
Intervención de la academia	15-Los profesores y alumnos te ayudaron a comprender y aplicar las herramientas de la metodología.	4	4	4	3
Intervención de la academia	16-Consideras que los alumnos y profesores aprendieron de tus experiencias y de lo que se hace en tu empresa.	4	5	5	4
Modelo	17-Consideras que el modelo que se llevó a cabo para hacer el proyecto en tu empresa lo hace económica y técnicamente factible para otras empresas de similares condiciones.	4	4	4	4
Modelo	18- De acuerdo a la experiencia que tuviste en éste proyecto consideras que el modelo puede ser aplicado en otra empresa sin importar su giro o tamaño.	4	4	4	5
Modelo	19- De acuerdo a la experiencia que tuviste en éste proyecto consideras que el modelo puede ser aplicado en otra empresa sin importar si tiene un modelo de calidad formal implementado.	5	4	5	4
Modelo	20- Considerando lo que se hace en tu empresa y si en ti estuviera la decisión, implementarías en tu empresa éste modelo.	4	4	4	4
Promedio		4.10	4.00	4.15	4.00

Tabla 37: Preguntas en relación a la metodología.

5.6.10 Gráficas de resultados de los cuestionarios.

A continuación se presentan las gráficas y observaciones referentes a los resultados obtenidos de los cuestionarios aplicados en cada empresa por etapa de desarrollo de la metodología.

Dada la escala de la encuesta se ha definido que la puntuación 3.0 de un máximo de 5.0 sea el promedio mínimo aceptable para cada etapa de la metodología.

Para la evaluación global de la metodología por cada empresa se ha definido que ésta debe ser de al menos 4.0 para considerarse como aceptable.

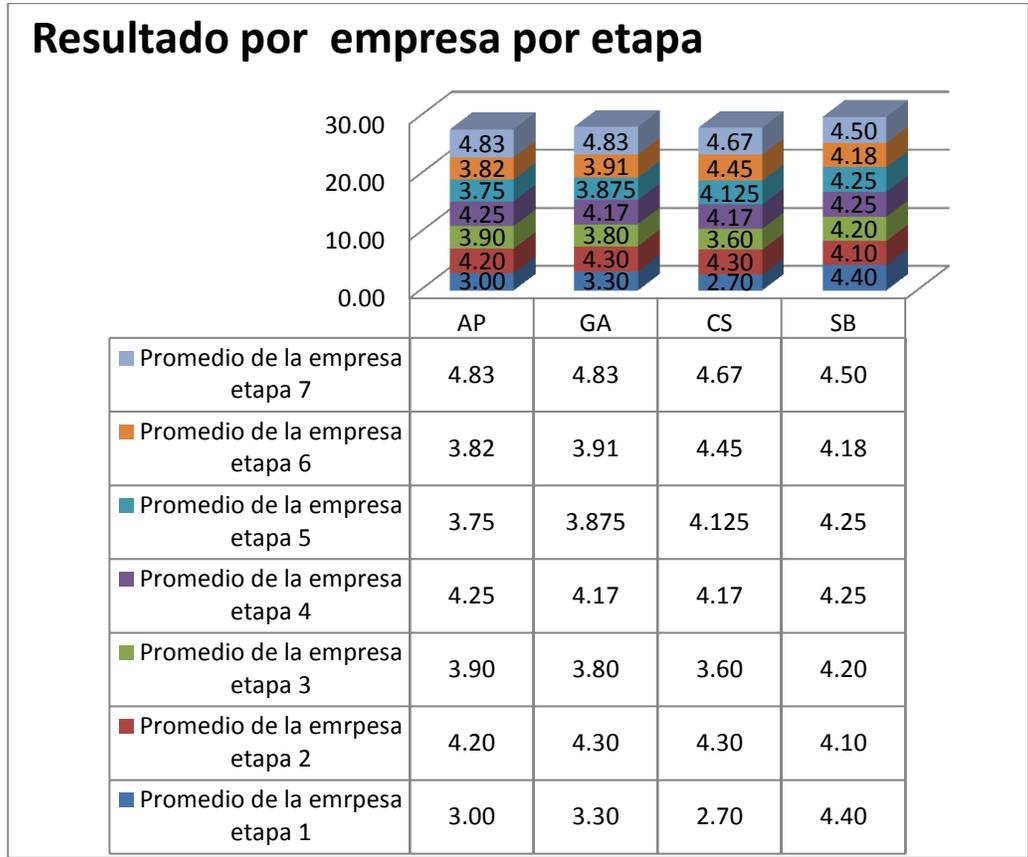


Figura 33. Grafica comparativa de cada proyecto dividido por etapas.

Los resultados de los cuestionarios nos marcan que no existe una diferencia significativa entre los resultados percibidos con el uso de la metodología entre empresas, ya que todas se colocan entre los 27.75 y 29.88 puntos totales de un máximo de 35 posibles. El promedio de respuesta en el cuestionario para cada empresa es el siguiente: AP y CS se sitúan con 4.00 cada una, mientras que GA logró 4.03 y SB tuvo 4.27, dados estos valores de acuerdo al criterio establecido los resultados en todas las PyME se consideran aceptables.

En términos de cada etapa por empresa, solamente en el caso de la empresa CS se tuvo una puntuación inferior a 3.0 en la etapa 1 de diagnóstico.

Al comparar los resultados promedio por etapa se observa como en la de diagnóstico existen mayores problemas con la aplicación de la metodología, al tener un puntaje

de 3.35, esto contrasta con el promedio la etapa de estandarización y sesión en donde se obtiene el valor más alto de 4.70.

Las siguientes gráficas muestran los resultados de cada empresa por etapa y pregunta de la encuesta, esto permitirá ver más detalladamente los resultados en la aplicación de la metodología. Para fines comparativos se ha tomado como puntuación mínima deseada un total de 16 puntos por pregunta, cualquiera de éstas que esté por debajo de esa puntuación es marcada como área de oportunidad de la metodología:

La figura 34 muestra resultados bajos en al menos 3 de 4 empresas en las preguntas 2, 3, 6, 7,8 y 9, lo que lleva a prestar especial atención en esta etapa.

Las principales causas de las puntuaciones bajas de acuerdo a las empresa son el desconocimiento de las PyMEs de las metodologías Lean y Seis Sigma, así como la correspondiente falta de su entrenamiento, esto aunado a que todas las empresas excepto CS y AP tienen o están en proceso de implementar un modelo de calidad ISO9000 llevan a la baja puntuación en la etapa 1 de diagnóstico.

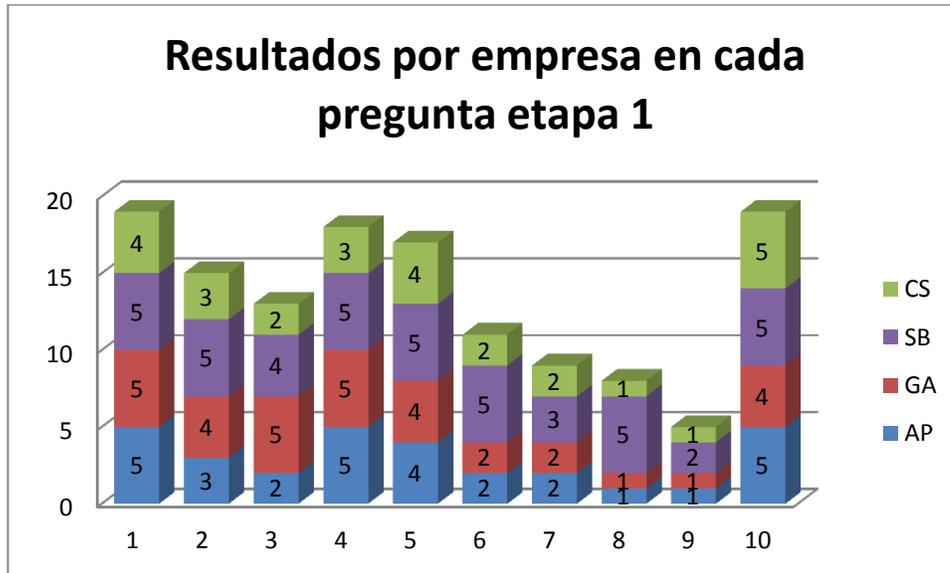


Figura 34. Gráfica de resultados por empresa en cada pregunta de la etapa 1.

De La figura 35 se observa que en todos los casos el promedio por pregunta es de al menos 16 puntos, a excepción de la pregunta 3 que refiere a que no para todas las PyMEs el proyecto elegido fue el más atractivo o se quedó conforme con su elección.

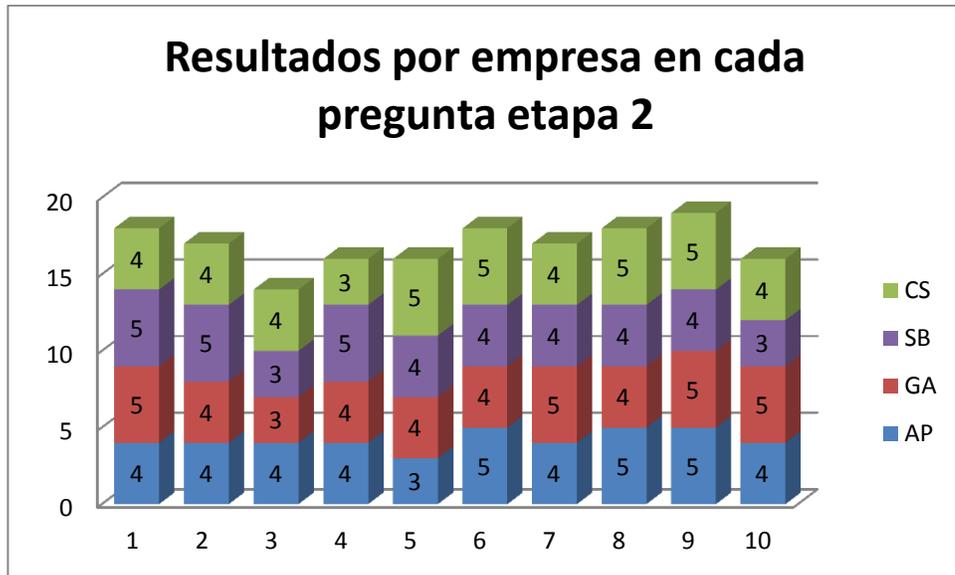


Figura 35. Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta etapa 2

Los resultados de la etapa 3 mostrados en la figura 36 señalan que las preguntas 5, 6, 7 y 10 tuvieron puntuaciones inferiores a 16 puntos, estas preguntas se refieren a la validación financiera de los proyectos, la cual no en todos los casos se pudo hacer detalladamente, también se vieron algunas dificultades en asociar directamente los proyectos con el valor que éste debía tener para el cliente.



Figura 36. Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta etapa 3.

Para la etapa de traducción (Figura 37), cada PyME se encuentra en el centro de la metodología; en la gráfica se manifiestan menos dificultades que en las primeras etapas, teniéndose como preguntas con puntaje inferior al mínimo deseado la 6 ,debido a que el introducir un concepto que puede ser nuevo como el de valor no es sencillo y cuesta trabajo a veces verlo en los procesos, esto mismo trae consigo que la relación de lo que no agrega valor (desperdicios) con las variables del proyecto se vuelvan más complicada de identificar (pregunta 9).

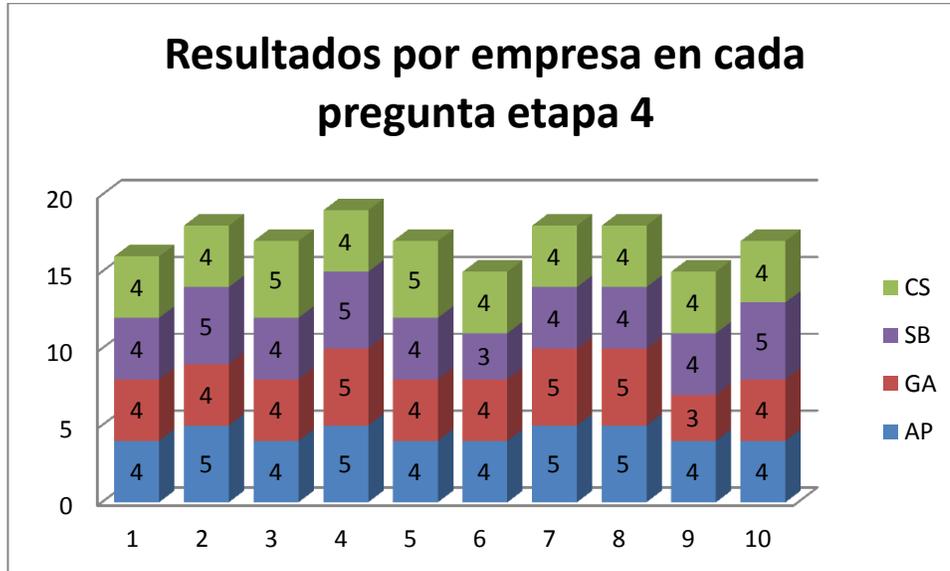


Figura 37. Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta etapa 4.

En la etapa 5 se tuvo de manera general el reto de introducir conceptos como el de hipótesis y el de análisis gráfico, situación que no fue sencilla de relacionar con la problemática de las empresas y dificultó su entendimiento, obteniéndose puntuaciones por debajo del mínimo deseado en las preguntas 3,4 y 5.

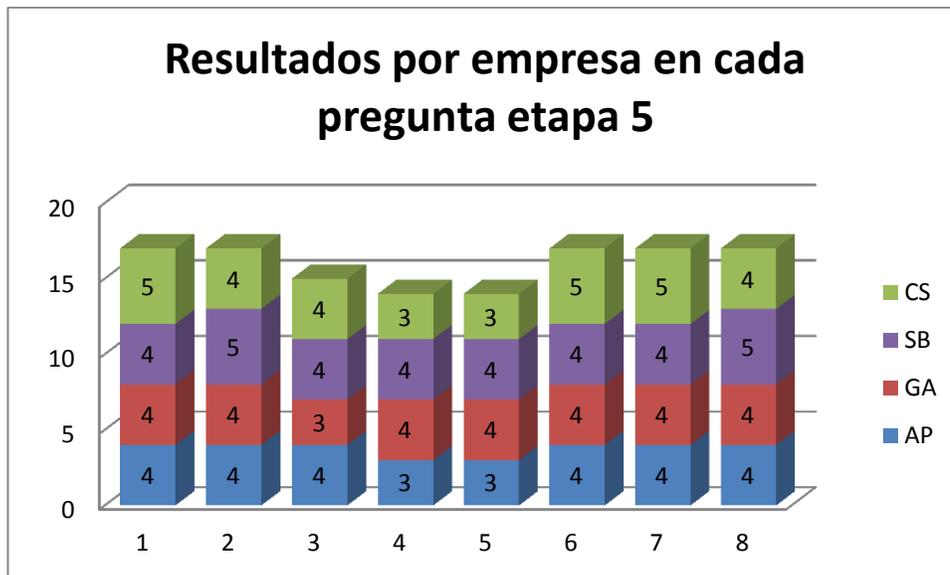


Figura 38. Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta etapa 5.

La etapa 6 es una netamente de ejecución ya que hay que experimentar y poner en práctica a la vez los mejores resultados obtenidos del experimento. En estos casos en todas las empresas se dio un buen desempeño con áreas de oportunidad ligeras en las preguntas 2,3 y 7, mismas que se refieren al evento de mejora y aplicación de las 5's que en estos casos no se asimilo tan rápido como demandaba en promedio el tiempo de la metodología.

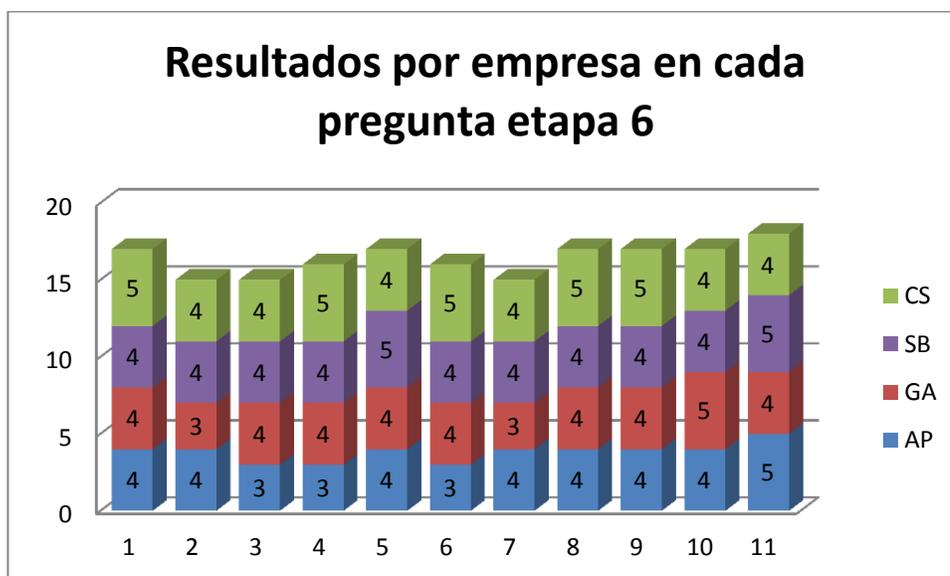


Figura 39. Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta etapa 6

La etapa 7 es la que cierra la metodología y la que les da la estabilidad para que puedan perdurar, de aquí que los resultados positivos que se perciben indican que los planes de control, las presentaciones finales y la sesión del proyecto se hicieron satisfactoriamente de acuerdo a la propuesta.

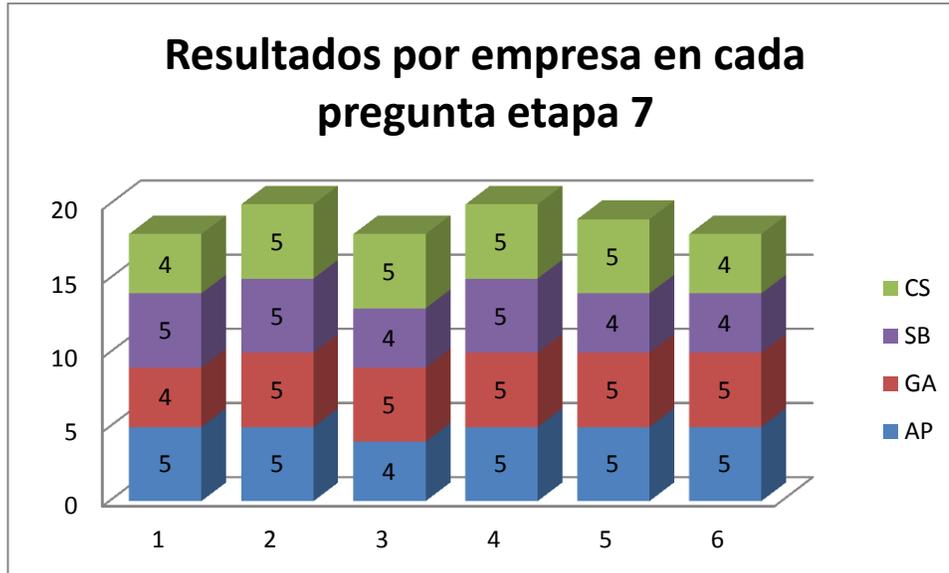


Figura 40. Gráfica de Resultados por empresa en cada pregunta etapa 7.

Con un segundo cuestionario se intenta capturar la percepción de los participantes de la empresa en el proyecto sobre factores considerados por éste autor como claves para evaluar el éxito y la posibilidad de replicar la metodología en estas y otras empresas:

Resultados del proyecto:

Se asocia a la percepción de la consecución de resultados, solución del problema planteado con el proyecto, el control y mejora en procesos.

Desarrollo

Se refiere a la percepción del valor que le dejó a la persona ejecutar este proyecto en el sentido del conocimiento más profundo de los procesos y de la metodología empleada.

Entrenamiento

Se refiere a la percepción de haber aprendido sobre una metodología, software y herramientas utilizadas y afianzadas en base a la práctica del proyecto.

Intervención académica

Trata de capturar la percepción del valor generado, la positividad de la experiencia y la posibilidad de que funcione en otras organizaciones la intervención de profesores y alumnos de la institución académica en la empresa.

Modelo

Trata de capturar la percepción del funcionamiento de la metodología empleada en este proyecto particular, así como la opinión de si funcionaría para otras empresas y si sería bueno implementarlo.

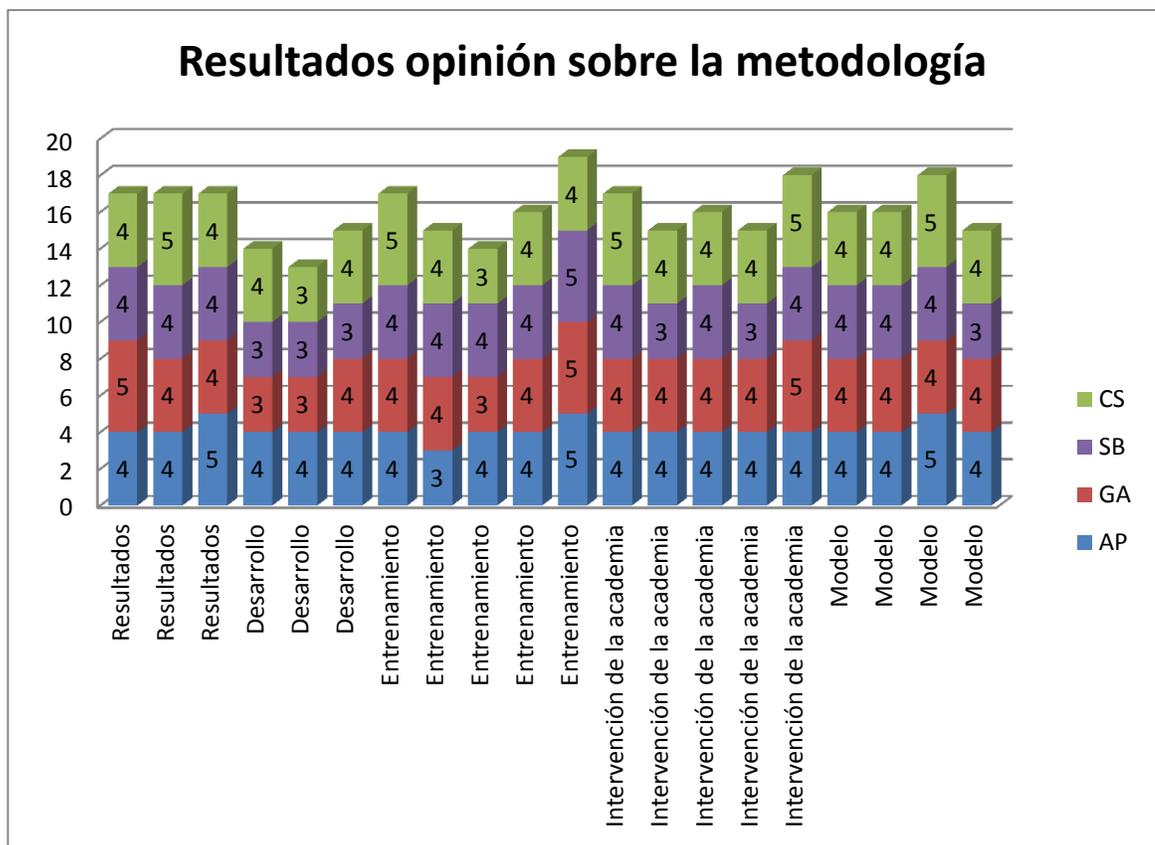


Figura 41. Resultados de opinión sobre la metodología aplicada.

En la figura 41 se observa la división de las 20 preguntas de acuerdo a su factor, todo esto identificado por empresa. De aquí se resalta lo siguiente:

Resultados del proyecto:

En estos términos la evaluación de las 4 empresas se considera positiva al ser de al menos 4 en todos los casos, por lo que existió una percepción de que los resultados, metas u objetivos del proyecto se cumplieron favorablemente.

Desarrollo:

La percepción del aprendizaje que les dejó a los empleados este proyecto, así como lo nuevo que éste les permitió descubrir de su empresa son las áreas con más bajo puntaje, sin embargo ninguna con puntuaciones inferiores a 3.0, esto puede deberse a que ya se tenían identificados algunos de los problemas que generaron estos proyectos y a que la gente que intervino en los mismos tiene ya varios años trabajando en la empresa.

Entrenamiento:

La percepción en cuanto al entrenamiento fue positiva en casi todos los casos, destacándose un puntaje un poco más bajo en la pregunta que se refiere a que no cualquier persona aún cuando tenga una preparación universitaria sería capaz de aprender la metodología.

Intervención académica:

En cuanto a la participación de alumnos y profesores del ITESM en la metodología los resultados son positivos, destacándose la experiencia positiva que representó para el personal de la empresa trabajar con ellos y el aprendizaje y experiencia que consideran ganaron éstos últimos al intervenir en un proyecto de su empresa.

Modelo:

Los resultados destacan la factibilidad técnica y económica del proyecto, el puntaje alto en evaluación de la posible aplicación de la metodología en otras empresas que no necesariamente tengan un sistema de calidad implementado así como el también alto puntaje que manifiesta el que si el usuario de la metodología tuviera el poder de decisión de implementarían un modelo como éste en la empresa lo haría.

5.7 Conclusiones de los casos de estudio.

De los resultados obtenidos al efectuar la validación de la metodología propuesta a través de la documentación de lo sucedido en cada una de sus fases y de los resultados de encuestas en las 4 PyMEs se concluye lo siguiente:

De la fase de diagnóstico:

- 3 de las 4 PyME no conocían lo que era Seis Sigma o *Lean*.
- En las 4 empresas se promueven cursos de capacitación y el desarrollo de nuevos proyectos.
- 2 de las 4 empresas están certificadas (o en su proceso) en ISO9000.
- Las 4 empresas cuentan con un departamento o responsable de la calidad de sus productos.
- A pesar de que una empresa tuvo puntuación inferior a 3.0 en esta etapa de diagnóstico, esta PyME igual que las otras 3 logro tener una evaluación global promedio de 4.0 o más en la metodología.

De la fase de planeación y proyección:

- Las 4 empresas obtuvieron resultados muy satisfactorios de esta fase (puntuaciones superiores a 4.0).
- La priorización y elección de proyectos fueron los causantes de mayores problemas para las PyMEs, de ahí que en la versión final de la metodología (capítulo 4) se integre un formato y propuesta de actividades para hacer más eficiente estos puntos.
- La capacitación en 3 de las 4 empresas fue superior a 40 horas, siendo únicamente menor a ese número de horas en la PyME en la que ya se tenía entrenamiento en Seis Sigma.

De la fase de definición detallada:

- Las 4 PyMEs estuvieron por encima de la puntuación mínima (superiores a 3.5).
- El cálculo del beneficio de los proyectos y su validación se les dificultó a las PyMEs, de ahí que en la versión final de la metodología (capítulo 4) se integre un formato y propuesta de actividades para hacer más eficientes estos puntos.
- Se incluye en la versión final de la metodología (capítulo 4) un punto para la presentación y aprobación del proyecto, esto con la intención de asegurar que éste tenga impacto en lo que el cliente percibe como valioso.

De la fase de traducción:

- Las 4 empresas obtuvieron resultados satisfactorios de esta fase (puntuaciones superiores a 4.0).
- A 1 de las 4 empresas se le dificultó más el identificar las actividades que generan valor en sus procesos, de ahí que en la versión final de la metodología (capítulo 4) se integre un mapeo a profundidad con técnicas Lean para hacer más eficiente este punto.

De la fase de Análisis:

- 2 de las 4 PyMEs obtuvieron puntuaciones superiores a 4.0. Las empresas que tuvieron más dificultades con los conceptos estadísticos lo subsanaron, con el apoyo del software, el entrenamiento y la asesoría del profesor consultor y alumnos.

De la fase de estado futuro:

- 2 de las 4 empresas tuvieron una puntuación superior a 4.0 en esta fase, estando las 2 restantes muy cerca de lograrlo (3.82 y 3.91).
- Los resultados promedio más bajos se obtuvieron debido a las dificultades de organizar un evento de mejora, el entendimiento y la aplicación de las 5's. Por ello se introdujo en la versión final de la metodología (capítulo 4) puntos que refuerzan la clarificación de estos conceptos, con los pasos necesarios para que se den de forma más eficiente.

De la fase de estandarización y sesión:

- El cierre de la metodología fue para las 4 empresas muy bueno, teniendo todas unas puntuaciones iguales o superiores a 4.5, destacando la entrega a los directivos de la empresa de la documentación, presentación y plan de control necesarios para que sus administradores le den seguimiento al proyecto.

5.8 Conclusión del capítulo.

Los resultados tanto cualitativos como cuantitativos nos llevan a la conclusión de que la metodología propuesta en el capítulo 4 tuvo los resultados esperados para las PyMEs Tamaulipecas y el ITESM Campus Tampico, lográndose una sinergia de conocimientos, experiencias y mejores prácticas que pueden en un futuro seguirse desarrollando con la aplicación de esta metodología en más proyectos.

Conclusiones

En esta tesis doctoral se ha buscado la forma de integrar las metodologías de Lean y Seis Sigma de forma estructurada, con la intención de que el resultado sea de utilidad para empresas PyMEs de cualquier giro dentro del estado de Tamaulipas en México.

El inicio de la tesis está enfocado en describir lo siguiente:

- Presentar de forma breve las bases sobre las que se sustentan las metodologías de Lean y Seis Sigma.
- Presentar las características de las PyMEs mexicanas y en especial las Tamaulipecas, así como su importancia para la economía de este país.
- Hacer un comparativo entre las metodologías en cuestión, estudiando de qué forma se diferencian, complementan e integran.
- Analizar las formas en las que una institución universitaria pudiera intervenir en el proceso de implementación de una metodología como la propuesta, considerándose los recursos humanos y tecnológicos que se necesitarán.

A continuación se presentan las principales conclusiones a las que se han llegado en este trabajo. Dado que por cada capítulo de esta tesis existen puntos a resaltar, enseguida se expondrán aquellos que se consideran más importantes, siguiendo el orden de desarrollo del trabajo. De igual forma, se presentan para cada hipótesis planteada en esta tesis sus resultados obtenidos.

- Seis Sigma es una metodología vigente y con potencial de crecimiento en su uso en las PyMEs como se ha documentado principalmente en Europa. **En México existe muy poca investigación sobre su uso en empresas que no son grandes**, sin embargo la cualidad de la metodología de poder convivir con ISO9000 y tener herramientas conocidas por la gente, hacen posible su uso en organizaciones en las que exista un **liderazgo** para ejecutarla, **una motivación para aprender** nuevas formas de mejorar y una voluntad para superarse mediante el **entrenamiento**.

- Por otra parte, Lean es muy importante para empresas con consolidado liderazgo a nivel mundial, **su práctica al igual que Seis Sigma tiene como fundamento el ciclo de mejora PDCA** desarrollado por Shewhart, solo que se enfoca más en la eliminación sistemática de actividades, áreas o elementos que no agregan valor a la organización. De acuerdo a lo investigado, a **Lean no se le distingue tanto en cuanto a si se aplica en empresas grandes o PyME**, puesto que su esencia recae en elementos visuales, de tiempo, de disciplina y de participación de la gente y no se requiere de conocimientos tan especializados u estadísticos como en Seis Sigma, por lo que la acentuación de la capacitación es más baja y de menor complejidad que en Seis Sigma.
- De acuerdo a lo investigado sobre las PyMEs Mexicanas, se puede resaltar que en general su **liderazgo es de tipo centralizado**, los procesos no son avanzados y las relaciones con clientes y proveedores no se da de manera tan efectiva, por otra parte las fuentes de información que utilizan nos indican que no tienen **procesos establecidos de mejora** en base a proyectos o indicadores.

En este punto, hacemos referencia a la primera hipótesis planteada al inicio del trabajo:

Las metodologías de Lean y Seis Sigma se pueden complementar para generar una metodología integral que se adapte a las necesidades de competitividad que tiene una PyME dentro del estado de Tamaulipas.

De esta forma, los resultados relacionados con la primera hipótesis son:

- Seis Sigma y Lean son metodologías que **se complementan**, ambas son enfocadas a los **requerimientos del cliente**, al ahorro en pesos reales y pueden ser utilizadas en ambientes externos al de la manufactura.
- No existe un conocimiento y aplicación importante de Lean y/o Seis Sigma en las PyMEs Tamaulipecas.
- No existe una metodología única para **integrar** Lean y Seis Sigma, los dos enfoques más comunes para integrarlas son el desplegar el **DMAIC** añadiendo herramienta Lean a través de cada fase, y el de aplicar primero Lean (eliminar desperdicios) para luego atacar las fuentes de variación (Seis Sigma).
- Partiendo del DMAIC se puede estructurar una metodología que **integre secuencialmente las herramientas más efectivas** y sencillas que son usadas

para Lean y Seis Sigma, teniendo de esta forma una propuesta para adaptarla a empresas con menos conocimientos y sistemas como las PyME.

- La primera aplicación de una metodología en 4 PyMEs Tamaulipecas incluye las etapas de **Diagnóstico, Planeación y proyección, definición detallada, traducción, análisis, estado futuro y estandarización y sesión**, y muestra resultados positivos en el marco de un **estudio de casos**.

Ahora, haciendo referencia a la segunda hipótesis planteada:

Las PyMEs Tamaulipecas podrían vincularse con instituciones académicas como el ITESM Campus Tampico, para aplicar la metodología integrada, generando con esto proyectos de beneficio económicos para las Pymes y de aprendizaje para ambas organizaciones.

Los resultados relacionados con esta hipótesis son:

- Las herramientas y conceptos de Lean y Seis Sigma se ven de manera aislada en diferentes periodos académicos de los planes de estudio de diversas universidades Norteamericanas y Mexicanas. Una curricula de Ingeniería Industrial como la del ITESM en donde existen asignaturas especializadas y con ejecución práctica de los temas de estas metodologías facilitó que el alumno tuviera el conocimiento y la experiencia para llevarlos a la práctica a través de proyectos de aplicación en la metodología propuesta.
- La Universidad requiere de profesores con experiencia en consultoría y con conocimientos equivalentes a un *Black Belt*, así como de alumnos capacitados en los temas de Lean y Seis Sigma. La curricula del ingeniero industrial del ITESM capacita al estudiante al sumar más de 200 horas de entrenamiento en temas directamente relacionados con las metodologías, siendo este número de horas igual o superior al entrenamiento que ofrecen empresas consultoras para certificar a personas como *Green o Black Belt*.
- La vinculación entre universidades como el ITESM Campus Tampico y las PyMEs Tamaulipecas facilita a éstas últimas el aprendizaje de metodologías para ser más competitivas, esto mediante la ejecución de proyectos con base en la metodología integrada propuesta en este trabajo, de otra forma la PyME no tiene más que la opción de invertir de su capital para pagar servicios

profesionales de consultores que ascenderían en promedio a los \$10,000 dólares en su compañía.

Dentro del contraste de esta segunda hipótesis se debe de tomando en cuenta que los estudios de caso posibilitan la profundidad de la investigación, de tal modo que se obtiene una mayor comprensión del fenómeno analizado y de cierta manera, la generalización es posible a partir de éstos si son realizados con rigor (Lukka y Kasanen, 1995 citado por Ayuso, 2004), podemos justificar a través de un procedimiento lógico e inductivo que la metodología integrada arrojo los siguientes beneficios:

- Los proyectos en donde se documentó la metodología propuesta a través del método de casos **cumplieron con su meta establecida**, generando un plan para controlar la mejora y viendo en este plan la posibilidad de tener más proyectos a futuro.
- El personal de las PyME que se involucró en la metodología **aprendió más de su empresa, de la metodología usada** y logro utilizar una nueva forma de resolver problemas.
- **El entrenamiento impartido fue adecuado** para afrontar éste u otros proyectos. **El uso del software contribuyó** a asimilar los conceptos estadísticos de la metodología y a que **cualquier persona con formación universitaria en ingeniería o negocios** pueda aprender la metodología.
- **La experiencia y participación en la empresa de profesores consultores y alumnos fue evaluada como positiva**, siendo sus **conocimientos**, ayuda y asesoría fundamentales para la aplicación de la metodología.
- **La metodología resultó ser económica y factible** para estas empresas PyME a pesar de tener giros diversos, y estar algunas ya certificadas o en proceso de hacerlo en sistemas de calidad como el ISO9000:2008.
- El equipo del proyecto integrado por **alumnos de la carrera de Ingeniería Industrial** del ITESM Campus Tampico tenía la formación en los temas presentados en la tabla 26. El balance de horas dedicadas promedio al proyecto para los alumnos fue de 16 horas semanales.
- Es necesario para el modelo que exista al menos **un integrante de la empresa participando** como miembro del equipo, siendo capacitado y teniendo **dedicación de 8 horas** en promedio a la semana para el proyecto.
- **El enfoque en procesos, el liderazgo, el enfoque en el cliente, el entrenamiento y la mejora continua** son considerados como factores críticos de éxito para la aplicación de la metodología (Tabla 37). Estos factores

resultan ser comunes a los mencionados por diversos autores que escribieron sobre factores críticos de éxito para la implementación de Seis Sigma en empresas de servicio (Chakrabarty y Kay, 2009), por lo que aquí se resaltaría la compatibilidad entre Lean y Seis Sigma como metodologías afines para aplicar en cualquier empresa.

Los 4 casos de estudio planteados fueron desarrollados con criterios de validez y fiabilidad, permitiendo analizar el comportamiento de la propuesta con la aplicación en PyMEs Tamaulipecas.

6.1 Líneas futuras de investigación.

De acuerdo a la temática de esta investigación se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Ampliar la aplicación de la metodología a PyMEs de otros estados de México, en donde el ITESM Campus Tampico tiene influencia tales como, Veracruz y San Luis Potosí.
- Ampliar la aplicación de la metodología a más PyMEs pero en otras zonas de México, esto a través de otros campus del sistema ITESM.
- La transferencia de la metodología hacia otras instituciones universitarias de México.

Bibliografía referenciada.

[1] Alukal, G (2003). "Create a Lean mean machine", Quality Progress, ASQ, April 2003
ASQ (2006). Certified Six Sigma Black Belt Body of Knowledge. Disponible en:
<http://www.asq.org/certification/six-Sigma/bok.html>. (Accesado en Mayo 2010).

[2] Antony, J (2008a). "What is the role of academic institutions for the future development of six Sigma?", *International Journal of productivity and performance Management*, Vol.57 No.1, pp.17-19.

[3] Antony J (2008b). "Can Six Sigma be effectively implemented in SMEs?". *International Journal of Productivity and Performance Management* Vol. 57 No. 5, 2008 pp. 420-423.

[4] Antony J, Escamilla J, Caine P (2003). *Lean Sigma*. Manufacturing Engineer. Abril/Mayo 2003, pp. 40-42.

[5] Antony J, Kumar M, Madu C.N. (2005a). "Six Sigma in small and medium sized UK manufacturing enterprises: some empirical observations", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 22 No. 8, pp. 860-74.

[6] Antony, Kumar, Labib (2008c). "Gearing six Sigma into UK manufacturing SMEs: an empirical assessment of critical success factors, implements, and viewpoints of six Sigma implementation in SMEs", *Journal of Operations Research Society(advance online publications, 25 july, doi:10.1057/palgrave.jors.2602437)*.

[7] Antony J, Kumar M, Tiwari M.K.(2005b). " An application of six Sigma methodology to reduce the engine overheating problem in an automotive company", *IMechE- Part B*, Vol.219, B8, pp 633-46.

[8] Anzola S (1993). "Administración de Pequeñas Empresas", Mc Graw- Hill, México, 1993.

[9] Ayuso Moya A. (2004). La elección de los modelos de costes de calidad: un Análisis Cualitativo. Tesis doctoral de la Facultad de Economía de la Universidad de Valencia, Departamento de Contabilidad.

[10] Barbosa E, Garcia V, Dzul L (2011). "¿Cómo mejorar la competitividad de las empresas Tamaulipecas?: Seis Sigma, una alternativa para las pequeñas y medianas empresas". *Ciencia UAT*, Vol. 19, Febrero 2011, pp 56-60.

[11] Basem E, Raid A.(2006). *Simulation-Bases Lean six Sigma and design for six Sigma*, John Wiley & Sons, inc, Hoboken, New Jersey

[12] Bevan H, Westwood N, Crowe R, O' Connor M (2005). "Lean six Sigma: some basic concepts", NHS Institute for Innovation and Improvement.

- [13] Blakeslee, Jerome A. Jr (1999). Implementing the six Sigma solution: How to achieve quantum leaps in quality and competitiveness. *Quality progress* 32(7): 77-85.
- [14] Bonacorsi, S (2005). Lean six Sigma integrated. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/9137567/Lean-Six-Sigma-Integrated>. (Accesado el: 25 marzo 2010).
- [15] Brett C, Queen, P (2005). "Management with Lean Six Sigma", *The Information Management Journal*, November/December, pp. 58-62.
- [16] Breyfogle, Cupello, Meadows (2000). *Managing six Sigma: A practical guide to understanding assessing, and implementing the strategy that yields bottom-line success*. John Wiley & Sons, inc, New York.
- [17] Brue G.(2006). *Six Sigma for small Business,CWL Publishing Enterprises, Madison, Wi.*
- [18] Cabeza, Luis V (2003). *Manuales de Diplomado de Manufactura Esbelta*. CSIM, ITESM, Campus Monterrey.
- [19] Chace R, Jacobs F, Aquilano N (2005). *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva*. Décima edición. México. McGraw-Hill. ISBN 9701044681.
- [20] Chakrabarty A, Kay T (2009). "An exploratory qualitative and quantitative analysis of six Sigma in service organizations in Singapore". *Management research News*. Vol 32, No 7, pp 614-632.
- [21] Chaud R (2008). "Zones of endurance, a primer to quality to improve business performance", *IIE magazine*, January 2008, pp. 32-36.
- [22] Copercini R (n.d). "Calculating Financial Impact of Lean Six Sigma Projects". Disponible en: http://www.isixSigma.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=334:&Itemid=49. (Accesado el: 13 de Junio 2011).
- [23] Dennis, Pascal (2002), "Lean production simplified: a Plain language guide to the world's most powerful production system", Productivity Press, Estados Unidos.
- [24] Dey, P (2002). *How to complement ISO 9000:2000 with Six Sigma*, iSix Sigma LLC, Disponible en: <http://isixSigma.com/library/content/c020211a.asp>. (Accesado el: 20 de mayo 2010).
- [25] Dgest (2004a). *Reticula de la Carrera de ingeniería industrial*. Disponible en: <http://www.dgest.gob.mx/images/areas/docencia01/ofertaeducativa/industrial/objetivo/rindustrial.pdf>. (Accesado el: 10 de Agosto 2010).

- [26] Dgest (2004b). Instituciones donde se imparte la Carrera de ingeniería Industrial. Disponible en: <http://www.dgest.gob.mx/licenciatura/ingenieria-industrial>. (Accesado el: 10 de Agosto 2010)
- [27] Dzul L (2009). Los costes de la calidad en el diseño de proyectos de construcción: Un enfoque de procesos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. España.
- [28] Eckes G (2001). *The Six Sigma revolution: How GE and Others turned process into profits*. 1era edición. Canadá. Jhon Wiley & Sons. ISBN:0-471-38822-X.
- [29] El financiero (2008). “Disminuye optimismo de crecimiento en PyMEs de México”, Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/ElFinanciero/Portal/cfpages/contentmgr.cfm?docId=181002&docTipo=1&orderBy=docid&sortby=ASC>. (Accesado en Febrero 2010)
- [30] Evans J, Lindsay W (2008). *The Management and control of quality*. Thomson south-western, Estados Unidos. Pp.508.
- [31] Ferrington P, Utley D, Harris G (2007). Integrating Lean and Six-Sigma into the Industrial Engineering Curriculum: An Engineering Management Perspective. Proceedings of the 2007 Industrial Engineering Research Conference G. Bayraksan, W. Lin, Y. Son, and R. Wysk, eds.
- [32] Fraser N (2009). “Lean six Sigma applied to a customer services process within a commercial finance organization”. *Management services*, Autumn 2009;53,3:ABI/INFORM Global.
- [33] Gutiérrez y de la Vara (2004). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. McGraw Hill, Mexico.
- [34] Harris B (2006). “Service with a smile, Lean solutions extend beyond the factory floor”, magazine, August 2006, pp. 40-44.
- [35] Harry M, Schroeder R (2000). *Six Sigma- The Breakthrough Management strategy revolutionizing the World's top Corporations*. Doubleday: New York, USA.
- [36] Henderson K, Evans J. (2000). “Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric Company”, *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 7 No. 4, pp. 260-81.
- [37] Hernandez R, Fernandez C, Baptista P (2002). *Metodología de la Investigación* (3a Edition), Alejandra Martinez, Mexico D.F., McGraw Hill Interamericana.

- [38] INEGI (2004). "Micro, pequeña, mediana empresa y gran empresa. Estratificación de los establecimientos". Disponible en: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/economicos/2004/industrial/estratifica2004.pdf. (Accesado el 10 de Agosto de 2011).
- [39] Ingle S, Roe W. (2002). "Black Belts save Motorola a billion", Strategic Direction, Vol. 18 No. 1, pp. 8-13.
- [40] Instituto Lean Sigma (n.d). " Why do we need Lean Sigma?". Disponible en: http://www.LeanSigmaInstitute.com/LeanSigma/index_LeanSigma.shtml (Accesado el 10 de febrero del 2010).
- [41] ITESM(2010a). Datos y Cifras. Disponible en: <http://www.itesm.edu/wps/wcm/connect/ITESM/Tecnologico+de+Monterrey/Nosotros/Que+es+el+Tecnologico+de+Monterrey/Datos+y+cifras/>. (Accesado el 3 de Marzo del 2010).
- [42] ITESM(2010b). Ingeniería Industrial y de sistemas. Disponible en: <http://www.itesm.edu/wps/wcm/connect/itesm/tecnologico+de+monterrey/carreras+profesionales/areas+de+estudio/ingenieria+y+ciencias/iis>. (Accesado el 3 de Marzo del 2010).
- [43] ITESM, BMG Group (2010). "Programas de certificación de Seis Sigma". Disponible: <http://6Sigma.mty.itesm.mx/6SigmaTEC.pdf>. (Accesado el 10 de enero 2010).
- [44] Jing G (2008). "A Comprehensive Comparison Between Lean And Six Sigma And A Tier-based Mutually Inclusive Integration Model". 2008 IIE Conference 05/21/08.
- [45] Keller P. (2005), "Does Six Sigma work in smaller companies?". Disponible en: www.qualityamerica.com/knowledgecente/articles/PAKSmallCompanySS.htm (Accesado el 24 de Julio de 2007).
- [46] Kumar M, Antony J, Hari S, Wang C. (2006a). "Evaluating the relationship between Six Sigma and organizational performance: a case study from a UK SME", paper presented at British Academy of Management Conference, 12-14 September, Belfast.
- [47] Kumar M, Antony J, Singh R.K, Tiwari, M.K, Perry D. (2006b). "Implementing the Lean Sigma framework in an Indian SME: a case study", Production Planning and Control, Vol. 17 No. 4, pp. 407-23.
- [48] Latuga M (2007). *Buscando la eficiencia*. Revista el economista. Ciudad de México. Publicado el 6 de Diciembre del 2007.

- [49] Liker Jeffrey (2004). The Toyota Way: 14 Management principles from the World's Gratest Manufacturer, McGraw-Hill, Estados Unidos.
- [50] Magnusson K, Kroslid D, Bergman B. (2003). Six Sigma – The Pragmatic Approach, Studentlitteratur, Lund.
- [51] Mantilla O (2009). "Lean Six Sigma Logistics: Metodología de desarrollo". Tesis presentada para obtener el grado de maestría en manufactura del ITESM Campus Monterrey. Monterrey, N.L. México
- [52] Marez I (2007). "Directriz conceptual para implementar un Sistema Integrado ISO 9001:2000, Seis Sigma y Premio Nacional de calidad Total en una PyME". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. España.
- [53] Martínez Carazo, Piedad C. (2006). El método de estudio de caso, estrategia metodológica de la investigación científica. Pensamiento y Gestión, núm. 20, Universidad del Norte, pp. 165-193.
- [54] Massachusetts Institute of Technology (2000). "Transitioning to a Lean Enterprise: A Guide for Leaders. Volume II Transition-to-Lean Roadmap". Disponible en: http://Lean.mit.edu/index.php?option=com_content&view=article&id=358&Itemid=316. (Accesado el 10 de febrero de 2010).
- [55] Massachusetts Institute of Technology (2004). "The Lean Enterprise Model Summary Chart With Enabling practices". Disponible en: http://Lean.mit.edu/index.php?option=com_content&view=article&id=349&Itemid=308. (Accesado el 10 de febrero del 2010).
- [56] Mercado H (1995). Administración de medianas y pequeñas empresas. Editorial Pac. México DF. ISBN-968-7534-60-5.
- [57] Minitab, Inc (2000). 3081 Enterprise Dr. State College, PA 16801, www.Minitab.com.
- [58] Montgomery, D.c. (1991). Introducción al control estadístico de calidad. Grupo editorial Iberoamerica. Estados Unidos. ISBN 0471808709.
- [59] Montgomery, D,C, (2004). Introduction to the Statistical Quality Control. Wiley, Estados Unidos.
- [60] Montgomery, D.C. (2005). "Generation III Six Sigma", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 21 No. 6, pp. iii-vii.
- [61] Moreno D, Hernandez A (2008). Lean six Sigma model based on axiomatic design. Disponible en: http://Lean.mit.edu/publications/search_result. (Accesado el 3 de Marzo del 2010).

- [62] Moya F, Guillen L, Martinez M (2009). Identificación de oportunidades estratégicas para el desarrollo del estado de Tamaulipas. FEMSA.
- [63] Nave D (2002). "How to compare six Sigma, Lean and the theory of constraints", Quality Progress, Vol. 35 No. 3, p. 73.
- [64] Observatorio PyME México (2002). Primer reporte de resultados. Disponible en: <http://www.economia.gob.mx/pics/p/p2760/ESTUDIOPYMESCIPI.pdf> (Accesado el 28 de Febrero del 2010).
- [65] Ohno T (1998), The Toyota Production System, Beyond large-scale Production, Productivity press, Estados Unidos.
- [66] Pande P, Neuman R, Cavanagh R. (2000). *The six Sigma Way: How GE, Motorola and other top companies are Honing their performance*, MCGraw-Hill Professional, New York, NY.
- [67] Pande P, Neuman R, Cavanagh R. (2002). Las claves de Seis Sigma: La implantación con éxito de una cultura que revoluciona en el mundo empresarial, MCGraw-Hill, México.
- [68] Pires (2008). "Do You Work for ISO or Does ISO Work for You?". Recuperado el 24 de octubre de 2008 del sitio: <http://www.orielinc.com/lib.article.view.cfm?RecordID=112>.
- [69] Prado F, Millar T (2003). La Situación de las PvME en la Región CAF, Corporación andina de Fomento, Dirección de instituciones financieras de desarrollo.
- [70] Promexico (2011). Los retos de las PyMEs dentro del comercio internacional. Disponible en: <http://www.promexico.gob.mx/comercio/retos-de-las-pymes-dentro-del-comercio-internacional.html>. (Accesado el 15 de agosto del 2011)
- [71] Pyzdek T (2000). *Six Sigma and Lean Production*. Quality Digest. January 2000, p. 14.
- [72] Redenbacher, Goeke (2007). "Six Sigma, value and competitive strategy", Quality Progress, ASQ, July 2007.
- [73] Rizzardo, David, Brooks, Rochard (2002). Understanding Lean Manufacturing. TES Tech Tips. En línea. Disponible en <http://tes.umd.edu/techtips/ttLean1.shtml>. 2002. (Accesado el 15 de junio 2010).
- [74] Robles V, Garza M, Medina J (2008). Liderazgo de los gerentes de las PYMES de Tamaulipas, México, mediante el inventario de las prácticas de liderazgo. Cuadernos de administración, enero-junio, Vol.28, numero 037, pp.293-310, Pontificia Universidad Javeriana.

[75]Rodríguez Valencia (1999). "Como administrar Pequeñas y medianas Empresas", ECAFSA, México, 1999.

[76]Scott D , Higle J (2009). FUSION in the classroom. *Industrial Engineer*; Aug 2009; 41, 8; ABI/INFORM Global pg. 39.

[77] Secretaría de economía Mexicana (2009). Observatorio PYME México. Disponible:<http://www.observatorioPyME.com/encuestas-y-estudios/cifras-de-PyMEs/> (Accesado el 12 de enero 2010).

[78] Shingo S (1989). *A study of the Toyota Production System from an industrial Engineering viewpoint*. Productivity Press, Estados Unidos.

[79] Sistema de información empresarial mexicano (SIEM ,2011). Estadísticas, Estado, Tipo, Rango de empleados. Disponible en: <http://www.siem.gob.mx/siem2008/estadisticas/EstadoTamanoPublico.asp?p=1>. (Accesado el 12 de Agosto del 2011).

[80]Sistemas de gestión de la calidad- requisitos (ISO9001:2008) / Instituto Mexicano de Normalización y Certificación.

[81] Snee, R.D.(2004). "Six Sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology", *International Journal of six Sigma and competitive Advantage*, Vol. 1 No. 1, pp. 4-20.

[82] Snee R.D. (2004b). "Weave six Sigma into the fabric of an organization", *Quality Progress*, Vol. 37 No. 9, pp. 69-72.

[83] Solís M (2007). Crean 300 mil PyMEs por año, pero cierran 11,500 industrias. Crónica, Recuperado el 10 de agosto del 2010 de, http://www.cronica.com.mx/nota.php/foro/zt/foro/nota.php?id_nota=236552.

[84] Soto, Dolan (2004). *Las PyMEs ante el reto del siglo XXI: Los nuevos mercados globales*. Editorial Thomson. México DF. ISBN 970-686-359-1.

[85] Srikantaiah S (2008). "A model of Lean – Sigma to enhance a manufacturing system through integrating Lean manufacturing and six Sigma approaches". Tesis presentada para la maestría en ciencias en la universidad de Texas en el Paso.

[86] Stephen M (2009). "TRIMMING WASTE? A GUIDE TO SIX SIGMA, LEAN, AND THE THEORY OF CONSTRAINTS", *Canadian Plastics*; Jan/Feb 2009; 67, 1; ABI/INFORM Global.

[87] Szeto, A.Y.T., Tsang, A.H.C. (2005). "Antecedents to successful implementation of SixSigma", *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, Vol. 1 No. 3, pp. 307-22. Thomson, L.D. (2001).

- [88] TBM (n.d). About LeanSigma. Disponible en:
<http://www.LeanSigma.com/about.php>. (Accesado el 5 de Marzo del 2010).
- [89] Thomas A, Barton R, Okafor Ch (2008). "Applying Lean six Sigma in a small engineering company – a model for change". *Journal of Manufacturing Technology Management* Vol. 20 No. 1, 2009 pp. 113-129.
- [90] Viliesid Careaga J.A (1980) .La investigación Tecnológica en el Desarrollo Industrial de México, UNAM, México, 1980, pp.28-31.
- [91] Watson G(2006). Industrial Engineering: Confluence of a Six Sigma Curricula. IIE Annual Conference. Proceedings:1-6.
- [92] Wessel G, Burcher P. (2004), "Six Sigma for small and medium-sized enterprises", *The TQM Magazine*, 16,4 ; ABI/INFORM Global pg 264.
- [93] Wheat B, Mills,Ch, Carnell M. (2003). *Leaning into Six Sigma*. New York, N.Y. : McGraw-Hill.
- [94] Womack J. (2006). "Value stream mapping", *Manufacturing Engineering*, May, pp. 145-56.
- [95] Womack J, Jones D. (1994). "From Lean production to the Lean enterprise", *Harvard Business Review*, Vol. 72 No. 2, pp. 93-103.
- [96] Womack, James P, Jones, Daniel T.(1996). *Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simón and Schuster.
- [97] Yin R. (1994). *Case Study Research/ Design and Methods*, Applied Social Research Methods. 2nd ed., Vol. 5 Newbury Park, CA: Sage.

Anexos

ANEXO I. Formatos resumidos de proyectos (casos de estudio).

Proyecto: Reducción de % de defectos en niple.

Fecha

Julio 2010

Antecedentes

- Contacto con la institución académica a través del CDP.
- Problemática en el área de producción.

Planeación y proyección

- Problema a atacar: "En líneas de producción durante las últimas Ordenes de producción se ha reportado gran número de defectos"
- Equipo de trabajo: Edgar Barbosa ITESM-consultor, Genaro Portales ITESM-alumno, Irelida Robles ITESM-alumno, Manuel Robles-Empresa

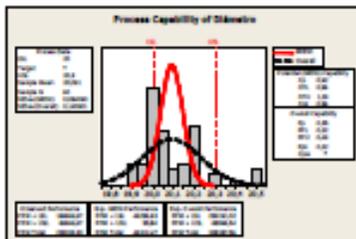
Definición detallada

- Meta: Reducir de 18 a 6% el porcentaje de niples defectuosos.
- Validación financiera: Beneficio en menor costo de rectificación, menos quejas.
- Entrenamiento: 4hrs programadas en la empresa.



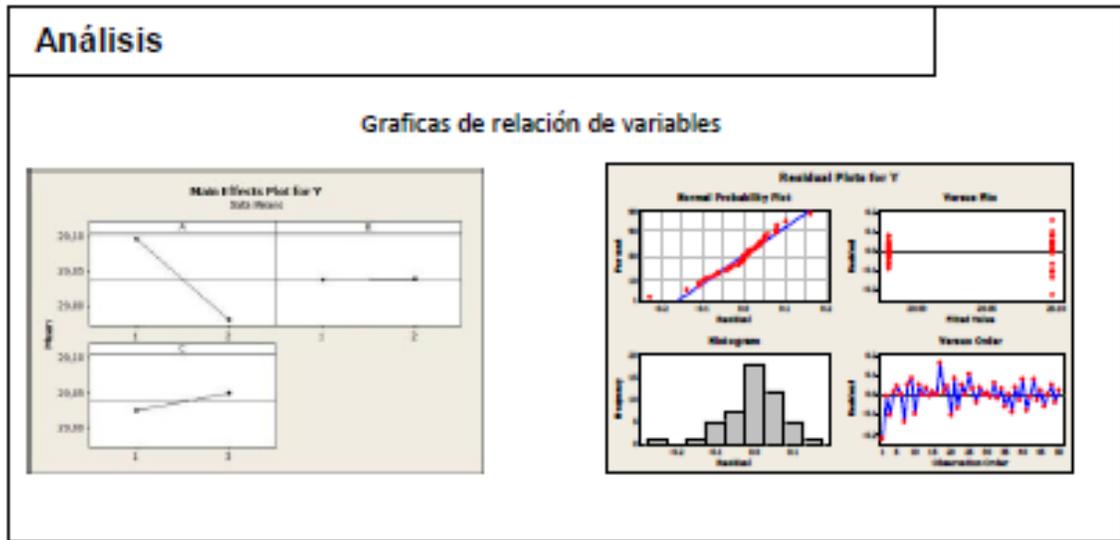
Traducción

Capacidad de proceso



AMEF

Item	Defecto	Defectos								
1	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	Defecto	1	1	1	1	1	1	1	1	1



Estandarización y sesión

Plan de control

PLAN DE CONTROL

Página: 1 de 1
 Inicio: 15:00:00
 Final: 15:00:00

Nombre del Proceso:	Fabricación de Niple 20	Elaborado por:	Diego Portales Carvajal
Cliente:	Interco	Aprobado por:	
Lugar:	Talca	Aprobado por:	
Area:	Manufactura		

Fecha	Variable a controlar	Método de control	Método de medición	Tamaño muestra	Frecuencia	Responsable
	Calibración del instrumento	Exactitud de la medición	Indicador de calibración	Gráfica de control	20 Mensual	Ingeniería
	Verificación del Grosor de la punta	Diámetro de la punta	Medición del diámetro	Gráfica de control	10 Diaria	Supervisor
	Temperatura de la soldadura	Temperatura 6-20	Sensor de temperatura	Gráfica de control	10 Diaria	Supervisor

Antecedentes

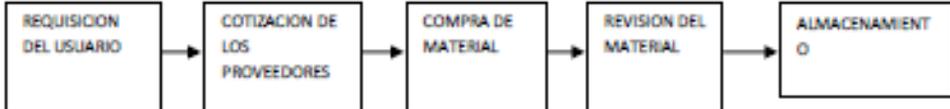
-Contacto con la institución académica a través del CDP.
 -La empresa detecta problemática de calidad que tienen que ver con su personal y decide pedir ayuda .

Planeación y proyección

-Problema a atacar: " es reducir los costos de mano de obra que se generan por no tener disponible el material del producto a fabricar "
 -Equipo de trabajo: Edgar Barbosa ITESM-consultor, David Fraustro ITESM-alumno, Salvador Galvan ITESM-alumno, Roque Alvarado-Empresa

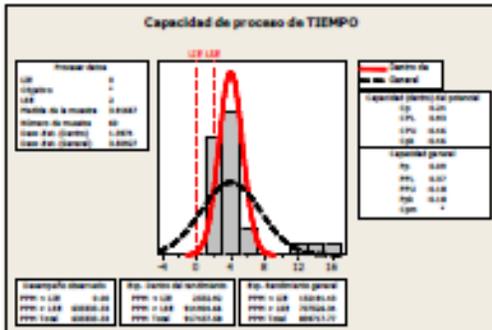
Definición detallada

-Meta: La meta principal del proyecto es reducir los costos de mano de obra que se generan por no tener disponible el material del producto a fabricar.
 -Validación financiera: Beneficio en menor tiempo de entrega, menor costo por reducción de inventario.



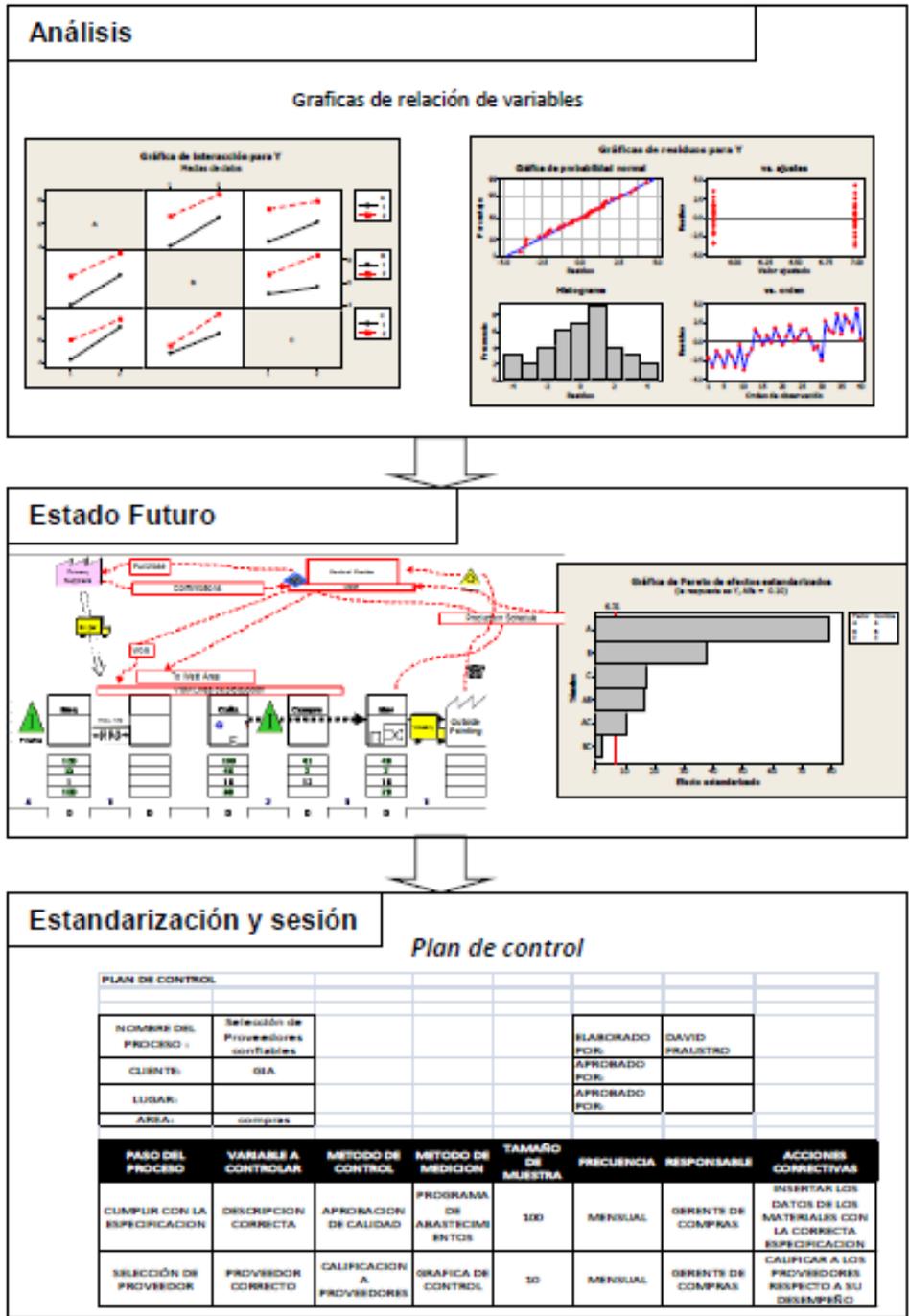
Traducción

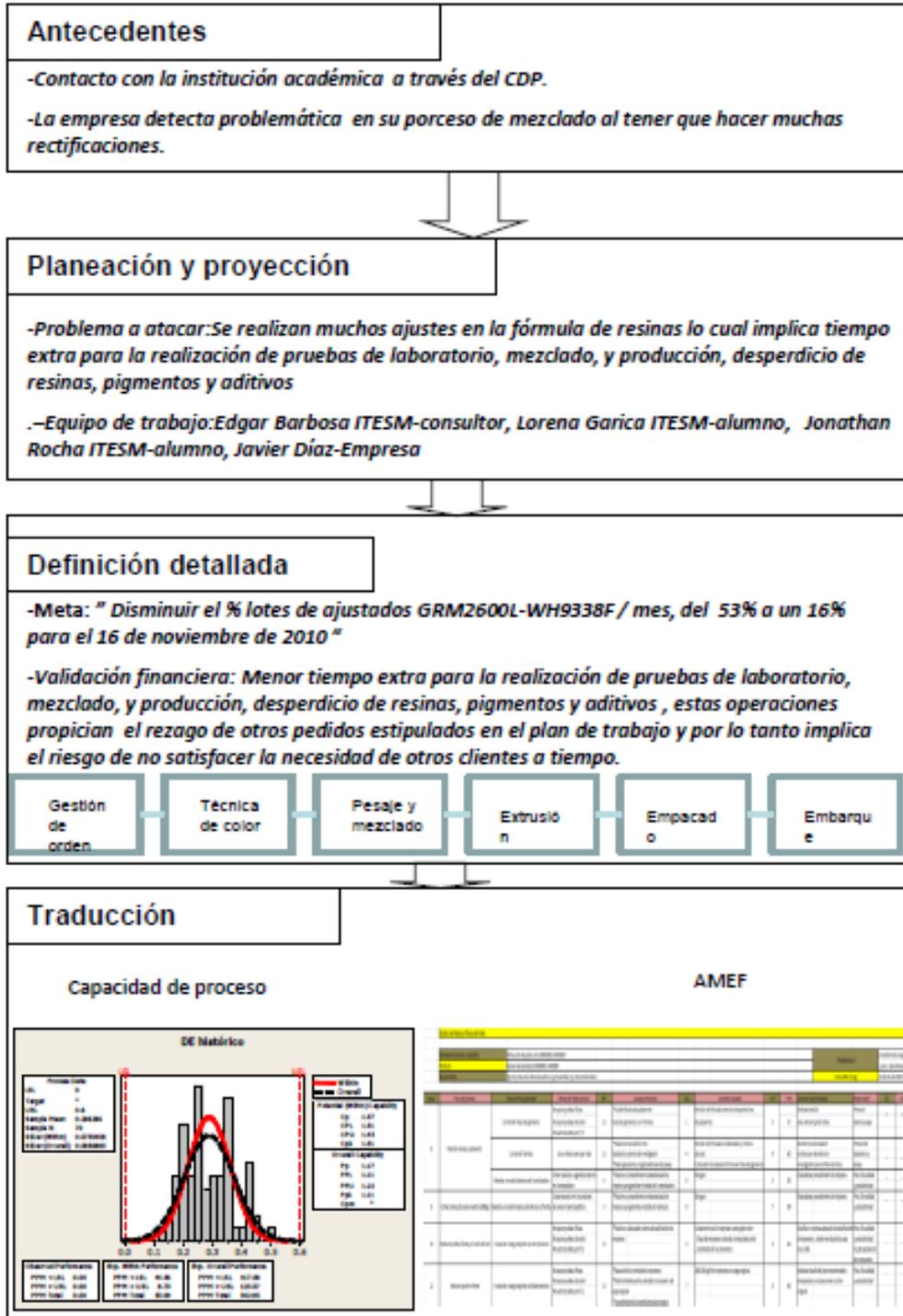
Capacidad de proceso

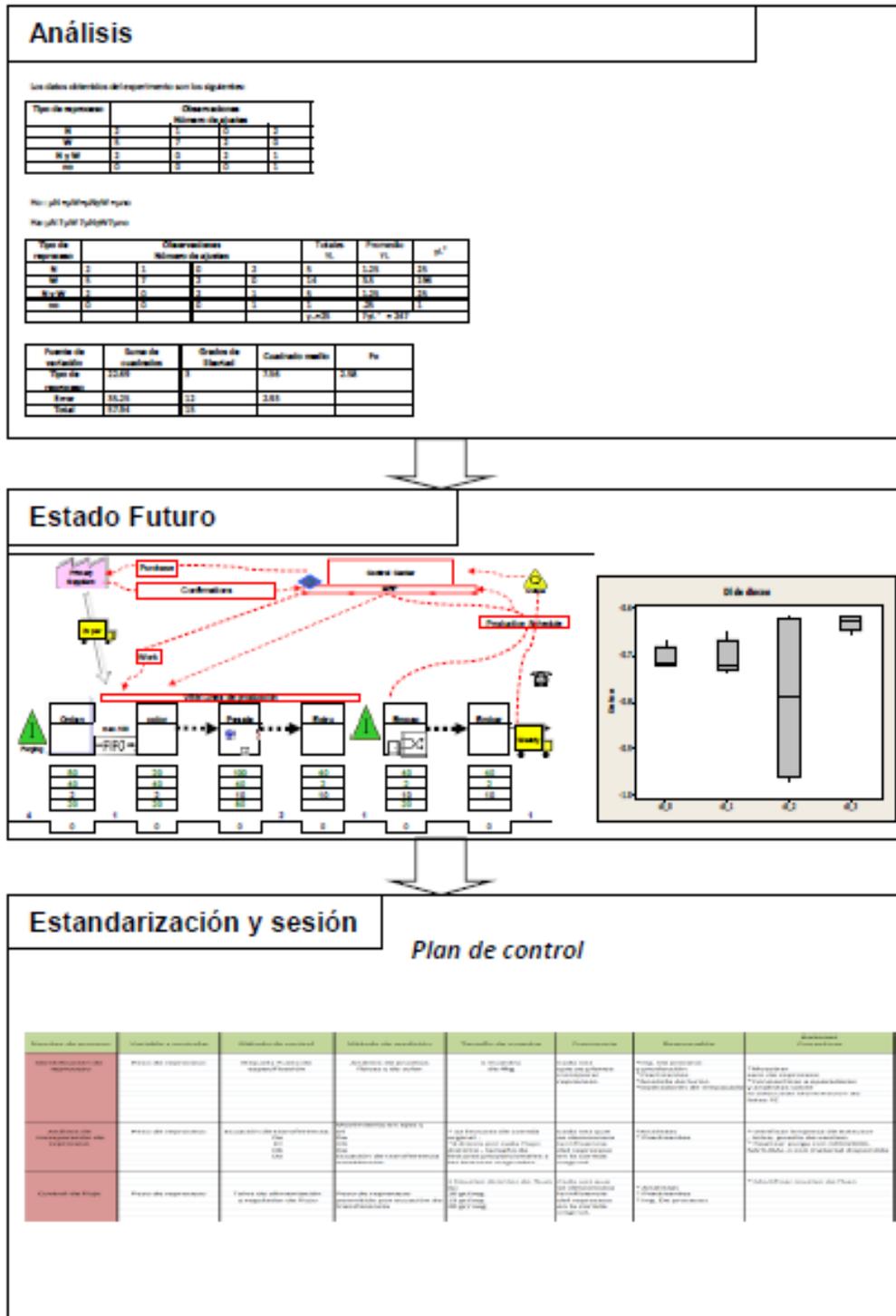


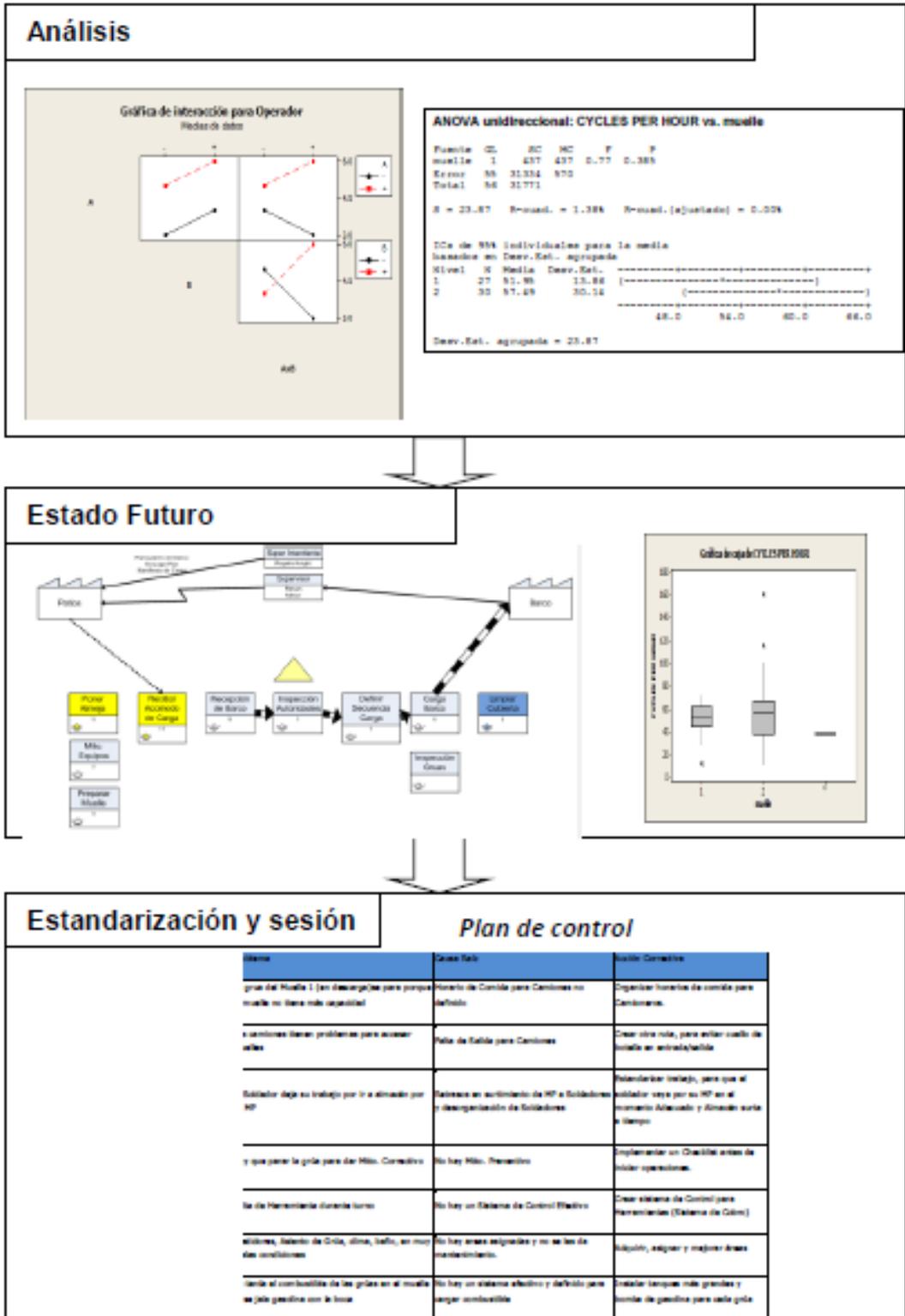
AMEF

Proceso	Proceso de tiempo	Proceso de proveedor	Proceso general	Proceso de tiempo	Proceso de proveedor	Proceso general
REQUISICION DEL USUARIO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
COTIZACION DE LOS PROVEEDORES	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
COMPRA DE MATERIAL	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
REVISION DEL MATERIAL	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ALMACENAMIENTO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000









ANEXO II. Guía para la puesta en práctica de proyectos tipo Seis Sigma en empresas PyME.

Guía para la puesta en práctica de proyectos tipo Seis Sigma en empresas PyME



**Ing. Edgar Alejandro Barbosa Saucedo
Enero 2010**

INDICE

Prefacio, Seis Sigma-introducción	191
<i>Breve historia de Seis Sigma</i>	196
Beneficios de Seis Sigma	197
Cual es la estructura que tiene Seis Sigma	198
Actores principales en Seis Sigma	199
Algunos conceptos básicos	201
La metodología Seis Sigma- Definir	205
Hoja de autorización del proyecto	207
Contexto del proyecto	208
Métricos del proyecto	208
Gráfica de series de tiempo	211
Definición del problema	211
Declaración de objetivo, mapa del proceso macro	211
Estimados financieros, equipo de trabajo	212
Cronograma para la realización del proyecto	213
MEDICIÓN	214
Análisis del sistema de medición	215
Medición por atributos	215
Medición de variables	218
Estimación de capacidad	222
Análisis de la capacidad del proceso	224
Pasos para el cálculo de la capacidad	226
Diagrama de flujo de procesos	227
Mapa detallado	231
Diagrama causa y efecto	233
Matriz causa y efecto	234
AMEF	235
ANALISIS	237
Definición de variables	237
Análisis exploratorio por variable	238
Graphical Summary	239
Scatterplot o diagram de dispersion	239
Marginal plot	244
Box plot with groups	245
Interval plot with groups	247
Individual value pots with groups	248
Análisis exploratorio multivariable	249
Diagrama o grafico de efectos principales	249
Gráfico de interacciones.	250
Multi var Chart	251
Hipótesis de investigación	252

Pruebas de hipótesis para medias	255
Prueba estadístico Z	256
Prueba T de una muestra con varianza desconocida	258
Prueba T para dos muestras	259
Prueba de hipótesis para varianzas	262
Prueba para comparar dos varianzas	265
Prueba para comparar múltiples varianzas	266
INCREMENTO	268
Introducción al diseño de experimentos	269
Guía para diseñar un experimento	276
Como se hace en la práctica un experimento	277
ANOVA	277
Factores completos	283
CONTROL	286
Plan de control	287
Introducción a los gráficos de control	288
Gráficos de control por variables X-R	290
Gráficos de atributos, Grafico C	296
Actualización de AMEF	298
Plan de transición	299
Documentación del proyecto	300
Conclusiones y bibliografía	305

PREFACIO

Algunos de los expertos o gurúes contemporáneos en áreas de calidad, mejora continua e ingeniería hablan de Seis Sigma como herramienta, metodología o filosofía según se puede notar en diferentes publicaciones o entrevistas con gente de la industria pública o privada, en lo particular me gustaría referirme en este manual a Seis Sigma como una estrategia de innovación, fundamentando esto en que en nuestros días realmente para las organizaciones que lo aplican a cabalidad se ha convertido en un arma para subsistir y ser competitivos, por lo que se convierte en una estrategia para muchas de ellas que tratan de alinear con su misión para de esta manera buscar bienestar y crecimiento.

Lo cierto es que Seis Sigma llámese como se le llame es un fenómeno comenzó a finales de los 80's en la empresa Motorola y de ahí a nuestros días se le ha ido reinventando para tratar de sacar el máximo provecho de su sólida estructura metodológica orientada a datos y hechos.

Con este manual no se pretende descubrir los secretos ocultos de Seis Sigma, sino que tiene la firme intención de ser el punto de partida de aprendizaje sobre éste tema para un lector potencial que es principiante en el mismo. Para complementar este conocimiento se pondrán a disposición del lector:

- Una introducción al tema de Seis Sigma en donde el lector pueda ver de dónde parte esta estrategia y como ha ido evolucionando.
- Una descripción clara de las etapas características de un despliegue Seis Sigma (DMAIC).
- Una introducción de las principales herramientas utilizadas en Seis Sigma.
- Formatos que ayudan en la documentación de un proyecto tipo Seis Sigma.

SEIS SIGMA-INTRODUCCIÓN

Objetivos:

- Demostrar la necesidad de Seis Sigma
- Definir el significado de la calidad Seis Sigma
- Beneficios de Seis Sigma
- Definir conceptos clave:

*El cliente es el rey

*Defectos y defectuosos

* $Y=f(x)$

La mejora es crítica para la supervivencia, en todo el mundo los estándares de calidad y productividad están cambiando. La supervivencia depende del mejoramiento continuo.

La clave para ser el mejor en lo que hace es mejorar más rápidamente que los cambios de los costos y de la demanda de servicios.

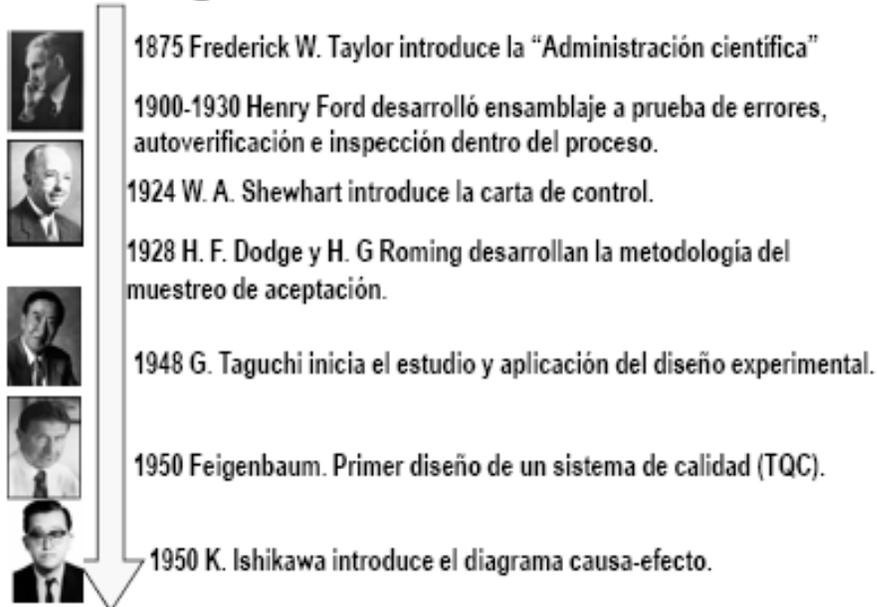
La mejora debe ser en todas las áreas: planeación, diseño y ejecución. Conseguir ser el mejor, rápidamente proporcionará una ventaja continua sobre la competencia.

Para entrar en materia debemos definir lo que es calidad ya que de ahí se desprende la necesidad de Seis Sigma. A continuación se presentan algunas definiciones así como una breve historia de la calidad.

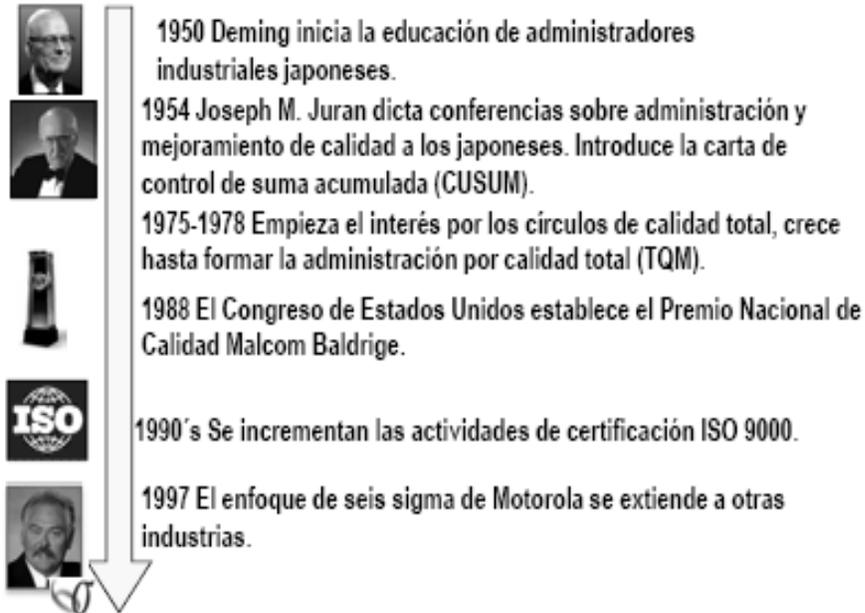
**Calidad es en esencia una forma de administrar la organización. (A.FEIGENBAUM)*

**Es el grado en el cual un grupo de características inherentes cumplen requerimientos(ISO 9000)*

Cronología de autores de la calidad



Cronología de autores de la calidad



¿Qué tiene que ver la calidad con 6 Sigma?

Como letra σ representa la 18 va. letra del alfabeto Griego y más específicamente para nuestros fines de estudio un símbolo con el que mundialmente se identifica el concepto de “variación”.

Esta simple letra simboliza en estadística la llamada desviación estándar, misma que es un parámetro que ayuda al estadista a conocer como se distribuyen una serie de datos o cual es la “ variación” que tienen los mismos con respecto a un valor referente llamado “media o promedio”.

Para el concepto al que queremos llegar entonces, ¿Que representa 6 Sigma, es decir 6 veces esa letra o desviación estándar?.

Como métrica esas Seis Sigmas representan: Una medida de calidad que entre más grande es mejor, en donde en escala del 1 al 6, el Seis Sigma representa en términos de números tener 3.4 defectos en un millón de oportunidades para cometerlos. Si tuviéramos un libro cuyo contenido estuviera compuesto por un millón de palabras y habiendo definiendo como error una palabra mal escrita, si revisando su impresión encontramos 4 palabras mal escritas de ese millón entonces estaríamos en presencia de un libro que se adapta al riguroso estándar de Seis Sigma.

Para describir mejor este ejemplo y relacionar los defectos con la Sigma vea la siguiente tabla:

Nivel Sigma	Ortografía	Tiempo
3	1.5 palabras mal escritas por página por libro	3.5 meses por siglo
4	1 palabra mal escrita por cada 30 páginas por libro	2.5 días por siglo
5	1 palabra mal escrita cada juego de enciclopedias	30 minutos por siglo
6	1 palabra mal escrita por una pequeña biblioteca	6 segundos por siglo

6 Sigma tiene 20,000 veces menos defectos que un 3 Sigma por ejemplo

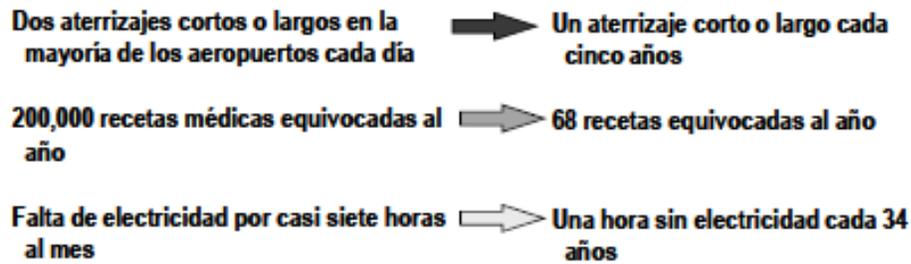
Para ponerlo de otra manera relacionaremos el número de defectos en un proceso cualquiera con su respectivo nivel Sigma que le correspondería:

Nivel Sigma	Defectos por millón de oportunidades
2	308537
3	66807
4	6210
5	233
6	3.4

El estandar en la industria manufacturera actual es de 3.5 Sigma

Significado de 6 sigma en la práctica

99% Bueno (3.8 Sigma)	99.99966% Bueno (6 Sigma)
20,000 artículos de correo perdidos por hora	➔ Siete artículos perdidos por hora
Tomar agua insalubre por casi 15 minutos diariamente	➔ Un minuto inseguro cada siete meses
5,000 intervenciones quirúrgicas incorrectas a la semana	➔ 1.7 operaciones incorrectas por semana



Como metodología: Es una estrategia enfocada a disminuir la variación en los procesos, de tal manera que los productos o servicios que emanan de esos procesos sean cada vez mejores y la empresa sea por ende más competitiva. La metodología empleada se le denomina por sus letras de inicio en cada etapa el DMAIC.

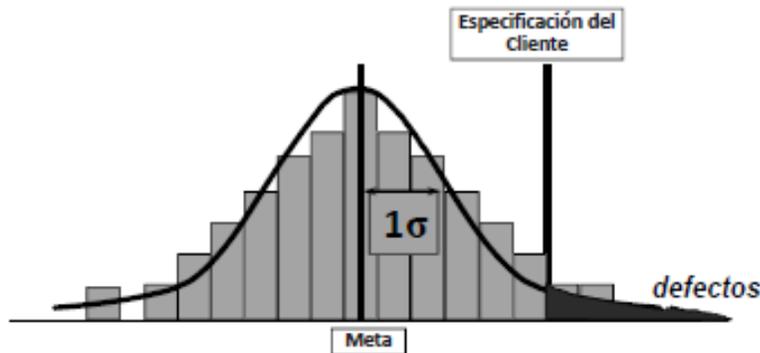
Otras definiciones de Seis Sigma son:

Seis Sigma es un esfuerzo para posicionar a una empresa de manera que satisfaga mejor a los clientes y hacerla más productiva y competitiva. (Las claves de Seis Sigma, Pande, 2002).

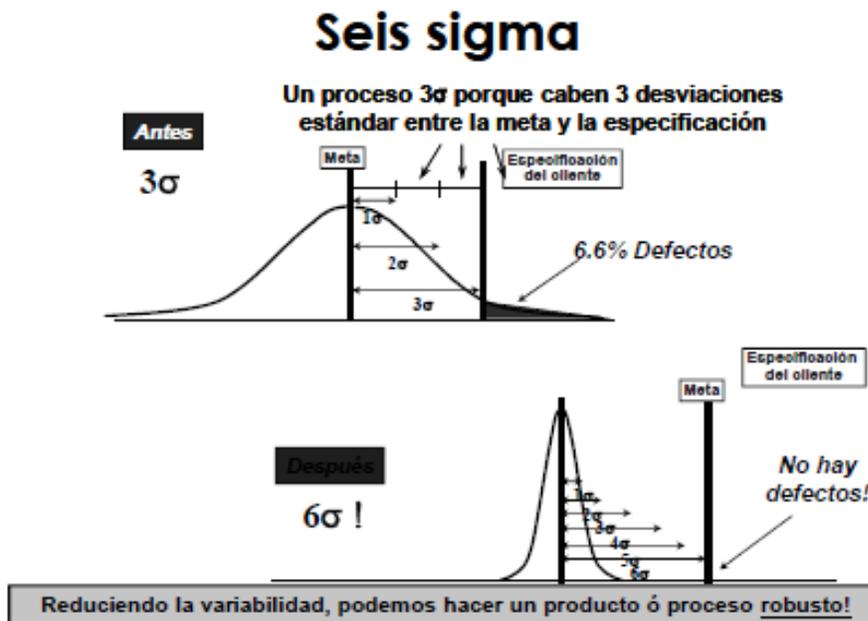
Seis Sigma es un sistema completo y flexible para conseguir, mantener y maximizar el éxito en los negocios. Funciona especialmente gracias a una comprensión total de las necesidades del cliente, del uso disciplinado del análisis de los hechos y datos, de la atención constante a la gestión, mejora y reinención de los procesos empresariales. (Las claves de Seis Sigma, Pande, 2002).

COMO LO PODEMOS REPRESENTAR DE MANERA GRAFICA

Todas las actividades del ser humano tienen variabilidad...



Reducir variabilidad es la esencia de Seis Sigma



BREVE HISTORIA DE SEIS SIGMA

En resumen podemos describir la historia del surgimiento de Seis Sigma de manera cronológica como sigue:

1987: El CEO de Motorola declara que van a estar en Seis Sigma para 1992 (meta de 5 años).

1988: Se forma el consorcio original de Seis Sigma con empresas como Motorola, Raytheon, ABB, CDI, Kodak.

1989/1990: IBM, DEC prueban Seis Sigma y fracasan.

1993: Larry Bossidy de Allied Signal adopta un Nuevo enfoque para Seis Sigma: Black Belt dedicados con una infraestructura de soporte.

1995: Jack Welch de GE adopta Seis Sigma.

1996/1997: La implantación de Seis Sigma comienza en masa al ver los éxitos de GE y Allied signal.

- Siebe, Bombardier, Whirlpool, Navistar, Gencorp, Lockheed Martin, Polaroid, Sony, Nokia, John Deere.

1997/1998: el número de compañías Seis Sigma crece rápidamente.

- Siemens, BBA, Seagate, Compaq, PACCAR, Toshiba, McKesson, AmEx etc.

1999: Se empieza a ver un crecimiento exponencial. ASQ empieza a ofrecer cursos de entrenamiento.

En el caso de México en nuestros días ya hay empresas sobre todo del ramo industrial que han implementado esta filosofía. Dentro de las más importantes encontramos a las siguientes:

- Galvacer
- GAMESA
- VITRO
- CEMEX
- CFE
- GRUPO IMSA
- SIGMA ALIMENTOS
- METALSA
- CONDUCTORES DE MONTERREY
- COPA MEX
- FEMSA
- TELMEX
- BANAMEX

Estas son solo algunas de las empresas de capital Mexicano que le siguen apostando a Seis Sigma como parte importante de su visión de ahorro y mejora continua.

Beneficios de Seis Sigma

Típicamente desde que se conceptualizó la metodología se ha enfocado en la reducción de defectos, es por eso que se le liga estrechamente como un esfuerzo en pro de la calidad en los procesos que traerán productos y servicios mejores para los clientes. Por lo tanto tenemos que poner como el número uno en la lista de beneficios a la reducción de defectos.

Un defecto como tal es algo indeseado por cualquiera ya sea en un proceso productivo, transaccional (servicios principalmente) o simplemente en la vida cotidiana de cualquier individuo. Al cometer errores o tener un defecto en algo se le asocia otro concepto del cual Seis Sigma está ligado, los costos.

Los costos son una de las variables que comúnmente se monitorea en las empresas, junto con la calidad y tiempo de entrega típicamente se identifica al costo como un pilar a mantener en forma en el negocio para ser competitivo y sobrevivir los embates de la competencia. Seis Sigma como estrategia parte de la idea de hacer mayores las ganancias o hacer menores los costos que estén presente en la compañía.

No debemos perder de vista que de acuerdo a los ejemplos de empresas antes señaladas el éxito en la implementación de esta estrategia es de cuánto dinero ahorraras haciendo proyectos o desplegando del DMAIC, por lo que Seis Sigma está orientada de manera directa o indirecta a la reducción significativa de costos, con esto se deja claro que no cualquier proyecto o problema se va a resolver con Seis

Sigma, ya que para esto se tiene que hacer un estudio que indique que es conveniente para la empresa llevar a cabo este esfuerzo, más adelante hablaremos de los recursos que típicamente son necesarios para un proyecto de naturaleza Seis Sigma.

Dentro de la misma línea de los beneficios que tiene la implementación de Seis Sigma en una empresa no se debe perder de vista que las organizaciones existen y subsisten para satisfacer las necesidades de sus clientes, por lo que los esfuerzos con Seis Sigma nunca deben de perder el enfoque de que se tiene que tener un beneficio internamente en la organización que se vea reflejado en la satisfacción de clientes actuales y potenciales.

Otros de los beneficios que a primera instancia no parecen tangibles pero que a la larga dan dividendos a la empresa son el cambio de cultura de calidad que se crea y la fuerza de trabajo más capacitada, estos generan una dinámica de crecimiento para el principal activo de la empresa "su personal" ya que el permearse Seis Sigma en su estructura el lenguaje de estadística, ahorros, datos y demás se vuelve habitual y motiva a una cultura de calidad creciente en la organización.

Algunos otros beneficios no menos importante son la reducción de tiempos de ciclo en procesos, estandarización de procesos el trabajar con procesos más predecibles y por ende más fáciles de manejar en caso de anomalías o cambios.

CUAL ES LA ESTRUCTURA QUE TIENE SEIS SIGMA

Seis Sigma es una estrategia de innovación que como cualquier otra iniciativa en una empresa necesita estar sustentada por recursos que hagan que la iniciativa sea implementada y pueda ser vigilada para que perdure y pueda dar los resultados que se esperan. Para esto es necesario tener una estructura sólida que empiece con los directivos de la organización, con esto me refiero a que los primeros que tienen que estar convencidos y luego comprometidos con la estrategia son las personas que por su posición toman las decisiones en la empresa en cuanto a asignación de recursos y en general definen o norman la operación diaria del negocio.

Estos llamados directivos, gerentes o altos ejecutivos deben ser los primeros en conocer desde que representa Seis Sigma hasta sus beneficios potenciales, limitantes y recursos que se necesitarán para su despliegue en una empresa como la que tienen en sus manos.

Los accionistas o consejos de administración que tienen representatividad en la empresa también deben estar inmersos en el proceso de conocimiento de la estrategia ya que se necesita un consenso de todos estos actores en la empresa para poder arrancar con fuerza algo como Seis Sigma.

La alta dirección debe de identificar las siguientes responsabilidades para dar inicio en el proceso de lo que representa Seis Sigma:

- 1-Deben estar convencidos del como Seis Sigma le va a ayudar a su empresa ya que ellos serán los primeros y principales promotores del cambio que esta estrategia representa para todos en la empresa. Por ello las razones que deben tener para sustentar estos cambios deben ser de fondo, cuestiones alineadas con la misión, visión y valores de la compañía no se deben de

perder de vista ya que Seis Sigma vendrá a apoyar estas políticas y estatutos y no a debilitarlos.

2-Deben participar en la implantación. Claro que ellos no serán propiamente los operadores pero si los gestores de cambio, por lo que delegarán en un equipo Seis Sigma del que discutiremos en paginas siguientes.

3-Deben estar disponibles para participar en los proyectos de Seis Sigma sobre todo en un inicio en que el despliegue puede ser lento o poco entendido. Los ejecutivos o directivos incluso pudieran recibir bonificaciones o parte de su sueldo de acuerdo a el beneficio de los proyectos que hayan liderado, es decir un directivo puede recibir un 10 o 20 % de su sueldo de acuerdo al beneficio neto que un proyecto terminado de a la empresa. Esto ha sido puesto en marcha en compañías como General Electric y ha demostrado ser de utilidad.

4-Debe vigilar y asegurarse que los resultados de los proyectos sean reales y se cumplan. Dichos resultados en Seis Sigma tienen la ventaja de estar siempre ligados a beneficios económicos para la empresa, por lo que mejoras en la calidad, tiempo de entrega del producto deben ser trasladados a términos monetarios para ver el impacto real del proyecto. Cabe recalcar que un proyecto Seis Sigma debe ser relevante para ser llevado a cabo no es solo cuestión de verle a todo movimiento o cambio en alguna parte de la empresa cara de proyecto Seis Sigma, ya que éste demanda recursos que deben ser justificados para su uso.

5-Los resultados y problemas que se hayan tenido en los proyectos deben ser dados a conocer. Esto es parte del aprendizaje que van a ir adquiriendo en la organización y es recomendable que todo proyecto esté bien documentado, reportando no solo lo que funciono sin problemas sino el cómo se le hizo para resolver situaciones presentadas que pudieron impedir el avance del proyecto. Se recomienda crear una base de datos con los proyectos para que el personal autorizado de la empresa pueda verlos y aprender de los mismos, sin que necesariamente estén físicamente los autores de dicho proyecto presentes o trabajando si quiera en la compañía.

ACTORES PRINCIPALES EN SEIS SIGMA

Por supuesto que los directivos de la empresa no van a hacer los proyectos solos. Seis Sigma es una labor de equipo y como tal se tiene que entender de que todos deben colaborar a medida de sus tiempos y capacidades, para ello Seis Sigma contempla una serie de roles recomendados para poder administrar los proyectos de forma adecuada.

Champions

Son los líderes del negocio, encargados de fijar metas y seleccionar proyectos. Están completamente entrenados y facilitan la labor de los Black Belt al ser los que gestionan recursos para el proyecto.

Master Black Belt

Apoyan en la definición y selección de proyectos. Son los gurúes de six Sigma y están para brindar apoyo en la implementación o herramientas específicas que requieran los Black Belts.

Black Belt

Son los líderes de los proyectos, entrenan a los miembros de equipos, capacitado ampliamente en Seis Sigma.

Green Belt

Individuos con entrenamiento Seis Sigma que dan soporte a los equipos y aceleran el despliegue del proyecto.

Miembros de equipo

Trabajan específicamente en tareas del proyecto, son gente que trabaja en el área en donde se realiza el proyecto y aporta su experiencia en el mismo.

Todos los mencionados anteriormente tienen entrenamiento que puede ir desde 40 hasta más de 200 horas en herramientas estadísticas, trabajo en equipo, despliegue de la metodología entre otros temas.

Un beneficio muy importante de este entrenamiento es que en la empresa se empieza a permear el mismo lenguaje, y cosas como mejora de calidad, procesos, mejora continua, variación y otros términos son comúnmente escuchados en los pasillos o áreas de trabajo y no solo en los típicos departamentos o áreas encargadas en monitorear la calidad del producto.

La estructura de los roles o elementos que participan en Seis Sigma es importante que se defina claramente. El negocio debe saber quiénes van a ser capacitados como Green Belts, Black Belts y si será necesario por su tamaño y recursos disponibles contar con un master Black Belt.

En compañías grandes en donde se despliega Seis Sigma como estrategia de innovación se contempla que un Black Belt esté de tiempo completo en esta labor, es decir no debe de tener un doble rol en la empresa, y estar dedicado a las labores de entrenamiento y liderazgo de equipos Seis Sigma.

Los Black Belts y Green Belts deben ser seleccionados cuidadosamente, ya que estas personas serán sometidas a capacitación y guiarán los proyectos Seis Sigma. Deben ser personas comprometidas con el negocio, gente que lo entienda y tenga una buena visión del mismo.

Típicamente se estima que debe existir entre un 1 y un 3% de empleados dedicados a las labores que estos roles en Seis Sigma demandan.

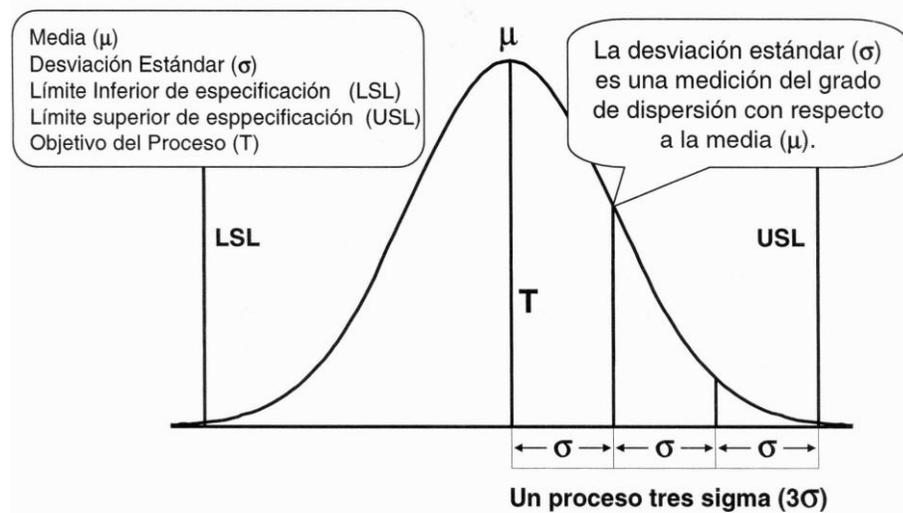
ALGUNOS CONCEPTOS BASICOS

Los siguientes conceptos son básicos para poder tener un contexto de lo que es Seis Sigma y como funciona.

- Variación

Medida como desviación estándar o nivel de Sigma.

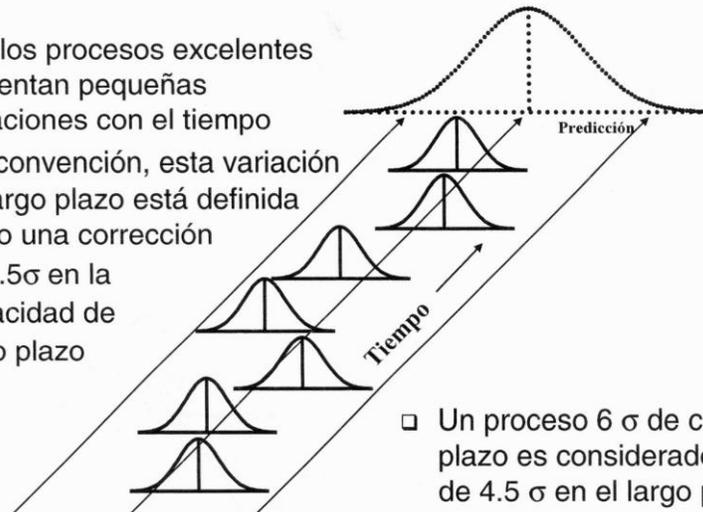
Sigma es una medida de la variación y la calidad



- Largo y corto plazo:

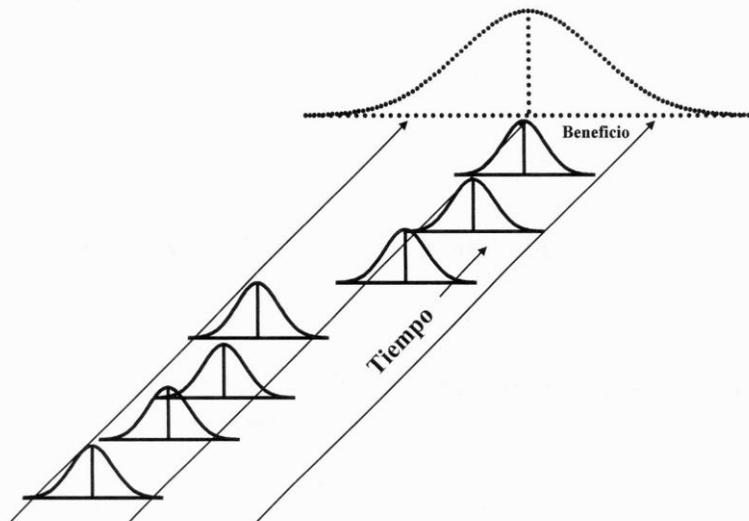
Largo Plazo Vs. Corto Plazo

- Aún los procesos excelentes presentan pequeñas variaciones con el tiempo
- Por convención, esta variación de largo plazo está definida como una corrección de 1.5σ en la capacidad de corto plazo



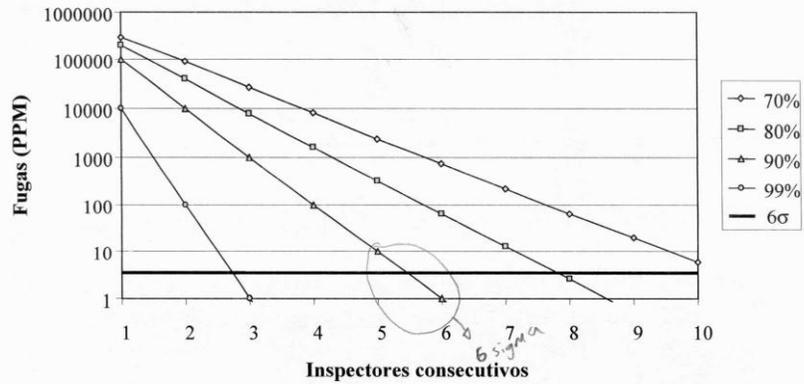
- Un proceso 6σ de corto plazo es considerado como de 4.5σ en el largo plazo.

Desplazamiento del Proceso



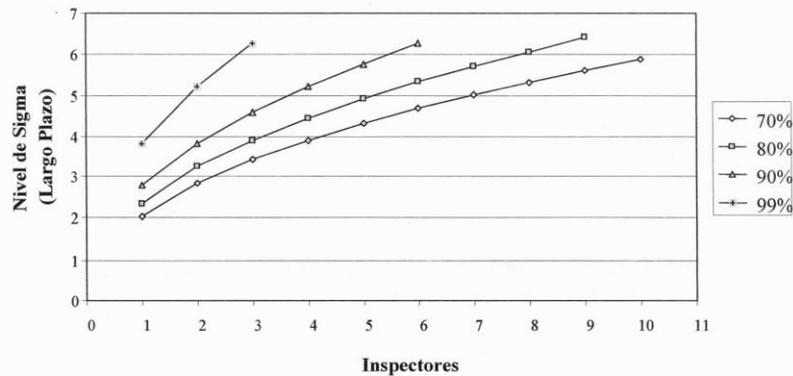
- Inspección:

¿Es la inspección una respuesta?



- Con una eficiencia de 90% en la inspección, se requieren cinco inspectores consecutivos para reducir los defectos a 10 ppm.

Nivel de Inspección Sigma



- Con una eficiencia de 90%, se requieren seis inspectores para lograr un nivel de calidad de Seis Sigma.

De acuerdo a las gráficas vemos que la inspección no es la solución para llegar a un nivel de 6 Sigma ya que se requiere gastar mucho en éste rubro.

- El enfoque Seis Sigma $Y=f(x)$
 La mayoría de las actividades de Seis Sigma están enfocadas a establecer la ecuación de definición para el proceso de interés. Una vez que esta ecuación se determina y se entiende, el proceso puede ser redireccionado y la variación puede ser reducida y controlada para una mejora de impacto.
 Para poder entender la ecuación podemos decir que:

*Sentido común:

Las salidas (efectos en el proceso) están en función o dependen de las entradas (factores o variables dentro del proceso).

*La magia:

Debemos en base a esto saber cuáles son esas entradas que están afectando de manera significativa al proceso.

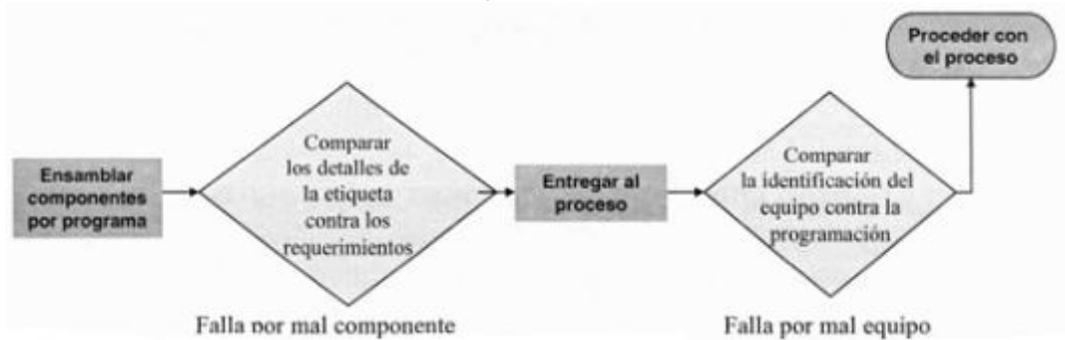
Debemos también definir cuál es la relación entre salida (Y) y las entradas (X's).

*Procesos Seis Sigma:

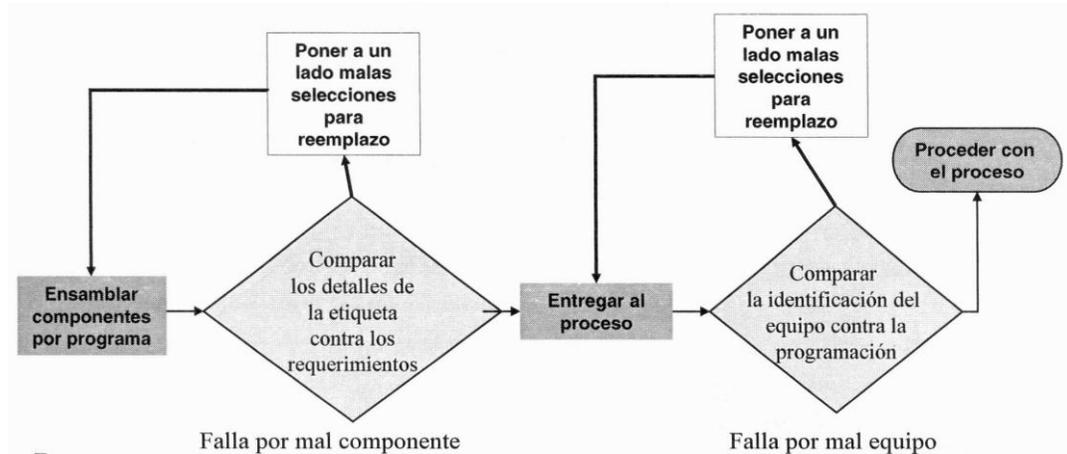
Se establece finalmente esta relación para ser usada en la optimización y mejora.

- La fábrica oculta

Este es el nombre que se le da a todo trabajo que se realiza, que está por encima y por debajo de lo necesario para entregar un buen servicio al cliente; trabajo que no necesariamente es monitoreado (costo, productividad, etc.)



Esta primera figura es el diagrama de flujo de un proceso, vemos como en la siguiente figura existen actividades agregadas que representan esa fábrica oculta al no estar monitoreadas, documentadas o simplemente no son llevadas a cabo con consistencia .



- Métricos en Seis Sigma

Seis Sigma sigue la premisa de la calidad de que lo que no se mide no se puede mejorar, por lo que los siguientes métricos son los que se utilizan como básicos en los proyectos para ver como se evoluciona hacia una mejora de la Y en base a ajustar esas X's encontradas.

1-Capacidad del proceso

*Es representado por el cociente entre las especificaciones y la variación del proceso.

*Cuantificada por Cpk, Ppk, nivel Sigma, Z.

2-Entitlement (capacidad de diseño):

El entitlement es el mejor desempeño potencial de un proceso basado en el diseño del mismo. Puede ser estimado por:

*La mejor observación del proceso a corto plazo.

*La mejor observación de procesos similares a corto plazo.

*El desempeño después de eliminar la variación por causas especiales.

3-Defectuoso

Cualquier producto que tiene al menos un defecto.

4-Defecto

Salida de un proceso que no concuerda con una especificación definida.

5-DPU (defectos por unidad)

Dpu= Total de defectos observados/total de unidades procesadas.

LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

DEMAIC

DEFINIR

El propósito de la fase de Definición es clarificar las metas y valor de un proyecto.

Los equipos y personal Champion utilizan aquellas herramientas necesarias para evaluar la magnitud de la oportunidad de valor en un flujo de valor dado, los recursos requeridos, y un diseño del proceso de solución del problema (George, 2002).

Un proyecto correctamente definido es esencial para la terminación oportuna del mismo. Un proyecto mal definido llevará al Black Belt a atascarse en fases posteriores de la metodología como puede ser de entrada la medición tomando está mucho más tiempo de lo que debería. En última instancia si el proyecto se define mal, de manera muy vaga o compleja, terminará siendo redefinido tendremos que re trabajar.

El Black Belt y el champion deben trabajar en conjunto para definir bien el proyecto Seis Sigma.

Antes de continuar debemos recordar ciertos criterios que debe de cumplir un proyecto para llevarse a cabo.

-El proyecto debe ser estratégico, es decir debe ser sobre algo que sea de importancia para la organización y sus clientes, ya que de lo contrario no es válido invertir recursos en algo que no genera valor para la empresa.

-El proyecto Seis Sigma es aquel que realmente amerita la utilización de la metodología DMAIC en cada uno de sus componentes. En éste punto existen muchos ingenieros que a todos los proyectos los quieren hacer del tipo Seis Sigma y a la hora de estarlos trabajando se dan cuenta que con ajustes, cambios, reportes o cosas sencillas que no requieren mucho tiempo se logran las mejoras necesarias, es por eso que debemos evaluar si el proyecto es sobre algo realmente desconocido para nosotros en cuanto a sus causas, típicamente cuando pasa algo así es más factible aplicar el DMAIC.

-Ningún proyecto de Seis Sigma debe ser realizado si no se justifica un beneficio mínimo para la empresa. Este monto dependerá del tamaño de la empresa y de lo un análisis sobre lo que espera que valga el proyecto para dar luz verde en hacerlo.

-El proyecto debe ser factible, es decir debe de analizarse si se podrá llevar a cabo la metodología, si habrá información, si los procesos o recursos necesarios estarán ahí, de otra manera no se puede iniciar un proyecto, invertirle semanas o meses y al final no completarlo por no haber analizado su factibilidad.

En la fase de DEFINICION se debe de identificar un método para facilitar que se puedan redactar claramente para el proyecto los siguientes puntos como mínimo:

1. Hoja de autorización del proyecto

2. Contexto del Proyecto
3. Métricos del Proyecto
4. Gráfica de Series de Tiempo - Métricos Primario y Crítico
5. Definición del Problema
6. Declaración del Objetivo
7. Mapa del proceso a nivel macro
8. Estimados financieros
9. Equipo de trabajo
10. Cronograma
11. Conclusiones de la fase

A continuación se dará una vista más específica a cada uno de estos puntos.

HOJA DE AUTORIZACIÓN DEL PROYECTO

Dentro de las funciones del *Champion* está el identificar problemas en la organización y en base a su experiencia, entrenamiento, trabajo con el *Black Belt* y directivos se podrá definir qué proyecto se llevará a cabo.

Existen 3 categorías de las que típicamente se desprenden proyectos de Seis Sigma:

1-Tiempo de ciclo.

2-Nivel de defectos.

3-Costos por consumo.

Para poder elegir un proyecto se debe tener en cuenta que hay que es conveniente se cumpla lo siguiente:

*Pueda haber una reducción factible del 70% en defectos.

*Ahorro económico importante por proyecto, esto depende del tamaño de la empresa y como fijen sus criterios económicos.

*Que el proyecto sea realizable en menos de 6 meses.

*Que requiera una mínima inversión de capital.

Una vez que se revisan estos puntos y se define realizar un proyecto en específico es necesario tener en papel la autorización de arranque del mismo, a continuación se presenta un formato que puede ser utilizado para éste fin:

Nombre del proyecto

ID del Proyecto: *Nombre de Usuario de la Plataforma*

Fecha de Inicio: *Fecha de inicio del proyecto (dd/mm/aaaa)*

Empresa: *Nombre de la empresa*

Ola: *Nombre y número de ola*

Lugar: *Ubicación física (Ciudad, Estado)*

Acuerdos

Mediante la presente autorizamos el inicio de este proyecto a desarrollarse en el área (*nombre del área organizacional*) de la empresa (*nombre de la empresa*) con ahorros estimados en (*monto en USD*).

Firmas:

Nombre - Representante Financiero

Firma y fecha

Nombre - Champion

Firma y fecha

CONTEXTO DEL PROYECTO

Se presenta el contexto del proyecto, donde se explica de manera general cuál es el escenario actual y cuál es la problemática.

Se presentan las respuestas a las tres preguntas de identificación del Proyecto Seis Sigma.

- ¿Existe una diferencia entre la situación actual y la deseada?
- ¿Conoce la causa de la problemática?
- ¿Conoce la solución de la problemática?

Puede incluir información adicional si se considera necesario (como una breve descripción de la empresa donde se desarrollará el proyecto, por ejemplo).

METRICOS DEL PROYECTO

Se pueden decir que de manera general se manejan 3 métricos que deben definirse muy claramente:

1. Primario: Métrico principal del proyecto, está asociado directamente con el negocio, es único y se relaciona íntimamente con lo que llamamos Y en la ecuación de Seis Sigma.
2. Secundario: Otras maneras o indicadores asociados con el métrico primario. Por ejemplo si el métrico primario es el numero de defectos de algún producto un métrico consecuencial o relacionado podría ser las horas de capacitación de los empleados asociados al proceso.
3. Consecuencial o crítico: Métrico para medir posibles consecuencias no planeadas de los cambios del proceso.

Ejemplo de métricos del proyecto:

- Reducción del tiempo de ciclo
 - *Métrico primario: Tiempo de ciclo/ unidades de producción.
 - *Métricos críticos: Horas laboradas/ unidad de producción
- Reducción de defectos
 - *Métrico primario: DPU, PPM, RTY
 - *Métrico crítico: Costo/unidad, tiempo de ciclo/unidad.
- Costo de utilización
 - *Métrico primario: Paros no planeados.
 - *Métrico crítico: Horas extras.

Una forma de poner esta información en su proyecto sería:

Métrico

Nombre	Unidad de Medida	Método de cálculo	Descripción

Métrico(s)

Nombre	Unidad de Medida	Método de cálculo	Descripción

Métrico(s)

Nombre	Unidad de Medida	Método de cálculo	Descripción

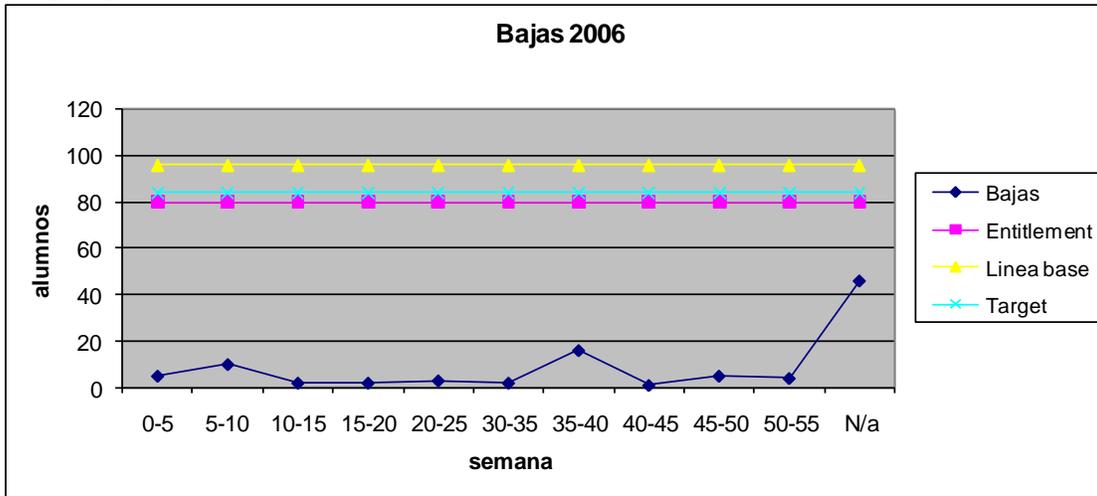
Gráfica de Series de Tiempo - Métricos Primario y Crítico

Se tiene definidos y se presentan los cálculos de la **Línea Base (promedio actual)**, el **Entitlement** y la **Meta o target (usualmente un 70 % del entitlement)**, los datos son comparables.

Se presenta un *gráfico de series de tiempo* del **métrico primario**, donde los periodos de tiempo son equidistantes. Se tienen gráficos de los **métricos críticos**.

Se presentan gráficos de los **métricos secundarios** (opcional).

Ejemplo :



Es decir que típicamente se recomienda que en base al promedio actual de cómo esté su Y (línea base), usted de acuerdo a lo que se busque en el proyecto incremente o reduzca un 70% pero de la diferencia que hay entre el mejor desempeño histórico (entitlement) y ese promedio línea base actual .

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Una definición del problema se hace para definirlo claramente y poderlo comunicar de manera concisa.

Se hace de la siguiente forma:

“ Lo QUE está mal ocurre DONDE., se presenta CUANDO., QUE TANTO ocurre y SE SABE POE QUE..”

Una definición del problema no incluye causas de la deficiencia (Y), no contiene acciones probables ni soluciones y es clara, concisa y específica.

Una buena definición también debe explicar claramente su EXTENSIÓN.

Ejemplo:

Los clientes, en Asia, no están satisfechos con el producto, desde enero, **las quejas se han incrementado un 15%.**

DECLARACIÓN DE OBJETIVO

La Y del objetivo es la misma que la de la declaración del problema.

Debe contener los 5 elementos:

Transformación (verbo en infinitivo + métrico primario), **enfoque** (¿dónde ocurre?) **meta** (Línea Base + Target), **período de tiempo** y **restricciones** (entre las cuales están los métricos críticos).

MAPA DEL PROCESO A NIVEL MACRO

Incluye pasos antes y después de la parte del proceso en la que se ubica el proyecto.

Ubica exactamente el alcance del proyecto en el proceso.

Debe estar en forma de bloques de funciones y no de equipos. No debe haber decisiones.

Las actividades deben estar en infinitivo y debe haber entre 5 y 12 bloques.

La actividad de transformación se refiere a un cambio de estado (energético) y/o de lugar.

Ejemplo:



ESTIMADOS FINANCIEROS

Deben quedar definidos al menos 3 beneficios o ahorros que generará el proyecto, dichos beneficios deben ser cuantificados y aprobados por los financieros de la empresa.

- 1) Beneficios duros: Todos los ahorros o ganancias directas que generará el proyecto.
- 2) Ahorros suaves: No son tan fáciles de cuantificar, puede ser por ejemplo la concientización que adquirirá el personal, la imagen que tendrá la empresa después de completar el proyecto etc.
- 3) Ahorros potenciales: Como su nombre lo dice son beneficios que se derivarían del proyecto pero que no se ven directamente, un ejemplo puede ser el atraer otro tipo de clientes a la empresa o la reducción de tiempo de ciclo.

Los beneficios duros al menos deben estar expresados en dinero que ahorra o beneficia a la empresa anualmente, este dinero representará el valor del proyecto, dicho valor en promedio para Seis Sigma se maneja que debe ser al menos de \$175,000 dólares anuales.

EQUIPO DE TRABAJO

Debe incluir al Representante financiero, al champion, al Dueño del proceso, al Experto, al Líder del proyecto BB / GB, asesores, y a las personas directamente involucradas con el métrico primario.

Incluir el nombre de los puestos en la organización.

Formato propuesto:

Función Seis Sigma	Nombre	Puesto
Champion		
Dueño del Proceso		
Representante Financiero		
Experto (Master Black Belt)		
Líder del Proyecto (Black o Green Belt)		
Otros		

CRONOGRAMA PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO

Es necesario que cada fase del DEMAIC se actualice este cronograma como parte de la administración que se le debe dar al proyecto, se presenta a continuación un formato sencillo que puede ser utilizado.

	Finalización de Fases del Proyecto				
	Definición:	Medición:	Análisis:	Incremento:	Control:
Planeado:					
Real:					

MEDICION

Asumiendo que el proyecto es aprobado por el Champion, el equipo procede a la Fase MEDIR, en la cual los miembros del equipo recolectan información del problema. Aquí, se utilizan herramientas primarias de recolección de datos, mapeo del proceso, análisis de Pareto, gráficos, etc. (George, 2002).

La medición es la Fase clave de transición, la cual sirve para validar o refinar el problema y para comenzar la búsqueda de causas raíz, el objetivo de Fase analizar. La medición tiene que ver con dos preguntas clave (Pande et al., 2002):

1. ¿Cuál es el enfoque y extensión del problema, basado en mediciones del proceso y/o salidas? (esto es comúnmente llamado la medida base).
2. ¿Qué datos clave pueden ayudar a simplificar el problema a sus principales factores o causas raíz "pocos vitales".

E involucra principalmente:

1. Entender cómo es medido el proceso y cómo se está desempeñando.
2. Decidir qué medir y cómo se va a medir.
3. Medir el desempeño actual del proceso (rentabilidad de la producción, DPMO, capacidad, etc.).
4. Evaluar el sistema de medición (Antony, 2003).

Las decisiones sobre qué medir son difíciles, ya sea porque hay muchas opciones disponibles o por el reto de recolectar datos. En los esfuerzos del proceso de mejora, la necesidad de recolectar datos en diversas Fases es una de las principales razones por las que los proyectos pueden tomar meses para completarse. Algunas veces no es posible realizar las mediciones que se desean, por lo tanto la capacidad de encontrar alternativas de medición o cualquier forma de hacer mejor uso de la información que se pueda recolectar es importante. Parte del arte de Seis Sigma es el basar decisiones y soluciones en hechos suficientes para ser efectivos y para aprender cómo usar mejor los datos a través del tiempo.

A continuación al igual que se hizo para la fase de definición se documentan para su uso las principales herramientas y puntos que se cumplen en esta fase para un proyecto Seis Sigma:

1. Análisis del Sistema de Medición
2. Estimaciones de Capacidad
3. Diagrama de Flujo del Proceso
4. Mapa Detallado (Matriz)
5. Diagrama Causa Efecto
6. Matriz Causa Efecto
7. AMEF del Proceso

ANALISIS DEL SISTEMA DE MEDICION

Esto consiste en que el equipo que está llevando el proyecto, una vez que se ha identificado el mismo y se han establecido métricos para su seguimiento debe de asegurarse de que los datos que vaya a obtener del proceso sean datos confiables, que realmente reflejen el comportamiento de las variables que se han definido para el proyecto.

Para ello se utiliza mucho un estudio llamado de reproducibilidad y repetibilidad o R&R. Dicho estudio nos validará si el sistema de medición (persona que está midiendo, instrumento con el que se mide) están acorde o tienen la confiabilidad necesaria para que los datos en cuestión sean utilizados para el proyecto.

Un análisis del tipo R & R tiene dos vertientes, las cuales dependen del tipo de dato que represente la medición o variable como tal:

- Medición de Atributos
- Medición de datos continuos.

MEDICION DE ATRIBUTOS

Los instrumentos que se van a utilizar para medir atributos son aquellos que me sirven para comparar lo que estoy midiendo (piezas, servicios etc), contra un estándar, el resultado de la comparación será aprobar la pieza analizada o rechazarla.

El propósito de un estudio R&R de atributos es estimar los estándares de inspección o de destreza contra los requerimientos del cliente.

Nos sirve para determinar la habilidad de los inspectores para repetir exactamente sus decisiones de inspección.

Nos ayuda a describir dónde es necesario el entrenamiento, dónde faltan procedimientos y dónde están definidos los estándares.

El método utilizado para hacer un R&R de atributos se ilustra a continuación:

- Configuración

Seleccionar 30 partes del proceso 50% buenas, 50% defectuosas. De ser posible seleccionar muestras defectuosas marginales o de la orilla.

Seleccionar a los inspectores-Totalmente entrenados y calificados.

- Ejecución

Con cada inspector inspecciona las partes en orden aleatorio para determinar si pasa o no pasa. Cada inspector repite la inspección.

- Análisis

Introduce los datos en la hoja de cálculo [Atributos R R.xls](#) para determinar la efectividad del sistema de medición.

- Documente los resultados, implemente acciones apropiadas, vuelva a correr el estudio para verificar la efectividad de los arreglos.

A continuación se da un ejemplo en donde a 3 operadores se les dieron 14 piezas para medir un atributo en específico y cuya respuesta para el estudio es si PASA (PASS) o NO PASA (FAIL) la inspección. Cada operador midió la misma pieza dos veces.

Attribute Gage R & R Effectiveness

SCORING REPORT

Attribute Legend⁶ (used in computations)
 1 Pass
 2 fail

DATE:
 NAME:
 PRODUCT:
 BUSINESS:

All operators agree within and between each Other All Operators agree with standard

Sample #	Known Population Attribute	Operator #1		Operator #2		Operator #3		Y/N Agree	Y/N Agree
		Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2		
1	pass	pass	pass	pass	pass	fail	fail	N	N
2	pass	pass	pass	pass	pass	fail	fail	N	N
3	fail	fail	fail	fail	pass	fail	fail	N	N
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	Y	Y
5	fail	fail	fail	pass	fail	fail	fail	N	N
6	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	Y	Y
7	pass	fail	fail	fail	fail	fail	fail	Y	N
8	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	Y	Y
9	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	Y	N
10	fail	pass	pass	fail	fail	fail	fail	N	N
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	Y	Y
12	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	Y	Y
13	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	Y	Y
14	fail	fail	fail	pass	fail	fail	fail	N	N
% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->		100.00%		78.57%		100.00%			
% SCORE VS. ATTRIBUTE ⁽²⁾ ->		78.57%		64.29%		71.43%			
SCREEN % EFFECTIVE SCORE ⁽³⁾ ->								57.14%	
SCREEN % EFFECTIVE SCORE vs. ATTRIBUTE ⁽⁴⁾ ->								42.86%	

Note:

- (1) Operator agrees with him/herself on both trials
- (2) Operator agrees on both trials with the known standard
- (3) All operators agreed within and between themselves
- (4) All operators agreed within and between themselves AND agreed with the known standard
- (5) Enter Pass/Fail, Good/Bad, Accept/Reject or other labels which indicate status of inspection

Los datos con los que se ha alimentado la pestaña de Excel de ENTRADA DE DATOS están en la pestaña que dice DATOS. Usted puede copiarlos y pegarlos para que su ejemplo luzca como la figura presentada.

Viendo ya los resultados que arroja la hoja de Excel vemos que en este caso el Appraiser score o puntaje del operador representa la fracción de tiempo que el operador está de acuerdo consigo mismo, es decir que tanto fue consistente entre lo que dijo en sus dos mediciones.

Como podemos observar en el ejemplo el operador dos no fue muy consistente a comparación del 1 y 3, al haber estado un 78.57% de acuerdo consigo mismo, por lo que es probable que con una capacitación a este operador se pueda mejorar si necesidad de modificar el sistema de medición.

El puntaje vs atributo (% score vs. Attribute), nos dice la fracción de tiempo que el operador está de acuerdo con el mismo y con el valor estándar conocido.

En este caso vemos que por ejemplo los operadores 1 y 3 están de acuerdo siempre con ellos mismos pero a ya al comparar lo que midieron contra el estándar si hay diferencias importantes (78.57% y 71.43%). De tal modo que esto nos indica que el sistema de medición tiene una importante área de oportunidad.

El puntaje de efectividad del filtro (Effective score), es la fracción de tiempo que todos los operadores están de acuerdo con ellos mismos y entre ellos (57.14%). Este porcentaje nos ratifica que el reentrenamiento de los operadores es necesario.

El puntaje de efectividad del filtro vs. Atributo, es la fracción de tiempo que todos los operadores están de acuerdo con ellos mismos y entre ellos y con el estándar. El resultado de 42.8% del ejemplo refleja que el sistema de medición que estamos usando (operador, instrumentos, es inadecuado y no es conveniente utilizar esos datos para el proyecto de Seis Sigma.

MEDICION DE VARIABLES

El estudio R&R para variables cumple el mismo fin que el de atributos, el cual es evaluar nuestro sistema de medición. Debemos recordar que una variable es aquella que tiene una continuidad o unidades, por ejemplo el peso se puede medir en libras o kilogramos, la estatura en pies, pulgadas o metros etc. Por lo que si de nuestro proceso nos interesa medir variables de éste tipo, el estudio para variables es el indicado.

Para ejemplificar este estudio es necesario el uso del software minitab. La versión de prueba de este software está disponible en <http://www.minitab.com/es-MX/support/downloads/default.aspx>, por un plazo de 30 días, tiempo suficiente para que usted se entrene en su uso.

A continuación se ilustra cómo debe empezar un estudio R&R para variables y se da un ejemplo.

1. Calibrar el instrumento
2. Seleccionar 10 muestras representativas del proceso
3. Identificar los operadores que utilizan diariamente este sistema de medición.
4. Analizar los datos de estudio del instrumento en su hora utilizando Calc>Make Patterned Data>.
5. Hacer que el operador mida todas las muestras en orden aleatorio.
6. Hacer que los demás operadores midan las muestras de manera aleatoria.
7. Repetir los dos pasos anteriores para los 3 ciclos. Tratar de aleatorizar el orden de los operadores.
8. En minitab correr los análisis de la siguiente manera: Stat>Quality tools> Gage R&R study (crossed)
Stat>Quality tools> Gage Run Chart
9. Analizar los resultados de la capacidad del sistema de medición.
10. Determinar las acciones apropiadas según los resultados obtenidos.

Ejemplo:

Se requiere realizar un estudio del instrumento de medición para una temperatura de un proceso de sintetizado. Cuidadosamente se ha seguido el método descrito en la página anterior y se registraron los datos en el archivo [ejemploR&R.xls](#).

Utilice Minitab para analizar los datos del instrumento para evaluar la capacidad del sistema de medición.

PASO A PASO:

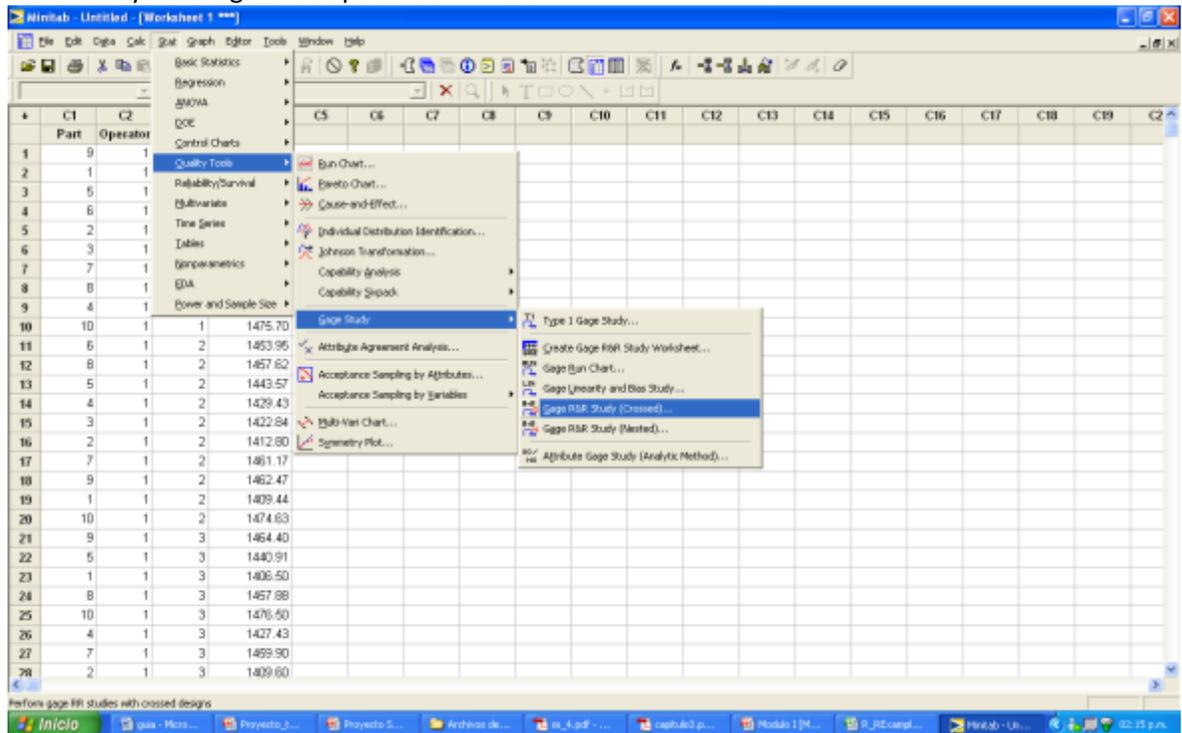
- 1- Abra el archivo de Excel de la carpeta de medición [ejemploR&R.xls](#) y el software minitab.
- 2- Copie de Excel en la pestaña Datos todos los datos y péguelos en minitab como se muestra a continuación:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
#	Part	Operator	Trial	Measurement																
1	9	1	1	1463.00																
2	1	1	1	1408.97																
3	5	1	1	1443.64																
4	6	1	1	1465.82																
5	2	1	1	1412.67																
6	3	1	1	1430.24																
7	7	1	1	1460.77																
8	8	1	1	1460.95																
9	4	1	1	1432.23																
10	10	1	1	1475.70																
11	6	1	2	1463.95																
12	8	1	2	1467.62																
13	5	1	2	1443.57																
14	4	1	2	1429.43																
15	3	1	2	1422.94																
16	2	1	2	1412.80																
17	7	1	2	1461.17																
18	9	1	2	1462.47																
19	1	1	2	1409.44																
20	10	1	2	1474.63																
21	9	1	3	1464.40																
22	5	1	3	1440.91																
23	1	1	3	1406.50																
24	8	1	3	1457.88																
25	10	1	3	1476.50																
26	4	1	3	1427.43																
27	7	1	3	1469.90																
28	2	1	3	1409.60																

Note la división de las columnas, en la primera están las partes, las cuales como se había definido son 10 partes. En la segunda columna está que operador midió dicha parte, en este caso son 3 operadores los que definimos para el estudio, en la tercera columna está el número de intento de cada operador, en este caso cada operador hizo 3 mediciones a cada parte. Por último está el resultado o variable de la medición que como notará es de tipo continuo con unidades grados centígrados para el proceso.

En total al ser 3 operadores que miden 3 veces cada una de las 3 piezas, se tendrán 90 mediciones.

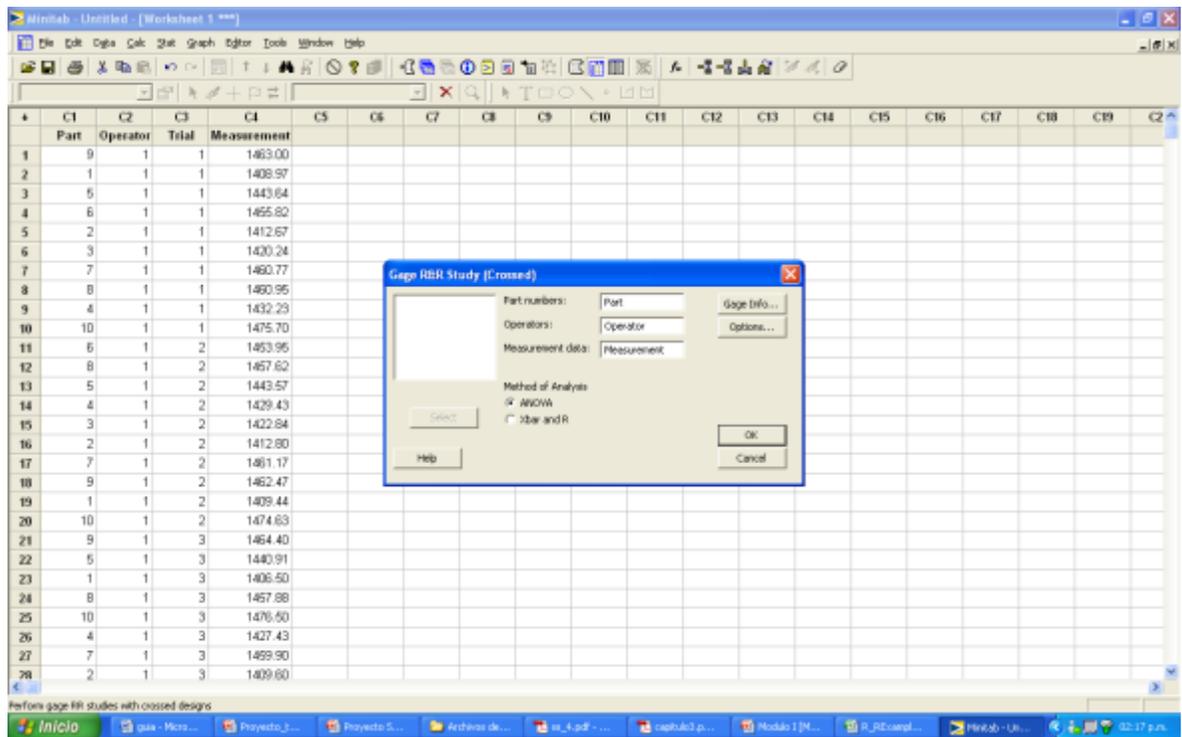
3- Vaya a la siguiente opción de minitab:



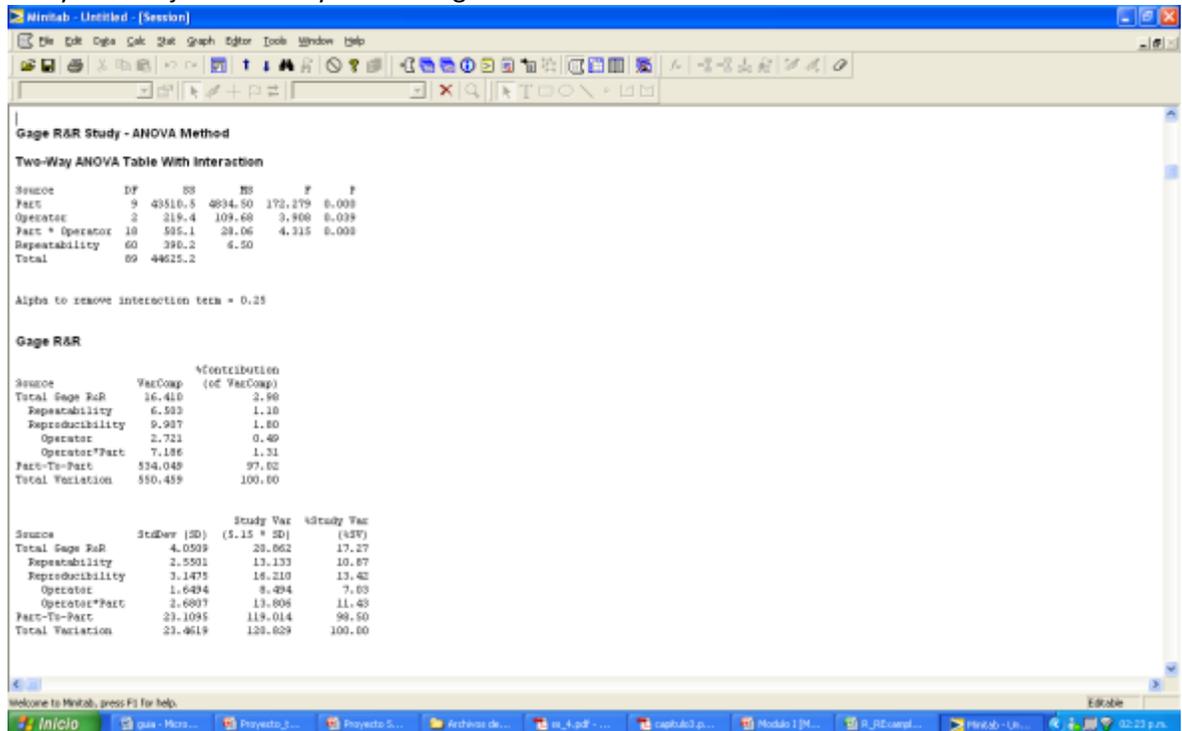
4- Selecciones part para la variable part numbrer, operator para la variable operators y measurement para la variable que le pide minitab de measurement data.

5-Mantenga seleccionada la opción ANOVA.

6-Presione OK.



7-Vaya a la hoja de sesión y verá los siguientes datos



Observe la primera parte la columna que dice P. En dicha columna cualquier P que sea menos a 0.05 significa que ese factor si contribuye significativamente a la variación en

el sistema de medición. En este caso tanto las partes, como los operadores, al igual que la interacción que hay entre ellos contribuye.

A continuación fíjese es los datos que aparecen debajo de **GAGE R&R**.

Note que el **total gage R&R en la columna % Contribution** nos marca un valor de 2.98%, esto es la contribución del sistema de medición a la variación total.

A continuación observe en la última tabla en la fila de **Total gage R&R. El 20.865 tiene que ver con la precisión del sistema de medición contra las tolerancias y el 17.27 tiene que ver con la precisión en relación al total de la variación.**

De acuerdo a estos 3 datos usando la siguiente tabla podrá definir como es su sistema de medición:

Análisis de Resultados

	% Contribución	%P/TV	% P/T
	$\frac{\hat{\sigma}_{Mf}^2}{\hat{\sigma}_{Total}^2} \times 100$	$\frac{\hat{\sigma}_{Mf}}{\hat{\sigma}_{Total}} \times 100$	$\frac{5.15 \times \hat{\sigma}_{Mf}}{Tolerancia} \times 100$
Marginalmente aceptable	< 9%	< 30%	< 30%
Bueno	< 4%	< 20%	< 20%
Excelente	< 1%	< 10%	< 10%

En nuestro ejemplo el % de contribución es menor a 4% (2.98%), el % P/T que tiene que ver con la precisión contra tolerancias es mayor al 20%, mientras que el % de precisión con relación al total de la variación si es menor a 20% (17.27). Esto nos lleva a concluir que por escaso margen el sistema de medición es **Marginalmente aceptable**.

ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD

Un estudio de capacidad de proceso nos permite ver si la variable que estamos estudiando Y (variable de respuesta), entra dentro de una serie de especificaciones definidas para el proceso.

Permite identificar oportunidades de mejora, cuantificar defectos e identificar la naturaleza del problema del proceso centrado o disperso.

Definiciones importantes:

Proceso: Es una combinación única de maquinas herramientas, métodos materiales y hombres.

Capacidad: Esta palabra se usa en el sentido de posibilidad basada en realizaciones contrastadas y lograr resultados mensurables.

Medida: Se refiere al hecho de que la capacidad del proceso sea cuantificada con los datos que, a su vez, son el resultado de la medición del trabajo realizado por el proceso.

Reproductibilidad intrínseca: Se refiere a la uniformidad del producto resultante de un proceso que está en estado de control estadístico. "Reproductibilidad instantánea" sería un sinónimo.

Producto: La medición se hace sobre el producto dado que la variación del producto es el resultado final.

Calculo de la capacidad del proceso

Capacidad del proceso = 6σ

Donde 6σ = Desviación estándar de proceso Bajo control estadístico, es decir sin cambios ni desviaciones repentinas.

La mayor parte de los procesos industriales, especialmente en las industrias de procesos químicos, funcionan bajo estado e control estadístico. Para estos procesos, la capacidad del proceso calculada de 6σ puede ser comparada diferente a las especificaciones y se puede hacer juicio sobre su adecuación. Sin embargo la mayoría de los procesos industriales muestran desviaciones y cambios repentinos. Estas desviaciones de lo ideal son un hecho real y deben tenerse en cuenta en el momento de calcularse los índices de capacidad del proceso.

Medición de la capacidad del proceso

Un cierto número de procesos han sido desarrollados para medir la capacidad del proceso. Uno de estos el método de grafico de control es rigurosamente correcto, el resto son aproximaciones.

Capacidad del proceso vs. Especificación del producto

La principal razón para cuantificar la capacidad de un proceso es la de calcular la habilidad del proceso para mantener dentro de las especificaciones del producto. Para procesos que están bajo control estadístico, una comparación de la variación de 6σ con los límites de especificaciones permite un fácil cálculo del porcentaje de defectuosos mediante la tolerancia estadística convencional.

El índice de capacidad del proceso es la fórmula utilizada para calcular la habilidad del proceso de cumplir con las especificaciones y se expresa de la siguiente manera:

$$CP = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

Dónde: CP: Índice de Capacidad del Proceso

LSE: Limite superior Especificado
 LIE: Limite inferior Especificado
 σ : Desviación estándar de los datos individuales

Dónde:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

\bar{R} = Promedio de los rangos de la carta de control.
 d_2 = Constante de cálculo.

El CP puede asumir varios valores, para cumplir con las especificaciones:

CP	Decisión
CP>1.33	Más que adecuado, incluso puede exigirse más en términos de su capacidad.
1<CP<1.33	Adecuado para lo que fue diseñado. Requiere control estrecho si se acerca al valor de 1
0.67<CP<1	No es adecuado para cumplir con el diseño inicial.
ICP<0.67	No es adecuado para cumplir con el diseño inicial.

Análisis de la capacidad del proceso

Se utiliza con dos objetivos principales, implicando ambos las especificaciones del producto:

1. Como ayuda a la predicción. ¿Es este proceso capaz de cumplir permanentemente con las especificaciones del producto?
2. Como ayuda al análisis. ¿Por qué este proceso no cumple con las especificaciones establecidas?

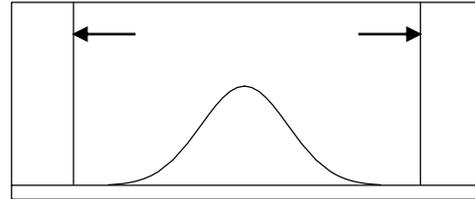
El término “Análisis de la capacidad del proceso” se refiere a la actividad de estudiar el proceso en un esfuerzo por responder ambas preguntas.

Relación entre los parámetros de la variable y los límites de especificación. Incluyendo los valores de Cpk que pueden asumir según su comportamiento frente a las especificaciones:

- a. El proceso no está en capacidad de cumplir con las especificaciones.
- b. Proceso cuyo centro está desplazado y el proceso está en peligro de generar producto fuera de la especificación, sin embargo la amplitud del proceso indica que éste puede cumplir la tolerancia demarcada por las especificaciones.
- c. En este caso ya se han presentado productos fuera de las especificaciones, generando no conformidades del proceso

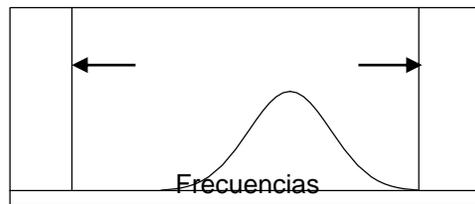
Cuando el problema está en centrar correctamente el proceso con respecto a las especificaciones, la administración debe investigar las causas de la mala dirección técnica del proceso.

Promedio Aceptable
Desviación estándar
aceptable. $Cpk > 1$



Promedio aun aceptable
Desviación estándar
aceptable. $Cpk = 1$

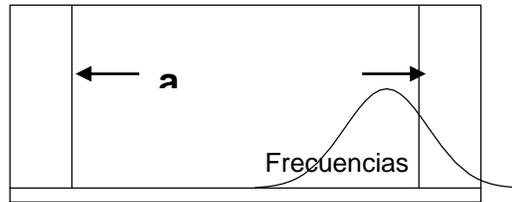
Es
no



Promedio muy alto
Desviación estándar
potencialmente aceptable
 $Cpk = Cpu < 1$

Es
no

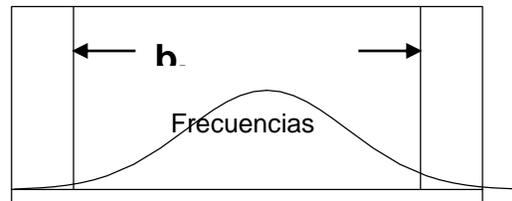
Medidas



Promedio aceptable
Desviación estándar
muy grande
 Cpu y $Cpl < 1$

Es
no

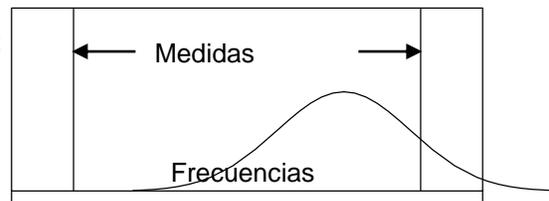
Medidas



Promedio muy alto
Desviación estándar muy
grande
 $Cpk = Cpu < 1$

Es
no

c



Cpk

Otra medida para la cuantificación del índice de capacidad de proceso es el Cpk , que está definido como el menor valor encontrado entre el Cpu y el Cpl , que se define como:

$$C_{pu} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \qquad C_{pl} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}$$

Donde *Cpu*: Capacidad de proceso teniendo en cuenta únicamente la especificación superior del proceso.

LIE: Limite de especificación inferior de la variable

LSE: Limite de especificación superior de la variable

\bar{X} : Valor promedio encontrado de los datos
 σ : Desviación estándar del proceso

Cpu y *Cpl* solo evalúan la mitad de la distribución de los datos teniendo en cuenta solo 3σ . Es útil cuando la especificación de la variable, solo se expresa como un máximo o como un mínimo, para indicar al analista en que sector de la especificación (superior o inferior) se presenta más riesgo de incumplimiento de los valores establecidos.

Los valores de Cpk, son ampliamente utilizados como indicadores de la calidad de un proceso o producto. El valor de Cpk = 1.33 se ha establecido como un parámetro deseado porque la obtención de éste valor en un proceso o producto significa que por cada 10000 mediciones 3 de ellas existe la probabilidad estadística que se encuentre fuera de los límites de especificación.

Capacidad a Corto y Largo plazo

Corto plazo:

Es la capacidad que se mide tomando un número limitado de ciclos e intervalos, máquinas y operadores. Casi siempre son datos variables continuos. Sus indicadores son el CP y CPk.

Largo Plazo:

Es la capacidad que se mide tomando muchos ciclos, intervalos, equipos y operadores. Pueden ser datos continuos o discretos. Sus indicadores son el PP y PPK

Pasos para el cálculo de la capacidad :

PASO 1 VERIFICAR LAS ESPECIFICACIONES

Estas pueden venir de alguna de estas vías:

- De los diseñadores- un anteproyecto
- Del proceso- Las especificaciones se fijan de cómo se comporta el proceso históricamente o al inicio.
- Del cliente.

Un ejemplo de especificación:

La temperatura objetivo de la cámara es de 125 grados C (+/-) 1.5 grados C.

PASO 2 RECOLECTAR DATOS

Los datos deben ser recolectados para capturar el desempeño a corto plazo y de ser posible a largo plazo.

Esto se puede lograr recolectando series de fotos instantáneas, separadas por un periodo de tiempo.

Sub grupos racionales:

Un subgrupo racional es una selección lógica de partes o unidades producidas consecutivamente de un proceso, intentando capturar la variación mínima del proceso.

La variación dentro de grupos debe mostrar sólo la variación por causas comunes.

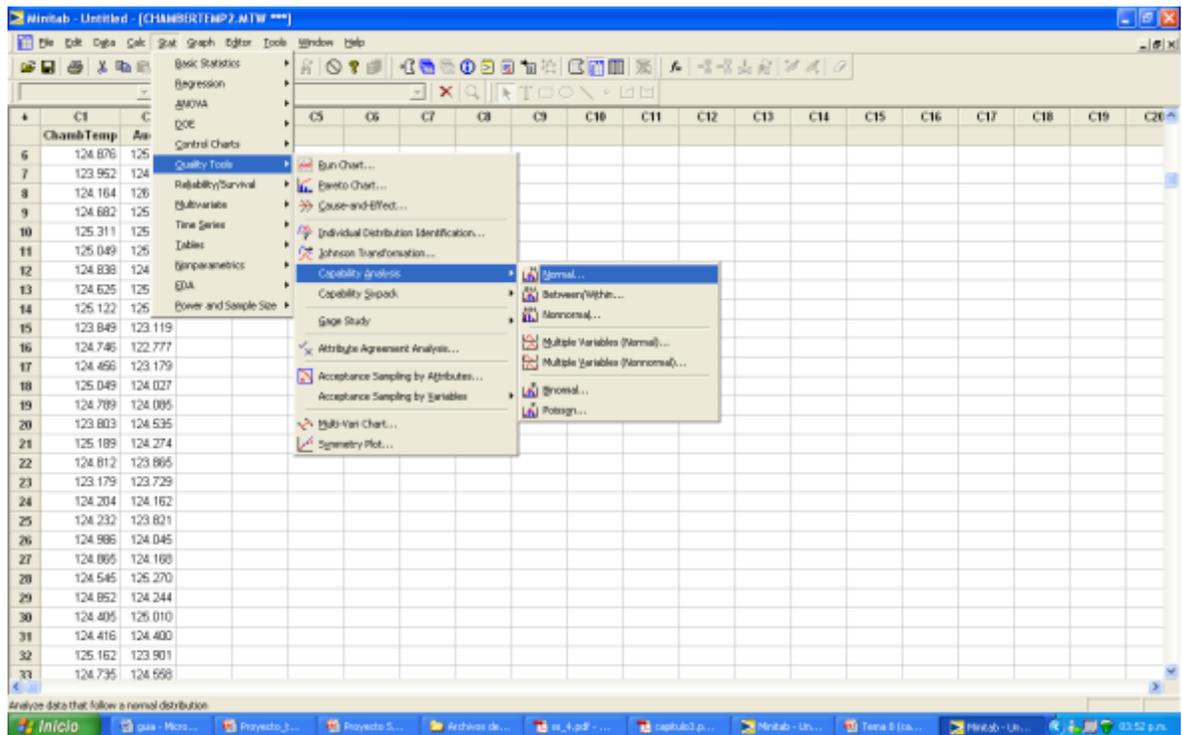
PASO 3 DETERMINAR LA VARIACION A CORTO PLAZO

Los datos a corto plazo generalmente son tomados en un periodo reducido de tiempo o en una baja cantidad, menos de 30 datos.

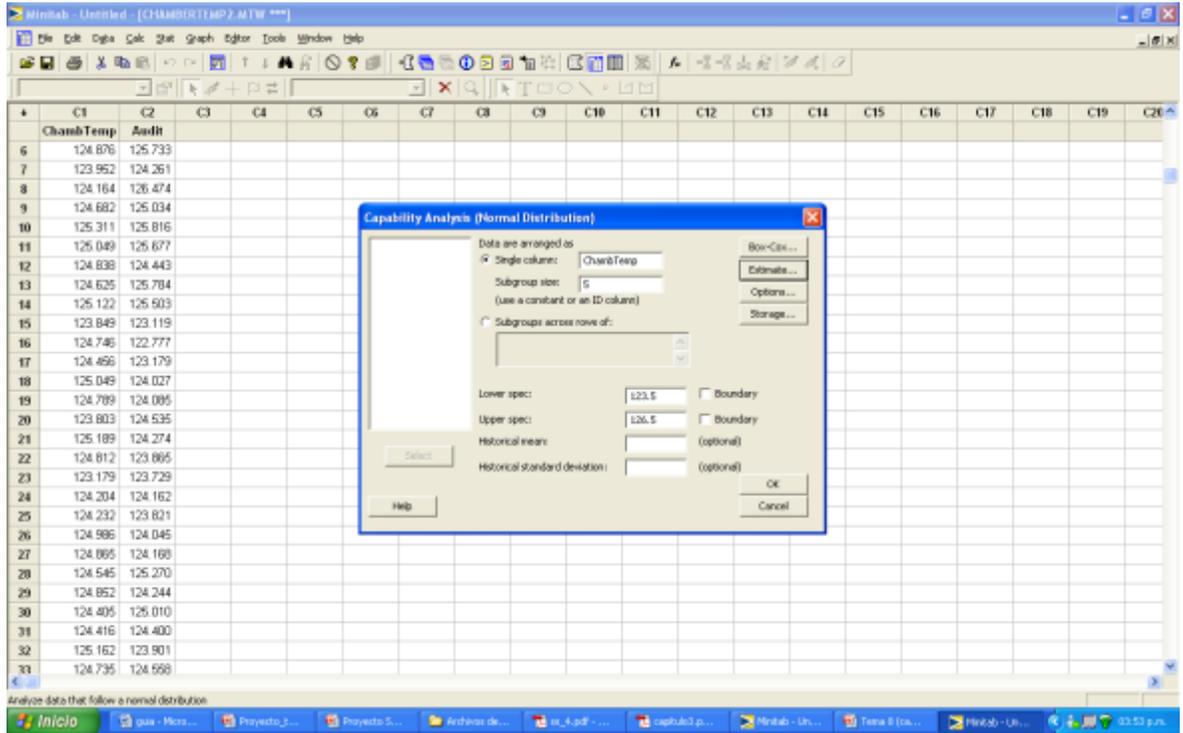
Ejemplo:

1-Abra la hoja de trabajo de minitab chambertemp.mtw localizada en la carpeta de medición.

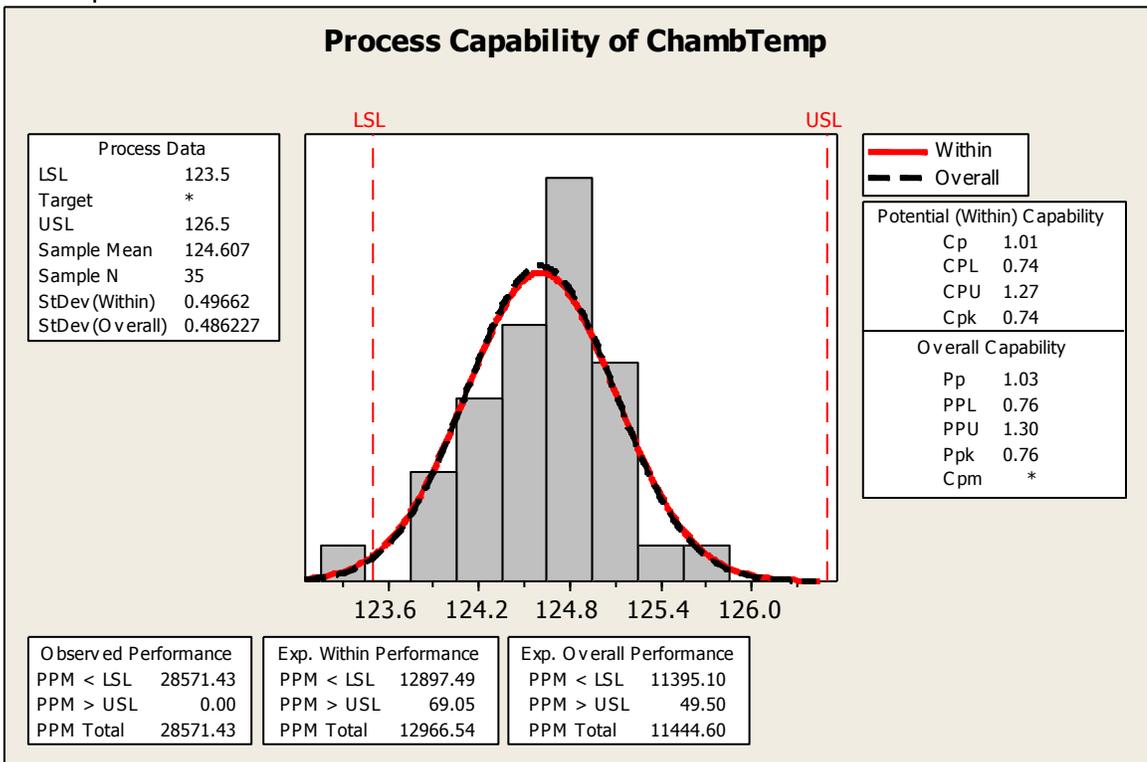
2-Siga en minitab la siguiente ruta: Quality tolos>capability analysis>normal



3- Llene la información del cuadro de diálogo de la siguiente manera:



4- Interpretación de los resultados:



Lo principal que debemos ver es el índice Cpk, el cual es 0.74, si dicho índice es menor que 1, podemos decir que a corto plazo el proceso no es capaz, ya que como

podemos ver en la gráfica hay una parte de la misma que sale de los límites de especificación fijados. El índice Cp nos dice que pasaría si la gráfica se centrara dentro de los límites, como el resultado de este Cp es de 1.01, esto indica que la gráfica cabe perfectamente en los límites.

PASO 4 CALCULE EL NIVEL DE SIGMA

El nivel de Sigma será igual a:

$$\text{Nivel Sigma} = \text{CpK} * 3$$

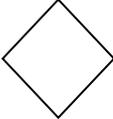
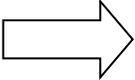
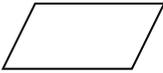
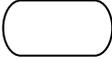
En este caso el nivel de Sigma es igual a $0.74(3)=2.22$.

En nivel PPK nos muestra nos puede decir el nivel de Sigma a largo plazo, sin embargo para este ejemplo como los datos son pocos y catalogamos por esto la capacidad como a corto plazo (CPK), sería inadecuado tomar como valido el PPK. En dado caso que tuviéramos un grupo de datos más importantes si tomaríamos de la gráfica el 0.76, en este caso el nivel de Sigma sería igual a $\text{PPK} * 3 = 2.28$.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS

Es un mapeo detallado de cada paso del proceso, incluyendo la fábrica oculta. En cada paso se identifica si se agrega valor (AV) o no se agrega (NVA) al proceso. Se consideran también los datos de entrada así como los documentos de control que se manejen en el proceso.

Se utilizan los siguientes símbolos:

	PROCESO
	DECISION
	TRANSPORTE
	DATOS
	DEMORA
	ALMACEN
	INICIO/FIN
	CONECTOR

El equipo de trabajo del proyecto debe determinar el alcance del proceso mientras que se relaciona directamente con el proyecto. El alcance de cualquier proceso se debe definir a detalle tal que las entradas críticas, que afectan directamente las salidas se identifiquen.

Los datos del proceso documentado se deben planear primero y terminar antes de agregar la fábrica oculta. De esta manera, la fábrica oculta se puede resaltar claramente para la investigación. Muchas veces la fábrica oculta es incontrolada y no

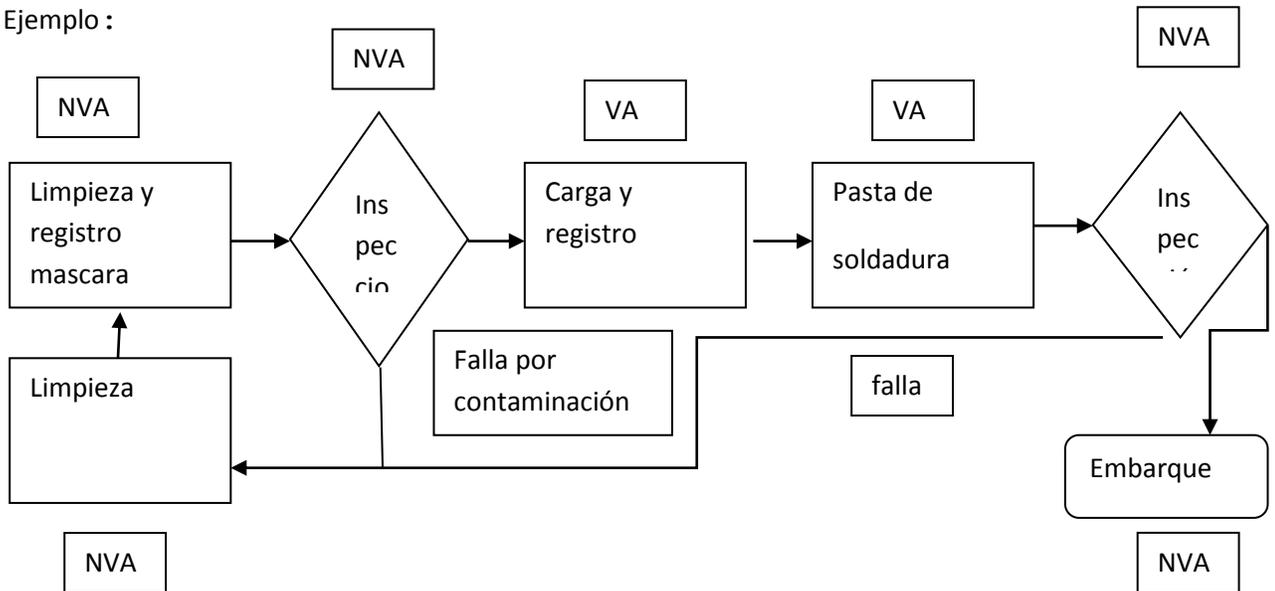
da valor agregado, lo cual implica que su eliminación es un objetivo primario del proyecto .

Si todas las partes documentadas y las no documentadas se identifican al mismo tiempo, el escondite de estos pasos se puede perder.

PROCEDIMIENTO PARA HACER UN DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

1. Graficar los procesos documentados
 - Incluir todos los pasos de las especificaciones, mediciones y transportación
 - Identificar todos los puntos de recolección de datos.
2. Mostrar los documentos de control para cada paso del proceso.
3. Identificar cada paso del proceso como con valor agregado (VA) o sin valor agregado (NVA).
 - Identifique las X's y las Y's de cada paso del proceso.
 - Resaltar los pasos NVA que son candidatos a eliminarse.
4. Agregar y resaltar los pasos del proceso de la "fabrica oculta".
 - Identificar como VA o NVA. Identificar los candidatos a eliminarse.
 - Resaltar los pasos que requieren documentación de control.
5. Agregar estimados como DPU, RTY R&R etc.
 - Resaltar candidatos para la calibración y los estudios de capacidad.
6. Verificar la exactitud a través de observación directa y discreta.

Ejemplo :



MAPA DETALLADO

Es un mapeo que le ayuda a identificar entradas y salidas del proceso, los sistemas de medición que requieren estudios de calibración, procesos que requieren estudios de capacidad, operaciones que no agregan valor que pueden ser eliminadas, puntos de

recolección de datos y huecos en el sistema de recolección de datos, diferencias entre el “es” y el “creo que es”—“la fábrica oculta”.

El primer paso para hacer un mapa detallado es copiar la información del DFP. Si se está utilizando una hoja de cálculo, las columnas y los renglones se pueden agregar según sea necesario para completar la información.

La salida de cada paso del proceso es a menudo una entrada al siguiente paso. Sin embargo, cada entrada o salida debe ser enumerada solamente una vez. Dentro del mapa de proceso, una salida de un paso anterior no se debe enumerar también como entrada al siguiente paso.

Las variables de ruido no son las que no pueden ser controladas, son las que no se pueden controlar fácilmente. En un extremo las variables controlables son configuraciones de la perilla en una calibración muy exacta.

A continuación presentamos un ejemplo:

	AV o NAV	SOP #	Entrada/salida	Tipo E/S	Especificación	Co N	Capacidad	Equipo
Entrevista de alumno con director de carrera	AV		Tiempo de entrevista	Salida	5 a 15 mins	C		
			Preguntas al alumno	Entrada	4 a 5	C		
			Respuestas del alumno	Entrada		N		
		Kardex	Historial académico	Entrada		N		
			Retroalimentación	Salida		C		
			Acuerdos sobre entrevista con sus padres	Salida		N		
Entrevista de padre de familia con director de carrera	AV		Tiempo de entrevista	Salida	5 a 15 mins	C		Computadora

			Preguntas al alumno	Entrada	4 a 5	C		
			Respuestas del alumno	Entrada		N		
		Kardex	Historial académico	Entrada		N		
			Retroalimentación	Salida		C		
			Acuerdos sobre una nueva cita	Salida		N		

El principal beneficio de hacer este mapeo es que se podrán identificar todas las entradas con suficiente detalle para tomar acciones. Este mapa es la entrada de información para los diagramas de espina de pescado, matriz C&E, AMEF y plan de control que se analizarán en próximas páginas.

DIAGRAMA CAUSA Y EFECTO

Es un diagrama para identificar sistemáticamente todas las causas potenciales que pueden estar contribuyendo al problema (efecto).

Un método para construirlo es el siguiente:

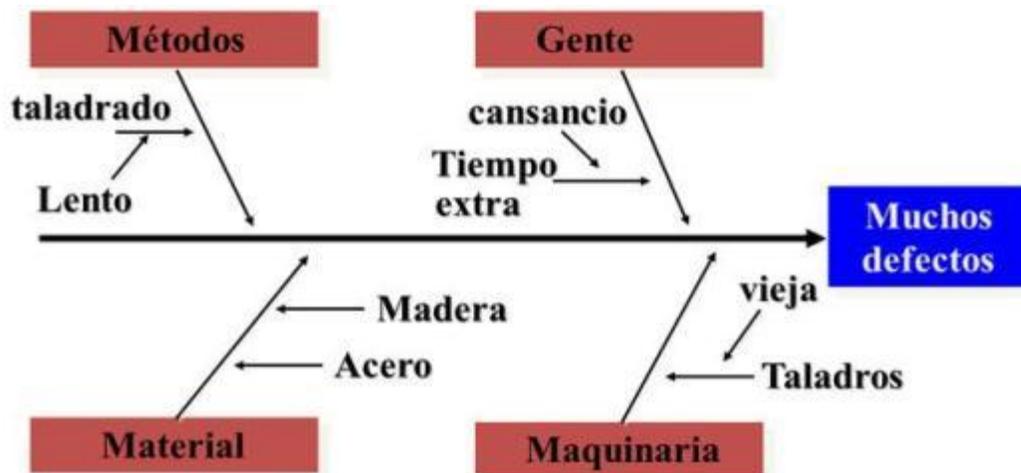
- 1-Establezca el problema, colocarlo en el cuadro del lado derecho.
- 2-Dibujar una flecha horizontal hacia el cuadro del problema.
- 3-Escribir las categorías tradicionales de los factores (las 6 M'S- mano de obra, maquinaria, métodos, medición, materiales, medio ambiente), o de las categorías sospechosas por encima y por debajo de la línea. Conectarlas a la línea principal.
- 4-Con cada una de las categorías principales, hacer una lluvia de ideas y enlistar los factores detallados que pueden estar ocasionando el problema.
- 5-Después, enlistar todas las entradas en cada uno de los factores detallados.

El diagrama de espina de pescado como también se le llama fueron demostrados en primera instancia por Ishikawa, ingeniero Japonés, en los 40's.

El deseaba una manera simple y gráfica de mostrar los lazos entre las entradas de información y las salidas de un proceso.

Para los proyectos Seis Sigma, utilice la forma simplificada del diagrama de pescado. Excepto el análisis detallado para la matriz C&E y el AMEF.

Ejemplo de diagrama de pescado:



MATRIZ CAUSA y EFECTO

Es una hoja de cálculo que relaciona numéricamente las entradas (X's) con las salidas del cliente (Y's).

La entrada principal para construir esta matriz es el mapa detallado del proceso. Lo ideal es que esta matriz la hagan las personas que hicieron el mapeo del proceso.

Las salidas son clasificadas por las prioridades del cliente, tal vez el cliente deba ser invitado a participar.

Un método para realizar una Matriz C&E

Primero debe de tener a la gente adecuada para hacer una lluvia de ideas como se hizo en el mapeo de procesos o en el diagrama de pescado.

En un formato de hoja de cálculo haga lo siguiente:

- 1-Liste las salidas en la parte superior del formato. Recuerde que estas son las salidas guiadas por el cliente.
- 2-Clasificar las salidas de acuerdo con las prioridades del cliente, una escala de 1 al 10- el valor mayor= mayor prioridad.
- 3-Listar los pasos del proceso y las salidas en la parte izquierda del formato.
- 4-Clasificar la contribución de cada entrada en cada salida.
- 5-Identificar entradas críticas del valor de la columna de los TOTALES.

Ejemplo:

MATRIZ C&E														Mediciones asignadas por el grupo	
Importancia para el alumno →	8	9	10	10	8	8	8	9	8	8	8	7			
	Qué item necesita mejorar														
Fases del Proceso	El seguimiento no es cercano y preventivo en los semestres	Falta de plano o procedimiento para prevenir bajas	Credenciales académicas de profesores mas fuertes en Mty	Cercanía con campus Mty(Pocos retos y estímulos para los alumnos)	Situación económica en la zona	Alumnos quieren vivir fuera de sus casas	Falta de infraestructua que haga mas atractivo al campus	Mas becas para que los alumnos se queden	Mayor oferta de carreras completas	Plan robusto de orientación de alumnos en prepas y el IJTESM	Cultura del minimo esfuerzo de los alumnos	Falta establecer planes de carrera para alumnos	TOTAL		
	Gen	Proc	Proc	MA	MA	MA	Plan	Plan	Plan	Plan	MA	Proc			
Entrevista del alumno con director de carrera	9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	416	13%	
Entrevista del director de carrera con padre de familia	9	4	4	4	9	1	4	4	4	4	4	0	432	13%	
Documentación de baja	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1%	
Apoyo de dirección de profesional o general	4	4	9	0	0	0	9	4	4	1	4	4	366	11%	
El alumno solicita firmas de autorización de baja	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0%	
Se da de alta la baja en base de datos	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0%	
Se da de alta la baja en sistema SADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%	
Envío de mail informativo de la baja	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	1%	
Inscripción del alumno	1	4	4	4	4	4	4	9	9	9	1	1	460	14%	
Exámenes de ubicación	1	4	0	0	9	1	0	4	1	4	4	1	239	7%	
Inducción	4	1	1	4	4	4	4	1	1	1	4	4	272	8%	
Clases en semestres de tronco común	4	9	4	9	4	4	4	4	1	4	4	1	454	14%	
Clase en semestres con cursos de especialidad	9	9	4	4	1	4	4	4	0	1	4	0	381	12%	
Alumno terminando su carrera	4	4	4	1	1	1	4	1	0	0	1	1	190	6%	
TOTAL POR REQUERIMIENTO	368	423	350	300	288	184	296	315	192	224	240	84	3264	100%	
	11%	13%	11%	9%	9%	6%	9%	10%	6%	7%	7%	3%			

Como se observa en el ejemplo se han cargado las fases o etapas del proceso en la columna de la izquierda de la matriz, posteriormente se han enlistado en columnas las salidas que son importantes para el cliente.

Se ha calificado en una escala de 0 a 10, para posteriormente seleccionar las fases del proceso que tengan un mayor acumulado de calificación, dichas fases serán con las que se trabajarán en el análisis AMEF.

AMEF (Análisis de modo y efecto de falla)

Es la última de las herramientas de lluvia de ideas usada en el proceso de Seis Sigma. El objetivo de las herramientas de lluvia de ideas como ésta y las anteriores en la etapa de Medición de Seis Sigma es descartar las pocas entradas significativas de las muchas no significativas.

El formato AMEF, además de identificar las entradas, sirve como vehículo para generar las acciones futuras de mejora.

Un AMEF se debe construir después del mapeo del proceso y la matriz C&E. El equipo que lo construya debe ser el mismo que hizo el mapeo de procesos y la matriz C&E con algunas adiciones.

El AMEF identifica las áreas para otros estudios como lo son el Diseño de experimentos.

TERMINOLOGIA

AMEF: Un análisis sistemático de un proceso, utilizado para identificar fallas potenciales y para prevenir su ocurrencia.

Modo potencial de falla: La manera en la que el proceso puede fallar potencialmente para cumplir con los requerimientos del proceso.

Efecto potencial de falla: El resultado del modo de la falla en el cliente.

Severidad: Una evaluación de la seriedad del modo de falla. La severidad aplica solo para los efectos.

Causa: Como puede ocurrir la falla, descrita en términos de algo que puede ser corregido o controlado.

Ocurrencia: La probabilidad de que un modo de falla específico se proyecte para ocurrir.

Detección: la efectividad de los controles del proceso actual para identificad el modo de falla(o el efecto de falla) antes de que ocurra, antes de la producción o antes del embarque al cliente.

NPR- Numero prioritario de riesgo: El producto de la severidad, ocurrencia y detección.

La secuencia recomendada para llegar a hacer un AMEF es:

- 1- Mapeo del proceso (DFP) y Mapeo detallado
- 2- Diagrama de espina de pescado
- 3- Matriz C&E
- 4- AMEF

Un ejemplo de AMEF es presentado a continuación:

Process or Product Name:	Baja de los alumnos del nivel profesional					Prepared by:	Edgar Barbosa		
Responsible:	División de Profesional					FMEA Date (Orig) ___24 Julio 2007_____ (R)			
Process Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	S E V	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Process Controls	D E T	R P N	
The highest value process steps from the C&E matrix.	In what ways might the process potentially fail to meet the process requirements and/or design intent?	What is the effect of each failure mode on the outputs and/or customer requirements? The customer could be the next operation, subsequent operations, another division or the end user.	How Severe is the effect to the customer?	How can the failure occur? Describe in terms of something that can be corrected or controlled. Be specific. Try identify the causes that directly impacts the failure mode, i.e., root causes.	How often does the cause or failure mode occur?	What are the existing controls and procedures (inspection and test) that either prevent failure mode from occurring or detect the failure should it occur? Should include an SOP number.	How well can you detect cause or FM?	SEV x OCC x DET	
Clases en semestres de tronco común	Alumno mal asesorado y con poca información	El seguimeinto no es cercano y preventivo	6	Falta de plan de de carrera para alumnos	5	Entrevistas de acercamiento con alumnos	7	210	
	Alumno insatisfecho con los servicios del Campus	Infraestructura insuficiente para el alumno.	5	Hay mucha demanda de recursos por parte de todas las áreas del campus.	5	ECOAS	7	175	
Inscripción del alumno	Alumno no decidido a entrar al ITESM	El seguimeinto no es cercano y preventivo	6	Falta desarrollar plan de carrera para el alumno	5	Entrevistas de acercamiento con alumnos	7	210	
	Alumno no inscrito en la carrera mas adecuada de acuerdo a su perfil	Opciones de carreras limitadas en el Campus Tampico	8	No hay demanda suficiente por parte de los alumnos para abrir carreras nuevas	5	N/A	8	320	
Clases en semestres con cursos de especialidad	Alumno busca su transferencia	El alumno quiere vivir experiencias en campus mas grande y fuera de su casa.	7	Busqueda de cambio, libertad y crecimiento personal	5	Entrevistas de acercamiento con alumnos	7	245	
Entrevista del director de carrera con padre de familia y alumno	Baja o transferencia	Dificultad para poder revertir una baja o transferencia solicitada por alumno y padres de familia.	8	Falta de comunicación desde inicios de la carrera con padre de familia	5	Junta semestral con padres, entrevistas	7	280	
Apoyo de dirección de profesional o general	Alumno busca otra escuela o se transfiere	Becas o apoyos	8	El apoyo muchas veces no se pide a tiempo para prevenir la baja.	5	N/A	7	280	
Proceso de inducción	Alumno solicitado baja	Alumnos indecisos y desinscripciones	5	Competencia de otras universidades	4	N/A	5	100	

Note como cada columna se refiere a ir primeramente colocando la función del proceso que tiene que ver con aquellas que en la matriz C&E salieron con puntuación alta. Posteriormente se describe de qué manera este proceso puede fallar potencialmente, observe que puede haber más de una forma o modo de falla. Posteriormente en la tercera columna se describe cual es el efecto o como se manifiesta la falla que se puede presentar. En la columna 4 se evalúa la severidad en una escala de 1 a 10. En la columna 5 se trata de identificar la causa de la falla. En la siguiente columna se evalúa en escala del 1 a 10 la probabilidad de que ocurra la causa de la falla. Posteriormente se explica que medio de control se está siguiendo para detectar o prevenir la falla. Después se evalúa de 1 a 10 que tan bueno es el mecanismo de detección que se tiene para estos modos de falla, para por último calcular el NPR.

Los criterios de evaluación para los niveles de severidad, detección y ocurrencia son tomados principalmente de tablas utilizadas ampliamente en la industria. En la carpeta de Medición podrá encontrar el archivo que hace referencia a estos criterios así como el formato para hacer un AMEF.

ANALISIS

La meta de la fase de análisis es describir el problema en términos de variables estadísticas. Esto conducirá a una solución estadística comprensible.

Al inicio de un proyecto de Seis Sigma asegúrese de enumerar las posibles entradas de información, incluso si usted piensa que no son relevantes. A veces (muy a menudo) el equipo puede avanzar en el proyecto, bajando en un tipo embudo en donde empezamos en la etapa de medición con muchas variables que vamos filtrando con las técnicas revisadas y que depuramos para iniciar el Análisis en donde se espera que estas variables sean también depuradas y nos quedemos solamente con las llamadas X 's críticas para la Y o problema que tenemos definido en el proyecto.

Para seguir con la documentación de un proyecto en la fase de análisis se deben de hacer los siguientes estudios y quedar debidamente documentados y concluidos:

1. Definición de Variables
2. Análisis Exploratorio por Variable
3. Análisis Exploratorio Multivariable
4. Hipótesis de investigación
5. Análisis Inferencial
6. Preparación al DOE

DEFINICIÓN DE VARIABLES

Es sumamente importante que antes de iniciar cualquier análisis conozcamos con que tipo de variables contamos para este fin, las variables serán aquellas que obtuvimos

como significativas de las matrices C&E, mapa detallado y AMEF, por lo que en primera instancia se define el nombre de cada variable, su unidad de medida, una descripción de la misma, se identifica el tipo de variable estadística y se establece la relación que ésta posee con el métrico primario y crítico. Las variables son las encontradas como importantes en la etapa de Medición.

Existe una clasificación básica de variables que a continuación se muestra brevemente explicada:

1- Cuantitativa Continua:

Se caracterizan por el hecho de que para todo para de valores siempre se puede encontrar en valor intermedio, (el peso, la estatura, el tiempo empleado para realizar un trabajo, etc.)

Una variable es continua, cuando puede tomar infinitos valores intermedios dentro de dos valores consecutivos. Por ejemplo, la estatura, el peso, la temperatura.

2-Cuantitativa discreta:

Son aquellas que pueden tomar solo un número limitado de valores separados y no continuos; son aquellas que solo toman un determinado números de valores, porque entre dos valores consecutivos no pueden tomar ningún otro; por ejemplo el número de estudiantes de una clase es una variable discreta ya que solo tomará los valores 1, 2, 3, 4..., nótese que no encontramos valor como 1.5 estudiantes.

3-Cualitativa nominal:

Una variable cualitativa nominal presenta modalidades no numéricas que **no** admiten un criterio de orden. Por ejemplo:

El estado civil, con las siguientes modalidades: Soltero, casado, separado, divorciado y viudo.

4-Cualitativa ordinal:

Una variable cualitativa ordinal presenta modalidades no numéricas, en las que existe un orden. Por ejemplo:

La nota en un examen: suspenso, aprobado, notable, sobresaliente.

Puesto conseguido en una prueba deportiva: 1º, 2º, 3º, ...

Medallas de una prueba deportiva: oro, plata, bronce.

Ejemplo de formato a utilizar:

Nombre	Unidad de Medida	Descripción	Tipo de Variable	Relación con el métrico primario	Relación con el métrico crítico
Alumnos entrevistados por su Director de Carrera	Entrevistado – No Entrevistado	Si el alumno fue o no entrevistado por su director de carrera para conocer la causa de su baja.	Cualitativa Nominal	En la entrevista se puede detectar si existe algún tipo de acción que pueda apoyar al alumno a continuar sus estudios	Una de las causas de baja es la económica y uno de los tipos que se les brinda al alumno es reconsideración de la beca.

Con este corto pero importante paso usted podrá saber con certeza, con qué tipos de variables hará su proyecto.

ANALISIS EXPLORATORIO POR VARIABLE

Los despliegues de gráficos de datos pueden ofrecer una comprensión mucho más profunda del comportamiento del proceso. La visualización de datos en forma gráfica puede ser interpretada más rápidamente que los puros números. “Un diagrama es de hecho mejor que mil números”. Debido a que la meta de la fase de análisis como ya comentábamos es la descripción del problema en términos de variables estadísticas, con los gráficos podremos cumplir éste fin más fácilmente.

Se estudian todas las variables definidas como variables estadísticas.

El tipo de graficas utilizadas son congruentes con el tipo de variable. Se presentan conclusiones.

Es recomendable realizar comparaciones entre gráficos, y que las escalas sean definidas apropiadamente.

Las variables cuantitativas discretas se pueden analizar como continuas siempre y cuando los intervalos sean suficientemente pequeños (dependerá del proyecto).

Si la Variable X es cuantitativa continua usar:

- Graphical Summary
- Scatterplot
- Marginal Plots

Si la Variable X es cuantitativa Discreta o Variable cualitativa nominal-ordinal o tipo presencia-ausencia usar:

- Box Plot With Groups
- Interval Plots With Groups
- Individual Value Pots With Groups

A continuación se dan ejemplos sobre el uso de cada una de estas herramientas utilizando el software minitab:

1-Graphical Summary

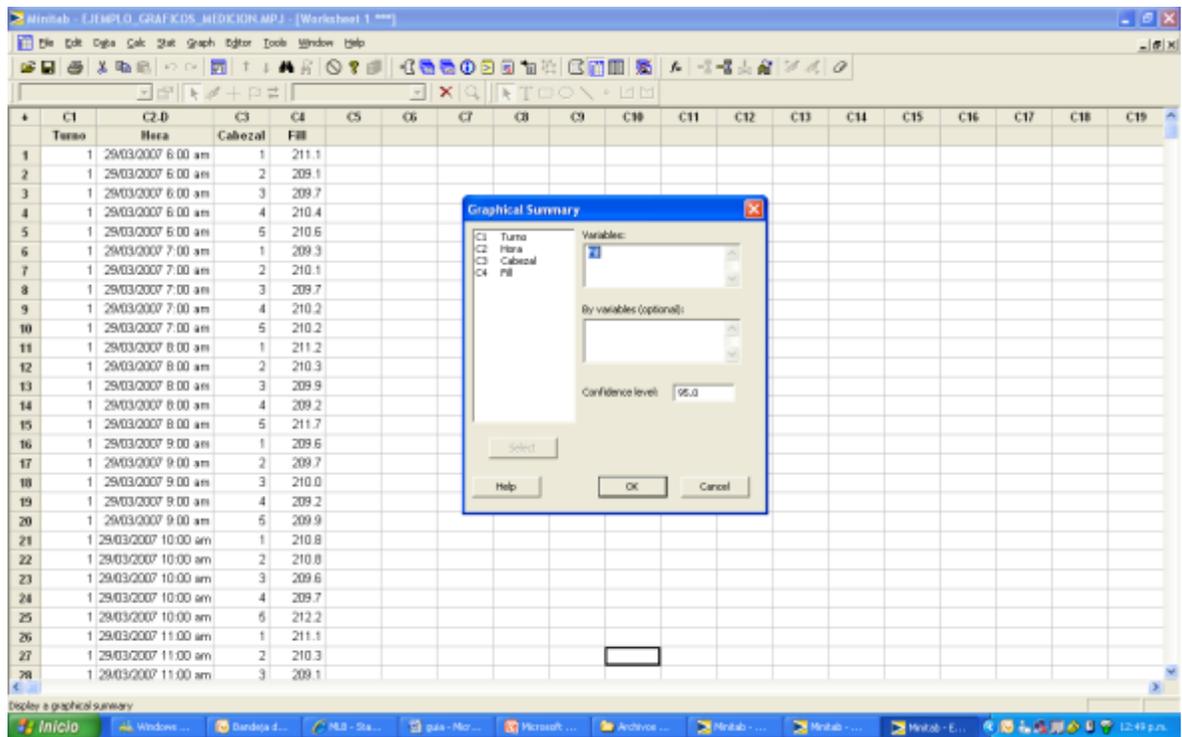
En este ejemplo usted tiene un proceso en donde a través del tiempo mide de 5 máquinas (cabezales) que cantidad de mililitros inyectan a una botella (fill). Lo que nos interesa saber es como se están comportando los datos de la variable fill, por lo que conduciremos un Graphical summary para ver dicho comportamiento.

El archivo de este ejemplo se llama Overfill.mpj y se encuentra en la carpeta de Análisis.

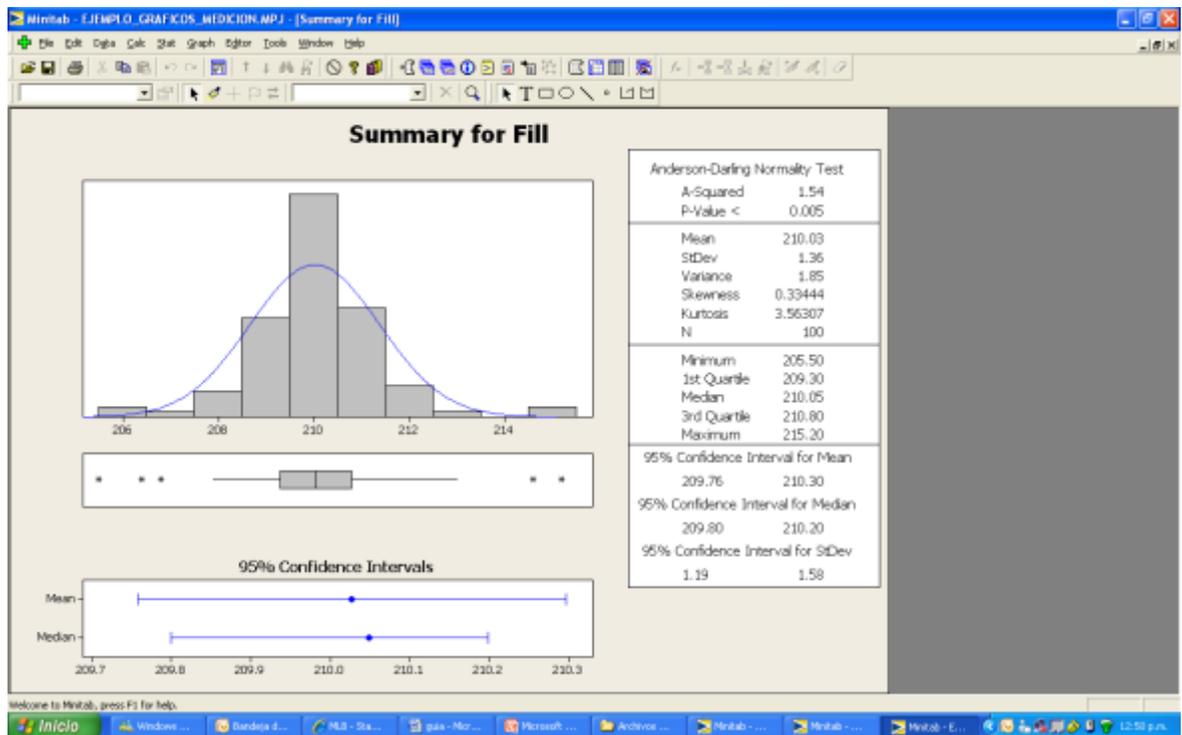
	C1	C2-D	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
	Terazo	Hora	Cabezal	FIB															
1	1	29/03/2007 6:00 am	1	211.1															
2	1	29/03/2007 6:00 am	2	209.1															
3	1	29/03/2007 6:00 am	3	209.7															
4	1	29/03/2007 6:00 am	4	210.4															
5	1	29/03/2007 6:00 am	5	210.6															
6	1	29/03/2007 7:00 am	1	209.3															
7	1	29/03/2007 7:00 am	2	210.1															
8	1	29/03/2007 7:00 am	3	209.7															
9	1	29/03/2007 7:00 am	4	210.2															
10	1	29/03/2007 7:00 am	5	210.2															
11	1	29/03/2007 8:00 am	1	211.2															
12	1	29/03/2007 8:00 am	2	210.3															
13	1	29/03/2007 8:00 am	3	209.9															
14	1	29/03/2007 8:00 am	4	209.2															
15	1	29/03/2007 8:00 am	5	211.7															
16	1	29/03/2007 9:00 am	1	209.6															
17	1	29/03/2007 9:00 am	2	209.7															
18	1	29/03/2007 9:00 am	3	210.0															
19	1	29/03/2007 9:00 am	4	209.2															
20	1	29/03/2007 9:00 am	5	209.9															
21	1	29/03/2007 10:00 am	1	210.8															
22	1	29/03/2007 10:00 am	2	210.8															
23	1	29/03/2007 10:00 am	3	209.6															
24	1	29/03/2007 10:00 am	4	209.7															
25	1	29/03/2007 10:00 am	5	212.2															
26	1	29/03/2007 11:00 am	1	211.1															
27	1	29/03/2007 11:00 am	2	210.3															
28	1	29/03/2007 11:00 am	3	209.1															

Datos del ejercicio en minitab.

Vaya al menú de stat, de click en basic statistics y luego busque la opción de graphical summary.



Coloque como variable a graficar Fill y de OK .



La gráfica muestra la distribución de los datos mediante un histograma, un diagrama de caja y nos presenta datos del derecho de los cuales podemos rescatar el dato P-Value que al ser < 0.05 nos indica que la distribución de los datos no es normal, esto

podiera deberse a que tomamos datos de diferentes maquinas. También nos despliega información sobre la media de la muestra que en este caso es 210.0, su desviación estándar 1.36 y un box plot que analizaremos por separado en las siguientes herramientas.

2-Scatterplot o diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión es una gráfica que se utiliza para estudiar la posible relación entre dos variables de interés.

Se colectan pares de observaciones de las variables de interés (considere variable X y variable Y), y luego se grafican estos pares como puntos en el plano de coordenadas (X, Y) .

Podría observarse en el diagrama de dispersión si hay relación lineal (línea recta), curvilínea o no hay ninguna relación entre las variables X y Y cómo se puede apreciar en la figura siguiente.

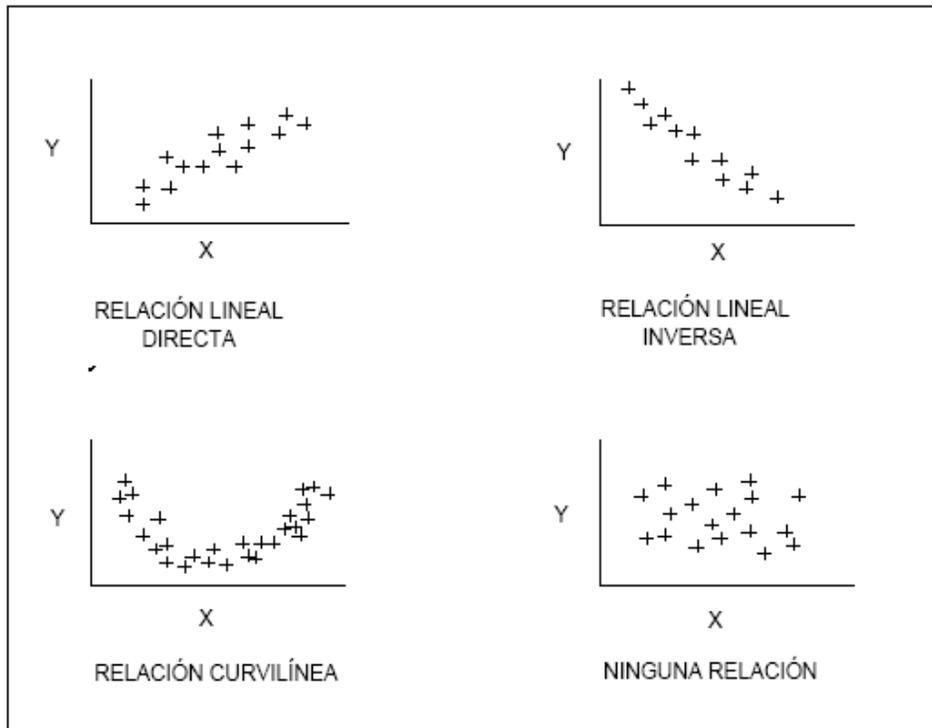
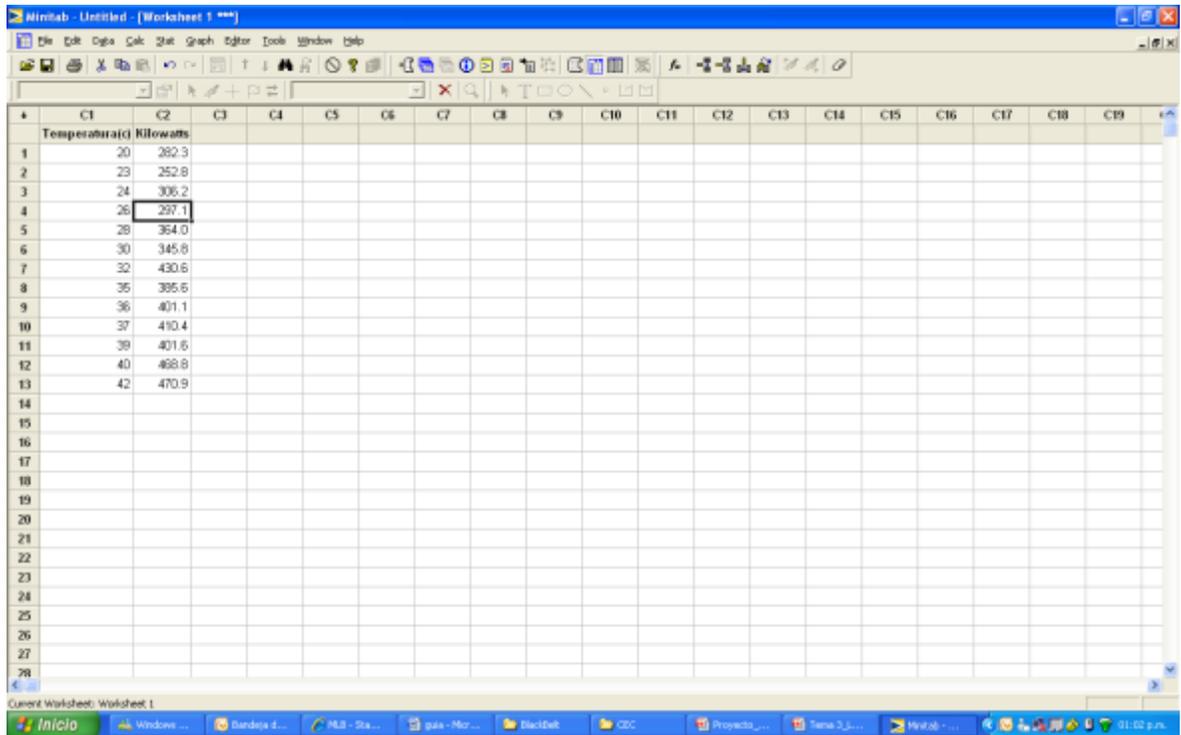
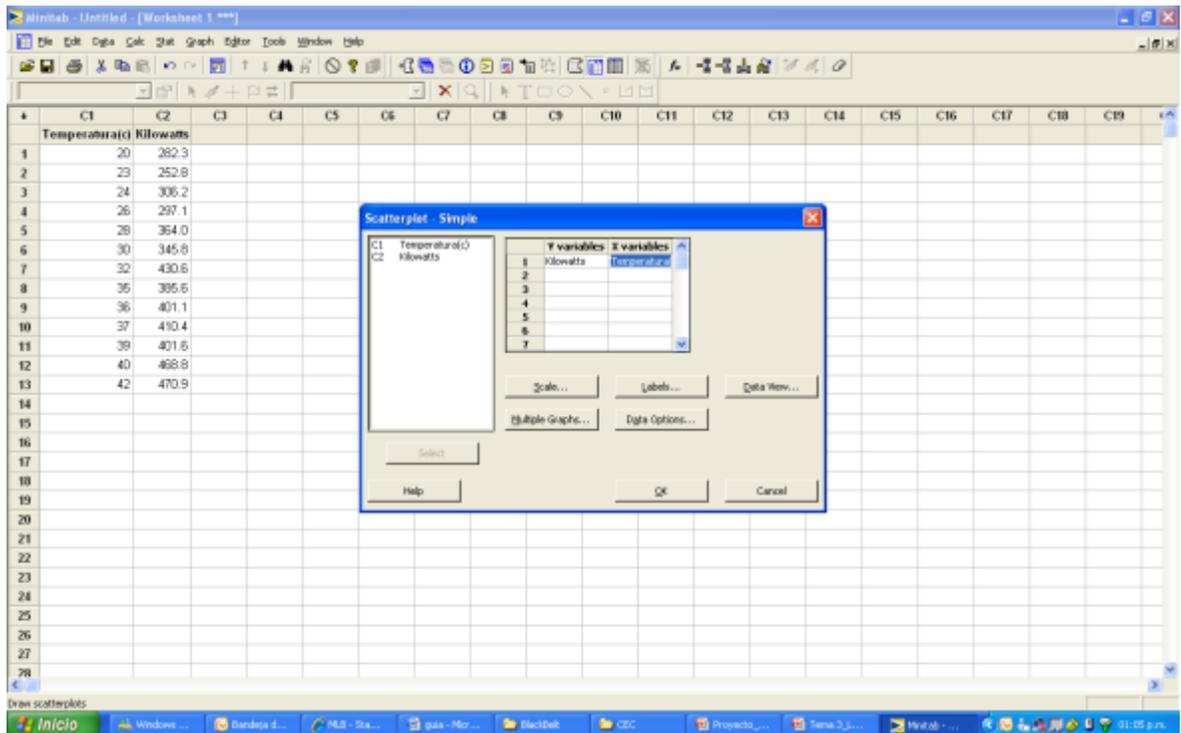


Figura 1.9 Aspectos posibles de un diagrama de dispersión.

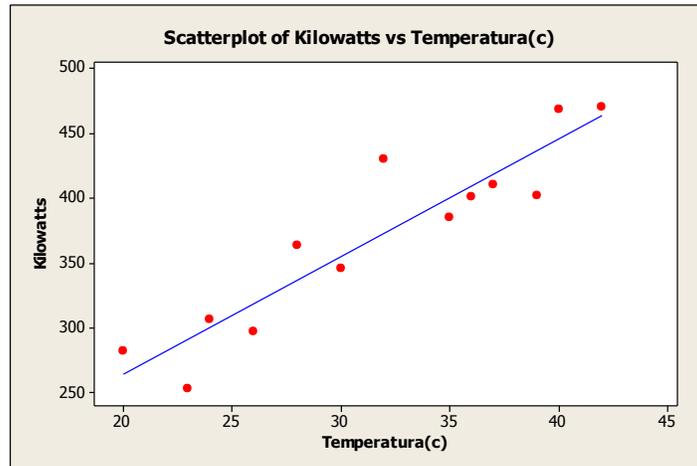
Veamos un ejemplo, en donde queremos ver la relación que existe entre el consumo de kilowatts en una fábrica y la temperatura ambiente en la misma. Para ellos se obtienen los siguientes datos que se colocan en minitab:



Posteriormente vamos a irnos al menú de Graph, damos click en scatterplot y posteriormente elegimos la opción Simple, aparecerá la siguiente pantalla en donde colocará en la variable X la temperatura y en la Y los Kilowatts.



De OK en la ventana de diálogo y aparecerá el siguiente gráfico:



Podemos apreciar como existe una relación lineal creciente entre las variables, es decir a mayor temperatura existe un mayor consumo de kilowatts.

3-Marginal Plot (Diagrama marginal)

Es una combinación de dos diagramas. Un diagrama estándar de X contra Y llamado también de dispersión y un histograma, diagrama de caja o de puntos en cualquiera de los ejes X, Y o ambos.

Veamos un ejemplo en minitab:

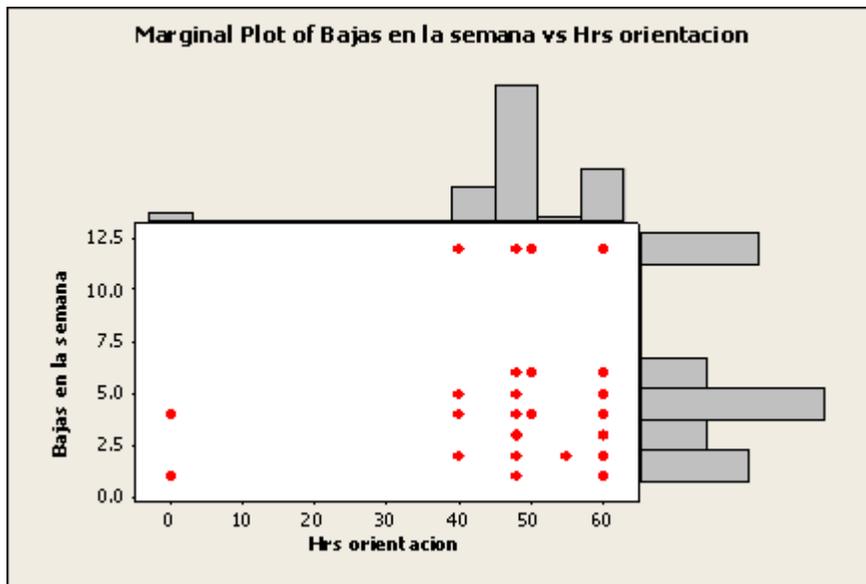
Abra el archivo Ejemplo_Marginal plot.mtw que está en la carpeta de análisis.

Tenemos dos variables, una que es bajas en la semana y otra que son las horas de orientación recibidas.

En el menú de Stat de minitab vamos a buscar la opción de marginal Plot. Vamos a elegir el primer diagrama que aparece con unos histogramas en los ejes superior y derecho de la gráfica.

En el cuadro de diálogo que aparece vamos a cargar como variable X las horas de orientación y como la Y las bajas que hubo en las semanas.

El gráfico que se presenta es como el que sigue:



Con este tipo de gráfico podemos ver la relación de dos variables al observar cómo se comportan los puntos como un diagrama de dispersión normal, sin embargo los histogramas nos ayudan a ver dónde hay mayor concentración de puntos. En este caso podemos establecer que los alumnos que tienen 50 y 60 horas de orientación son los que se dan de baja más temprano (entre las semanas 1 y 5).

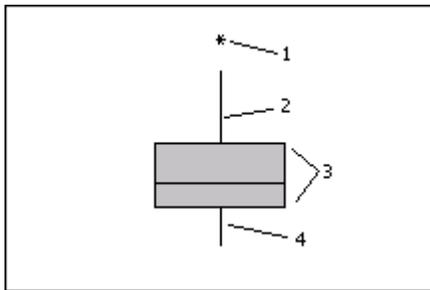
Si tuviéramos menos datos como muestra el diagrama que pudiéramos haber elegido es el Marginal Plot with Boxplot.

4-Box plot with groups

Este diagrama en su forma más sencilla se utiliza para ver la mediana y la dispersión de una serie de puntos de una muestra. Normalmente se utiliza en lugar del histograma cuando tenemos muestras de menor tamaño.

Vemos como se compone el diagrama en sus diferentes partes:

- 1- Punto externo que van más allá de los límites superior o inferior.
- 2- Bigote superior: Esta línea también llamada límite superior equivale a : $Q3 + 1.5(Q3 - Q1)$
- 3- Caja: La línea de arriba de la caja representa el tercer cuartil ($Q3$), 75% de los datos de la muestra están por debajo de esta línea.
La línea de en medio de la caja representa la MEDIANA de la muestra.
La línea de abajo de la caja representa el primer cuartil ($Q1$), 25% de los datos están por debajo de esa línea.
- 4- Bigote inferior: Es la línea también llamada límite inferior y equivale a: $Q1 - 1.5(Q3 - Q1)$.



Ejemplo de diagrama box plot con subgrupos:

En el siguiente archivo de minitab tenemos la variable Thick que queremos relacionar con otra variable que se llama Slot. Note que la variable slot no es cuantitativa, ésta es una ventaja que nos da el diagrama de caja, ya que podemos ver la relación entre diferentes variables cualitativas comparadas con otras que son cuantitativas como es el caso de la variable Thick.

Los datos de este ejemplo se encuentran en el archivo **socketData.mtw** que se localiza en la carpeta de análisis.

	C1.T	C2.T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	
	Cycle	Slot	Sample	Thick																	
1	A	S1	0	18	1																
2	A	S2	0	13	2																
3	A	S3	0	10	3																
4	A	S4	0	11	4																
5	B	S1	0	19	1																
6	B	S2	0	16	2																
7	B	S3	0	11	3																
8	B	S4	0	12	4																
9	C	S1	0	20	1																
10	C	S2	0	14	2																
11	C	S3	0	13	3																
12	C	S4	0	13	4																
13	D	S1	0	19	1																
14	D	S2	0	13	2																
15	D	S3	0	10	3																
16	D	S4	0	13	4																
17	E	S1	0	21	1																
18	E	S2	0	13	2																
19	E	S3	0	13	3																
20	E	S4	0	13	4																
21	A	S1	1	16	1																
22	A	S2	1	12	2																
23	A	S3	1	10	3																
24	A	S4	1	13	4																
25	B	S1	1	21	1																
26	B	S2	1	13	2																
27	B	S3	1	14	3																
28	B	S4	1	16	4																

En esta tabla vemos como existen 4 tiempos diferentes de slots y se tienen resultados Thick para cada una de ellas.

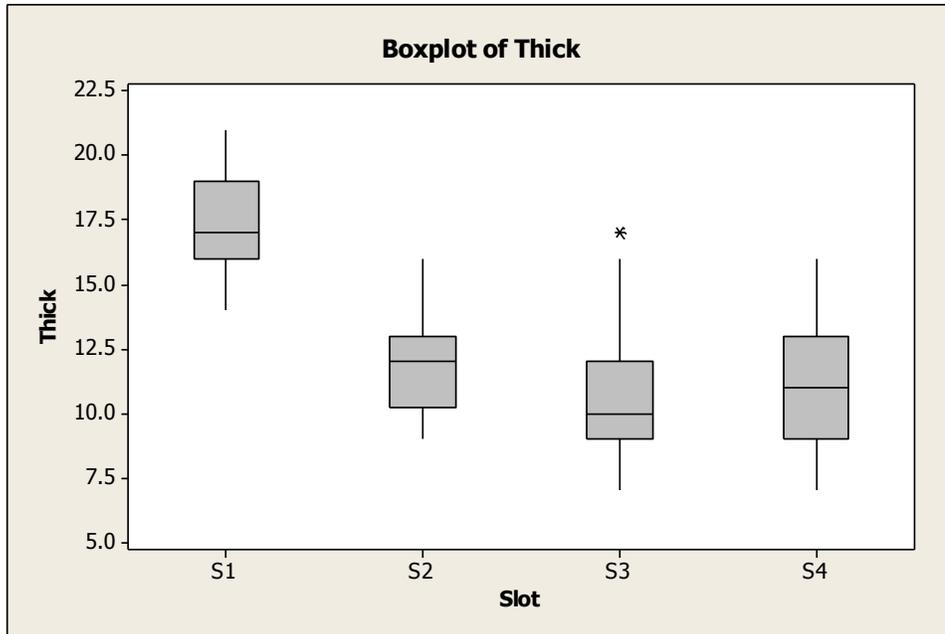
Veamos que pasa al construir el diagrama box plot con grupos.

Pasos:

- 1-Vaya a Graph, luego busque box plot y de click.
- 2-Seleccione la opción WHIT GROUPS.

3- En donde dice Graph variables cargue la variable THICK y en donde dice Categorical variables for grouping seleccione la variable SLOT.

4-De OK y aparecerá la siguiente gráfica.



Note como de esta manera podemos comparar las medianas de cada SLOT de acuerdo al valor THICK. Esto es muy útil cuando queremos ver en donde ocurren diferencias en procesos como en máquinas. Aquí podemos ver como el SLOT 1 es la que está más alejada de las demás.

5-Interval Plot with groups

Esta gráfica es muy parecida a la anterior solo que nos da información en un intervalo de confianza generalmente preestablecido en un 95%. Utilizaremos el mismo archivo SocketData para ejemplificar este gráfico.

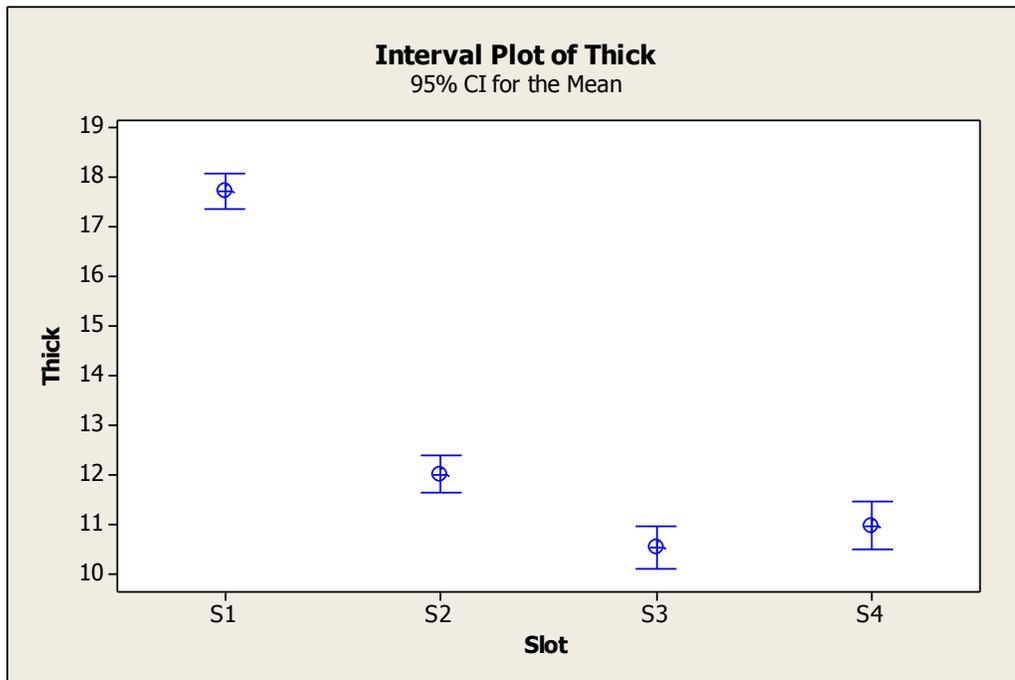
Los pasos para obtener esta gráfica son:

1-Vaya a Graph, luego busque interval plot y de click.

2-Seleccione la opción WHIT GROUPS.

3- En donde dice Graph variables cargue la variable THICK y en donde dice Categorical variables for grouping seleccione la variable SLOT.

4-De OK y aparecerá la siguiente gráfica.



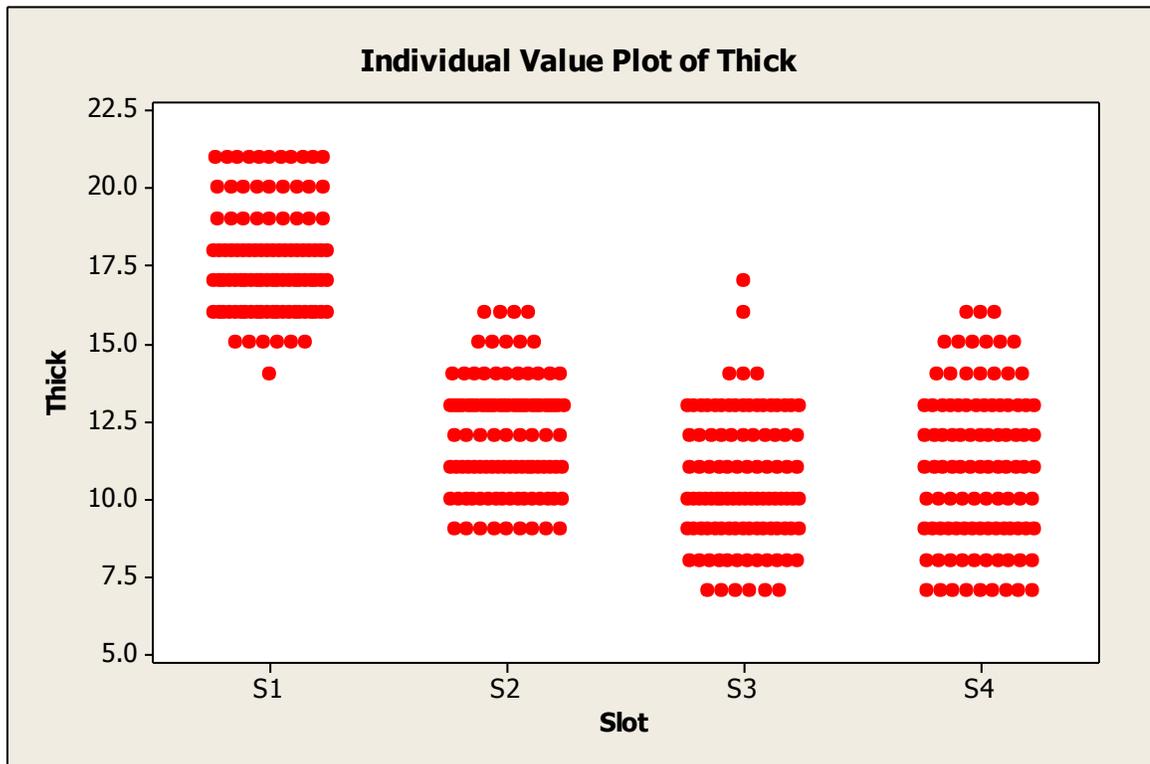
Observe como este gráfico corrobora aún más la diferencia que existe entre el SLOT 1 y el resto.

6-Individual Value Pots With Groups

Esta grafica es una opción que nos permite ver de manera más clara aún donde están los puntos de las muestras que tomamos, es muy similar a las anteriores. Seguiremos utilizando el archivo SocketData para este ejemplo.

Los pasos para obtener esta gráfica son:

- 1-Vaya a Graph, luego busque individual plot y de click.
- 2-Seleccione la opción WHIT GROUPS.
- 3- En donde dice Graph variables cargue la variable THICK y en donde dice Categorical variables for grouping seleccione la variable SLOT.
- 4-De OK y aparecerá la siguiente gráfica.



En la gráfica aparecerán reflejados todos los puntos categorizados por SLOT, y vemos claramente como están más arriba casi todos los puntos del SLOT 1.

ANALISIS EXPLORATORIO MULTIVARIABLE

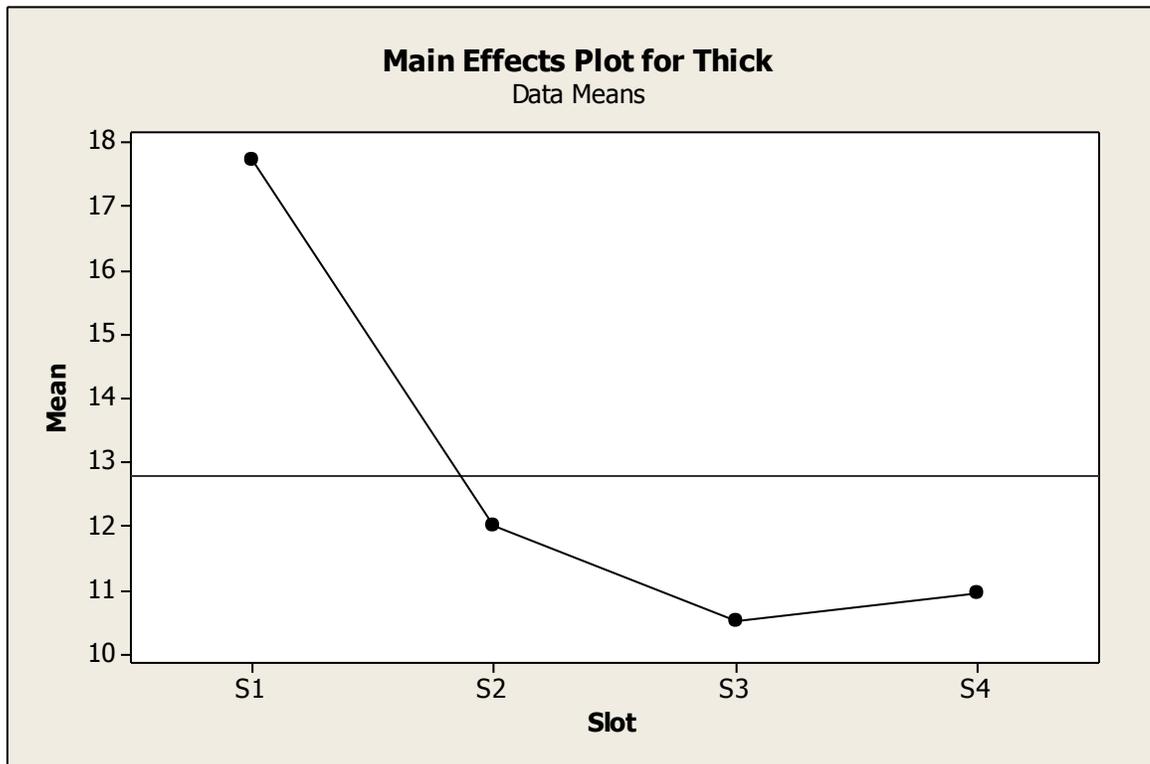
Con este tipo de gráficas que se presentan a continuación se pretende conocer más a fondo cómo se comportan las variables, como se relacionan o interactúan unas con otras con el fin de tener mayor conocimiento de cómo están afectando en los procesos o proyecto planteado.

A continuación se describen las más utilizadas:

1-Diagrama o gráfico de efectos principales

Dentro del mismo ejemplo que veíamos anteriormente de la relación entre la variable SLOT y Thick construiremos un diagrama de efectos principales paso a paso:

- 1- Vaya a STAT, después seleccione la opción ANOVA.
- 2- Seleccione la opción MAIN EFFECTS PLOTS.
- 3- En responses o variable de respuesta coloque la variable THICK.
- 4- En Factores coloque la variable SLOT.



En la gráfica se aprecia más claramente como la media del SLOT1 es claramente diferente al encontrarse muy por encima de la media y los demás SLOTS están por debajo de la misma.

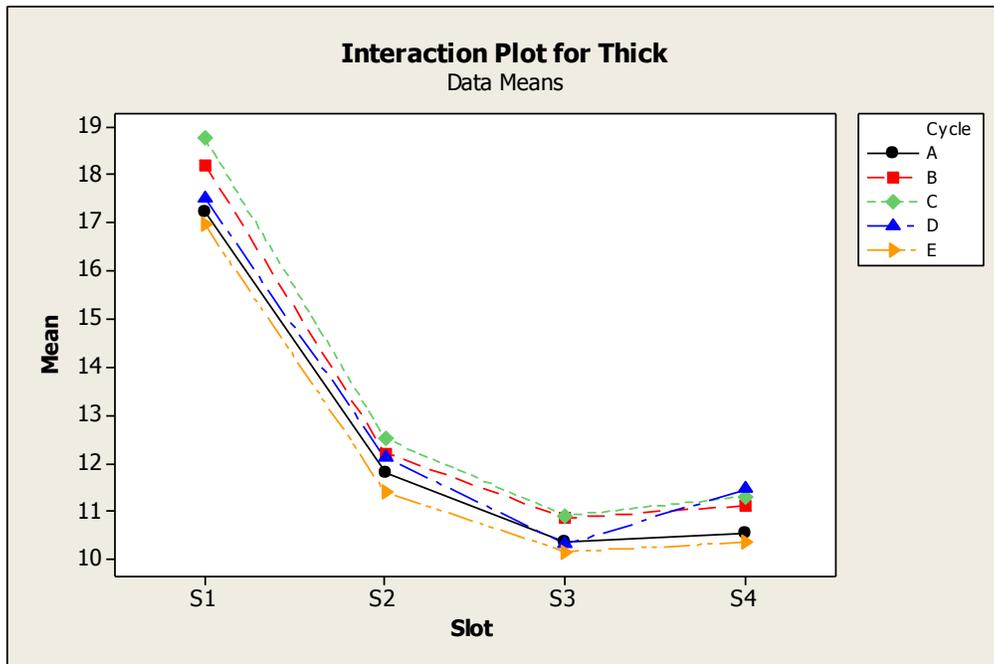
2-Grafico de interacciones

Es un gráfico de medias para cada nivel de un factor manteniendo el nivel de un segundo factor constante. Las líneas paralelas indican que no hay interacción presente entre los factores.

Ejemplo:

Tomando como base el mismo ejemplo anterior siga los siguientes pasos para construir el gráfico de interacciones:

- 1- Vaya a stat, seleccione la opción ANOVA y luego de click en Interactions Plot.
 - 2- En Responses seleccione la variable SLOT y también la variables CYCLE.
- Aparecerá la siguiente gráfica:



Aquí lo que se hizo fue comparar la variable de respuesta Thick con dos variables o factores que son el SLOT y el CYCLE. En el eje inferior de la gráfica vemos las diferentes categorías de SLOTS, en el eje Y vemos la variable de respuesta THICK y las líneas de colores representan cada uno de los ciclos medidos.

Si las líneas en un gráfico de interacciones son perceptiblemente no paralelas, entonces una interacción está presente. Una interacción significa que el efecto de un factor depende el nivel de otro factor, es decir, los dos factores no son independientes. En este caso, parece ser que, para la mayoría de las partes, no hay interacción entre el SLOT y el Ciclo.

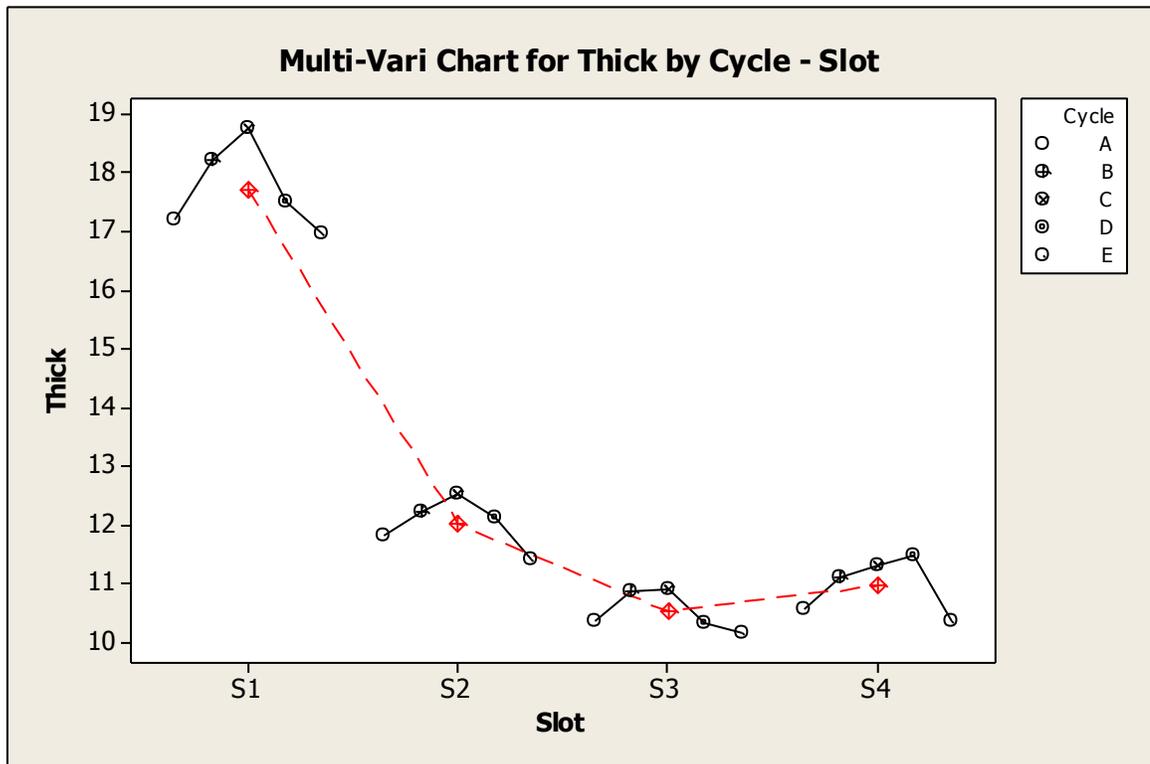
3-Multi Var-Chart

Es una herramienta muy útil para identificar gráficamente fuentes de variación, especialmente variación del ruido.

Creemos un gráfico Multivariable con el mismo ejemplo.

Pasos:

- 1- Vaya a Stat, luego seleccione Quality Tools, por último busque la opción Multi-vari chart.
- 2- Seleccione como respuesta: Thick
- 3- Seleccione como factores: Cycle y slot.
- 4- De OK



Aquí podemos ver las comparaciones en cada uno de los slots de acuerdo al tipo de ciclo. Los puntos de la línea roja son los promedios de todos los ciclos para cada uno de los slots.

Observamos de la gráfica como el ciclo E para cualquier Slot es siempre más bajo, vemos también que el promedio del slot 1 es mucho más alto que el de los demás.

HIPOTESIS DE INVESTIGACION

Una prueba de hipótesis es simplemente comparar la realidad con una suposición y preguntarse “¿son iguales?” o una prueba de hipótesis es probar si los datos reales se ajustan a un modelo o comparar un estadístico a una hipótesis.

La esencia de las pruebas de hipótesis es calcular los datos de un criterio relevante (o estadístico) para comparar una hipótesis de interés particular (hipótesis nula) contra otras hipótesis alternas.

La hipótesis nula se abrevia como H_0 y usualmente es un enunciado de no efecto o no diferencia. Rechazamos o fallamos en rechazar H_0 basados en evidencia estadística.

La hipótesis alterna se abrevia como H_a y es un enunciado de un parámetro de la población que se sospecha verdadero, si H_0 es rechazado.

Ejemplo:

El procesamiento de órdenes necesita reducir su tiempo debido al aumento en demanda y una meta de organización para llevar a cabo la cuenta principal constante.

Se probó un cambio en el diseño del flujo del proceso para mejorar el tiempo de ciclo de las órdenes. La media de la muestra del tiempo de ciclo para el proceso viejo es de 125 minutos y la duración de la media de la muestra del tiempo de ciclo es de 118 minutos.

Ho en lenguaje común sería:

No hay diferencia en el tiempo promedio de procesamiento entre el viejo y el nuevo proceso.

En términos estadísticos

$$H_0: \mu_{\text{Nuevo}} = \mu_{\text{viejo}}$$

Ha en lenguaje común sería:

El nuevo proceso completa las órdenes más rápido, en promedio, comparado con el proceso viejo.

En términos estadísticos:

$$H_a: \mu_{\text{Nuevo}} < \mu_{\text{viejo}}$$

Las hipótesis también comparan la variabilidad, por lo tanto pudiéramos tener el ejemplo de querer comparar dicha variación en la temperatura de un nuevo diseño de quemador de un horno (elemento 1) con la variación de temperatura de un diseño estándar (elemento 2).

Ho en términos estadístico sería:

$$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$$

Ha sería:

$$\sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$$

Finalmente podemos comparar proporciones de poblaciones como nos dice el siguiente ejemplo:

Durante la reciente elección presidencial 42% del electorado votó por el candidato demócrata. Una encuesta de 100 reporteros del periódico demostró que el 71% votó por el demócrata. ¿Es la preferencia política de los reporteros diferente a la del resto de la población?

Ho en el lenguaje común:

No hay diferencia entre la proporción de la población y la de los reporteros que votaron por el demócrata.

$$P_{\text{población}} = P_{\text{reporteros}}$$

Ha en lenguaje común:

Más reporteros votaron por el demócrata de lo que lo hizo la población en general.

En términos estadísticos:

$$P_{\text{población}} < P_{\text{reporteros}}$$

En las pruebas de hipótesis se pueden cometer dos tipos de errores:

Error tipo I: Rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. La probabilidad de cometer este error se denota con la letra α .

Error tipo II: Aceptar la hipótesis nula cuando es falsa. La probabilidad se denota como β .

Decisión \ Condición real	H_0 verdadera	H_0 falsa
	Rechazar H_0	Error Tipo I
Aceptar H_0	ok	Error Tipo II

Procedimiento general para una prueba de hipótesis:

Antes de Examinar los datos muestrales:

1. Identificar el parámetro de interés (μ , σ , P)
2. Establecer la Hipótesis Nula H_0
3. Especificar una Hipótesis alternativa adecuada H_a
4. Seleccionar un nivel de significancia α .

Usando los datos muestrales:

5. Establecer un estadístico de prueba adecuado
6. Establecer una región de rechazo
7. Calcular todas las cantidades muestrales necesarias para el estadístico
8. Decidir si debe o no rechazarse H_0

Existen diferentes criterios para saber que prueba debemos seleccionar:

- 1- De acuerdo al tipo de datos que pueden ser:
 - Variables (continuos)
 - Atributos (discretos)
- 2-Numero de niveles para una entrada dada:
 - Uno
 - Dos
 - Más de dos
- 3-Tipo de distribución
 - Normal
 - No-normal
- 4-Tipos de pruebas

- Dos muestras prueba t

En Seis Sigma el objetivo para la media es frecuentemente la media de especificación. Esto es responder la pregunta, ¿Aún está centrado mi proceso?. Otras veces, el objetivo es mantener la línea base del proceso. Entonces la pregunta es, ¿He hecho algún cambio significativo?. La comparación de dos medias tiene muchos usos: Comparar máquinas, procesos, fábricas, medidores etc. Las pruebas-t pareadas es un caso especial de las pruebas de dos muestras cuando cada uno de los puntos de los datos en la primera distribución tienen una contraparte exacta en la segunda distribución. Estas pruebas son comúnmente pruebas antes/después. Por ejemplo si un Black Belt o Green Belt desea probar la efectividad de un alimento nuevo para pollos, pesaría los pollos antes de cambiar la dieta y después. Los datos se analizan como observaciones pareadas, ya que el peso final de los pollos, sin considerar la dieta, depende sin duda alguna del peso antes del cambio.

El estadístico Z

Las pruebas que se pueden hacer y su regla de decisión son las siguientes:

Hipótesis	Regla de decisión
HO: $\mu_{población} = \mu_{objetivo}$	
Ha: $\mu_{población} < \mu_{objetivo}$ o	$Z_{calc} < Z_{\alpha}$
Ha: $\mu_{población} > \mu_{objetivo}$ o	$Z_{calc} > Z_{1-\alpha}$
Ha: $\mu_{población} \neq \mu_{objetivo}$	$Z_{calc} < Z_{\alpha}$ o $Z_{calc} > Z_{1-\alpha}$

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Donde $Z_{calc} =$

n es el tamaño de la muestra.

σ es la desviación estándar de la población conocida

μ es la media objetivo

\bar{X} es la media de la muestra.

Ejemplo:

Una compañía realiza un inventario de su almacén de pelotas de tenis probando la altura de rebote de 10 pelotas seleccionadas aleatoriamente. El promedio del rebote de la muestra es de 19.8 pulg. Los datos históricos son $\mu = 20.1$ y $\sigma = 0.5$. ¿ Se ha degradado el rebote de las pelotas de tenis debido a su almacenaje?. Emplear $\alpha = 0.05$.

1-Establecer el problema práctico:

¿La altura del rebote de la población almacenada es menor que el valor histórico?

2-Establecer la hipótesis nula

$$H_0: \mu_{\text{almac}} = 20.1$$

3-Establecer la hipótesis alterna

$$H_a: \mu_{\text{almac}} < 20.1$$

4-Probar las suposiciones: normalidad de los datos.

Abra el archivo minitab **Meanexamples.mtw** que se encuentra en la carpeta de análisis. De los datos que tenga haga una prueba de normalidad en minitab:

- 1- Vaya a stat, basic statistics, luego de click en graphical summary.
- 2- Seleccione la columna C1 (tennis balls) en donde tiene los datos de la muestra y de OK.
- 3- Verifique el valor P, que para este caso de acuerdo a la muestra es $>$ de 0.05, ya que la prueba da un resultado de 0.432 podemos decir que los datos son normales.

5-Calculamos el estadístico de prueba, en este caso Z_{calc}

$$Z_{\text{calc}} = (19.8 - 20.1) / 0.5 / \sqrt{10} = -1.897$$

6-Encontrar los valores críticos de la regla de decisión correcta, α , y la distribución correcta .

$$Z_{\text{critica}} = Z_{\alpha=0.05}$$

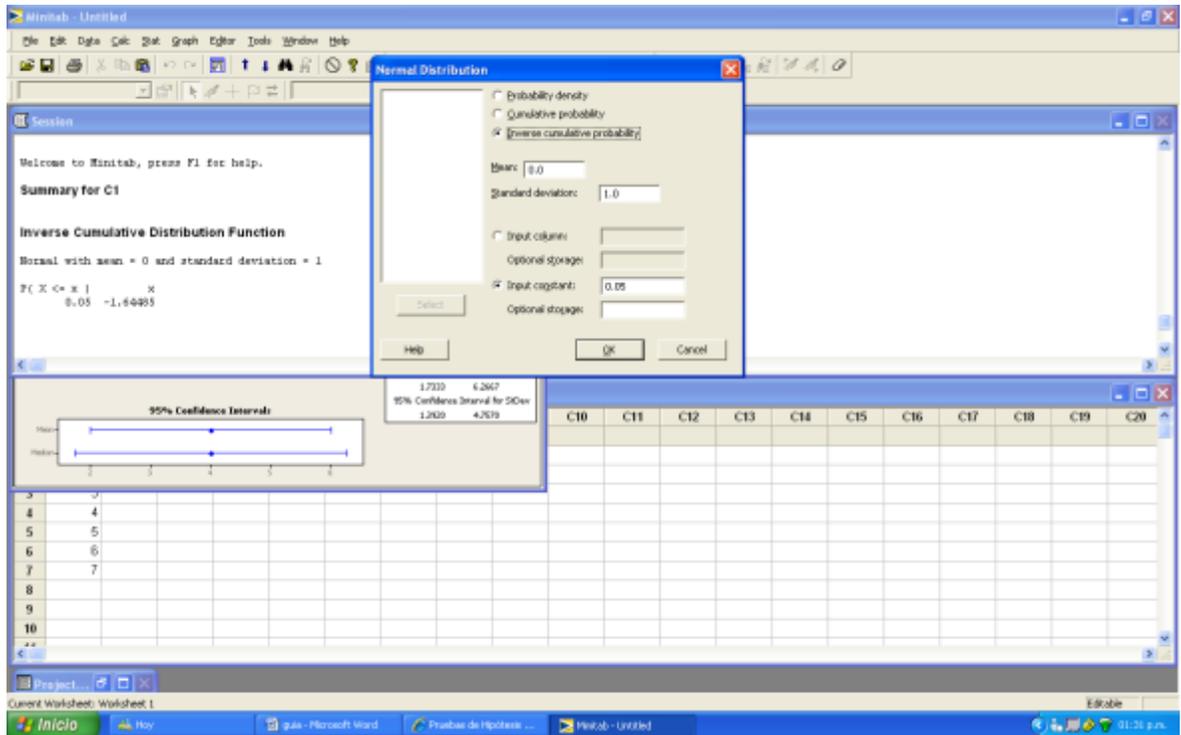
7-Si los estadísticos calculados reúnen los criterios de la regla de decisión, entonces se rechaza H_0 .

¿ES $Z_{\text{calc}} < Z_{\text{critica}}$?

8-¿Cómo calculamos el valor Z_{critica} ?

En minitab:

- 1-Vaya al menú Calc, selccione probability distributions y luego de click en Normal.
- 2-Llene el cuadro de diálogo con la siguiente información:



Note que el 0.05 es el valor de α , y que el resultado de la prueba nos da el valor $Z_{\text{critico}} = -1.644$, que si es mayor que el -1.897 , por lo que entonces se debe rechazar H_0 .
 9- Formular la conclusión estadística en solución práctica.

El almacenamiento, ciertamente, degradó el rebote de las pelotas de tenis.

PRUEBA T DE UNA MUESTRA- CUANDO σ_{pob} es desconocida

Esta es una prueba que se usa cuando el obtener una muestra grande $n > 30$ es costoso y no se conoce la varianza de la población.

Las pruebas que se pueden hacer y su regla de decisión son las siguientes:

Hiótesis	Regla de decisión
$H_0: \mu_{\text{población}} = \mu_{\text{objetivo}}$	
$H_a: \mu_{\text{población}} < \mu_{\text{objetivo}}$ o	$t_{\text{calc}} < t_{GL, \alpha}$
$H_a: \mu_{\text{población}} > \mu_{\text{objetivo}}$ o	$t_{\text{calc}} > t_{GL, 1-\alpha}$
$H_a: \mu_{\text{población}} \neq \mu_{\text{objetivo}}$	$t_{\text{calc}} < t_{GL, \alpha/2}$ o $t_{\text{calc}} > t_{GL, 1-\alpha/2}$

Los parámetros son los mismos que en la prueba Z, solo cambia los grados de libertad GL que son igual a $n-1$.

$$T = \frac{\bar{X}_n - \mu}{S_n / \sqrt{n}}$$

Ejemplo de aplicación:

Un profesor evalúa a 15 estudiantes de matemáticas quienes han sido instruidos con un nuevo plan de estudios. El promedio de calificaciones en la evaluación a nivel estatal es de 85.5.

Utilice el mismo archivo que para la prueba Z, es decir el **Meanexample.mtw**, solo que ahora los datos que se utilizarán están en la columna C5 (math scores).

1-¿El nuevo plan de estudios produce los mismos resultados que obtuvieron con el plan estándar?

$$H_0: \mu = 85.5$$

$$H_a: \mu \neq 85.5$$

2-Probar la normalidad de la muestra.

En este caso al graficar los 15 datos en minitab con graphical summary se ha obtenido un valor P igual a 0.632, que es mayor a 0.05, por lo que se puede decir que se sigue una distribución normal.

3-Calcular T_{calc} :

De la muestra se obtiene que la $X_{barra}=80.79$ y que la $S=8.93$, por lo tanto al sustituir en la formula obtenemos:

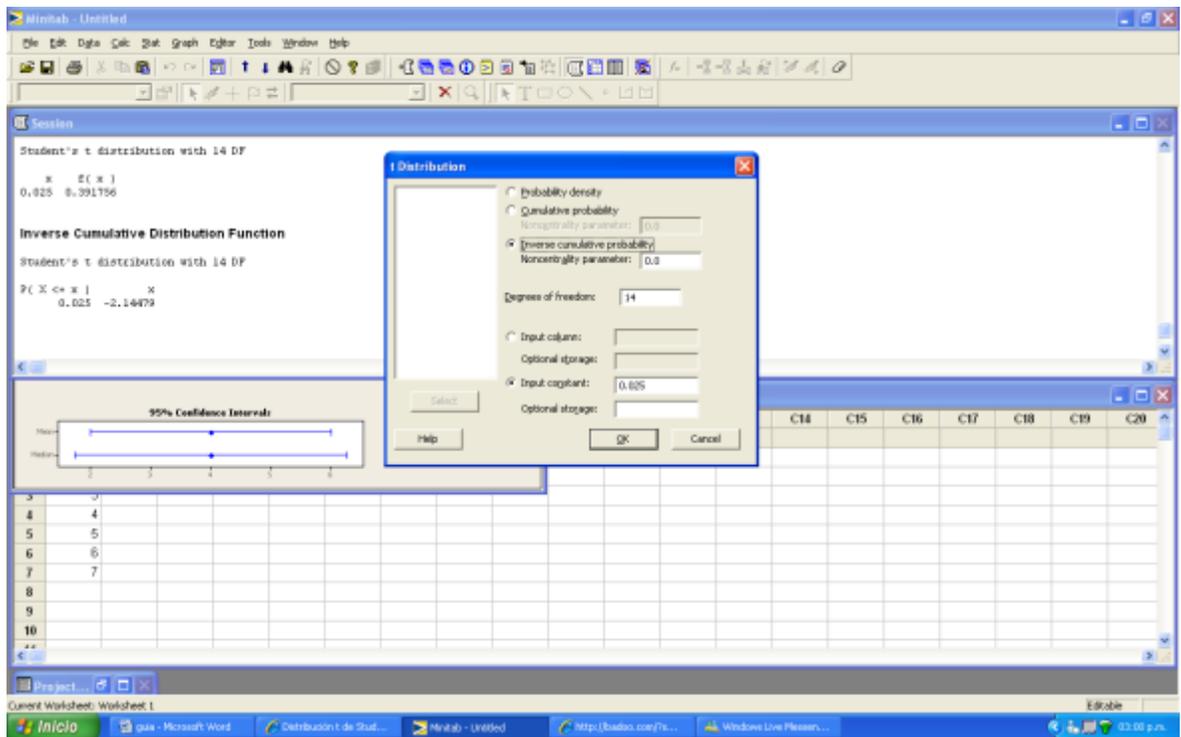
$$T_{calc} = (80.793-85.5)/(8.93/\sqrt{15}) = -2.04$$

4-Definir el valor crítico de t.

$$T_{calc} < t_{14,0.025} \quad \text{o} \quad T_{calc} > T_{14,0.975}$$

Como sacar estos valores en minitab:

- 1- Vaya a calc, luego seleccione probability distributions, y de click en la opción de t.
- 2- Seleccione inverse cumulative probability, escriba los grados de libertad y en input constant coloque el nivel de α .



En base a este procedimiento usted obtendrá los valores -2.144 y 2.144.

La $T_{calc} = -2.04$, por lo tanto
 $2.04 < -2.14$ es falso y;
 $2.04 > 2.14$ es falso .

Por lo tanto no podemos rechazar H_0 y $\mu = 85.5$, y el nuevo plan de estudios no fue significativamente diferente del plan estándar.

PRUBA T PARA 2 MUESTRAS

Para la prueba t de dos muestras, existen tres diferencias importantes de otras pruebas:

El cálculo de los grados de libertad (GL), el hecho de que las dos poblaciones deben ser independientes y que las varianzas son iguales.

Las pruebas que se pueden hacer y su regla de decisión son las siguientes:

Hipótesis	Regla de decisión
$H_0: \mu_1 = \mu_2$	
$H_a: \mu_1 < \mu_2$ o	$t_{calc} < t_{GL, \alpha}$
$H_a: \mu_1 > \mu_2$ o	$t_{calc} > t_{GL, 1-\alpha}$
$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$	$t_{calc} < t_{GL, \alpha/2}$ o $t_{calc} > t_{GL, 1-\alpha/2}$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_p \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

Dónde:

t = valor estadístico de la prueba t de Student.

\bar{X}_1 = valor promedio del grupo 1.

\bar{X}_2 = valor promedio del grupo 2.

s_p = desviación estándar ponderada de ambos grupos.

N_1 = tamaño de la muestra del grupo 1.

N_2 = tamaño de la muestra del grupo 2.

$GL = (N_1 - 1) + (N_2 - 1)$

Ecuación para obtener la desviación estándar ponderada:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{SC_1 + SC_2}{N_1 + N_2 - 2}}$$

Dónde:

s_p = desviación estándar ponderada.

SC = suma de cuadrados de cada grupo.

N = tamaño de la muestra 1 y 2.

Ejemplo:

Una compañía de acabado de metales requirió reducir el D.B.O. (demanda biológica de oxígeno) en sus aguas de desecho. El manufacturero del fango de alcantarillado activo usó un tratamiento sugerido suministrando oxígeno puro en vez de aire. Diez muestras de cada tratamiento fueron tomadas y se encuentran en las columnas c9-c10 de la hoja de trabajo Meanexamples.mtw.

¿Debería la compañía interrumpir el suministro de oxígeno, la alternativa más cara, para reducir el DBO?. Manualmente realizar una prueba t de dos muestras para probar esta hipótesis usando $\alpha = 0.05$.

1-Establecer el problema práctico:

¿El oxígeno produce menor DBO?

2-Establecer la hipótesis nula:

$$\mu_{\text{oxigeno}} = \mu_{\text{aire}}$$

3-Hipótesis alterna:

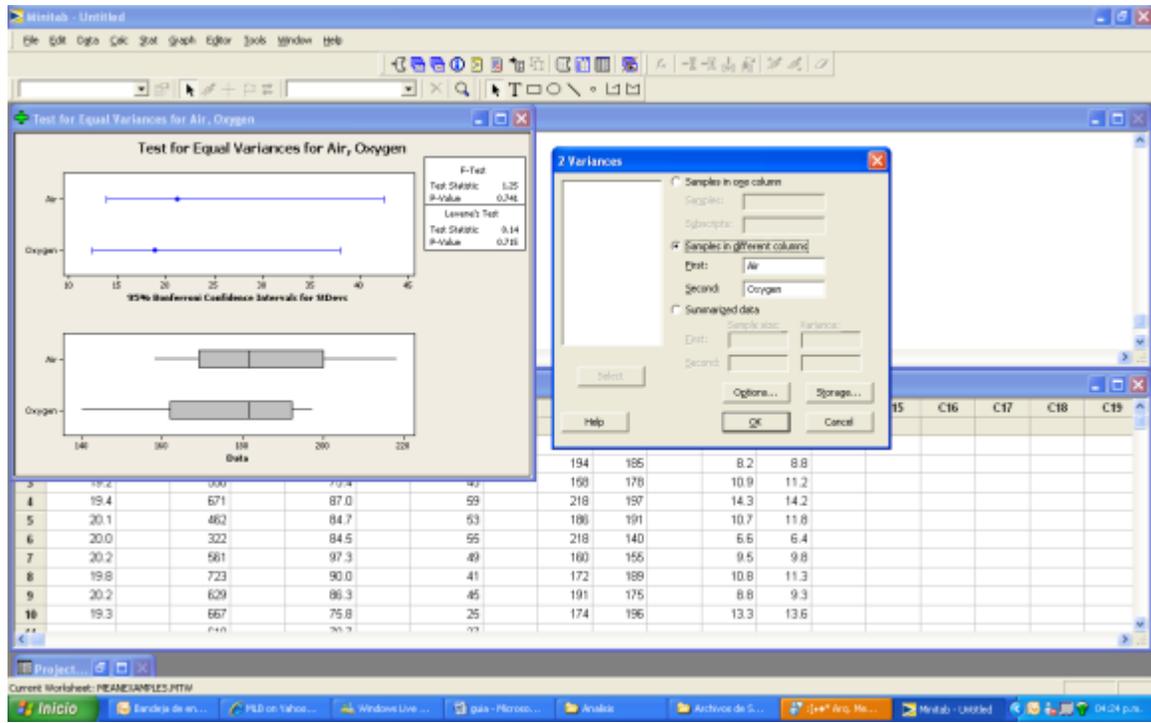
$$\mu_{\text{oxigeno}} < \mu_{\text{aire}}$$

4-Evaluar los supuestos: normalidad e igualdad de varianzas

De acuerdo a los datos los P-valores para las muestras de aire y oxígeno son de 0.465 y 0.369, por lo que los datos son normales.

Para comprobar la igualdad de varianzas, vaya a: stat>basic statistics> 2 variances.

Coloque la información de las columnas de Air y Oxygen. La grafica presentada se despliega y puede ver que el P-Valor de 0.741 nos dice que no hay diferencia de varianzas entre las muestras.



5-Determinar el estadístico de prueba apropiado:

$$T_{\text{calc}} = (177-185)/20\sqrt{0.2} = -0.89$$

6-Encontrar el valor crítico de alfa y la distribución apropiada.

$$T_{\text{critico}} = t_{GL,\alpha} = t_{18,0.05} = -1.73$$

Utilizando el mismo procedimiento para sacar el valor de t que utilizamos para una muestra en minitab.

7-Si el estadístico de prueba cumple la regla de criterio de decisión, entonces se rechaza Ho.

-0.89 > -1.734, por lo tanto se acepta Ho

8- La conclusión es que Burbujear oxígeno en vez de aire no reduce significativamente el DBO y no vale la pena el gasto extra.

PRUEBAS DE HIPOTESIS PARA VARIANZAS

Las áreas principales de ataque para mejorar la capacidad de un proceso son; mejorar el objetivo y reducir la variación. El sistema Seis Sigma incluye procesos de línea base, haciendo mejoras y mediciones de los avances. El Black Belt o Green Belt requieren

un método para determinar diferencias en variaciones para saber que se ha reducido la variación del proceso. La prueba de hipótesis proporciona el método.

Para hacer una comparación de varianzas utilizaremos tres tipos de pruebas:

- 1-Cuando tenemos una varianza y la queremos comparar contra un objetivo. Aquí utilizaremos la prueba Chi-cuadrada. El objetivo es histórico o es la meta.
- 2-Cuando comparamos dos varianzas. Dos muestras de poblaciones independientes comparadas entre sí. Aquí utilizamos la prueba F.
- 3-Cuando queremos comparar 3 o más varianzas. Aquí podemos utilizar la prueba de Levene o Bartlett.

VARIANZA VS OBJETIVO

El objetivo de esta prueba es hacer una comparación entre la varianza de una muestra y un objetivo histórico o valor meta que se haya fijado. La siguiente tabla muestra las opciones que puede haber para las hipótesis en este caso:

Hipótesis	Regla de decisión
$H_0: \sigma^2 = \sigma^2_{\text{objetivo}}$	
$H_a: \sigma^2 > \sigma^2_{\text{objetivo}}$ o	$\chi^2_{\text{calc}} > \chi^2_{(GL, 1-\alpha)}$
$H_a: \sigma^2 < \sigma^2_{\text{objetivo}}$ o	$\chi^2_{\text{calc}} < \chi^2_{(GL, \alpha)}$
$H_a: \sigma^2 \neq \sigma^2_{\text{objetivo}}$	$\chi^2_{\text{calc}} > \chi^2_{(GL, 1-\alpha/2)}$ o $\chi^2_{\text{calc}} < \chi^2_{(GL, \alpha/2)}$

$$\chi^2_{\text{calc}} = \frac{(n-1)S^2}{S^2_{\text{objetivo}}}$$

Parámetros:

- n es el tamaño de la muestra
- S^2 es la varianza de la muestra
- $\sigma^2_{\text{objetivo}}$ es el objetivo o la varianza histórica.
- $GL = n - 1$

Suposiciones:

La muestra es una muestra aleatoria de la población y está normalmente distribuida.

EJEMPLO:

Antecedentes- El proceso estándar para hacer resistencias de película delgada produce resistencias con una media de $1k\Omega$ y una desviación estándar de 3.5Ω . Se probaron 20 muestras de un nuevo proceso. ¿Ha habido una mejora real en la variación del producto considerando una $\alpha=0.05$. Los datos para este problema se encuentran en la columna C1 del archivo **Varexamples.mtw**

Solución:

1-Establecer el problema práctico:

¿Es menor la desviación estándar de las resistencias hechas con el nuevo proceso comparadas con la desviación estándar del proceso del producto?

2-Calcule el tamaño de la muestra

Asumimos que esto se hizo con anticipación.

3-Establecer hipótesis.

$$H_0: \sigma^2_{\text{nueva}} = \sigma^2_{\text{objetivo(hist)}}$$

$$H_a: \sigma^2_{\text{nueva}} < \sigma^2_{\text{objetivo(hist)}}$$

o

$$H_0: \sigma^2_{\text{nueva}} = 3.5$$

$$H_a: \sigma^2_{\text{nueva}} < 3.5$$

4-Son normales los datos:

Utilice la prueba de graphical summary que ya se ha usado para comprobar que el dato P-value sea mayor a 0.05. En este caso con un P-value de 0.066 definimos que si son normales.

5-Calcule la χ^2 de acuerdo a la fórmula:

$$19 * (2.1)^2 / 3.5^2 = 6.84.$$

Los valores de S se calculan de la muestra.

6-Encontrar el valor crítico de la regla de decisión correcta, α , y la distribución correcta.

$$\chi^2_{\text{calc}} < \chi^2_{(GL, \alpha)}$$

$$\chi^2_{\text{calc}} < \chi^2_{(19, 0.05)}$$

7- Si el estadístico calculado cumple con el criterio de la regla de decisión, entonces se rechaza H_0 .

$$\text{¿ES } \chi^2_{\text{calc}} < \chi^2_{(GL, \alpha)}?$$

-Vaya en minitab a Calc>Probability distributions>chi-square

-Seleccione la opción *inverse cumulative probability*.

-Ponga en *Degrees of freedom*: 19.

-En *Input constant*: 0.05

-De OK.

El resultado del test es de 10.11 que al compararlo con el 6.84 resulta mayor, por lo que se cumple la regla para poder rechazar H_0 y concluir que el nuevo proceso es mejor que el proceso estándar.

PRUEBA PARA COMPARAR DOS VARIANZAS

El objetivo de esta prueba es hacer una comparación entre dos varianzas de dos muestras que provienen de poblaciones independientes.

La siguiente tabla muestra las opciones que puede haber para las hipótesis en este caso:

Hipótesis	Regla de decisión
$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2$	
$H_a: \sigma^2_1 > \sigma^2_2$ o	$F_{calc} > F_{(1-\alpha), GL1, GL2}$
$H_a: \sigma^2 \neq \sigma^2_{objetivo}$	$F_{calc} > F_{(1-\alpha/2), GL1, GL2}$

$$F_{calc} = \frac{S1^2}{S2^2}$$

Parámetros:

n_1 y n_2 son los tamaños de las muestras.
 $S1^2$ y $S2^2$ son las varianzas de las muestras.
 $GL_1 = n_1 - 1$, $GL_2 = n_2 - 1$

Suposiciones:

Las muestras son aleatorias de las poblaciones y se distribuyen normalmente.
 Las Pob 1 y Pob 2 se designaron para que $S1^2 > S2^2$

EJEMPLO:

Dos compañías de pruebas a consumidores están compitiendo por un contrato del gobierno. El gobierno prefiere dar el contrato a la compañía que utilice juicios que son evaluados consistentemente. Se llevó a cabo una prueba utilizando 25 jueces de la compañía A y 15 jueces de la compañía B para evaluar un objeto. ¿Es la compañía B más consistente que la compañía A? Utilice $\alpha = 0.05$. Los datos para este problema están en las columnas C7 y C8 en el mismo archivo **varexamples.mtw**

Solución:

1-Establecer el problema práctico:

¿Son los jueces de la compañía B más consistentes que los de la A?

2-Calculé el tamaño de la muestra.

3-Hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_A = \sigma^2_B$$

$$H_a: \sigma^2_A > \sigma^2_B$$

4-Pruebe la normalidad de los datos

Utilice graphical summary y observe que el valor de P-value sea mayor a 0.05. En este caso para ambas columnas C7 y C8 observamos datos normales al ser los p-values de 0.28 y 0.518.

5-Determine el estadístico de prueba apropiado.

$$F_{\text{calc}} = 0.5^2 / 0.15^2 = 11.11$$

Las varianzas provienen de los datos de las muestras.

6-Encuentre el valor crítico de la regla de decisión adecuada, α , y la correcta distribución:

$$F_{\text{calc}} > F_{\text{critica}}$$

$$F_{\text{Calc}} > F_{1-\alpha, GL1, GL2}$$

$$F_{\text{Calc}} > F_{0.95, 24, 14}$$

7- Para calcular en minitab el estadístico F siga los siguientes pasos:

-Vaya a Calc>Probability distributions>F

-Seleccione : Inverse cumulative probability.

-Numerator degrees of freedom: 24.

-Denominator degrees of freedom: 14.

- En input constant: .95, osea $1 - \alpha$.

- De OK.

El valor desplegado es 2.34, el cual es menor que 11.1 por lo que si se cumple la regla y se rechaza H_0 , por lo tanto la compañía B es ciertamente más consistente que la A.

PRUEBA PARA COMPROBAR MÚLTIPLES VARIANZAS

Se puede comparar más de dos varianzas utilizando la prueba de homogeneidad de varianzas de minitab. Cualquier número de varianzas se puede comparar mientras se apilen y se enumeren sus subíndices.

Para múltiples varianzas las pruebas de hipótesis son:

H_0 : Todas las varianzas son iguales

H_a : Al menos una varianza es diferente de otra.

Veamos un ejemplo:

Se tienen los índices de contaminación de 4 ciudades metropolitanas. Estamos tratando de comparar la variabilidad de una ciudad a otra. ¿Qué podemos concluir? Los datos aparecen en dos columnas C13 y C14 del mismo archivo, en donde tenemos el índice de contaminación y la ciudad correspondiente, note que para poder hacer el siguiente análisis los datos deben estar todos en dos columnas y no más.

	C13	C14
+	scores	city
1	96.653	NY
2	97.321	NY
3	101.961	NY
4	98.515	NY
5	95.380	NY
6	102.278	NY
7	103.111	NY
8	98.292	NY
9	100.268	NY
10	102.337	NY
11	98.376	NY
12	96.964	NY
13	98.644	NY
14	98.666	NY
15	96.790	NY
16	102.201	NY
17	102.518	NY
18	98.838	NY
19	99.874	NY
20	103.064	NY
21	100.638	NY
22	101.827	NY
23	98.451	NY
24	97.382	NY
25	94.767	NY
26	97.438	CHI
27	100.031	CHI
28	94.374	CHI

Vamos a seleccionar en el menú de minitab Stat>ANOVA Z Test for Equal variances..

En el cuadro de diálogo colocar las siguientes columnas:

Response: Score

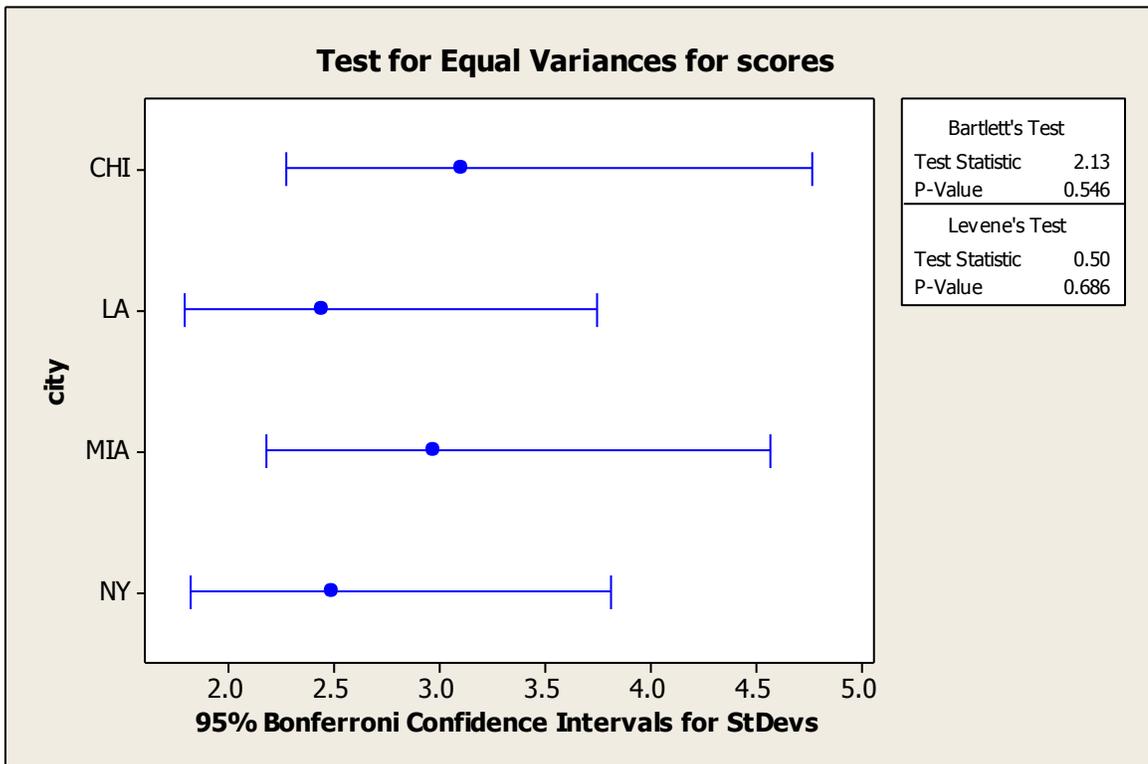
Factors: City

Dar OK.

El resultado son dos pruebas la de Barletts y Levens. La prueba de Bartletts se ve cuando todos los datos de las ciudades en este caso son normales, de otra manera tendríamos que tomar como válida la prueba de Levens.

En este caso ambas pruebas muestran un P-Valor mayor que 0.05, por lo que este valor se interpreta igual como en otras pruebas anteriores y no podemos rechazar Ho. Concluimos que las variaciones en los índices de contaminación no son significativamente diferentes.

Esto se aprecia en la gráfica a estar todos los intervalos traslapado.



Conclusión de pruebas de hipótesis:

El Black Belt debe de crear las hipótesis necesarias para poder inferir que variables son estadísticamente significativas, una vez determinado si va a comparar medias o varianzas hará las pruebas y podrá estar en posibilidad de concluir que variables o X's son las que deben de seguirse observando en la etapa de incremento de la metodología DMAIC. Es por ello que al finalizar las pruebas es conveniente que se haga una lista con aquellas variables que resultaron significativas estadísticamente e incluir aquellas que aunque estadísticamente no lo sean son de relevancias absoluta para el proceso y se justifica su inclusión en la siguiente fase.

INCREMENTO

Recuerda el enfoque de Seis Sigma es determinar la ecuación que define el proceso: $Y = f(X)$.

Esta ecuación, normalmente sólo se puede determinar a través de la experimentación. A veces hay datos existentes que guían a los Black Belts o Green Belts en la dirección correcta, pero normalmente las entradas de los datos existentes no varían lo suficiente para determinar el comportamiento en el área experimental requerida.

La mayoría de los procesos necesitan que las entradas sean fijadas fuera de los límites normales de operación, para ayudar a determinar los efectos requeridos de la variación del proceso.

“Un experimento es una prueba o serie de pruebas en las cuales se hacen modificaciones a las variables de entrada de un proceso o sistema para que puedan ser observadas y definidas las respuestas de salida “

Douglas C. Montgomery

El propósito de correr un experimento debe estar siempre alineado con los objetivos del proyecto de Seis Sigma.

Algunos de los propósitos de la experimentación son:

Determinar:

- Cuáles variables son de mayor influencia a la salida.
- Donde fijar las entradas para producir la salida al nivel deseado.
- Donde fijar las entradas de mayor influencia para reducir la variabilidad en la salida.
- Donde fijar las entradas controlables para que los efectos de las entradas incontrolables sean minimizados.

El objetivo es encontrar la $Y=f(x)$ para optimizar el proceso.

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO EXPERIMENTAL

Los investigadores en todas las disciplinas realizan experimentos. El objetivo de un experimento es explorar las relaciones entre los factores que afectan a un proceso o confirmar alguna hipótesis. Muchos de los procedimientos de prueba de hipótesis pueden considerarse como métodos para analizar experimentos comparativos sencillos.

Literalmente un experimento es una prueba. Un experimento diseñado es una prueba o una serie de pruebas con un propósito definido.

Los métodos de diseño de experimentos nacieron en la agricultura, donde fue y es muy importante asegurar buenas cosechas “desde la primera corrida”. Así que: muchos tipos de cosechas requieren de una estación completa para crecer y un lote malo podría significar una grave pérdida. Como las variables involucradas son distintas, por ejemplo: tipos de tierra, localización (áridas, en la sombra, cercanas al agua, etc.) y tipos de fertilizantes, de semillas, tiempo o temporada del año; es fácil ver que una elección creciente de variables podría conducir a perder el tiempo, a productos, cosechas, y a gastos en general.

Al encontrarse estas aplicaciones en la agricultura, de pronto se difunde a la biología, medicina y eventualmente a los procesos de ingeniería e industria en general. En ingeniería, la experimentación estadística ha crecido inmensamente y ha encontrado aplicaciones en muchas compañías. En varios países y particularmente en Japón, Canadá y Estados Unidos de Norteamérica, se publican continuamente trabajos y artículos en todas las fases del diseño experimental.

En términos de tecnología en el ámbito industrial, la primera mitad de este siglo puede ser caracterizada como el incremento en la productividad. Fue hasta la segunda guerra mundial que el concepto de calidad tomó relevancia, y éste se basó en la inspección y el muestreo. En lo que se ha llamado la revolución de la Calidad, hacia 1960, la calidad se desarrolló a partir del control estadístico de procesos, definiendo la calidad principalmente en términos de mantener y reducir la variabilidad de los productos terminados.

Sin embargo, más allá del control de procesos, cuando se requiere de mejorar la calidad de una manera notable o resolver un problema crónico, es necesario realizar un cambio en la manera en que se están realizando los procesos. Para lograr esto, se puede recurrir a la compra de nuevas tecnologías o el mejoramiento de la propia. El mejoramiento de la propia tecnología es posible si se diseña un conjunto de pruebas o ensayos que permita la optimización de los parámetros con los cuales se está operando.

En estas pruebas es deseable que sean cambios deliberados y sistematizados en parámetros del proceso de manera que sea posible identificar los efectos que estos cambios producen en la característica de calidad que queremos optimizar. Este proceder es lo que llamamos diseño de experimentos, o diseño de parámetros.

La aproximación tradicional para evaluar un proceso generalmente es abordada por el familiar, estudio de habilidad o de capacidad de un proceso (estudio de una sola variable a la vez.) Ya que solo hay una variable que afecta al producto, el estudio de capacidad funciona bien. En productos de procesos relacionados, sin embargo, un número de variables afecta la reproducibilidad, y el estudio de capacidad en este caso, se utiliza muy poco.

Los productos de hoy en día involucran el control de diferentes variables, que actúan en combinación una con otra, produciendo una variedad de efectos. Se requiere una aproximación mucho más sofisticada si se desea minimizar el costo experimental de optimizar los recursos.

El diseño estadístico de experimentos parte de este principio: “Variación de un factor a la vez”, y permite completar la libertad de intercambiar las variables. Las variables se comportan como lo harían en un proceso real, ambas, independientemente, en forma combinada y con interacciones. Los efectos entonces, se evalúan precisamente con esta técnica.

Los proyectos de diseño de experimentos en la industria típicamente incluyen objetivos tales como:

- Evaluación de proveedores, materiales o procesos alternativos.
- Identificar las variables que influyen en los procesos. Este enfoque ha permitido un avance importante en la manera en que se diseñan los programas de control

estadístico de procesos, identificando las variables que realmente influyen y dejando de controlar las que no.

- Determinar el mejor valor o las tolerancias para éstas variables o parámetros del proceso, de manera que el producto cumpla con las características de calidad establecidas. La optimización de procesos va más allá del control, es la herramienta operacional para la mejora continua en especificaciones.

- Identificar las variables que no influyen en el proceso, de manera que se puedan utilizar para minimizar costos. Algunos procesos se ejecutan en las industrias como fueron diseñados hace años, cuando las características de operación y las materias primas eran otras, frecuentemente los proyectos de experimentación encuentran procedimientos o parámetros innecesarios.

- Determinar los valores para los parámetros del proceso, de manera que se minimicen los efectos de otras variables no controlables. Esta optimización puede no solamente mejorar especificaciones, sino reducir la variabilidad de manera espectacular después de un proyecto diseñado con este propósito.

Recientemente, el diseño de experimentos se ha utilizado para hacer mas eficiente el desarrollo de nuevos productos, al acortar los periodos de pruebas y reduciendo los costos. Igualmente, los objetivos se han dirigido a desarrollar procesos y productos robustos, es decir insensibles a fuentes de variabilidad externas o incontrolables, tales como falta de consistencia en condiciones operativas, ambiente o insumos. La idea de robustecer al experimentar implica que estos factores, frecuentemente llamados factores de ruido, aun cuando sigan estando presentes no afecten el resultado del proceso.

CONCEPTOS BÁSICOS.

Experimento: Es un conjunto de pruebas estructuradas y coherentes que son analizadas a fin de ganar entendimiento acerca del proceso.

Diseño de Experimentos: Es la planeación y ejecución del experimento de forma tal que se asegure la confiabilidad del mismo en la obtención de resultados y que su costo sea el mínimo posible.

Análisis de Experimentos: Es el término utilizado para establecer conclusiones basándose en las muestras obtenidas en la ejecución del experimento señalado, puesto de otra forma, el análisis de experimentos no es otra cosa más que descubrir qué significan los resultados de la experimentación así como el planteamiento de la mejor alternativa a seguir en el diseño de otro experimento o al llevarlo a la práctica.

Unidad Experimental: Se define como el objeto (persona o cosa) que es capaz de producir una medición de la variable de respuesta después de aplicar un tratamiento dado.

Pueden ser los compradores, un tubo de ensaye, las probetas, etc.

Variable de respuesta: Las características de interés que poseen las unidades experimentales son llamadas variables de respuesta o variable dependiente. Es decir, una variable de respuesta es aquello que me indica el resultado del experimento, es decir, es aquella variable que al medirla me da indicios sobre el comportamiento de lo que deseo investigar, por ejemplo:

Proceso Variable de respuesta

Proceso	Variable de respuesta
fabricación de moldes	No. de defectos/molde.
Jarabe	cantidad de sólidos

Al final de cuentas, una Variable de Respuesta (VR) es aquella que nos interesa modificar en un momento dado en cualquier proceso de transformación, para cumplir con las especificaciones que el cliente requiere del producto.

Factor o fuente de variación: Las variables independientes son llamadas factores; éstos se encuentran bajo el control del investigador. Dentro de un sistema, las entradas corresponderán a lo que denominaremos como factor o fuente de variación. Podemos decir que un factor es aquello que afecta y como su nombre lo indica hace variar el valor de la Variable de Respuesta, es decir, aquello que al modificar su comportamiento altera el comportamiento de la VR; ejemplo: si la variable de respuesta es No. piezas producidas/hora, los factores podrían ser: operador, hora del día, máquina, turno, velocidad de la máquina, etc.

Tratamientos: Una combinación de uno o más niveles de un factor reciben el nombre de tratamiento. Es decir, es una de las formas que, en cantidad o calidad, el factor a estudiar toma durante el experimento. Por ejemplo, si el factor a estudiar es el proveedor los tratamientos sería proveedor A, proveedor B, proveedor C, etc., si el factor es el tipo de proceso los tratamientos serían proceso 1, proceso 2. Si el factor es la temperatura los diferentes niveles serían por ejemplo 10,20, 30, y 40 °C, etc.

Efecto de tratamiento: Es el cambio que sufre la variable dependiente al aplicar un tratamiento a las unidades experimentales.

Réplicas: El número de unidades experimentales sobre los cuales se aplica un tratamiento es llamado el número de réplicas del tratamiento.

Error Experimental: Es la medida de variación que existe entre las observaciones de unidades experimentales en el mismo tratamiento, es decir, la variación no proveniente de los tratamientos.

Ejemplo: Consideremos un experimento en el cual se desean determinar si el tipo de música de fondo tiene algún efecto en las compras, efectuadas en las tiendas de autoservicio.

Para ello se seleccionan 90 tiendas de autoservicio en el área metropolitana, en 45 tiendas se tocó música clásica, seleccionando al azar 100 compradores por tienda, en este experimento tenemos:

Unidades experimentales: Compradores.

Variable dependiente (Variable de respuesta): Ventas.

Factor (variable independiente): Música.

Niveles de factor: Música de compás lento y música clásica.

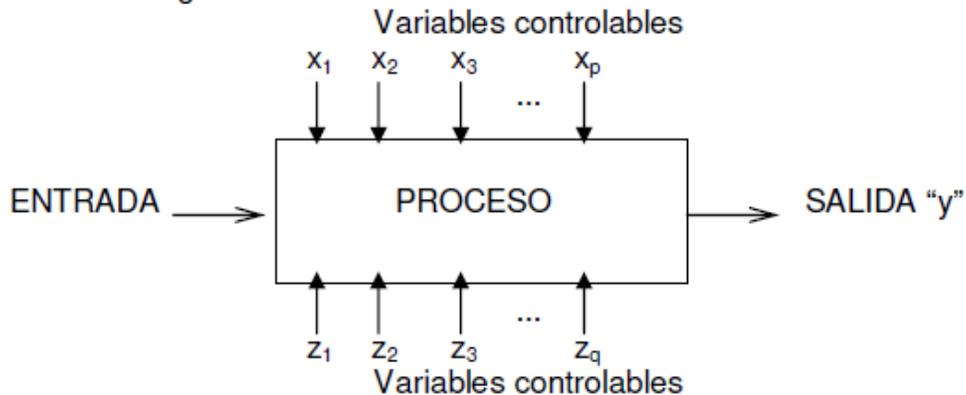
Tratamientos: Música de compás lento y música clásica.

Replicas: 450 por tratamiento.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS DE ENTRADAS Y SALIDA EN EL CONTEXTO DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS.

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en donde a propósito se cambian los valores de las variables de “entrada” de un proceso o sistema para que podamos observar e identificar las razones de “cambio en las respuestas”.

Figura. Modelo General de un Proceso o Sistema Productivo.



SISTEMA:

Proceso: Máquinas, métodos, personas, etc.

Entradas: Materia prima, producto semi procesado, servicio dado, etc.

Salida: Producto procesado o terminado, servicio dado, etc.

x_i (variables controlables del proceso): Temperatura, presión, velocidad, etc.

z_j (variables incontrolables del proceso): Operadores, humedad ambiental, etc.

LOS OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO SON:

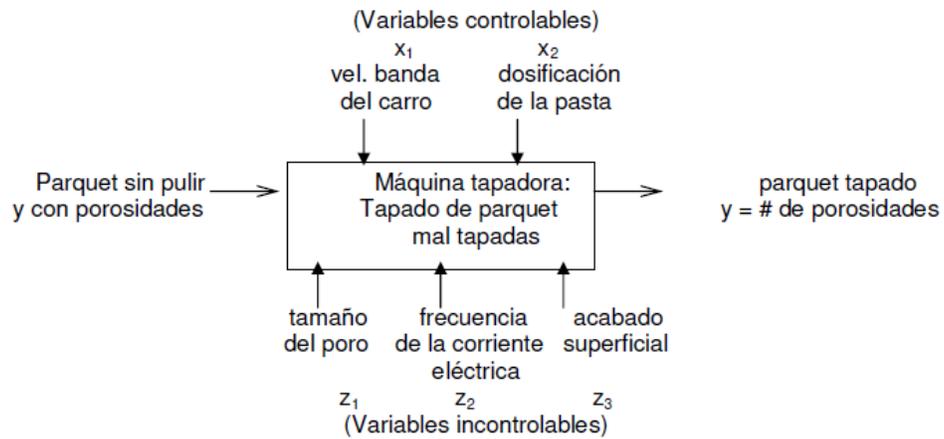
Determinar que variable “ x_i ”, influye más en la respuesta “ y ”.

Determinar dónde ubicar “xi”, de manera que “y” esté siempre cerca del valor especificado.

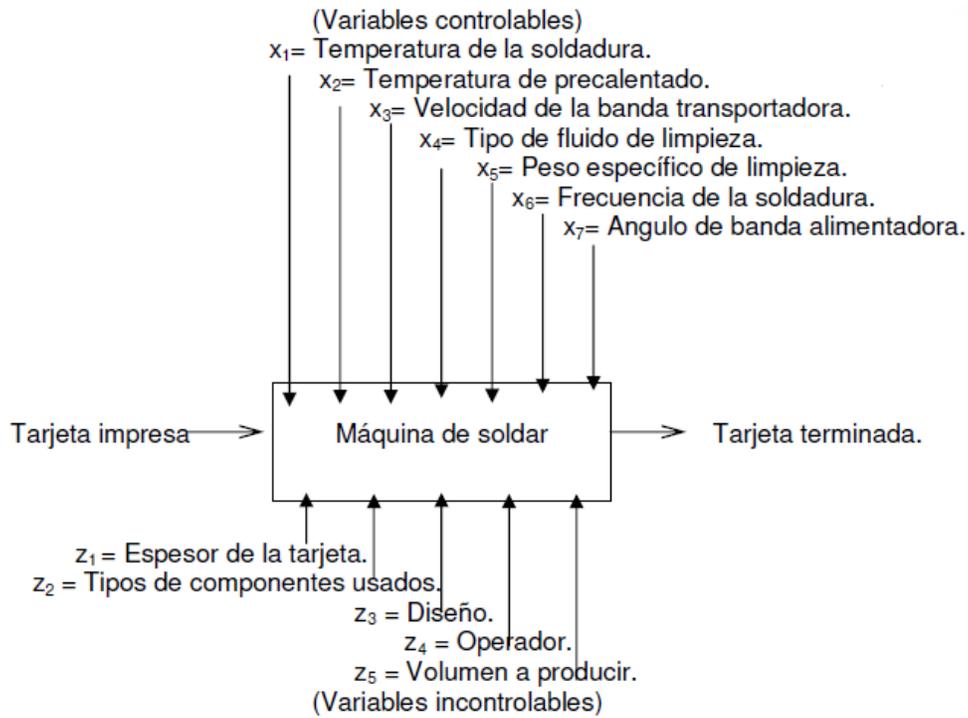
Determinar dónde ubicar “xi”, de manera que la variabilidad de “y” sea menor.

Determinar dónde ubicar “xi”, de manera que la variabilidad de “zj” sea minimizada.

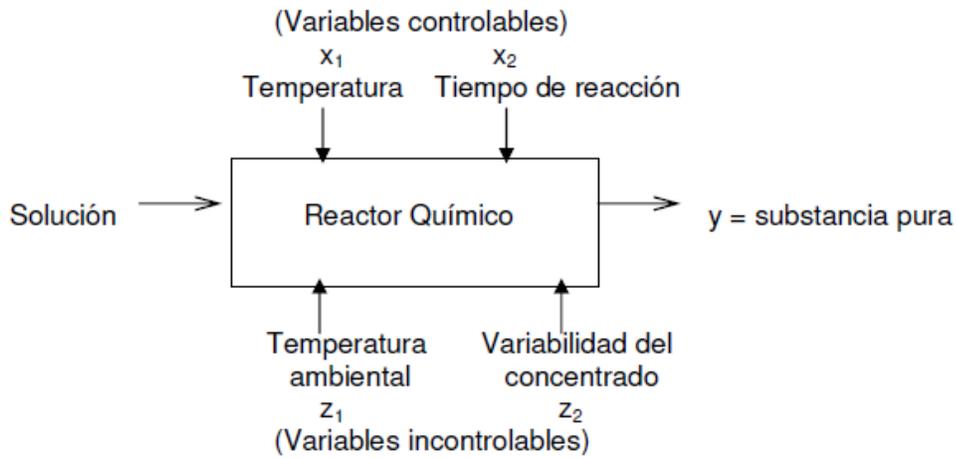
Ejemplo: Se tiene un proceso de tapado de parquet de mármol traventino sin pulir. Paralelo se utiliza una pasta de cemento con colorante, el cual es depositado en el parquet a través de una máquina tapadora. El parquet se transporta y se presiona por la máquina, que deposita y presiona la mezcla dentro de las porosidades de la pieza, para por último eliminar el exceso de pasta.



Ejemplo: Montaje de elementos en un circuito impreso (tarjeta electrónica) en una máquina soldadora de flujo: Esta máquina limpia la tarjeta con un líquido, la transporta por medio de una banda hasta posicionarla, luego efectúa la conexión y por último aplica la soldadura:



Ejemplo: Producto químico ya caracterizado:



ASPECTOS PRINCIPALES PARA DISEÑAR UN EXPERIMENTO.

Seleccionar los factores a ser estudiados en el experimento y los niveles de cada factor que son relevantes en la investigación. Esto determina los tratamientos a ser usados.

Elegir el tipo de unidades experimentales sobre las cuales serán aplicados los tratamientos.

Desde la perspectiva de costos y de precisión deseada de inferencia, decidir sobre el número de unidades experimentales. Finalmente, y muy importante, determinar la manera en la cual los tratamientos serán aplicados a las unidades experimentales.

GUÍA PARA DISEÑAR UN EXPERIMENTO.

GUÍA PARA DISEÑAR UN EXPERIMENTO.

Identificación y Establecimiento del problema.

Obtener información de:

Experimentos con un solo factor: Análisis de varianza:

- En un sentido.
- En dos sentidos.
- En varios sentidos
- De efectos fijos.
- Aleatorizado.
- En bloques.

Experimentos de error de medición:

- { Variabilidad del producto.
- { Error del instrumento.

Exp. cuadrados: Efectos principales sin interacción:

- { Latino.
- { Greco-Latino.

Exp. factorial:

- { *Total:* Efectos principales: $2^k, 3^k$.
- Interacciones.
- { *Fraccionado:* Efectos principales: $2^{k-p_{III}}, 3^{k-p_{IV}}$ y 2^{k-p_V} .
- Algunas Interacciones

Exp. Anidados

- { *Total:* { Efectos principales.
- { Interacciones.
- { *Fraccionado:* { Efectos principales.
- { Interacciones.

Superficie de respuesta: Optimización:

- { Polinomial.
- { Exponencial.
- { Función usuario.

Metodología Taguchi:

- { Factores controlables.
- { Factores incontrolables.

COMO SE HACE EN LA PRACTICA UN EXPERIMENTO

Después de tener ya la noción de que es un experimento, conocer su utilidad y el por qué se aplica para un proyecto Seis Sigma el Black Belt o Green Belt deben de diseñar dichos experimentos con las variables con las que se ha venido trabajando y que han resultado significativas hasta el inicio de la fase de incremento en la metodología DMAIC.

Análisis de varianza (ANOVA)

El experimento más simple que podemos hacer es aquel en donde tenemos un solo factor a estudiar o X 's y queremos ver qué pasa en varios niveles de dicha X . Sin entrar demasiado a matemáticas describiremos el modelo que sigue el análisis de varianza:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Respuesta simple para el tratamiento J

\bar{M} = Media global.

τ_j = Contribución del tratamiento J

ε_{ij} = Error aleatorio

$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_j$

H_a = al menos una μ_j es diferente.

Ejemplo de aplicación práctica:

Un proyecto Seis Sigma de *Black Belt* se refiere a incidentes en la resistencia a la tensión de una fibra sintética que se utiliza para hacer la tela para las camisas de caballeros. La especificación mínima de resistencia es 14 psi. Históricamente, 30% de los lotes de fibra fallan en la prueba de tensión.

El experto del proceso sabe que la resistencia a la tensión es afectada por el porcentaje de peso de algodón usado en la mezcla para la fibra. La configuración estándar para el algodón es de 20% del peso.

Según las especificaciones, el porcentaje de algodón puede extenderse en un rango de 10 a 40 para que la tela tenga otras características deseadas tales como la capacidad de tener un tratamiento de acabado.

El *Black Belt* y el ingeniero de proceso deciden ejecutar un experimento para optimizar el proceso.

Los datos de este problema están en el archivo **Mont65.mtw** que se encuentra en la carpeta de incremento.

Paso 1: Defina el objetivo

Reducir el número de fallas en al menos 7%.

Paso 2: Definir la respuesta

Y= Resistencia a la tensión que se mide en psi.

Paso 3: Definir el factor

Porcentaje de algodón en peso

Paso 4: Definir los niveles o tratamientos

Porcentaje de algodón a 15, 20, 25, 30 y 35 %

Paso 5: Definir qué tipo de experimento es

Se trata de un experimento de un factor con cinco niveles. Los datos se muestran a continuación.

The screenshot shows a Minitab worksheet with the following data:

RunOrder	RunNo	Cotton %Wt	Strength
1	1	8	20
2	2	18	30
3	3	10	20
4	4	23	35
5	5	17	30
6	6	5	15
7	7	14	25
8	8	6	20
9	9	15	25
10	10	20	30
11	11	9	20
12	12	4	15
13	13	12	25
14	14	7	20
15	15	1	15
16	16	24	35
17	17	21	35
18	18	11	25
19	19	2	15
20	20	13	25
21	21	22	35
22	22	16	30
23	23	25	35
24	24	19	30
25	25	3	15

Vemos que existe una columna en donde están los niveles (cotton %wt) y otra donde está la respuesta (strenght).

Paso 6: Definir hipótesis.

H_0 = El factor del % de algodón no influye en la resistencia de la tela.

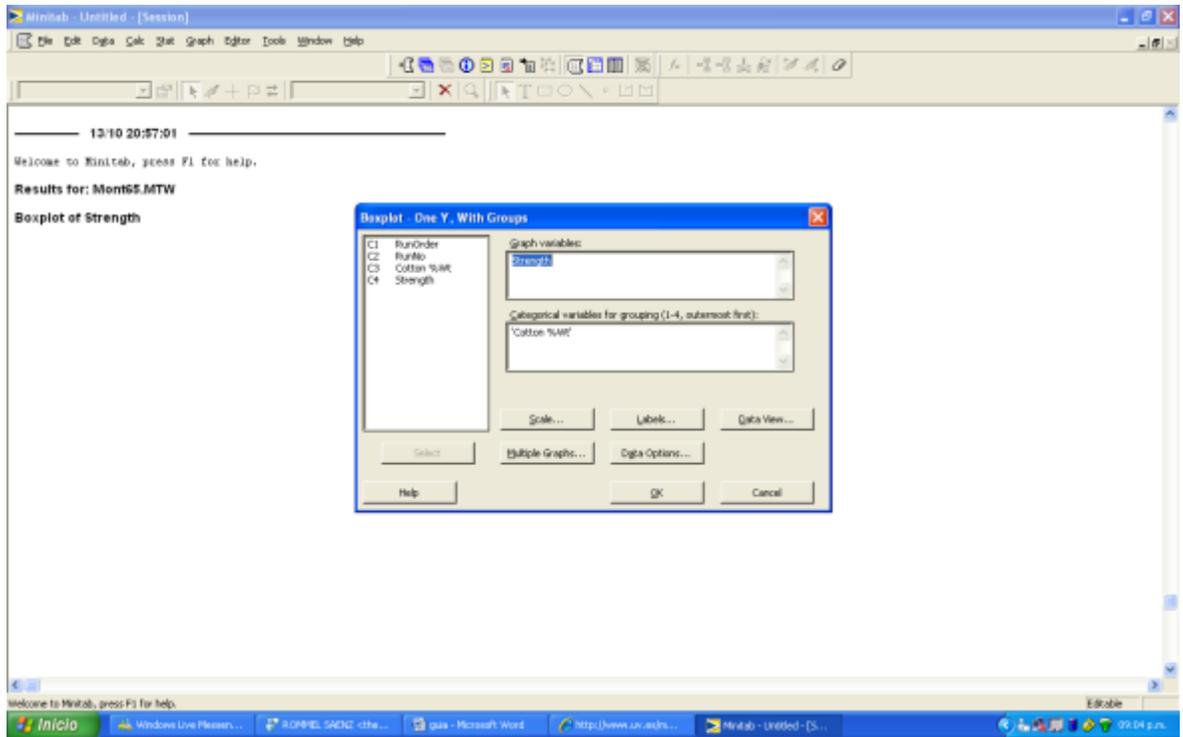
H_a = Al menos un nivel del factor influye en la resistencia de la tela.

Como ya lo hemos hecho buscaremos los valores P mayores a 0.05 para poder aceptar H_0 .

Paso 7: Análisis de los datos

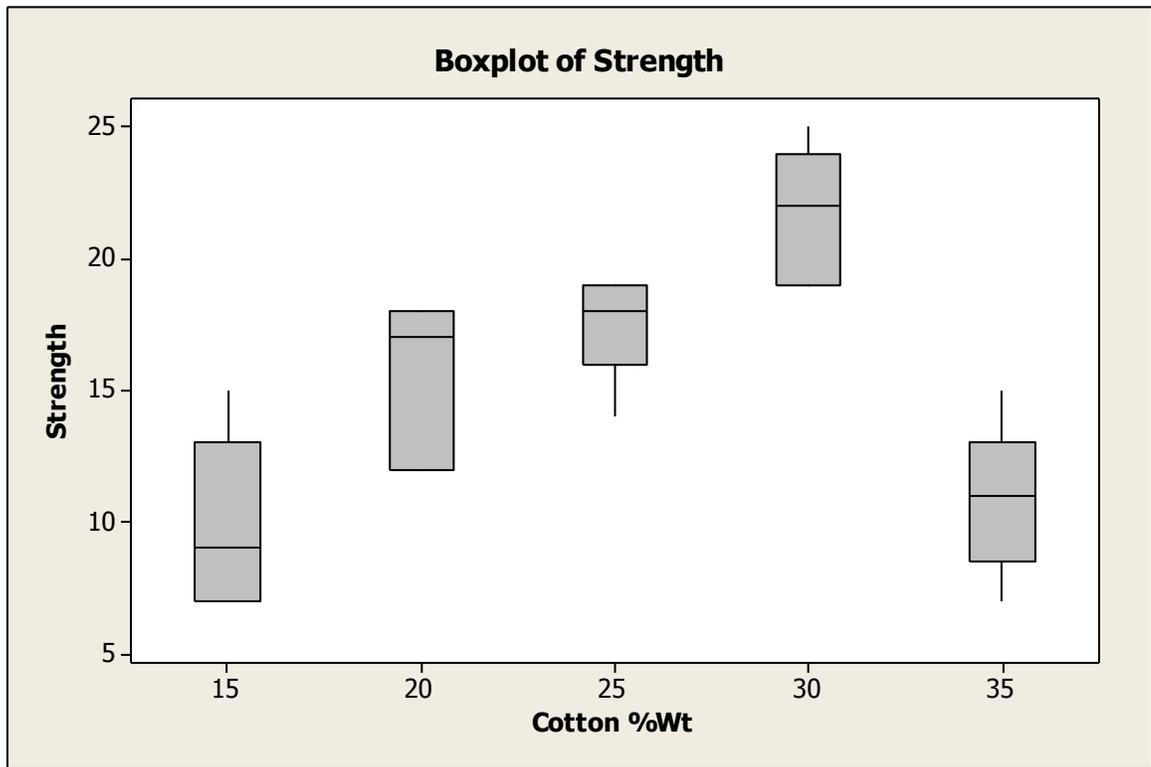
Para esto puede construir un gráfico box plot de la siguiente manera en minitab:

- Vaya a Graph>box plot.
- Seleccione la opción With groups
- Cargue los datos como se presentan:



-De OK.

La gráfica que aparecerá será la siguiente:

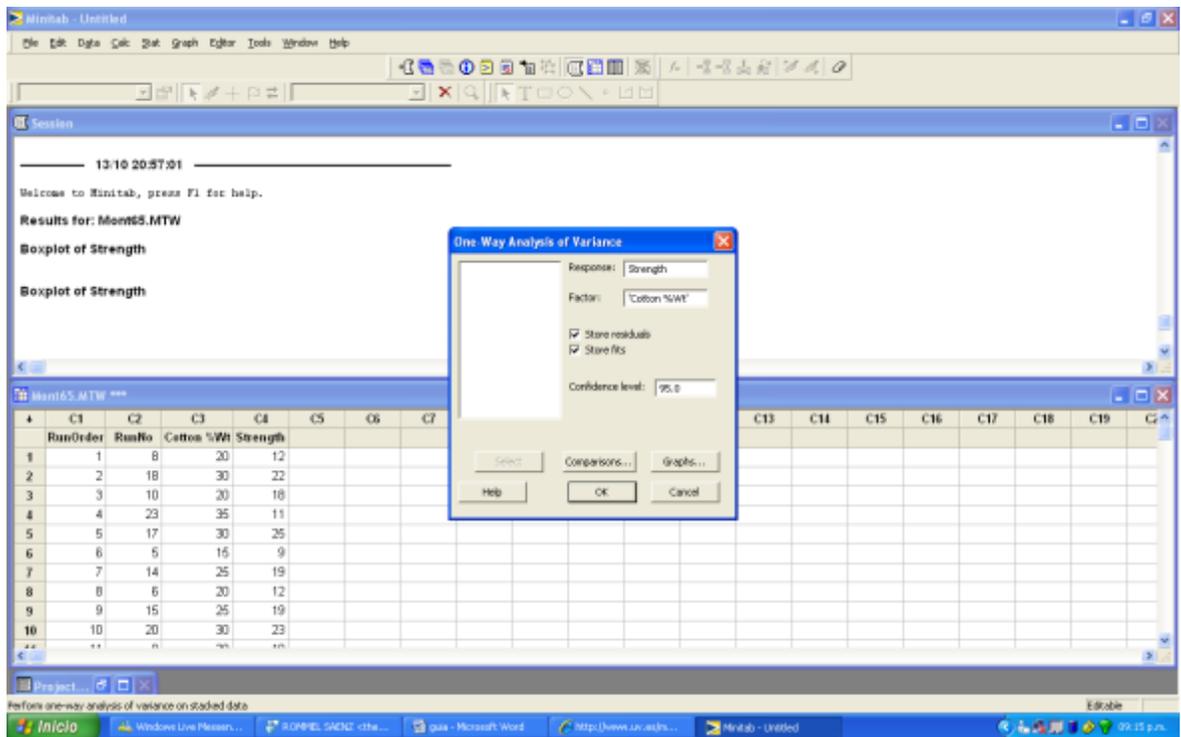


Note que con el % de 25 y 30 la tela es más fuerte, sin embargo esto no es concluyente solo nos da ciertos indicios.

Paso 8: Haga el análisis ANOVA

En Minitab seleccione: Stat>ANOVA>One-Way.

Dé de alta la información como se muestra a continuación:



Paso 9: Análisis de resultados y conclusiones
 La tabla ANOVA que nos da minitab es la siguiente:

One-way ANOVA: Strength versus Cotton %Wt

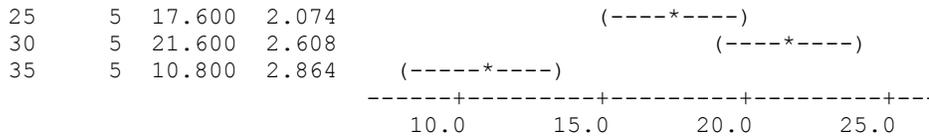
Source	DF	SS	MS	F	P
Cotton %Wt	4	475.76	118.94	14.76	0.000
Error	20	161.20	8.06		
Total	24	636.96			

S = 2.839 R-Sq = 74.69% R-Sq(adj) = 69.63%

De la tabla de ANOVA se puede ver el P valor que en este caso es 0. De acuerdo a nuestras hipótesis al no ser mayor a 0.05 rechazamos H_0 y concluimos que al menos uno % de algodón es diferente a los demás.

Minitab también despliega una representación gráfica de los intervalos de confianza. Aquí lo importante es que cuando usted observe que estos intervalos (----*----) se traslapan o entre ponen significa que los niveles no son diferentes de manera significativa.

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
15	5	9.800	3.347	-----+-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
20	5	15.400	3.130	(-----*-----)



Pooled StDev = 2.839

En este ejemplo vemos que los intervalos traslapados son el del nivel de 15% y 35% por lo que no hay una diferencia significativa entre ellos. Por otra parte vemos que los niveles de 20 y 25% también se traslapan. Por último observamos que el intervalo cuya media es más grande (21.6) es el de 30% que se traslapa con el de 25%, por lo que no veríamos una diferencia significativa entre ellos.

Conclusión:

Los porcentajes de algodón que más fuerza dan a las telas con el de 25% y 30%, como estadísticamente no son diferentes se seleccionarían aquel que resultara más conveniente para el proceso.

FACTORIALES COMPLETOS

Una de las formas más comunes y completas para poder llevar a cabo un experimento es utilizar los llamados factoriales completos, ya que esta técnica nos permite ver la interacción de las diferentes X's en múltiples niveles en nuestro proceso, y es más eficiente que estar experimentando con una X a la vez. Aparte de todo esto con el software minitab es muy práctico hacer los diseños.

Tomemos el siguiente ejemplo:

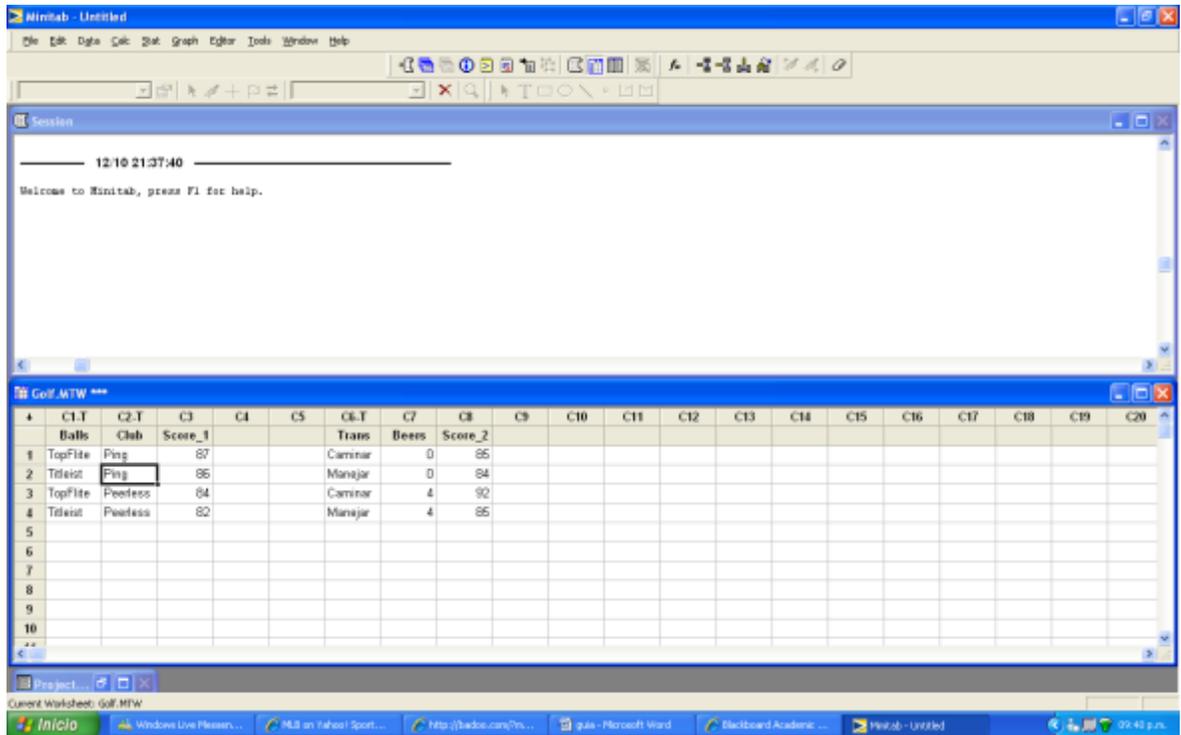
Un golfista con dos diferentes proveedores de palos y dos pelotas diferentes. Juega cada juego de palos con cada una de las pelotas y anota su puntaje.

Esto se llama un diseño factorial completo donde cada nivel de todos los factores se corre con cada nivel de todos los demás factores.

	PING	PEERLESS
Top Flite	87	84
Titleist	86	82

En este caso tenemos que los factores o X son los tipos de palos (ping o peerless) y los niveles son el tipo de pelota (top flite o titleist).

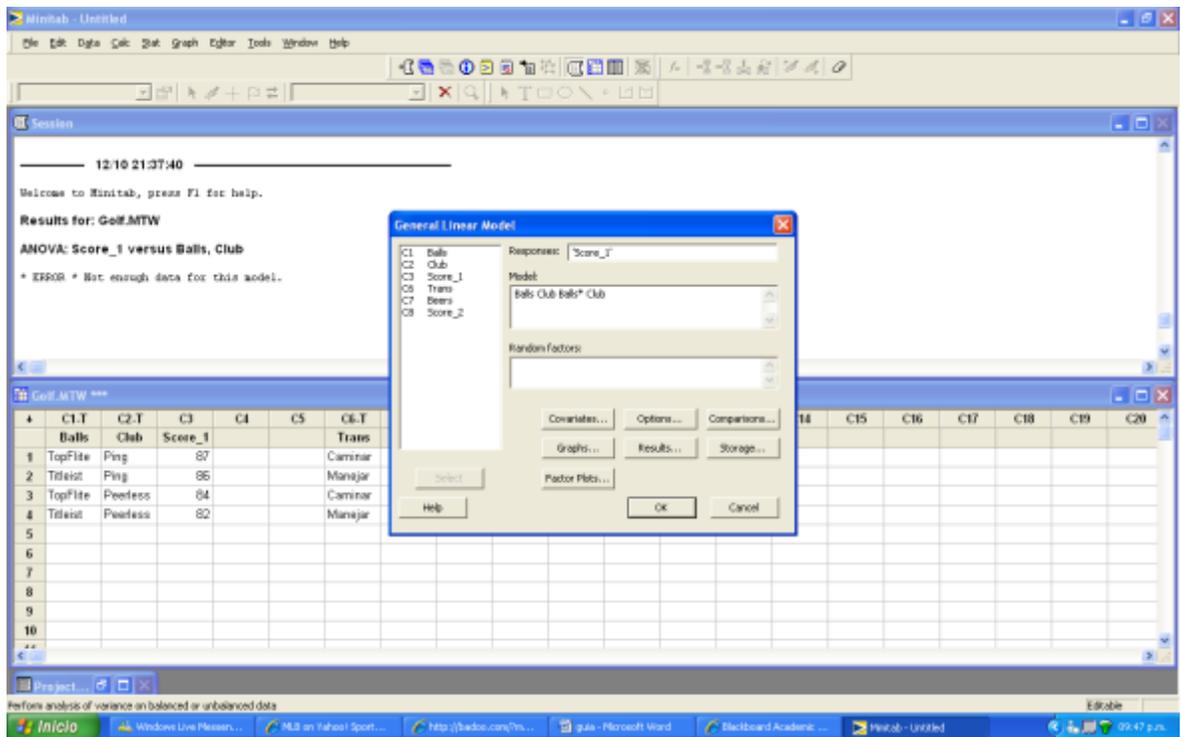
En minitab cargamos la información de la siguiente manera:



Vaya al menú y seleccione la siguiente ruta: Stat>ANOVA>General Linear Model

Dé de alta como respuesta o efecto en este caso la distancia a las que el golfista lleva la pelota, es decir la columna C3 de Score_1.

En la parte de Model debe dar de alta las X que intervienen en el modelo, en este caso el tipo de Bola y el tipo de palo, así como la interacción que hay entre ellas, esto se representa al poner entre las dos variables un *. La pantalla debe lucir de la siguiente manera:



Los resultados que se despliegan son:

General Linear Model: Score_1 versus Balls, Club

Factor	Type	Levels	Values
Balls	fixed	2	Titleist, TopFlite
Club	fixed	2	Peerless, Ping

Analysis of Variance for Score_1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Balls	1	2.2500	2.2500	2.2500	**	
Club	1	12.2500	12.2500	12.2500	**	
Balls*Club	1	0.2500	0.2500	0.2500	**	
Error	0	*	*	*		
Total	3	14.7500				

En este caso en particular no salen los valores que nos interesan que son los de P debido a la interacción, la cual como vemos en la columna Seq SS es muy pequeña (0.25) de un total de 14.75.

Lo que tenemos que hacer es correr nuevamente el modelo pero sin dar de alta la interacción.

Los nuevos resultados son los siguientes:

Analysis of Variance for Score_1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Balls	1	2.2500	2.2500	2.2500	9.00	0.205
Club	1	12.2500	12.2500	12.2500	49.00	0.090

Error	1	0.2500	0.2500	0.2500
Total	3	14.7500		

S = 0.5 R-Sq = 98.31% R-Sq(adj) = 94.92%

Para este ejemplo, la hipótesis nula sería que ningún factor tiene efecto, y la hipótesis alterna es que los factores afectan la salida. A un nivel de 95% el P valor tiene que valer al menos 0.05 para poder aceptar la hipótesis nula, como en este caso ambos factores son mayores a 0.05 ni las bolas ni los palos afectan la distancia a la cual se golpea la bola.

Conclusiones de la etapa de Incremento

En esta etapa al concluir los experimentos con las variables X's en sus diferentes niveles sabremos cual es la combinación necesaria para que el proyecto nos de un resultado positivo y conforme a nuestras expectativas.
Se sugiere concluir construyendo una tabla en donde en una columna usted tenga la variable y en otra tenga el nivel que resulto como mejor para el proyecto.

CONTROL

El éxito en el mundo del Seis Sigma está basado a largo plazo, ganancias permanentes. Las ganancias se miden durante un año después de que el proyecto entra en la fase de realización. El propósito de la fase de control es sistematizar las mejoras para hacerlas parte de la cultura, para hacerlas permanentes.

Lo que hemos hecho hasta el momento con las fases anteriores es:

1-Medimos

Claramente se definió el problema, se encontraron las salidas y las entradas críticas. Se determinó la capacidad de los sistemas y procesos de medición.

2-Analizamos

Examinamos los datos e identificamos la causa raíz del problema.

3-Incrementamos

Descubrimos $y=f(x)$ y optimizamos el proceso.

Las herramientas que son más comunes para poder mantener bajo control el proyecto son:

1-Plan de control

2-Actualización de AMEF

Aparte de esto daremos una explicación a los métodos de control de variables más utilizados, ya que el plan de control es meramente el documento a administrar pero

día a día los gráficos de control son los que nos dirán si las variables están perdurando en el nivel que definimos como óptimo para el proyecto.

PLAN DE CONTROL

El Plan de Control describe las acciones que serán tomadas para asegurar los resultados.

Incluye:

- Qué está controlando
- Límites de especificación
- Método de medición
- Método de Control (sólo mencionar)
- Tamaño de muestra
- Frecuencia
- Responsables de toma y análisis de los datos
- Procedimientos aplicables
- Responsables y
- Acciones a tomar en caso de una desviación.

Se puede utilizar el siguiente formato:

Paso	¿Qué está controlado?	¿Entrada o Salida?	Límites de Espec./ Requerimientos	Método de medición	Método Control	Tamaño de muestra	Frec.	¿Quién/Qué se mide?	¿Dónde se almacena

Peso del proceso:

Este punto lo obtenemos del mapa de proceso. Debe mantenerse una coherencia en nombres con el mapa de proceso, AMEF, C&E etc.

¿Qué está controlando?

Aquí vamos a colocar el nombre de la entrada o la salida.

¿Entrada o salida?

Especificamos cuál de las dos es.

Límites de especificación:

Listar el objetivo y las tolerancias para cada entrada y salida crítica.

Método de medición:

Definir qué proceso o máquina hace la medición.

Método de control:

Que método se utiliza para el control

El ms usado es el Control estadístico de procesos y lo analizaremos a detalle.

Tamaño de muestra:

Seleccionar el tamaño de muestra en base al sistema de medición y capacidad del proceso.

Frecuencia de la muestra:

Seleccionar la frecuencia basada en el sistema de medición.

¿Quién/Qué hace la medición?

¿Quién es responsable de asegurar que los datos se tomen y que sean correctos?

¿Dónde se registra?

¿Base de datos, gráficas, ambas?

Regla de decisión/ Acción correctiva

¿Qué pasa cuando el proceso está fuera de control y quien toma la acción?

Ejemplo:

Paso del Proceso	¿Qué se controla?	¿Entrada o Salida?	Límites de Espec./Requerimientos	Método de Medición	Método de control	Tamaño de muestra	Frec.	¿Qué/Quién Mide?
Recubrimiento/ Horneado PMGI	Temperatura del Plato del Homo	Entrada	112 ± .3 °C	Omega T/C Meter	Calib. PM	100%	Semanal	Técnico de Mantenimiento
	Espesor del PMGI	Salida	195 ± 45 nm	SP	CEP	3 sitios/plaquetas	1 lote	Operador
	Ancho del PMGI	Salida	14 ± xx µm	KLA	CEP	36 sitios-todas las plaquetas	100%	Operador
	Corte por debajo	Salida	2.0 ± 0.5 µm	KLA	CEP	36 sitios-todas las plaquetas	100%	Operador

INTRODUCCIÓN A LOS GRAFICOS DE CONTROL

Los gráficos de control son el método estadístico por excelencia para monitorear un proceso.

Para aplicar estos gráficos debemos de tomar muestras del proceso que sean aleatorias, es decir que cada elemento tenga la misma probabilidad de ser elegido.

Una vez que se define el tamaño de la muestra (n) y el número de muestras (m), estamos en posibilidad de ver si siguen una distribución normal. Usted puede hacer esta prueba como se ha visto anteriormente usando minitab y la opción de graphical summary.

Es recomendable que usted tenga un numero de muestras suficientes, típicamente 30 muestras son buenas para construir un gráfico, por otra parte el tamaño de muestra (n) oscila entre 3 y 5 lo cual es bastante adecuado para que la muestra refleje lo que en realidad pasa en el proceso.

Los gráficos de control van a detectarnos dos tipos de variación:

Variación por causas comunes:

Son fuentes de variación que son inherentes a los procesos y es complicado eliminar con ajustes simples de los operadores o supervisores.

Ejemplos de estos pueden ser: La temperatura del área en que se produce, las especificaciones de las maquinas etc.

Estas fuentes de variación se presentan en un porcentaje de 80/100 de la variación total que está presente normalmente en los procesos.

Es la variación más difícil de eliminar y por la cual los gráficos saldrán con subidas y bajadas alrededor de un promedio o línea central.

Variación por causas especiales:

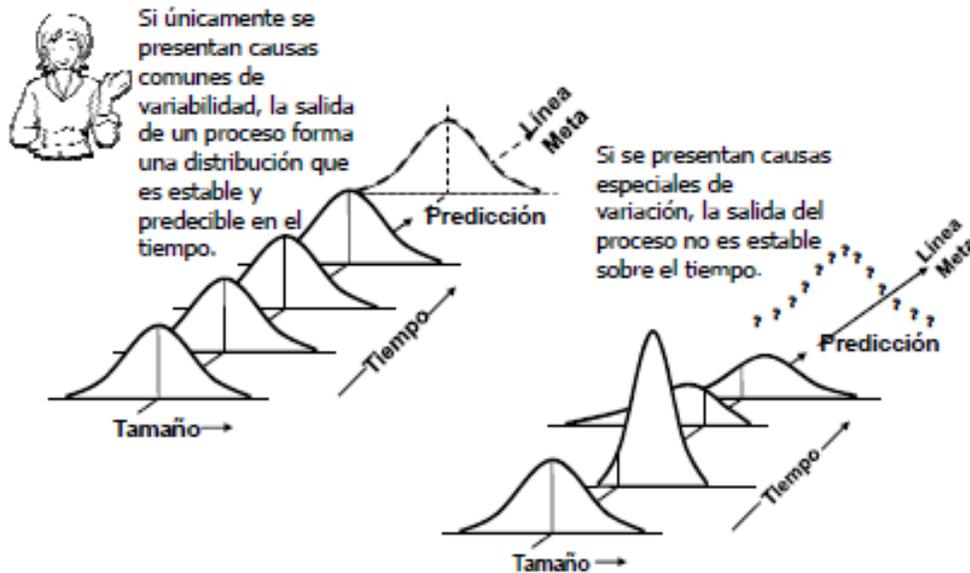
Es la variación que se presenta por causas fáciles de ver en el proceso. Esta variación la pueden corregir a nivel de supervisión u operador sin necesidad de intervención gerencial haciendo típicamente ajustes o cambios en los procesos.

Ejemplos de estos pueden ser: Falta de capacitación de una persona, uso de una herramienta incorrecta, etc.

Representan aproximadamente un 20/100 de la variación total en el proceso, por lo que aunque es relativamente sencillo detectarlos no podremos reducir gran cosa de la variación total al eliminarlos inclusive de raíz.

A continuación se esquematiza lo que pasa en un proceso cuando hay causas comunes y especiales presentes:

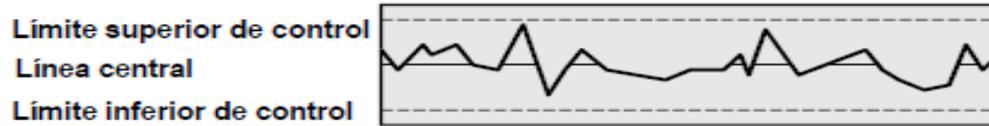
Variabilidad: causas comunes y especiales



Uno de los objetivos de un gráfico de control es precisamente detectar las causas especiales para trabajar en ellas y dejar el proceso estable, ya que aunque con variación por causas comunes presentes, al menos tendremos un comportamiento predecible de nuestros procesos, el cual nos servirá como punto de partida para reducir esa variabilidad.

El grafico de control lucirá de la siguiente manera:

Gráfica de control



En donde existen tres límites o líneas que son calculadas por formulas establecidas y una línea quebrada que son los datos que graficamos de las muestras que tenemos.

Existen de manera general dos tipos de gráficos de control:

Gráficos de control por variables:

Se utiliza cuando la característica de calidad o variable puede expresarse como una medida numérica (diámetro de un cojinete, longitud de un eje, etc.)

Las más conocidas son: Promedios y rangos(X-R), Lecturas individuales.

Gráficos de control de atributos:

Se utiliza cuando la característica de calidad corresponde a una variable binaria (presencia o no de defectos, etc.)

Los más conocidos son: NP (defectuosos) y C (defectos).

Gráfica de control para variables

Gráfica de Promedios y Rangos ($\bar{x} - R$)

- Sea 'm' el número de muestras de tamaño 'n' obtenidas de un proceso, los estadísticos de la muestra son:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad R = X_{\max} - X_{\min}$$

y los estimadores del proceso son:

$$\hat{\mu}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m} ; \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

donde, $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$ y d_2 , relaciona al rango de la muestra con la desviación estándar de la población.

Gráfica de control $\bar{x} - R$

Gráfica de Promedio

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - k \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}}$$

$$LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m}$$

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + k \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}}$$

Gráfica de Rango

$$LIC_R = \bar{R} - k \frac{d_3 \bar{R}}{d_2}$$

$$LC_R = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

$$LSC_R = \bar{R} + k \frac{d_3 \bar{R}}{d_2}$$

Si: $k=3$, $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$, $D_3 = 1 - \frac{3d_3}{d_2}$, $D_4 = 1 + \frac{3d_3}{d_2}$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$$

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$LC_R = \bar{R}$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

Propiedades del gráfico $\bar{x} - R$

$$\mu \pm 3\sigma \quad (\text{Proceso})$$

$$\bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (\text{Muestra})$$

$$\bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}} \quad (\text{Muestra y Gráfico de Control})$$

Si $n = 5$ entonces $\sqrt{5} = 2.236$ y $d_2 = 2.326$

Sustituyendo, tenemos:

$$\bar{\bar{x}} \pm \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} = \bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R}$$

$$A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} = 0.577$$

Gráfica de control $\bar{x} - R$

Ejemplo: Los siguientes datos corresponden a la característica de calidad que se desea controlar.

Muestra No.	x1	x2	x3	x4	x5	Promedio	Rango
1	61.40	62.40	62.00	61.90	60.90	61.72	1.50
2	63.00	58.00	61.70	61.50	61.90	61.22	5.00
3	60.20	58.90	62.90	60.00	59.70	60.34	4.00
4	60.50	60.40	60.80	59.70	60.60	60.40	1.10
5	58.10	58.50	61.20	58.90	59.80	59.30	3.10
6	59.30	56.50	61.50	60.70	60.50	59.70	5.00
7	59.20	58.60	60.40	61.40	60.80	60.08	2.80
8	62.60	61.60	62.60	58.90	61.40	61.42	3.70
9	58.90	61.10	59.80	62.50	60.10	60.48	3.60
10	59.50	59.30	58.10	62.00	60.30	59.84	3.90
11	58.00	61.20	61.30	62.00	59.90	60.48	4.00
12	59.10	58.10	60.80	60.90	59.20	59.62	2.80
13	56.30	59.60	58.20	60.30	58.20	58.52	4.00
14	58.50	59.50	60.30	59.70	58.40	59.28	1.90
15	56.70	58.20	58.70	58.70	56.50	57.76	2.20
16	57.20	57.00	59.00	59.00	58.10	58.06	2.00
17	57.00	57.60	60.70	61.80	58.30	59.08	4.80
18	59.70	61.30	61.20	61.20	58.60	60.40	2.70
19	60.00	58.40	59.70	59.90	60.50	59.70	2.10
20	60.50	58.00	61.10	60.30	60.80	60.14	3.10
	Suma =					1197.54	63.30

Tabla de valores de constantes:

Sample Size = n	A_2	A_3	d_2	D_3	D_4	B_3	B_4
2	1.880	2.659	1.128	--	3.267	--	3.267
3	1.023	1.954	1.693	--	2.574	--	2.568
4	0.729	1.628	2.059	--	2.282	--	2.266
5	0.577	1.427	2.326	--	2.114	--	2.089
6	0.483	1.287	2.534	--	2.004	0.030	1.970
7	0.419	1.182	2.704	0.076	1.924	0.118	1.882
8	0.373	1.099	2.847	0.136	1.864	0.185	1.815
9	0.337	1.032	2.970	0.184	1.816	0.239	1.761
10	0.308	0.975	3.078	0.223	1.777	0.284	1.716
11	0.285	0.927	3.173	0.256	1.744	0.321	1.679
12	0.266	0.886	3.258	0.283	1.717	0.354	1.646
13	0.249	0.850	3.336	0.307	1.693	0.382	1.618
14	0.235	0.817	3.407	0.328	1.672	0.406	1.594
15	0.223	0.789	3.472	0.347	1.653	0.428	1.572
16	0.212	0.763	3.532	0.363	1.637	0.448	1.552
17	0.203	0.739	3.588	0.378	1.622	0.466	1.534
18	0.194	0.718	3.640	0.391	1.608	0.482	1.518
19	0.187	0.698	3.689	0.403	1.597	0.497	1.503
20	0.180	0.680	3.735	0.415	1.585	0.510	1.490
21	0.173	0.663	3.778	0.425	1.575	0.523	1.477
22	0.167	0.647	3.819	0.434	1.566	0.534	1.466
23	0.162	0.633	3.858	0.443	1.557	0.545	1.455
24	0.157	0.619	3.895	0.451	1.548	0.555	1.445
25	0.153	0.606	3.931	0.459	1.541	0.565	1.435

Cálculos

$$\bar{\bar{x}} = \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / m = 59.88$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 58.05$$

$$LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = 59.88$$

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 61.70$$

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^m R_i / m = 3.17$$

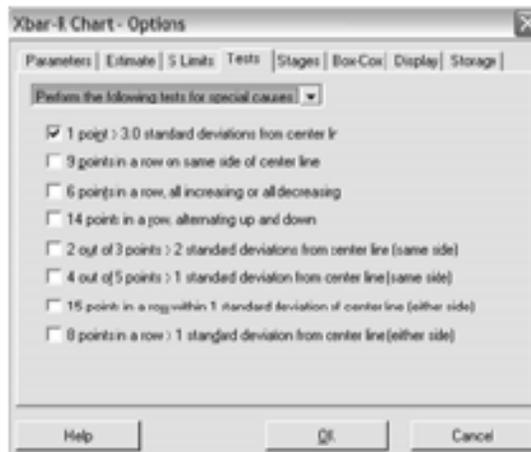
$$LIC_R = D_3 \bar{R} = 0$$

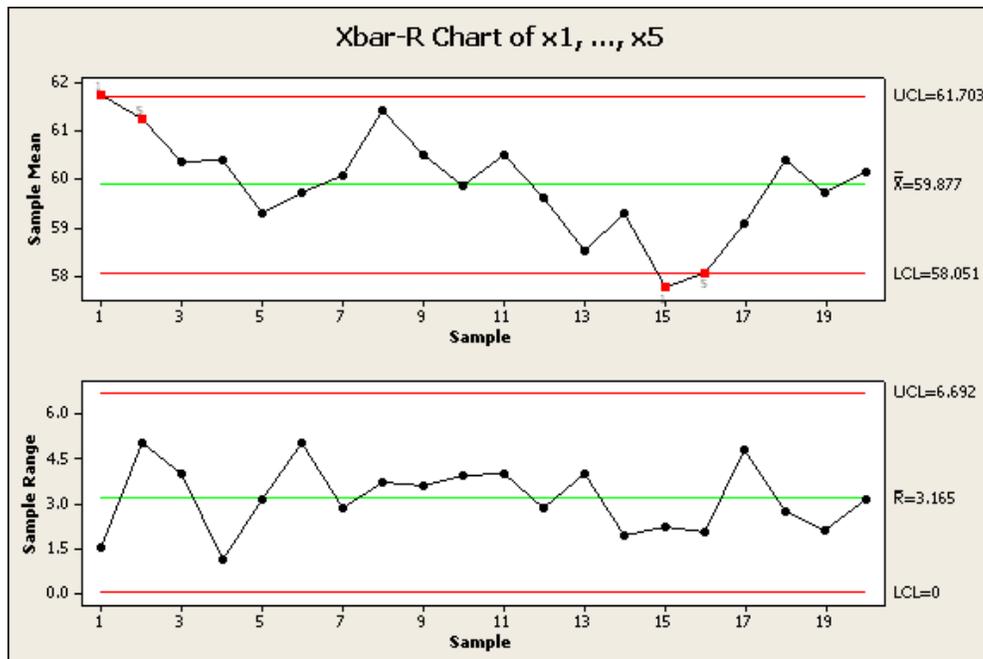
$$LC_R = \bar{R} = 3.17$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R} = 6.68$$

En Minitab

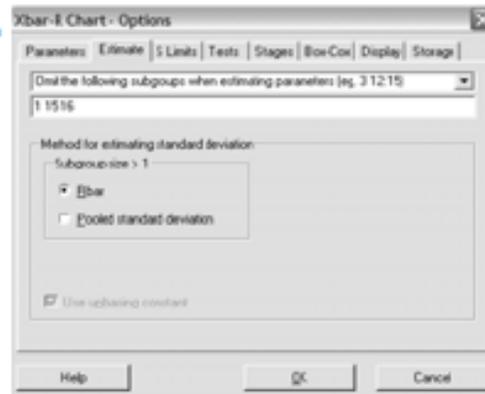
- Presione el botón de Xbar-R Options
- Presione el botón de Estimate, seleccione Rbar
- Presione el botón de Test
- Seleccione las pruebas a correr. Las pruebas 1 y 5 son mejores cuando se buscan las causas especiales en bruto.
- Presione el botón de Help para explicaciones de cada prueba



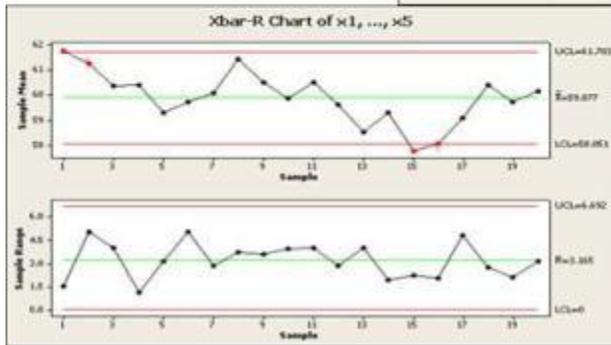
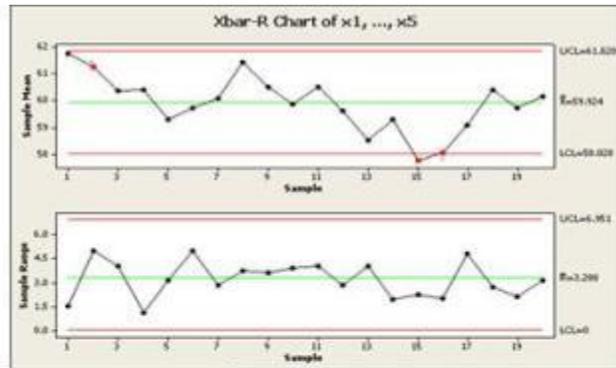


Recalculando los límites de ctrl.

- Después de identificar la causa para los puntos fuera de control, estos pueden ser retirados de los cálculos de los límites de control.
- En el ejemplo previo, los puntos 1, 15 y 16 pueden ser removidos de los cálculos de los límites de control.
- Presione el botón de *Estimate* en el formato de la gráfica Xbar - R y capture los datos faltantes



Después de haber quitado puntos.



Note la diferencia con la grafica Anterior y el recalcado de los Limites.

Gráfico de Atributos:

Grafica de número de defectos por unidad (muestra constante) Gráfica c

- Sea 'x' el número de defectos en una muestra y su ocurrencia tiene una distribución Poisson con parámetro 'c'. Del proceso se han obtenido 'm' muestra sucesivas, entonces:

$$P(x) = \frac{e^{-c} c^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

$$E(c) = \bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m}, \quad \text{var}(c) = \bar{c}$$

Propiedades del Gráfico c

$$\mu \pm 3\sigma \quad (\text{Proceso})$$

$$\bar{c} \pm 3\sigma_{\bar{c}} \quad (\text{Muestra})$$

$$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}} \quad (\text{Muestra y Gráfico de Control})$$

- Cálculo de Límites de Control

$$LIC_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LC_c = \bar{c}$$

$$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

Ejemplo Gráfica c

- Se obtuvo información sobre el número de defectos que presentó una muestra de 20 botellas para refresco:

No. de botella	No. de defecto(s)
1	3
2	2
3	4
4	0
5	1
6	2
7	1
8	5
9	6
10	1
11	2
12	0
13	1
14	5
15	2
16	5
17	4
18	3
19	6
20	2
Suma	55

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m} = \frac{55}{20} = 2.75$$

$$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 2.75 + 3\sqrt{2.75} = 7.725$$

$$LC_c = \bar{c} = 2.75$$

$$LIC_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 2.75 - 3\sqrt{2.75} = -2.225 \rightarrow 0$$

- Cuando el resultado de un LC es negativo se representa como un LC igual a cero.

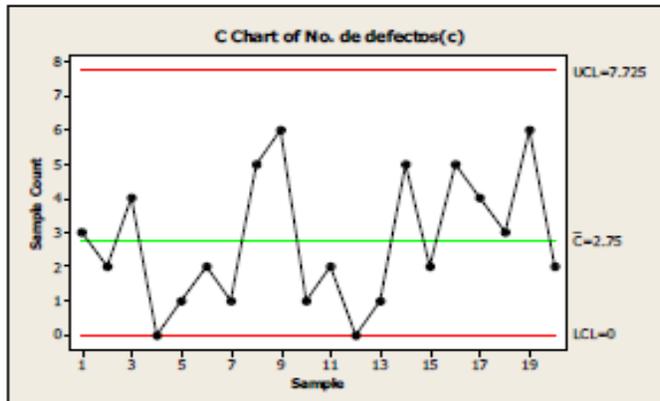
En Minitab Gráfica c

- Con la información sobre el número de defectos en 20 botellas, tenemos en Minitab:

Stat > Control Charts > Attributes Charts > C



Salida en Minitab



ACTUALIZACIÓN DE AMEF

El AMEF tal cual se vio en la fase de medición se debe de actualizar al día siempre que se realicen cambios de procesos importantes. En este caso al haber realizado un proyecto de Seis Sigma tendremos cambios en las variables o X's que han resultado significativas y de las que hemos fijado mejores niveles en la fase de incremento, por lo que resulta necesario ir al AMEF que teníamos y actualizarlo con las acciones que emprendimos, ajustes y actualización de índices de detección, ocurrencia y severidad, lo que traerá como consecuencia cambios en el RPN que debe disminuir significativamente con los cambios y mejoras hechas en los procesos.

Aquí vemos un ejemplo de una parte del AMEF:

Función del proceso	Modo de Falla Potencial	Efectos de falla potenciales	SEV	Causas de falla potenciales	OC	Controles actuales del proceso	DET	PRE
El valor mas grande de los pasos del proceso de la matriz C&E.	¿De qué manera fallará el proceso potencialmente para cumplir con los requerimientos y/o diseño del proceso?	¿Cuál es el efecto de cada modo de falla en las salidas y/o requerimientos del cliente?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Cómo puede ocurrir la falla? Describir en términos de algo que pueda ser corregido o controlado. Sé específico	¿Qué tan seguido ocurre la causa o modo de falla?	¿Cuáles son los controles y procedimientos existentes (inspección y prueba) que previenen o detectan la ocurrencia?	¿Qué tan bien se puede detectar la causa o MF?	SEV x OC x DET
Revestimiento de Niquel	Recubrimiento delgado	Corrosión	5	Resistencia de contacto muy alta	6	XR Medición de Espesor	5	150
Suministro de empaque	Falta de inventario de "conchas de almeja"	Embarques tardios	7	Entrega variable de proveedores	8	Auditorías de inventario	3	168

PLAN DE TRANSICIÓN

Este plan de transición es un documento que se recomienda se deje al momento de que el equipo que intervino en el proyecto esté cediéndolo al dueño del proceso, ya que con esto quedarán claras las actividades hechas y pendientes del proyecto.

Un ejemplo de formato para este plan es el siguiente:

Acciones pendientes	Responsable	Iniciales	Fecha de terminación	Estatus Actual
1				
2				
3				
4				
5				
6				

DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO

Es importante que el proyecto se documente debidamente para que pueda ser revisado por la gerencia, dueños del proceso y que quede bien acentuada su realización y éxito. A continuación se muestra una guía de lo que debe contener el documento final de un proyecto que no es más que muchas de las cosas que hemos discutido a lo largo de esta guía pero ya con mas estructura para presentar un reporte profesional a la gerencia.

PROYECTO SEIS SIGMA

Aprobaciones:

_____	_____
Project Champion – Nombre	Fecha
_____	_____
Dueño del proceso – Nombre	Fecha
_____	_____
Asesor – Nombre	Fecha
_____	_____
Representante de finanzas – Nombre	Fecha

1. Resumen Ejecutivo

(Este debe ser un resumen breve de las acciones tomadas para la realización del proyecto y los resultados más relevantes del mismo)

2. Definición del Proyecto

2.1. Preguntas de identificación del problema

- ¿Qué es el problema?
- ¿Dónde ocurre?
- ¿Cuándo ...
 - ocurre?
 - fue la primera vez que se observó?
- ¿Qué magnitud tiene el problema?
- ¿Cómo lo sé?

2.2. Enunciado del problema (enunciado formado con las respuestas de la sección anterior)

- Métricos
 - Primario
 - Críticos

2.3. Gráfico de series de tiempo del métrico primario y crítico.

2.4. Cálculo de la línea base, del entitlement y de la meta.

Línea base:

Entitlement

Meta; (70% de la diferencia entre la línea base y Entitlement)

2.5. Declaración de Objetivos

Enunciado del objetivo: [Verbo en infinitivo + métrico primario + enfoque] desde [Línea Base] hasta [Meta] para [fecha límite], sujeto a [restricciones].

2.6. Pronóstico inicial de beneficios incluyendo los costos (80% de certidumbre)

- Ahorros Duros
- Ahorros Suaves
- Ahorros Potenciales

2.7. Alcance del proyecto

Macro mapa del proceso señalando el área involucrada en el proyecto

2.8. Equipo de trabajo

Nombre	Área Funcional	Experiencia	UN Compañía	/ Categoría de Miembro
				Champion
				Process Owner
				Líder del proyecto
				Experto
				Rep. Financiero
				Operador

2.9 Cronograma

	Finalización de Fases del Proyecto				
	Inicio:	Medición:	Análisis:	Incremento:	Control:
Planeado:					
Real:					

2.10 Palabras clave

3. Conclusiones de cada Fase

3.1. Definición

- Barreras
- Solución de las barreras
- Mejores prácticas
- Resultados de la fase

3.2. Medición

- Barreras
- Solución de las barreras
- Mejores prácticas
- Resultados de la fase

3.3. Análisis

- Barreras
- Solución de las barreras
- Mejores prácticas
- Resultados de la fase

3.4. Incremento

- Barreras
- Solución de las barreras
- Mejores prácticas
- Resultados de la fase

3.5. Control

- Barreras
- Solución de las barreras

- Mejores prácticas
- Resultados de la fase

4. Resumen de cambios hechos para lograr la mejora.

5. Entregables.

5.1. Medición

5.1.1. Mapeo del Proceso

- Diagrama de flujo del proceso
- Mapa detallado (matriz)

5.1.2. Diagrama Causa Efecto (Espina de Pescado)

5.1.3. Matriz Causa Efecto

5.1.4. Análisis Gage R&R

5.1.5. Análisis de capacidad de la Línea Base

5.1.6. FMEA

5.2. Análisis

5.2.1. Análisis Gráfico (incluir sólo lo que aplique)

- Boxplots
- Dotplots
- Gráficos de Efectos Principales
- Gráficos de Interacciones
- Gráficos Multi-Vari

5.2.2. Análisis Estadístico (incluir sólo lo que aplique)

- Tamaño de Muestra
- Pruebas de Medias/Medias
- Pruebas de Varianzas

5.3. Incremento

5.3.1. Diseño de experimentos (reporte)

- Antecedentes y Teoría
- Diseño del experimento
- Método
- Resultados / Datos
- Análisis
- Recomendaciones y Conclusiones

6. Aplicación de métodos de control.

6.1. Gráficos de control

7. Plan de Control

- Use el formato recomendado.
- Incluya también el AMEF de control: Use el formato recomendado.

8. Acciones Pendientes (Plan de transición).

	Acciones pendientes	Responsable	Iniciales	Fecha de terminación	Estatus Actual
1					
2					
3					
4					
5					
6					

9. Estatus final del proyecto.

9.1. Cálculo actualizado de beneficios financieros.

9.2. Estatus final de métrico primario.

Métrico / Unidad	Baseline	Actual	Meta	% de mejora hacia la meta
DPMO				
 Long-term				
Otros Métricos				

9.3. Gráfico de series de tiempo actualizado del métrico primario y crítico.

9.4. Capacidad a corto y largo plazo del proceso después de la mejora.

9.5. DPU y DPMO después de la mejora.

9.6. Nivel Sigma actualizado.

10. Proyectos potenciales identificados a raíz de este proyecto.

Nombre del proyecto potencial.	Área

11. Apéndices

- 11.1. Reportes de DOE (Detallado)**
- 11.2. AMEF (Detallado)**
- 11.3. MSA(Detalles)**
- 11.4. Otros Cálculos (Detalles)**

CONCLUSIONES

Este trabajo tiene como objetivo servir como guía para que una persona con conocimientos de estadística básica y una capacitación o apoyo corto pueda entender y empezar a colaborar con los esfuerzos de implementación de proyectos de Seis Sigma en su empresa o negocio. Se ha seguido un orden desde la introducción a lo que es Seis Sigma hasta un recorrido específico y secuencial por las herramientas que componen la metodología DMAIC, con lo que el lector puede ver como se avanza en la realización del proyecto. Finalmente se concluye proporcionando un formato con el que se puede documentar un proyecto para que el usuario pueda empezar a plasmar cada una de las etapas con un orden y secuencia que dicta la metodología.

BIBLIOGRAFIA

- Humberto Gutiérrez Pulido (2007). “Control estadístico de calidad y Seis Sigma”. 1era Edición.
- Douglas Montgomery (1991). “Control estadístico de la calidad”.
- Forrest W. Breyfogle III (2003). “Implementing six Sigma smarter solutions using statistical methods”.2da Edición.
- Peter Pande (2002). “Las claves de Seis Sigma, la implantación con éxito de una cultura que revolucionó el mundo empresarial”. 1era Edición.
- Mikel Harry y Richard Schroeder (2000). “Six Sigma, the breakthrough management strategy revolutionizing the world’s top corporations”. 1era Edición.
- Grupo Mabe (1998). “Manual de entrenamiento para instrucción a Green y Black Belts”
- ITESM (2008). “Programa de certificación internacional en Seis Sigma”.

- ITESM (2008). "Apuntes de las clases de metodología para Seis Sigma y de herramientas para Seis Sigma".
- James R. Evans, William M. Lindsay, (2008). "*Administración y control de la calidad*".
- Michael L. George, (2002). "*Lean Six Sigma : combining Six Sigma quality with Lean speed*".
- Subir Chowdhury. (2001). "*El poder de Seis Sigma*".
- Humberto Gutierrez Pulido,(2005). "*Calidad total y productividad*".
- S. Pandle, Larry Holpp ; traductor Enric Barba,(2002) ."*¿Que es Seis Sigma?*"
- Juan Pablo Nigenda. (2004). "*Herramientas Estructuradas Para la Definición de Proyectos de SEIS SIGMA Aplicable a la PYME*".
- Gustavo Gutierrez Garza. (2004), "*Aterrizando Seis Sigma: del concepto a la práctica*".
- Kjell Magnusson .(2006), "*Seis Sigma :una estrategia pragmática*".

ANEXO III. Formatos y procedimientos para el desarrollo de la metodología Lean Seis Sigma en la PyME.

4.4.3.4 Validación financiera:

Hoja de ayuda para cálculo de beneficios en un proyecto Lean Seis Sigma en Pymes

Copercini, R (n.d) sugiere que en el análisis financiero de un proyecto se tengan en cuenta las siguientes áreas:

Aumentando los Ingresos en la empresa

Son ingresos que se producen por la mejora a través del proyecto Lean Sigma, como por ejemplo el incrementar las ventas, el lanzamiento de nuevos productos.

- Aumentado el volumen de lo que se vende: A mayor volumen de un producto o servicio vendido debido a una mayor satisfacción del cliente, mejor oferta propuesta, mejor distribución (cobertura geográfica, número de tiendas, una mayor productividad de los canales existentes, etc.).

La regla general para calcular los mayores ingresos en el momento después del proyecto ($n + x$), en comparación con el antes del proyecto parte (n) es simple:

(Los ingresos de $n + x$) – (ingresos n) = El mayor beneficio en ingresos que tendrá

Esta regla se puede aplicar fácilmente en una situación de constante precio y costo constante, cosa que se puede hacer bajo la premisa de que lo que se vende como beneficio de un proyecto Lean Sigma es en un año.

Si se obtiene el aumento de los ingresos como resultado de menor precio (aumento de volumen causado por la reducción de precios), se recomienda medir el impacto a nivel de margen.

Si el resultado del proyecto es una reducción de los costos de un producto o servicio que se traduce en una reducción del precio, calcular este impacto en la línea de ingresos sólo por el aumento de volumen (si corresponde).

Nota: No siempre es fácil el atribuir claramente el aumento de los ingresos a un proyecto de *Lean Six Sigma*. Tal vez hubo otros factores desconocidos o actividades paralelas que también influenciaron el aumento.

Reduciendo los Costos

Es el área en que la mayoría de los proyectos Lean Six Sigma se concentran. En esta línea se identifican varios tipos de impactos financieros - reducción de costos materiales, aumento de la productividad (reducción de costos de mano de obra) y la reducción de los costos de mala calidad.

- Reduciendo el costo: Cualquier ahorro logrado; una reducción de un cierto costo al efectuado en el pasado puede calcularse en esta categoría. La regla general es:

(Costo antes de hacer el proyecto)-(costo después del proyecto) = ahorro de costos

Si el costo directo, la siguiente regla es aplicable:

(Costo después del proyecto x número de elementos)-(costo antes del proyecto x número de elementos) = ahorro de costos

"El número de elementos" es el recuento de los elementos que está relacionada con el costo (es decir, productos, facturas, llamadas, etc.).

Cualquier reducción de capital utilizado (activos), intereses pagados, capital de trabajo y las existencias puede calcularse como un costo reducido.

- Mejorando la productividad: Se refiere a la mayor cantidad de producción por unidad (minutos, horas, días, etc.) del trabajo y por lo general se calcula en términos de tiempo ahorrado para realizar una acción específica o para obtener un resultado específico. Puede lograrse como resultado de simplificación, automatización o eliminación de tareas (por ejemplo, actividades que no agregan valor).

Para calcular correctamente un impacto financiero de guardar una de las siguientes condiciones de productividad debe ser aplicable:

- 1- Reducción de la cantidad de personal: Si el ahorro en la productividad produce una reducción de personal, puede incluir la cantidad ahorrada en el impacto financiero. Los costos relacionados con la reducción de personal también puede considerarse, aunque la idea aquí no es eliminar personal, sino reubicarlo donde genera valor para la empresa. La regla general es:

(Costo de mano de obra) x (número de trabajadores reubicados o despedidos) x (período) – (costo de reubicación o despido) = ahorro de productividad

- 2- Aumentando el volumen: Si el negocio está creciendo y el tiempo ahorrado (unidades de mano de obra) se utiliza para aumentar la

producción, la cantidad de tiempo ahorrado puede incluirse en el impacto financiero (hasta el aumento de la producción efectiva).

(Costo de mano de obra) x (tiempo) x (número de unidades) = ahorro de productividad

- 3- No se reduce el personal y el volumen es estable: En este caso, puede calcularse ahorro sólo si puede demostrarse que se utilizará el tiempo ahorrado en actividades de valor agregado que no se realizaron antes.

(Costo de mano de obra) x (tiempo) x(actividad) = ahorro de productividad

- Costo de la mala calidad: Costos de falla interna y externa, los costos de prevención, los costos de evaluación y otros. Muchos de estos costos están ocultas y difíciles de identificar por los sistemas de medición. La clasificación más detallada de estos costos puede encontrarse en el apartado de 2.1.2 de esta tesis.

Satisfacción del cliente

La satisfacción del cliente es uno de los objetivos distintivos en un proyecto Lean Six Sigma. Si la empresa Pyme mide bajo algún mecanismo la satisfacción de sus clientes, es buen momento para que esa información se convierta en un índice que se pueda relacionar con ahorros o ganancia en proyectos Lean Seis Sigma esto mediante la mejorar el índice que se traduzca en la atracción de más cliente, lealtad de los actuales cliente o mejora en la relación que se tiene con ellos.

4.4.1.2 Diagnóstico de la empresa:

Nombre de la empresa: _____
 Nombre del evaluador: _____
 Fecha de evaluación: _____
 Nombre del responsable de la evaluación por parte de la empresa: _____

Criterio	Pregunta	Mire su evaluación por pregunta (1 se esta en total desacuerdo, hasta el 5 si esta en total acuerdo)				
		1	2	3	4	5
Liderazgo y compromiso	1- En la empresa se toma en cuenta al cliente como parte de los objetivos de la empresa.					
	2- La empresa ha emprendido nuevos proyectos en el último año.					
	3- Se ha capacitado a los empleados en el último año.					
	4- Existen equipos de trabajo formados en la empresa					
	5- La dirección tiene identificados los principales indicadores en la empresa.					
	6- La compañía comunica internamente los resultados de sus proyectos, metas o logros.					
	7- En la empresa se promueve nuevas y mejores formas de hacer las cosas.					
	8- En los departamentos se conocen los objetivos al menos en los principales procesos.					
Total para este criterio(1)						
Conocimiento de procesos y de lean/seis sigma	9- Los empleados pueden identificar lo que agrega y lo que no agrega valor en los procesos.					
	10- Los empleados pueden identificar algunos desperdicios en sus procesos.					
	11- Se conoce lo que es Lean y sus principios.					
	12- Los empleados identifican lo que es un defecto en los procesos					
	13- Los defectos o no conformidades en los procesos son registrados					
	14- Los defectos no solo se aíslan o retrabajan sino que se busca identificar por que fue generado.					
	15- En la empresa se utilizan algunas de las 7 herramientas básicas de la calidad					
	16- En la empresa se conoce el concepto de seis sigma					
	17- Existe algún área, departamento o responsable en la empresa encargado de la calidad en la misma.					
	18- La empresa tiene documentados a manera de procedimientos al menos sus procesos principales.					
19- La empresa lleva registros de salidas clave en sus procesos tales como defectos, tiempos de ciclo, fallas etc.						
Total para este criterio(2)						
Entrenamiento e infraestructura	20- Existen supervisores o empleados con formación superior universitaria					
	21- Existe la anuencia de la gerencia para que los empleados pueden ser entrenados hasta por 40 hrs en un lapso de 3 a 4 meses.					
	22- Existe alguna forma de reconocimiento al trabajo (bono, mención etc)					
	23- La empresa puede designar un área física para capacitación de sus empleados y juntas.					
	24- La empresa cuenta con equipo de computo disponible para capacitación.					
	25- La empresa se muestra dispuesta a invertir en licencias de software.					
26- Se percibe interes en el empleado por aprender para desarrollarse en su trabajo.						
Total para este criterio(3)						
Gran total(4)						

[1] La puntuación mínima requerida debe ser 24 pts
 [2] La puntuación mínima requerida debe ser 33 pts
 [3] La puntuación mínima requerida debe ser 21 pts
 [4] La puntuación mínima requerida debe ser 91 pts

4.4.2.2 Priorización de proyectos

Breve descripción del proyecto	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4
Características				
1-Incrementa ventas				
2-Reduce costos				
3-Evita costos				
4- Reduce tiempos de ciclo en procesos o desperdicios				
5-Mejora la calidad de sus productos o servicios				
6-Se puede hacer en 4 meses o menos				
7-Existe información o datos sobre el problema				
8-La solución al problema no es visible o de fácil solución				
9-El proyecto requiere poca o nula inversión				
10- El proyecto está acorde a la misión y visión de la empresa				
11-Exsite gente que conozca el problema o esté capacitada para potencialmente resolverlo				
12- El proyecto generaría valor para los dueños y clientes				
Total de marcas				

4.4.2.3 Formación y formalización del equipo de trabajo

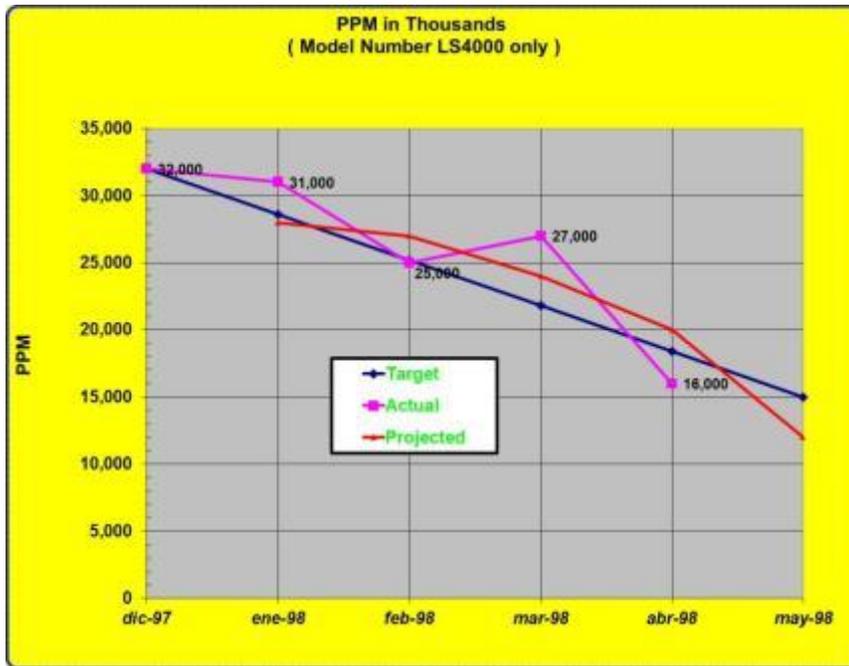
Tabla de integrantes del equipo del proyecto

Función Seis Sigma	Nombre	Rol
Champion		
Dueño del Proceso		
Representante Financiero		
Profesor consultor		
Integrante del equipo (empresa)		
Integrante del equipo (alumno)		
Otros		

4.4.3.1 Enunciado detallado del problema

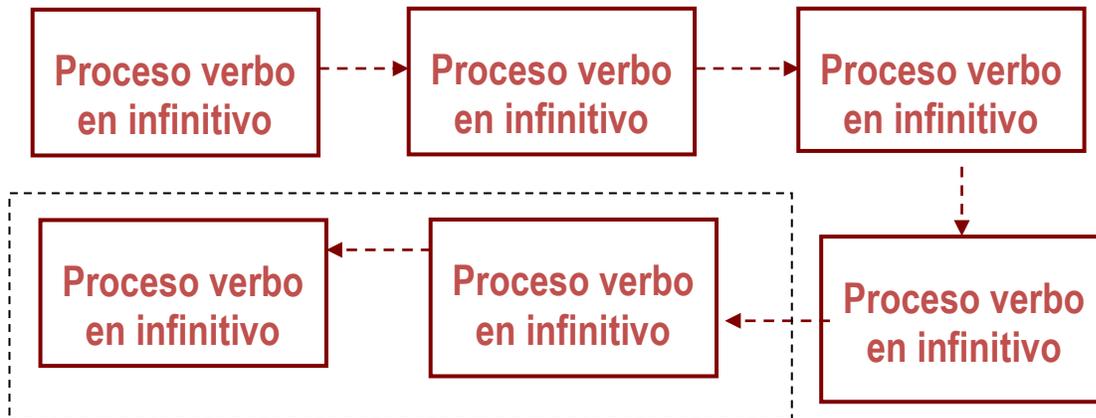
Gráfica de Serie de tiempos:

Baseline	Goal		dic-97	ene-98	feb-98	mar-98	abr-98	may-98
32,000	15,000	Target	32,000	28,600	25,200	21,800	18,400	15,000
		Actual	32,000	31,000	25,000	27,000	16,000	
		Projected		28,000	27,000	24,000	20,000	12,000



4.4.3.3 Mapeo amplio del proceso

Macro Mapa del proceso



4.4.3.5 Presentación y aprobación de la propuesta de proyecto:

Formato de autorización del proyecto

Nombre del proyecto

ID del Proyecto: *Nombre de Usuario de la Plataforma*

Fecha de Inicio: *Fecha de inicio del proyecto (dd/mm/aaaa)*

Empresa: *Nombre de la empresa*

Lugar: *Ubicación física (Ciudad, Estado)*

Acuerdos

Mediante la presente autorizamos el inicio de este proyecto a desarrollarse en el área (*nombre del área organizacional*) de la empresa (*nombre de la empresa*) con ahorros estimados en (*monto en USD*).

Firmas:

Nombre – Director Pyme

Firma y fecha

Nombre – Representante Financiero

Firma y fecha

Nombre – Champion

Firma y fecha

Nombre – Representante Inst. Académica

Firma y fecha

Cronograma

Plan de trabajo por semana

PROYECTO Pyme

MES		Sept	Octubre				Noviembre				Diciembre		
Semana		4	1	2	3	4	1	2	3	4	1		
Fase													
1	Actividad												
2	Actividad												
3	Actividad												
4	Actividad												
5	Actividad												
6	Actividad												
7	Actividad												
Fase													
8	Actividad												
9	Actividad												
10	Actividad												
11	Actividad												
12	Actividad												
13	Actividad												
Fase													
14	Actividad												
15	Actividad												
16	Actividad												
17	Actividad												
18	Actividad												
Fase													
19	Actividad												
20	Actividad												



4.4.4.1 Analizar cómo se obtienen los datos

Estudio de Repetibilidad y reproducibilidad

Attribute Gage R & R Effectiveness

SCORING REPORT

[Attribute Legend](#)

1 0
2 0

DATE: 00/01/1900
NAME: 0
PRODUCT: 0
BUSINESS: 0

All operators agree within and between each Other All Operators agree with standard

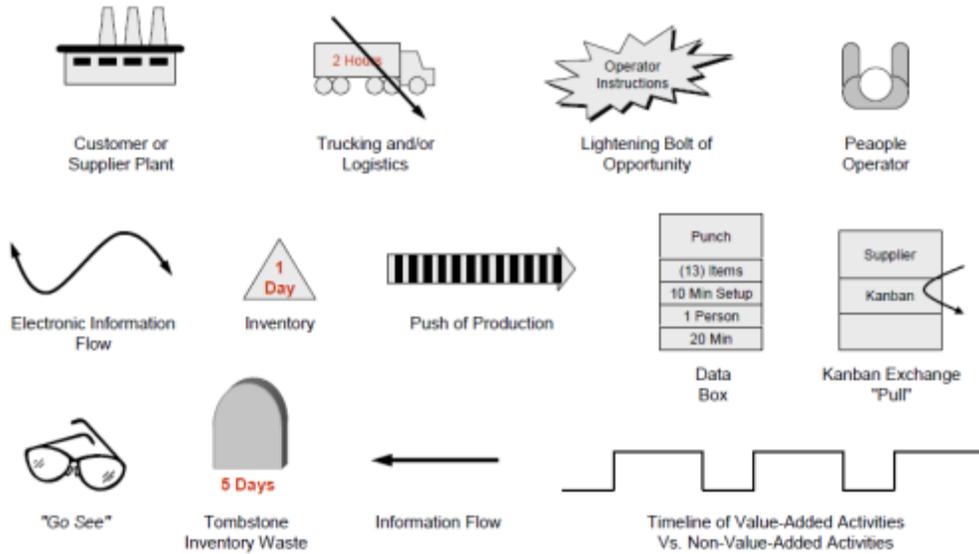
Known Population		Operator #1		Operator #2		Operator #3		Y/N Agree	Y/N Agree
Sample #	Attribute	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2		
1	-	-	-	-	-	-	-		
2	-	-	-	-	-	-	-		
3	-	-	-	-	-	-	-		
4	-	-	-	-	-	-	-		
5	-	-	-	-	-	-	-		
6	-	-	-	-	-	-	-		
7	-	-	-	-	-	-	-		
8	-	-	-	-	-	-	-		
9	-	-	-	-	-	-	-		
10	-	-	-	-	-	-	-		
11	-	-	-	-	-	-	-		
12	-	-	-	-	-	-	-		
13	-	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-	-		
15	-	-	-	-	-	-	-		
16	-	-	-	-	-	-	-		
17	-	-	-	-	-	-	-		
18	-	-	-	-	-	-	-		
19	-	-	-	-	-	-	-		
20	-	-	-	-	-	-	-		
21	-	-	-	-	-	-	-		
22	-	-	-	-	-	-	-		
23	-	-	-	-	-	-	-		
24	-	-	-	-	-	-	-		
25	-	-	-	-	-	-	-		
26	-	-	-	-	-	-	-		
27	-	-	-	-	-	-	-		
28	-	-	-	-	-	-	-		
29	-	-	-	-	-	-	-		
30	-	-	-	-	-	-	-		
% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->		#jDIV/0!		#jDIV/0!		0%			
% SCORE VS. ATTRIBUTE ⁽²⁾ ->		Known		Known		Known			

SCREEN % EFFECTIVE SCORE⁽³⁾ -> #jDIV/0!
SCREEN % EFFECTIVE SCORE vs. ATTRIBUTE⁽⁴⁾ -> #jDIV/0!

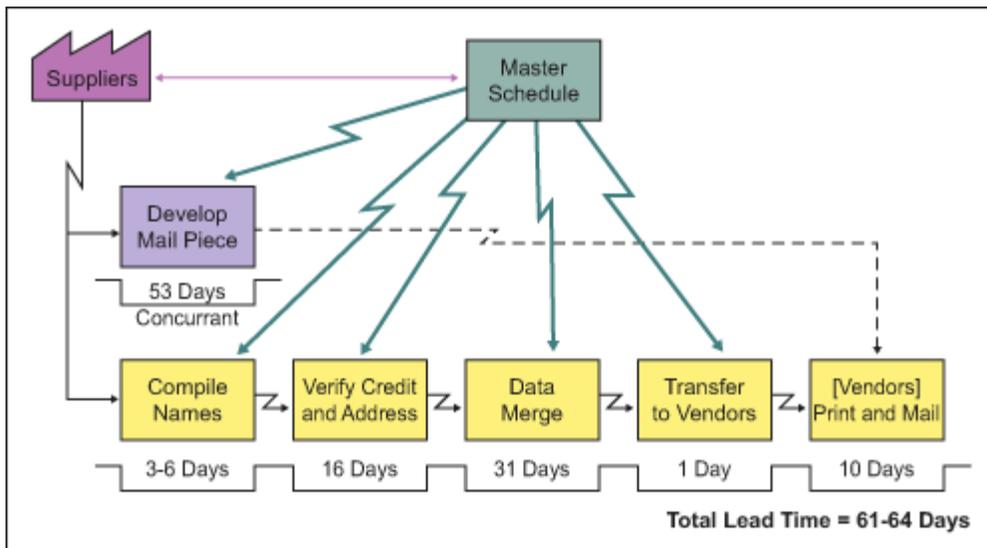
- Note:**
- (1) Operator agrees with him/herself on both trials
 - (2) Operator agrees on both trials with the known standard
 - (3) All operators agreed within and between themselves
 - (4) All operators agreed within and between themselves AND agreed with the known standard
 - (5) Enter Pass/Fail, Good/Bad, Accept/Reject or other labels which indicate status of inspection

4.4.4.3 Mapeo para conocer a profundidad como se genera valor mediante el proceso y aplicar técnicas Lean:

Símbolos en un VSM

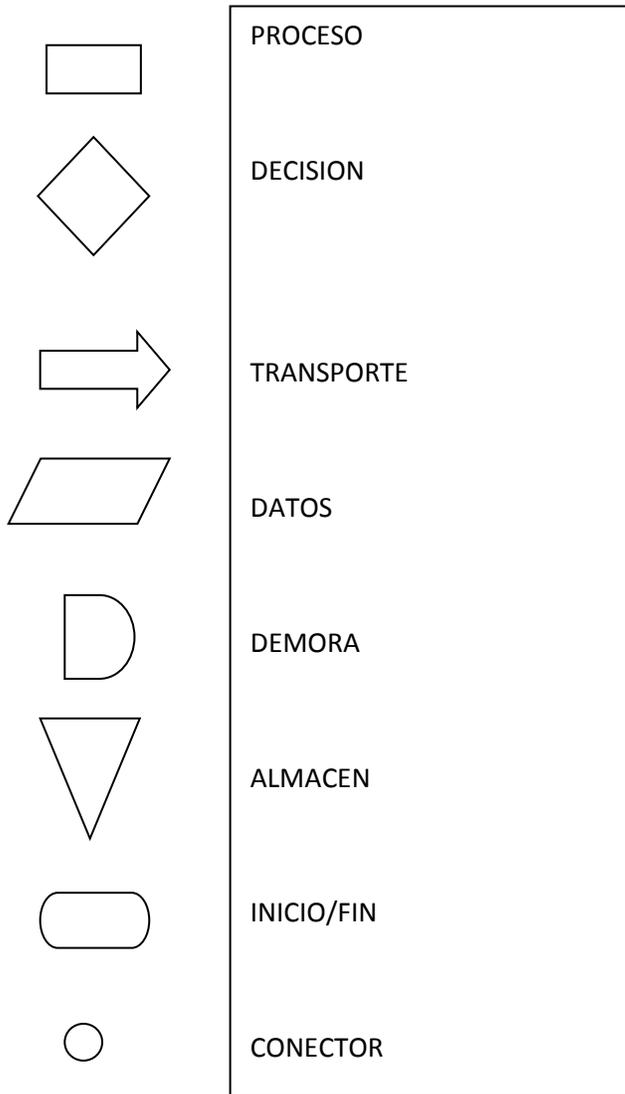


Formato Básico de un VSM



4.4.4.4 Diagrama de flujo del proceso:

Simbología del diagrama de flujo de procesos



4.4.6.3 Experimentación:

Hoja de planeación del experimento

Día:

Producto:

Líder del Equipo:

Proceso(s):

Inicio Esperado:

Final Esperado:

Planteamiento del Problema:

Objetivo:

Respuesta1:

Tipo:

Unidad de Medida:

Especificación:

Respuesta2:

Tipo:

Unidad de Medida:

Especificación:

Variables de Entrada Niveles Especificaciones

1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			

Variables de Ruido

¿Es Medible?

1.		
2.		
3.		

4.		
----	--	--

Pequeño bosquejo del Diseño Experimental a utilizar:

¿Cuál es el objetivo medible?

¿Cuánto va a costar?

¿Cómo determinamos el tamaño de muestra?

¿Cuál es el plan para la aleatorización?

¿Hablamos con los clientes internos acerca de esto?

¿Cuánto tiempo nos va a tomar?

¿Cómo vamos analizar los datos?

¿Planeamos una corrida piloto?

¿Dónde está la propuesta?

4.4.7.3 Sesión del proyecto:

Project Transition Action Plan

Project Title:

Transition Owner:

Plan Date:

	Actions Required for Completion	Action Owner	Initials	Scheduled Completion	Actual Completion
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					

Signatures:	
	Transition Owner
	Process Owner
	Champion
	Team leader



universidad
de león

Edgar Alejandro Barbosa S.
Universidad de León, España.
e-mail: edgar.barbosa@itesm.mx