

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO**  
**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



TESIS

“Lean Six Sigma en la Pequeña y Mediana Industria del Sector Textil en Ensenada, Baja California”

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

presenta:

Andrea Patricia Ayala Robles

Director de tesis

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza

Ensenada, Baja California

Diciembre de 2023

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO**  
**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**

“Lean Six Sigma en la Pequeña y Mediana Industria del Sector Textil en Ensenada, Baja California”

TESIS

Que para obtener el grado de MAESTRÍA EN INGENIERÍA presenta:

Andrea Patricia Ayala Robles

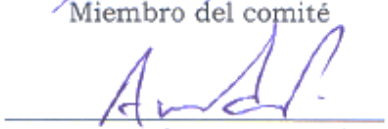
Aprobada por:




Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza  
Director de tesis



Dra. Yolanda Angélica Báez López  
Miembro del comité



Dr. Armando Pérez Sánchez  
Miembro del comité



Dr. Jorge Limón Romero  
Co-director



Dr. Alfredo González Carrasco  
Miembro del comité

Ensenada Baja California, México. Diciembre, 2023.


## RESUMEN

### “Lean Six Sigma en la Pequeña y Mediana Industria del Sector Textil en Ensenada, Baja California”

El siguiente proyecto tiene como objetivo estudiar la implementación de Lean Six Sigma (LSS) en la Pequeña y Mediana Empresa (PyME) del Sector Textil de Ensenada, Baja California. A través del análisis bibliográfico se determinarán cuáles son los factores críticos de éxito (FCE) más comunes presentes en la implementación de LSS en la industria textil. A su vez, se revisaron diferentes casos de estudio para determinar las técnicas y herramientas de LSS que funcionan mejor para empresas del sector textil. Esta información sirvió como base para el desarrollo de una plataforma que incluye herramientas y técnicas de LSS enfocadas a las PyMEs manufactureras del sector textil de Ensenada, Baja California.

Palabras Clave: *Industria Textil, PyMEs, Baja California, Lean Six Sigma, Factores Críticos de Éxito, Herramientas y Técnicas.*

aprobado por:



---

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza  
Director de Tesis

ABSTRACT

“Lean Six Sigma en la Pequeña y Mediana Industria del Sector Textil en  
Ensenada, Baja California”

The following project aims to study the implementation of Lean Six Sigma (LSS) in Small and Medium Enterprises (SME) in the Textile Sector of Ensenada, Baja California. The study conducted a bibliographic analysis to determine the most common critical success factors (CSF) in implementing LSS in the textile industry. In turn, different case studies were reviewed to determine the LSS techniques and tools that work best for companies in the textile sector. This information served as the basis for developing a platform that includes LSS tools and techniques focused on manufacturing SMEs in the textile sector of Ensenada, Baja California.

Key words: *Textile Industry, SMEs, Baja California, Lean Six Sigma, Critical Success Factors, Tools and Techniques.*

Approved by:



---

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza  
Director de Tesis

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia quien siempre me ha hecho saber lo capaz que soy para lograr mis objetivos, en especial a mis hermanos quienes me inspiran a llegar lejos, me llenan de orgullo y admiración.

Para ustedes, Armando y Monika.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Director de Tesis el Dr. Diego Tlapa por siempre alentarme a continuar mis estudios y prepararme profesionalmente.

Agradezco a mi comité por siempre darme consejos y contribuir en este trabajo.

Agradezco a mi pareja por apoyarme durante mis estudios de posgrado y motivarme.

Agradezco a mis padres por darme las herramientas necesarias para lograr mis objetivos.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	10
1.1	Antecedentes.....	11
1.2	Contexto de la Investigación .....	12
1.3	Planteamiento del Problema.....	13
1.4	Preguntas de Investigación.....	13
1.5	Hipótesis.....	13
1.6	Objetivos.....	14
1.7	Justificación.....	14
1.8	Delimitación y Limitación.....	14
2	METODOLOGÍA .....	15
3	MARCO TEÓRICO .....	16
3.1	Six Sigma .....	16
3.1.1	Inicio de Six Sigma .....	16
3.2	Lean Manufacturing .....	21
3.2.1	Inicio de Lean Manufacturing .....	21
3.2.2.1	Identificar al cliente y especificar el valor .....	24
3.2.2.2	Identificar y mapear el flujo de valor .....	24
3.2.2.3	Crear flujo continuo mediante la eliminación de desperdicios .....	25
3.2.2.4	Sistema Pull.....	25
3.2.2.5	Perseguir la Perfección .....	25
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
4.1	Factores Importantes de Lean Six Sigma .....	26
4.2	Herramientas y Técnicas de Lean Six Sigma.....	34

4.2.1	Herramientas de Definir .....	38
4.2.2	Herramientas de Medir .....	40
4.2.3	Herramientas de Analizar.....	50
4.2.4	Herramientas de Mejorar .....	56
4.2.5	Herramientas de Controlar.....	61
4.3	Plataforma para la Utilización de Herramientas y Técnicas de Lean Six Sigma Enfocadas a la Industria Textil PyME.....	67
4.3.1	Definir .....	67
4.3.2	Medir.....	68
4.3.3	Analizar .....	69
4.3.4	Mejorar.....	69
4.3.5	Controlar .....	70
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1	Conclusiones .....	72
6	REFERENCIAS.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1:	Representación de precisión y exactitud en un sistema de medición.....	44
Ilustración 2:	Regresión lineal simple .....	55
Ilustración 3:	Ubicación de los límites de Pre-Control. Montgomery, D. C. (2007).....	63
Ilustración 4:	Menú principal de Plataforma LSS.....	66
Ilustración 5:	Ejemplo de Plantilla Project Charter .....	67
Ilustración 6:	Ejemplo de plantilla Estudio Gage R&R.....	68
Ilustración 7:	Ejemplo de plantilla OEE .....	69
Ilustración 8:	Ejemplo de plantilla AMEF.....	70
Ilustración 9:	Ejemplo de plantilla Control Plan.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estratificación de empresas (Secretaría de Economía).....	12
Tabla 2: Factores críticos de éxito de lean six sigma .....	26
Tabla 3: Herramientas y técnicas de lean six sigma .....	35
Tabla 4: Análisis de Varianza (ANOVA).....	48
Tabla 5: Tipos de error en pruebas de hipótesis .....	52

## 1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las empresas buscan diversas formas de trabajar con el objetivo de mejorar la calidad de sus productos, procesos y servicios, así como de reducir costos, todo ello para mantener su competitividad en un mercado globalizado. Una estrategia recurrente es implementar metodologías como Lean Manufacturing (LM) o Six Sigma (SS) con el fin de reducir la variación en sus procesos y productos. Empresas pioneras en su implementación, como General Electric y Motorola, experimentaron notables beneficios económicos y reconocimiento por la calidad de sus productos en las décadas de los 80 y 90. Como resultado, muchas otras compañías a nivel mundial han adoptado six sigma, algunas con gran éxito, otras con resultados moderados, y en ocasiones sin lograr los objetivos deseados, generando descontento, desconfianza y decepción entre inversores y empleados respecto a la metodología.

En la última década, el uso de six sigma ha aumentado en México, especialmente entre grandes empresas transnacionales de bienes (Primitivo, 2002). Sin embargo, la metodología comienza a ser aplicada en otros sectores e incluso en pequeñas y medianas empresas. En el contexto específico de Baja California, la información sobre su implementación es limitada, aunque empresas de mayor tamaño utilizan la metodología, aunque sin proporcionar una lista debido a la confidencialidad de los procesos internos. Según un sondeo, se estima que el 60% de estas empresas la implementa. Respecto a LM, el resultado es similar. Se cuenta con poca información sobre el grado de implementación en la industria del estado. De manera particular, la industria de manufactura textil, es una de las más sobresalientes en Baja California, concentrando la mayoría de las empresas en el municipio de Ensenada. En este sentido, no se ha identificado información sobre el grado de implementación de metodologías de mejora de proceso, lo que sugiere un reto para la competitividad de este sector.

La investigación que se documenta en este trabajo aborda la implementación de las metodologías LM y SS en la industria textil. El trabajo analiza la experiencia acumulada por organizaciones a nivel mundial al implementar proyectos de LM y SS. Este análisis se basa en una revisión de información obtenida de artículos de revistas científicas, bibliografía especializada y casos de estudio. Posteriormente, se identifican las herramientas y técnicas que se han reportado como

mayores contribuyentes a la obtención de beneficios en las organizaciones. Con esta información, se desarrolla una plataforma para el seguimiento e implementación de las herramientas y técnicas más representativas a utilizarse en la industria textil de Baja California.

### 1.1 Antecedentes

La actividad productiva en nuestro país como factor de desarrollo desempeña un papel clave en el crecimiento del mismo. Esta actividad se subdivide sectores como industria, comercio y servicios. El sector comercio incluye la compra-venta de bienes nuevos o usados, sin transformación, sean estos, bienes de consumo final privado, de utilización intermedia o bienes de capital. El sector servicios incluye actividades productoras de bienes intangibles para satisfacer necesidades de terceros, ya sea en su persona o en sus bienes, incluyendo servicios médicos, educativos, culturales, profesionales, personales, etcétera. Por su parte, el sector manufactura se entiende como industria manufacturera a las actividades orientadas a la transformación mecánica, física o química de bienes naturales o semiprosados en artículos cualitativamente diferentes. El sector manufacturero en México es el más importante en producción bruta total, al generar 44.3% del total nacional, concentrando 11.7% de las unidades económicas y 23.2% del personal ocupado (INEGI, 2017). Adicionalmente, de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México 2007 (SCIAN), el sector manufacturero se encuentra dividido en 21 subsectores, 86 ramas, 182 subramas y 292 clases de actividad (INEGI, 2013). Un subsector relevante es la industria de manufactura textil, la cual, particularmente en el municipio de Ensenada concentra a más de 100 unidades económicas, siendo esta una actividad relevante para el municipio.

Además del tipo de industria, es importante considerar el tamaño de las unidades económicas en función del número de trabajadores. En México existen criterios para la definición del tamaño de una empresa como lo indica la Secretaría de Economía (ver Tabla 1). En el caso de la industria de manufactura textil en Ensenada, la mayoría de las empresas caen en la categoría de pequeñas o medianas (PyME).

Tabla 1: Estratificación de empresas (Secretaría de Economía)

SECTOR	MICRO		PEQUEÑA		MEDIANA	
	PERSONAL	VENTAS (MDP)	PERSONAL	VENTAS (MDP)	PERSONAL	VENTAS (MDP)
<b>Industria</b>	De 0 a 10	Hasta \$4	De 11 a 50	De \$4.01 hasta \$100	De 51 a 250	De \$100.1 a \$250
<b>Comercio</b>	De 0 a 10	Hasta \$4	De 11 a 30	De \$4.01 hasta \$100	De 31 a 100	De \$100.1 a \$250
<b>Servicios</b>	De 0 a 10	Hasta \$4	De 11 a 50	De \$4.01 hasta \$100	De 51 a 100	De \$100.1 a \$250

En la actualidad, la permanencia en el mercado de cualquier negocio, ya sea de manufactura o prestación de servicios, depende en gran medida de su nivel de calidad y eficiencia, ya que estos aspectos están directamente vinculados con la productividad. Este factor es especialmente crítico en la industria textil, donde el nivel de competencia es muy alto y la variabilidad de productos está en función de demandas de clientes cambiantes a lo largo del tiempo, como la moda, disponibilidad de materiales, traslados entre otros.

## 1.2 Contexto de la Investigación

El presente proyecto aborda a la industria manufacturera textil de Baja California con respecto al reto de mejorar la calidad y eficiencia de sus productos y procesos. Dado que se ha identificado en la literatura metodologías que contribuyen a este sector y otros sectores similares, la propuesta se enfoca en analizar cuáles metodologías tienen el potencial de ser utilizadas en el contexto local.

### 1.3 Planteamiento del Problema

La industria textil presenta retos para mejorar permanentemente la calidad de los productos, sin embargo, al ser industrias PyME, carecen de recursos para el seguimiento e implementación de análisis de eficiencia, flujo de valor y nivel de variación de sus procesos, lo que representa un área de oportunidad para el desarrollo de una plataforma con herramientas de manufactura esbelta y six sigma enfocada a este segmento de empresas.

### 1.4 Preguntas de Investigación

El proyecto busca responder las siguientes preguntas:

- 1 ¿Cuáles son los factores de lean six sigma que son mayormente reportados en el sector textil mundial?
- 2 ¿Cuáles son las herramientas y técnicas de lean six sigma que son empleadas en el sector textil mundial?

### 1.5 Hipótesis

1. El involucramiento y compromiso de la alta dirección, la educación y entrenamiento, cambio cultural y liderazgo son factores importantes al implementar lean six sigma en el sector textil.
2. El mapeo de cadena de valor, kanban, 5'S, Overall Equipment Effectiveness, Estandarización, FIFO, Supermercado y Heijunka son las herramientas y técnicas mayormente empleadas en el sector textil.

## 1.6 Objetivos

### **Objetivo general.**

Crear una plataforma interactiva de seguimiento e implementación de lean six sigma enfocada a las pequeñas y medianas empresas textiles de la región para una ejecución sencilla e informada.

### **Objetivos específicos.**

1. Caracterizar la industria textil PyME de Baja California.
2. Desarrollar una plataforma interactiva con el uso de plantillas dinámicas para PyME del sector textil
3. Desarrollar un protocolo de implementación de lean six sigma para PyMEs del sector textil.

## 1.7 Justificación

Actualmente no se ha encontrado algún estudio sobre la implementación de lean manufacturing y six sigma en la industria textil PyME de México, esto en base a la experiencia manifestada en publicaciones científicas consultadas, por lo que se justifica abordar esa área de oportunidad y se confirma como investigación inédita. Por lo anterior expuesto, se observa una justificación práctica ya que no hay ningún estudio de este tipo en la actualidad y una justificación técnica ya que aporta información metodológica a considerar al implementar proyectos lean manufacturing y six sigma. Adicionalmente, La presente disertación unifica criterios sobre las herramientas y técnicas que más contribuyen a las empresas en la actualidad. Asimismo, aporta una plataforma para el seguimiento e implementación de diferentes herramientas y técnicas para la mejora de procesos de PyMEs textiles, con lo que se amplía el conocimiento desde el punto de vista de la ingeniería industrial.

## 1.8 Delimitación y Limitación

El proyecto se limita al uso de las herramientas y técnicas de lean manufacturing y six sigma en el contexto de la industria textil, particularmente de las pequeñas y medianas empresas.

## 2 METODOLOGÍA

Para el logro de los objetivos, en la presente disertación se diseñó y desarrolló una metodología de trabajo con las siguientes etapas y actividades, mismas que son ampliadas en el presente capítulo.

Etapa 1. Recopilar y seleccionar la literatura referente lean manufacturing y six sigma en la industria textil mundial.

- 1.1. Selección de estudios que cumplen con el alcance y que examinan los efectos de interés.  
En base a la literatura encontrada, definir criterios para elegir o no los estudios.

Etapa 2. Determinar los factores importantes que incrementan la efectividad de lean six sigma en la industria de manufactura textil.

- 2.1 Revisión de literatura en principales bases de datos.
- 2.2 Crear una lista de factores importantes de lean six sigma.

Etapa 3. Determinar las herramientas y técnicas importantes que incrementan la efectividad de lean six sigma en la industria de manufactura textil.

- 3.1 Revisión de literatura en principales bases de datos.
- 3.2 Crear una lista de herramientas y técnicas importantes de lean six sigma.

Etapa 4. Desarrollar una plataforma para la utilización de herramientas y técnicas de lean six sigma enfocadas a industria textil PyME.

- 3.1 Desarrollar hojas de cálculo para las herramientas y técnicas de lean six sigma agrupadas en las fases DMAIC.
- 3.2 Probar la plataforma lean six sigma con información de un caso de estudio.

### 3 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Six Sigma

##### 3.1.1 Inicio de Six Sigma

Six sigma (SS) se define como un proceso que permite a las compañías mejorar drásticamente las utilidades mediante el diseño y monitoreo diario de las actividades de la empresa, en formas que minimizan el desperdicio y recursos mientras incrementa la satisfacción del cliente (Harry y Schroeder, 1999). Similarmente, SS es la manera inteligente de administrar un negocio o departamento, ya que pone al cliente en primera línea al usar hechos y datos para obtener mejores soluciones (Pande et al. 2002). Continuando, Pyzdek (2003) define a SS como una rigurosa, enfocada y altamente efectiva implementación de principios y técnicas probadas de calidad, que busca en las empresas un rendimiento prácticamente sin errores. Por su parte Brussee (2004) indica que SS utiliza un enfoque específico de solución de problemas y herramientas para mejorar procesos y productos. Dirgo (2005), la define a su vez como un enfoque para la mejora del negocio que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en proceso, al enfocarse en las salidas de importancia crítica para clientes. Linderman et al. (2003) afirma que Six Sigma es un enfoque organizado y sistemático para mejorar estratégicamente los procesos y desarrollar nuevos productos, utilizando métodos estadísticos y científicos para lograr reducciones significativas en las tasas de defectos según las expectativas de los clientes. Es importante señalar que, según estos autores, la meta de alcanzar 3.4 defectos por millón de oportunidades no se menciona explícitamente en esta definición, sino que se presenta como un objetivo. En contraste, algunos argumentan que el propósito principal de Six Sigma no es alcanzar niveles de calidad  $6\sigma$ , sino mejorar las ganancias, siendo la mejora de la calidad y eficiencia resultados secundarios (Pande, Neuman y Cavanagh, 2000). Brady y Allen (2006) proponen el término "submétodos" para referirse a las técnicas específicas asociadas con Six Sigma, con el fin de aclarar su alcance y resaltar que Six Sigma va más allá de la definición de un simple método. Aunque autores anteriores como Breyfogle (2003), Harry (1999) y Pande, Neuman y Cavanagh (2000) han recomendado técnicas específicas para cada fase de la implementación de Six Sigma, Brady y Allen (2006) señalan que no hay un

consenso suficiente para vincular técnicas específicas a cada fase, ya que esto podría considerarse como una restricción no deseada por algunos usuarios. En este sentido, no existe un conjunto definido y universalmente aceptado de herramientas de Six Sigma aplicables a empresas en general ni a subsectores específicos, como la industria textil PYME.

### 3.1.2 Six Sigma y su Éxito Inicial

En la década de los 80, el director de Motorola, Bob Galvin, en colaboración con Mikel Harry, emprendió la tarea de reposicionar la empresa hacia la excelencia en calidad mediante la adopción de la metodología conocida como Six Sigma (Pyzdek, 2003). A través de la implementación de esta metodología, la empresa no solo se convirtió en un referente en calidad, sino que también alcanzó destacados logros financieros, siendo reconocida con el premio Malcom Baldrige de Estados Unidos en 1988. La eficacia de este enfoque se hizo pública, generando un impacto significativo y motivando a otras empresas a seguir su ejemplo (Pyzdek, 2003). Empresas como Allied Signal tomaron la iniciativa de adoptar Six Sigma, mejorando su efectividad y eficiencia al enfocarse en medidas pertinentes para los clientes y optimizando la gestión de procesos empresariales a través de la formación de equipos Six Sigma (Eckes 2003). Posteriormente, General Electric, bajo la dirección de Jack Welch, implementó Six Sigma en toda la corporación en 1995, logrando un éxito económico tan notable que para 1998 había generado ahorros por un total de 750 millones de dólares. A pesar de los éxitos alcanzados por Motorola y Allied Signal, se destaca que General Electric empleó la metodología de manera aún más impresionante para mejorar tanto la eficacia como la eficiencia (Eckes 2003).

### 3.1.3 La Calidad y Six Sigma

Según Pyzdek (2003), Six Sigma no se limita exclusivamente a la calidad; su enfoque radica en cómo ayuda a las organizaciones a maximizar sus beneficios económicos mediante la mejora del valor para los clientes y la eficiencia. Esta perspectiva se alinea con la afirmación de Dirgo (2005), quien sostiene que Six Sigma no es simplemente una iniciativa para mejorar la calidad, sino más bien una iniciativa destinada a mejorar el conjunto del negocio. Pyzdek (2003) conceptualiza la calidad como el valor generado por un esfuerzo productivo, dividiéndolo en dos categorías: calidad potencial y calidad actual. La primera se refiere al valor máximo teóricamente alcanzable en cada producto,

mientras que la segunda representa el valor actual incorporado a cada producto. La disparidad entre la calidad potencial y la actual se identifica como desperdicio. Por ende, Six Sigma se enfoca en la mejora de la calidad, entendida como la reducción de desperdicio, colaborando así con las organizaciones para desarrollar productos y servicios más eficientes, económicos y de mejor calidad en el tiempo.

#### 3.1.4 Las Fases de Six Sigma

En relación con las etapas que conforman Six Sigma, Shanin (2008) señala que Motorola inicialmente adoptó solo las fases de Medir (M-Measure), Analizar (A-Analyze), Mejorar (I-Improve) y Controlar (C-Control). Snee (2010) agrega que General Electric introdujo la fase de Definir (D-Define) en la década de los 90, resultando en las cinco fases conocidas como DMAIC, como lo corroboran diversos autores (Tobias, 1991; Harry & Schroeder, 1999; Antony & Bañuelas, 2002; Breyfogle, 2003; Yam, 2006; Brady & Allen, 2006; Tang, et al., 2007; McManus, 2008). Posteriormente, en 2005, se incorporó la manufactura esbelta a Lean Six Sigma para mejorar de manera más eficaz el flujo del proceso (Snee & Hoerl, 2007). En cuanto al Diseño para Six Sigma (DFSS), Shahin (2008) indica que Motorola también comenzó con las fases de medir, analizar, diseñar y verificar, y posteriormente agregó la fase de definir. Las fases más mencionadas por varios autores son definir, medir, analizar, diseñar y verificar (DMADV) (Kwak & Anbari, 2006; Johnson & Gitlow, 2006; Wang H., 2008). Hahn (2005) propone una variante que incluye las fases de definir, medir, analizar, diseñar, optimizar y verificar.

A lo largo del tiempo, la metodología ha experimentado una amplia evolución, con la incorporación de variantes y herramientas específicas en diferentes fases. Por ejemplo, la selección de proyectos Six Sigma se ha vuelto crucial, y autores como Pande et al. (2002) sugieren el uso de criterios del premio nacional de calidad y el método Delphi Fuzzy Multicriteria Decision Making (FMCDM) cuando se enfrentan dificultades en la elección del proyecto. Fit Sigma es un concepto que implica la adopción de Six Sigma para ajustarse a las necesidades organizacionales y mantener un rendimiento eficiente. Zhao (2005) propone integrar TRIZ a Six Sigma para la innovación, combinando el pensamiento innovador con herramientas analíticas utilizadas en el diseño de productos, servicios y procesos. Es importante destacar que la metodología puede considerarse como un métrico, una meta, una metodología y un sistema de gestión, presentando connotaciones más específicas.

### 3.1.5 Six Sigma como Métrico

Six Sigma se emplea como un indicador métrico para evaluar el desempeño de un proceso y la calidad del producto, siendo sigma ( $\sigma$ ) una letra del alfabeto griego utilizada por estadísticos para cuantificar la variación (desviación estándar del proceso). Tradicionalmente, las empresas consideran aceptables tres o cuatro niveles de sigma como estándar, a pesar de que esto implica la generación de entre 6200 y 67000 defectos por millón de oportunidades (Pyzdek, 2003). El valor de sigma es de aplicación universal, ya que se utiliza para medir el nivel de calidad en diversos procesos, como menciona Harrold (1999).

### 3.1.6 Six Sigma como Meta

Como objetivo fundamental, busca reducir los defectos hasta llegar casi a cero, representando hasta 3.4 defectos por millón de oportunidades. Si una empresa posee un rendimiento por debajo de esta meta, el objetivo será acercarse lo máximo posible a ella. Desde una perspectiva estadística, alcanzar este nivel implica lograr la ausencia total de defectos. No obstante, más allá de las cifras, el mensaje real subyacente es que se adopta una filosofía y un compromiso total hacia la excelencia, centrando la atención en el cliente, mejorando los procesos y asumiendo la responsabilidad de medir en lugar de depender de intuiciones o corazonadas (Dirgo, 2005).

### 3.1.7 Six Sigma como Metodología

Six Sigma se fundamenta en la aplicación del método científico para la concepción y ejecución de sistemas de gestión y procesos, con el propósito de permitir a los trabajadores proporcionar un valor superior a clientes y asociados (Pyzdek, 2003). La metodología se respalda en la métrica sigma ( $\sigma$ ) y sigue un conjunto riguroso de pasos para analizar los procesos en la búsqueda de fuentes de variación, así como para desarrollar alternativas destinadas a eliminar o reducir errores y variaciones (McCarty, Bremer, Daniels, & Gupta, 2005). Según González (2005), este enfoque de gestión involucra hechos, técnicas, sistemas, datos y herramientas de medición, abordando los siguientes pasos:

**Definir** el problema (proyecto a realizar),

**Medir** el problema,

- o Seleccionar la característica crítica para la calidad,
- o Definir el estándar de desempeño,
- o Validar el sistema de medición,

**Analizar** el problema,

- o Establecer capacidad y habilidad del producto,
- o Definir objetivos de desempeño,
- o Identificar fuentes de variación,
- o Evaluar y jerarquizar las causas potenciales,

**Mejorar** (solución estadística),

- o Encontrar la relación entre las variables,
- o Establecer tolerancias de operación,
- o Validar sistema de medición,
- o Determinar la capacidad y habilidad del proceso,

**Controlar** (Solución práctica),

- o Implementar controles de proceso.

### 3.1.8 Six Sigma como Sistema de Administración

La distinción entre Six Sigma y programas similares radica en el nivel de compromiso de la administración de una empresa en la supervisión de resultados y logros. Un sistema de gestión Six Sigma implica una responsabilidad directa por los resultados y revisiones periódicas para garantizar su consecución (Pande & Holpp, 2002). Six Sigma, como una mejor práctica, va más allá de ser simplemente un conjunto de herramientas para mejorar procesos y resolver problemas basados en métricas. En su nivel más elevado, se ha desarrollado como un sistema de gestión práctico para la mejora continua, fundamentado en cuatro áreas clave (McCarty, Bremer, Daniels, & Gupta, 2005): entendimiento y manejo de los requerimientos del cliente; alinear los procesos clave para alcanzar los requerimientos del cliente; uso de análisis riguroso de datos para entender y minimizar la variación en los procesos clave; conducir un rápido y sostenible mejoramiento de los procesos de la empresa.

### 3.1.9 Estructura Organizacional de Six Sigma

Además de las herramientas que integra, la metodología también establece una estrategia para la configuración organizacional que facilite su implementación efectiva. En Motorola, se introdujo la figura de los llamados cinturones negros (black belt), a la que posteriormente se añadió otro nivel jerárquico, los cinturones verdes (green belt), que constituyen una extensión de los cinturones negros y aprenden de ellos mientras los asisten. Además, se incorporaron los maestros cinturones negros (master black belt), quienes desempeñan roles de tiempo completo, y los campeones (champions), que son líderes que definen los proyectos (González, 2005). En la actualidad, muchas empresas han adoptado también la figura de los cinturones amarillos (yellow belt) para todo el personal restante.

## 3.2 Lean Manufacturing

### 3.2.1 Inicio de Lean Manufacturing

En la década de 1970, se dio un aumento en las regulaciones por parte del gobierno de E.E.U.U. que aunado al alto precio del petróleo y la competencia entre las compañías de automóviles afectó severamente a los tres grandes fabricantes estadounidenses: General Motors, Chrysler y Ford [1]. En esa década, las compañías extranjeras tuvieron mejor desempeño dado la percepción de los consumidores de que los automóviles extranjeros eran más eficientes en combustible, menos costosos, y de mejor calidad[2]. Hasta ese momento eran las compañías japonesas las que lucían imbatibles [3–5]. De hecho, en 1980, Japón había tomado el cargo de la fabricación de automóviles más grande del mundo [1,2]. En la década de 1980, uno de cada cuatro autos vendidos en EE.UU. era importado [1,4,6]. En respuesta, la compañía *United Auto Workers* y los tres grandes fabricantes de automóviles de EE. UU., exigieron al gobierno americano disminuir el flujo de importaciones, consiguiendo que los fabricantes japoneses limitaran el número de automóviles que se podrían exportar a EE.UU. [1,6–8]. Esta barrera comercial, generó la creación de plantas de producción de automóviles en EE.UU. para desistir a la cuota de importación, obligando a los fabricantes japoneses a ser más innovadores en cuanto a la forma de maximizar los beneficios obtenidos a partir del número limitado de automóviles que podían exportar a EE.UU.

Al respecto, los japoneses desarrollaron automóviles de lujo que representaban mayor margen de ganancia. La historia de éxito de los fabricantes japoneses se reflejó en otras industrias como las de acero, textiles, electrónica o la construcción naval, por nombrar unas pocas. Para la década de 1990, el gobierno de EE.UU. tuvo que reconocer que las industrias manufactureras habían caído ante otras internacionales con relación a costo y calidad [1,4,8]. Considerando los retos que enfrentaban los fabricantes de EE.UU., en la década de 1980 se lanzó un proyecto de investigación durante 5 años y con un costo de 5 millones de dólares para explorar y comprender los diferentes métodos de producción en la industria automotriz en todo el mundo. El proyecto fue desarrollado por el Programa Internacional de Vehículos de Motor (IMVP, por sus siglas en inglés) alojado en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Los resultados de este proyecto son presentados y abordados en el best seller *“The Machine that Changed the World – How Japan’s Secret Weapon in the Global Auto Wars will Revolutionize Western Industries”*, como se ilustra en la Figura 7 [3]. Womack, en su libro, presenta las diferencias entre la producción en masa y la producción ágil en la industria automotriz. Los autores reconocen y hacen hincapié en la superioridad de las técnicas de fabricación y de gestión japonesas.

Los resultados mostraron que las empresas japonesas, especialmente Toyota, prosperaba porque inventaron, aplicaron y mejoraron continuamente los métodos de producción Lean [3,9]. El investigador John Krafcik del IMVP, viajó a quince países, en donde examinó y entrevistó a más de 90 plantas de ensamble automotriz en lo que se considera "La encuesta industrial más completa jamás realizada" [3]. Bautizando con la palabra "Lean" para describir estos innovadores métodos de fabricación y gestión japoneses.

La investigación de Womack y colaboradores encontró que las plantas ensambladoras de autos que aplicaban los principios lean requerían menos esfuerzo humano, la mitad del espacio de producción, menos de la mitad del inventario, y que produciendo con un menor cantidad de defectos ser capaz de producir una mayor variedad de productos [3] en comparación con las plantas de ensamble de automóviles que practicaban la producción en masa tradicional. De hecho, los fabricantes lean combinan y adaptan las ventajas de la producción en masa y la artesanía, evitando al mismo tiempo la falta de flexibilidad de la producción en masa, así como los altos costos asociados con la producción artesanal. Sin embargo, la diferencia más notable en la filosofía de fabricación que la investigación del IMVP documentó, fue que los productores en masa fijaban

metas imperfectas, mientras que los productores lean fijaban objetivos hacia la perfección con cero inventarios, cero defectos, sin fin de variedad de productos y una tasa de cero accidentes [3,10].

En Japón, Eiji Toyoda y Taiichi Ohno comenzaron a desarrollar un sistema de fabricación que se basaba en el pensamiento de Henry Ford, pero adaptado a la cultura japonesa. De este modo, nació el Sistema de Producción Toyota (TPS) por sus siglas en inglés Toyota Production System, [3,11,12]. En la década de 1950, Taiichi Ohno, empleando las primeras versiones del TPS como su guía, desarrolló sistemas adicionales como Kanban's y supermarkets para implementar el Just In Time en la entrega de piezas, a la par se iniciaba un cambio de estrategia push - empuje de la producción a pull - jalar la producción [3,11,12]. Al mismo tiempo, las contribuciones a la gestión de la calidad de Deming, Ishikawa, Juran y Crosby se añadieron a los principios básicos del TPS [5,11,13-15]. Especialmente el trabajo de Deming se centró en educar a los gerentes en cómo eliminar los desperdicios y mejorar la calidad, al mismo tiempo que mejora la competitividad de las empresas a través del control estadístico [15-17]. Las contribuciones de Ishikawa a la gestión de calidad en Japón se centraron en los sistemas de control de calidad para regular y controlar los procesos de producción [14], mientras que Juran trabajó en el diseño de la calidad y en los problemas de calidad para mejorar el rendimiento global de fabricación utilizando métodos de análisis de causa raíz [18,19].

Otros momentos transcendentales seleccionados en la evolución de la gestión Lean (que hasta este momento era sinónimo de TPS) ocurrió durante 1960, incluyendo nuevos enfoques en la atención al cliente, desarrollo de proveedores, liderazgo, entrenamiento interno, resolución de problemas, el desarrollo de productos y procesos y la calidad [3,20]. Además, la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (JUSE) crearon el premio Deming para alentar a las empresas a usar herramientas de control estadístico y la aplicación del círculo de Deming (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar, PDCA por sus siglas en inglés) para la mejora continua [21]. En 1965, Toyota ganó el premio Deming después de la incorporación de la calidad como un elemento clave en su sistema de gestión combinada con un intenso entrenamiento en la resolución de problemas utilizando el círculo PDCA de Deming [21]. En 1973, Cho, Sugimori y otros escribieron el primer manual de producción de Toyota para uso interno [22]. A esto siguió la difusión del TPS a través de publicaciones e investigaciones académicas (MIT) en los años 1977 a 1979 [3,12]. Un completo análisis de TPS fue publicado en 1982 y titulado Sistema de Producción Toyota por [12]. En 1983, bajo la presión del

Gobierno de EE.UU., Toyota comenzó un proyecto conjunto con General Motors (GM) y formó la empresa New United Motor Manufacturing para compartir el conocimiento del sistema de producción Toyota con los competidores en el extranjero [23–25].

El término Lean fue acuñado en 1987 por el investigador John Krafcik del Programa Internacional de Vehículos de Motor. Después, en 1990, Womack (1991) publicó el libro la máquina que cambió el mundo, que puso en manifiesto las diferencias entre los sistemas de producción tradicionales de masas en el mundo occidental y los sistemas de producción lean en Japón. Womack y Jones, en 1996, siguieron escribiendo sus ideas en el libro pensamiento Lean (Lean Thinking), en donde refieren los componentes críticos de lean a los que llamaron los cinco principios de lean.

### 3.2.2 Principios generales de Lean

Lean manufacturing presenta dos conceptos fundamentales, eliminar el desperdicio y crear valor agregado. Estos dos conceptos se fundamentan además en cinco principios [26–30].

#### 3.2.2.1 Identificar al cliente y especificar el valor

Este principio aborda el reconocer que solo una fracción del tiempo y esfuerzo total en cualquier organización es la que realmente agrega valor para el cliente final [31]. El precisar claramente el valor de un producto o servicio desde la perspectiva del cliente, implica que las actividades que no agregan valor, pueden ser seleccionadas para su reducción o eliminación. El valor se define por el uso que un producto brinda a un cliente.

#### 3.2.2.2 Identificar y mapear el flujo de valor

Mapear los pasos de un sistema de producción (para identificar pasos que crean valor y los que no) [31]. Mapeo de la cadena de valor es la colección de procesos involucradas en producción productos o prestación de servicios [32,33]. Este principio explora el proceso de extremo a extremo hasta entregar valor al cliente. A partir de lo que quiere el cliente, el siguiente paso es identificar cómo les está entregando (o no) el valor. La cadena de valor no se limita a una empresa, sino que pueden abarcar proveedores, fabricantes, distribuidores e incluso minoristas en los esfuerzos por reconocer

y analizar la cadena de valor [34]. Finalmente, se distinguen tres categorías principales de actividades, en un proceso: a) los que agregan valor; b) aquellos que no agregan valor, pero que no se pueden evitar; c) y los que no agregan valor, pero se pueden evitar y por lo tanto deben ser eliminados [35,36].

### 3.2.2.3 Crear flujo continuo mediante la eliminación de desperdicios

El flujo continuo busca reorganizar los procesos para que los productos se muevan sin problemas a través de los pasos de la creación del valor [35,36]. Normalmente, cuando mapea por primera vez el flujo de valor, resultará que sólo el 5% de las actividades agregan valor, esto puede aumentar a 45% en un entorno de servicios. La eliminación de los desperdicios asegura que el producto o servicio fluya hacia el cliente sin interrupción, desvío o espera [37,38].

### 3.2.2.4 Sistema Pull

Este principio busca identificar y conocer la demanda del cliente para introducir el ritmo de esta demanda al proceso, de tal manera que solo se produzca lo que el cliente quiere cuando lo requiera [39,40]. El principio busca reducir el concepto de “empujar” sus productos o servicios a los clientes. En su lugar se propone “jalar” (pull) el sistema y vincular toda la cadena de producción (incluso con los proveedores) de tal manera que los materiales no se liberen y las actividades no se realicen hasta que sean necesarias [32,33]. La clave del método pull reside en el uso de kanban, los cuales son sistemas físicos o electrónicos que transmiten la necesidad de piezas o subconjuntos desde un punto del proceso al anterior [34].

### 3.2.2.5 Perseguir la Perfección

La perfección requiere de un esfuerzo constante para satisfacer las necesidades de los clientes. Como resultado se podrá mejorar el proceso y buscar cero defectos [32,33]. La creación de flujo y un sistema pull comienza con la reorganización total de los pasos de un proceso, no obstante, las ganancias se vuelven verdaderamente significativas a medida que todos los pasos fluyen de manera adecuada [37,38]. A medida que se generan los cambios, más y más capas de desperdicios se hacen visibles, por lo tanto, el proceso se encamina hacia un punto teórico de perfección, donde cada acción agrega valor para el cliente final. Este sistema de gestión requiere de la mejora continua

[35,36]. La implementación de los cinco principios de Lean, tiene como resultado final una filosofía de trabajo de mejora continua. De esta manera, se asegura generar una estrategia organizacional mediante el monitoreo constante de los procesos para consolidar de que se brinde valor constante al cliente [31]. Lo anterior, permite a las organizaciones mantener un alto nivel de servicio y al mismo tiempo crecer de manera flexible mediante la implementación de un cambio sostenible [34].

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Factores Importantes de Lean Six Sigma

Como suele ocurrir en la literatura, existen conceptos que en la práctica son idénticos, sin embargo, se representan de manera diferente. En lean six sigma esto no es la excepción. La tabla 2 resume los factores críticos de éxito identificados en la literatura

Tabla 2: Factores críticos de éxito de lean six sigma

Artículo	Factores críticos de éxito para la PyME
Lande (2016)	1 Entrenamiento (Involucramiento del empleado) 2 Involucramiento y compromiso de la Alta Dirección 3 Satisfacción del cliente 4 Liderazgo 5 Priorización y selección de proyectos 6 Cambio Cultural 7 Compresión de la metodología LSS 8 Planeación de la estrategia de Calidad 9 Gestión de procesos 10 Diseño del producto 11 Relación LSS y clientes 12 Relación LSS y estrategia de negocio

	<ul style="list-style-type: none"> <li>13 Satisfacción del empleado</li> <li>14 Reconocimiento de empleados</li> <li>15 Control de inventario</li> <li>16 Comunicación de la información</li> <li>17 Relación LSS y empleadores</li> <li>18 Relación LSS y proveedores</li> <li>19 Relación/empoderamiento de los empleados</li> <li>20 Sistema de la medición de calidad/ Datos de calidad</li> <li>21 Benchmarking</li> <li>22 Rol de departamento de calidad</li> </ul>
Elkhairi (2019),	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Liderazgo</li> <li>2 Cambio cultural</li> <li>3 Competencia y experiencia</li> <li>4 Compromiso de la alta dirección</li> <li>5 Educación y entrenamiento</li> <li>6 Comunicación</li> </ul>
León (2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Compromiso de la dirección</li> <li>2 Liderazgo</li> <li>3 Seguimiento e indicadores</li> <li>4 Entrenamiento</li> </ul>
Alhuraish (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Compromiso e involucramiento de la alta dirección</li> <li>2. Relación método y proveedores</li> <li>3. Cambio cultural</li> <li>4. Infraestructura organizacional</li> <li>5. Liderazgo</li> <li>6. Relación método y estrategia de negocio</li> <li>7. Priorización y selección de proyecto, reseñas y seguimiento.</li> <li>8. Relación método y cliente</li> <li>9. Relación método y recursos humanos</li> <li>10. Conocimiento de herramientas y técnicas del método</li> <li>11. Habilidades de gestión de proyectos</li> </ul>

	12. Educación y entrenamiento
	13. Sistema de recompensas
	14. Equipo Kaizen
	15. Comunicación
	16. Participación de consultores
	17. Habilidades y experiencia
	18. Priorización y selección de proyectos, reseñas y seguimiento
	19. Monitoreo y evaluación del desempeño

#### 4.1.1 Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección

Este factor es señalado desde Deming, Juran y Crosby, que sugerían que la administración efectiva de la calidad debe empezar en lo más alto, y es que en numerosas publicaciones se enfatiza que el éxito de Six sigma comienza desde “arriba” (Szeto & Tsang, 2005). Tobias (1991) señala *compromiso de arriba hacia abajo (Top Down Commitment)* como uno de los factores más críticos de éxito. Lee (2002) indica *compromiso de la dirección (management commitment)* como muy importante. De manera similar. Hahn (2005) lo refiere como *compromiso total de la dirección (total management commitment)*, mientras que Brady y Allen (2006), identificaron un 50% de estudios indicando al *involucramiento y compromiso de la dirección (Management involvement and commitment)* como un FCE. La mayoría de autores coinciden en que, si se involucra y compromete la dirección, esto puede motivar a empleados para que ejecuten los proyectos de la mejor manera. Si la alta gerencia no está comprometida, la importancia de la iniciativa estará vulnerable, por lo que la mayoría de la literatura coincide en que la alta dirección debe estar envuelta en la creación, manejo del proceso y participar en los proyectos.

#### 4.1.2 Entrenamiento y Educación

La formación del personal es importante para implementar adecuadamente proyectos LSS, donde se refuerza el qué y el cómo llevar a cabo un proyecto Six sigma. La educación y entrenamiento clarifican el entendimiento de los fundamentos, herramientas y técnicas de la metodología. La educación es clave para que las cosas se den, dado la “transferencia de hechos” como el “cambio de comportamiento” necesario para que los trabajadores se desempeñen diferente (Basu, 2004). Las

mejoras en la calidad requieren cambios y los cambios comienzan con la gente cuando entienden el propósito del cambio y las habilidades para implementar el cambio (Szeto & Tsang, 2005).

La formación debe abarcar prácticas y habilidades en mediciones cualitativas y cuantitativas, liderazgo y gestión de proyectos, según señalan Kwak y Anbari (2006). En este sentido, General Electric aborda de manera integral estas habilidades, cubriendo aspectos como liderazgo de equipo, herramientas analíticas y de medición, herramientas de mejora, habilidades de planificación e implementación, entre otros (Yang, 2004). En el caso de Samsung, se considera que la formación constituye el primer y crucial paso para prepararse para la implementación de la metodología (Szeto y Tsang, 2005). Además, los académicos tienen la responsabilidad de reducir la brecha entre la teoría y la práctica de Six Sigma (Antony, 2004). Voelkel (2002) sostiene que la educación en métodos estadísticos hace que los empleados sean más valiosos para las organizaciones. En la terminología de diversos autores, este enfoque se conoce como "entrenamiento de calidad" (Curkovic et al., 2000), "capacitación" (Anderson et al., 1995), "entrenamiento" (Kaynak, 2003), "educación y entrenamiento continuo" (Kwak y Anbari, 2006), y "programa de educación y entrenamiento" (Basu, 2004).

#### 4.1.3 Cambio Cultural

En lo que respecta al cambio cultural, es fundamental reconocer la existencia de una resistencia al cambio. En este contexto, Bañuelas y Antony (2002) identificaron cuatro factores que contribuyen a dicha resistencia: aspectos técnicos, políticos, individuales y organizacionales. Según Burnes (1992), los cambios pueden clasificarse en dos tipos: radicales e incrementales. Los cambios radicales implican una transformación completa de la empresa o cambios revolucionarios, mientras que los proyectos con cambios incrementales abordan problemas específicos o buscan mejorar el rendimiento de una parte de la organización en una escala relativamente pequeña. No obstante, Burnes sugiere que una secuencia coordinada de cambios incrementales puede dar lugar a cambios radicales con el tiempo.

Plecko et al. (2009) señalan que, en general, cuando se produce un cambio significativo, los miembros de la organización suelen experimentar temor hacia lo desconocido y pueden no comprender la necesidad del cambio. De hecho, facilitar el cambio cultural resulta beneficioso para

la implementación exitosa de proyectos de Six Sigma (Deshmukh y Lakhe, 2009). Algunos principios valiosos para llevar a cabo este cambio cultural han sido propuestos por Snee (2010).

Tener sentido de urgencia;

Revisar el progreso regularmente;

Entender el comportamiento humano;

Hacerlo fácil de ver, entender y hacer;

Tener un enfoque que impacte, como las ganancias o rendimiento de proceso.

#### 4.1.4 Liderazgo

Desde la perspectiva psicosocial, se requieren habilidades fundamentales para proporcionar la energía necesaria en las etapas iniciales, especialmente al formar grupos de trabajo que demandan condiciones específicas de liderazgo (Mendoza, 2005). En la mayoría de los casos, un black belt asume el rol de líder del equipo. Aunque posea habilidades para aplicar herramientas estadísticas y resolver problemas concretos, resulta prioritario contar con destrezas adicionales en eficiencia organizativa, tales como liderazgo de equipo y de proyectos, así como habilidades para gestionar reuniones (Hoerl, 2001).

El enfoque de liderazgo participativo y de apoyo proporciona a la organización el respaldo necesario de la alta dirección para mejorar la calidad. Esto implica la participación del personal, el desarrollo de mecanismos interfuncionales, habilidades de liderazgo y una cultura de equipo esenciales para la implementación exitosa del programa de calidad. Esto crea un entorno de comunicación abierta sobre el progreso de la implementación que facilita el aprendizaje y profundiza el cambio. Además, implica invertir en la formación para ayudar a los empleados a aumentar sus conocimientos, habilidades y capacidades (Zu, Robbins y Lawrence, 2009). Un supuesto crucial es que los empleados deben estar debidamente motivados para mejorar su trabajo, ya que la mayoría de las personas se sienten intrínsecamente motivadas cuando trabajan en un entorno sin temor ni coerción (Detert, Schroeder y Muriel, 2000). Tomar un rol de liderazgo dentro

de Six Sigma se considera un paso positivo en el desarrollo profesional de un estadista (Hoerl, Rodebaugh y Snee, 2004).

#### 4.1.5 Seguimiento y Control de Proyectos

Adicionalmente, Algunos autores destacan la importancia de tener un control efectivo de proyectos, considerándolo como un factor fundamental para lograr un desarrollo exitoso y obtener resultados mejorados. Goldstein (2001) aboga por establecer un sistema que supervise todos los proyectos, desde su presentación hasta su ejecución, seguimiento en curso y finalización, con el objetivo de alcanzar los objetivos deseados. Basu (2004) subraya la importancia crítica de una administración rigurosa del proyecto, coincidiendo con otros autores como Antony et al. (2007), Sarkar (2007), e Iwaarden et al. (2008).

Goldstein (2001) también señala que el propósito del seguimiento de proyectos es regular el calendario de revisiones. Una de las barreras identificadas para la implementación exitosa de Six Sigma es la falta de revisiones directivas adecuadas a los proyectos (Antony, Kumar y Labib, 2008). En la misma línea, la frecuencia y los responsables del seguimiento de proyectos Six Sigma son aspectos relacionados con los grupos de mejora, según el modelo europeo de gestión de calidad de la EFQM (Gadea, 2005). Además, la capacidad para gestionar proyectos Six Sigma puede ser valiosa para seleccionar proyectos futuros (Deshmukh y Lakhe, 2009).

#### 4.1.6 Comunicación del Equipo

Elaborar un plan integral para comunicar el programa de implementación a toda la organización es fundamental Goldstein (2001). Inicialmente, se propone comunicar aspectos clave y conforme avanza el programa, se sugiere comunicar detalles como los planes de formación, los proyectos seleccionados, en curso y finalizados, los beneficios obtenidos hasta la fecha, así como los nuevos impactos en los clientes y los incrementos en las ventas. Un plan de comunicación se considera esencial para fomentar la participación del personal en la iniciativa de Six Sigma, mostrándoles cómo funciona, cómo se relaciona con su labor y cuáles son los beneficios (Bañuelas y Antony, 2002). Otros autores, como Kumar y Antony (2008), Iwaarden et al. (2008), Kumar y Antony (2009), y Mahanti y Antony (2009), coinciden en que la comunicación es un elemento crítico de éxito para la implementación de la metodología Six Sigma.

#### 4.1.7 Selección y Priorización de Proyecto

La elección de proyectos representa uno de los temas más debatidos entre los autores durante la fase de desarrollo de proyectos LSS. El proceso inicial implica definir las características que constituyen un buen proyecto y establecer un método para identificar o capturar a los proyectos candidatos. Durante la etapa de selección, es crucial prestar atención a los siguientes aspectos (Goldstein, 2001):

- Considerar cuidadosamente las características críticas de calidad (CTQ's).
- Asegurar que la variable de respuesta sea de fácil medición.
- Evaluar la existencia de beneficios económicos para la empresa.
- Facilitar la toma de datos.
- Garantizar una alta probabilidad de éxito en el proyecto.
- Establecer un marco temporal de cuatro a Six meses para la conclusión del proyecto.

La elección de proyectos se realiza de manera que estén estrechamente relacionados con los objetivos de negocio, contribuyendo así a mejorar las ventajas competitivas, la rentabilidad del negocio, el tiempo de ciclo del proceso y el rendimiento de procesamiento. Antony et al. (2006) subrayan que la selección, gestión y ejecución adecuada del proyecto son componentes integrales de cualquier iniciativa de mejora empresarial. La selección adecuada del proyecto se convierte en un elemento vital para la aceptación entre los altos directivos y demás empleados de la organización. El proceso de selección de proyectos debe tener en cuenta cuatro voces importantes: cliente, empresa, proceso y partes interesadas. Al respecto, los proyectos deben cumplir características como:

- Una clara conexión con los objetivos estratégicos del negocio.
- El reconocimiento del problema como fundamental para el negocio en términos de costos, calidad y satisfacción del cliente.

- La finalización del proyecto en menos de Six meses.
- Objetivos realistas, medibles y alcanzables.
- La existencia de medidas cuantitativas de éxito que puedan evaluarse antes y después de la conclusión del proyecto.
- El respaldo y la aprobación de la alta dirección.

La selección y priorización de proyectos resultan críticas y requieren seguir una metodología estructurada (Ricondo & Viles, 2005). De hecho, la elección del proyecto adecuado es una responsabilidad clave del liderazgo de la organización (Ward et al., 2008). Esto es más evidente cuando los recursos son limitados, por lo que se deben establecer prioridades para la aplicación de proyecto, especialmente en la mejora de procesos.

#### 4.1.8 Entender las metodologías, Herramientas y Técnicas

Un aspecto importante es que los empleados adquieran conocimientos en tres categorías principales de herramientas y técnicas, las cuales se clasifican en herramientas de equipo, de procesos y de liderazgo (Bañuelas & Antony, 2002). Según (Dale & McQuater, 1998), una técnica tiene una aplicación más extensa que una herramienta, ya que implica un proceso de pensamiento más intelectual que requiere habilidad, conocimiento, comprensión y formación. En muchos proyectos, las herramientas básicas estadísticas o de calidad suelen ser suficientes; no obstante, para lograr mejoras significativas en el proceso, se hacen necesarias ciertas herramientas y técnicas avanzadas de estadísticas (Antony & Bañuelas, 2002). Diversos autores coinciden en la importancia de comprender las metodologías como un factor crítico para su aplicación exitosa (Antony y Banuelas, 2002; Bañuelas et al., 2005; Goh et al., 2006; Antony et al., 2007; Antony, 2008; Chakraabarty y Tan, 2008; Yang et al., 2008; Antony y Desai, 2009; Tkáč y Lyócsa, 2009).

#### 4.1.9 Infraestructura Organizacional

La implementación de LSS en cualquier organización requiere que algunas características organizativas ya estén en su lugar (Bañuelas y Antony, 2002). Es especialmente beneficioso contar

con ciertos niveles de habilidades en comunicación, enfoque estratégico, trabajo en equipo y disponibilidad de recursos e inversiones suficientes para comprometerse con la metodología. Six Sigma no puede tratarse como una actividad informal adicional; se necesita una infraestructura de soporte formal. La participación de la dirección implica establecer y respaldar esta infraestructura, lo que incluye la creación de una organización formal, la definición de objetivos y responsabilidades, la elaboración de presupuestos y la especificación de un sólido proceso de medición de resultados (Hahn, 2005) y (Szeto & Tsang, 2005). Además, la terminología y la infraestructura de Six Sigma deben adaptarse de manera que sean más relevantes para la cultura en la que se está implementando el programa (Schön, 2006).

#### 4.1.10 Involucramiento del Equipo

Es crucial asegurar que todos en la organización, especialmente el personal de primera línea, comprendan y estén de acuerdo, ya que este aspecto determina el éxito o el fracaso, según Shingo (1989). Brady y Allen (2006) destacan que la participación del equipo se clasifica como el factor más mencionado en su investigación, resaltando así su importancia. El compromiso del equipo, el trabajo colaborativo y el consenso son elementos característicos de la cultura grupal, según Deninson y Spreitzer (1991). En una línea similar, Zu et al. (2009) señalan que el trabajo en equipo, el empoderamiento del personal y la comunicación abierta, fomentados por la cultura de equipo, facilitan la aplicación de herramientas y técnicas de LSS para la resolución de problemas.

La colaboración se define como el grado en que los individuos se comunican, cooperan y se ayudan mutuamente de manera activa en su trabajo mediante el intercambio de conocimientos y experiencias (Lee & Choi, 2003). En su investigación, Dale (2006) cuestiona la disposición de los miembros del equipo a colaborar en equipos interdepartamentales. Una de las principales preocupaciones de las empresas con respecto a la cultura grupal es el desarrollo del potencial humano, el trabajo en equipo y el compromiso de los miembros como medios para mejorar las decisiones y los resultados en general (Deninson & Spreitzer, 1991).

#### 4.2 Herramientas y Técnicas de Lean Six Sigma

Al hacer una revisión de literatura, encontramos que las herramientas y técnicas de LSS más mencionadas en artículos científicos se agrupan como se muestra en la tabla 3.

Al hacer una revisión de literatura, encontramos que las herramientas y técnicas de LSS más mencionadas en artículos científicos recientes son las siguientes:

Tabla 3: Herramientas y técnicas de lean six sigma

Artículo	Herramientas de LSS utilizadas
A. Mittal (2023)	Diagrama de flujo del proceso
	Análisis de Pareto
	Diagrama Causa y Efecto
	Brainstorming
	Análisis Costo-Beneficio
I. Daniyan (2022)	Mapeo de la Cadena de Valor
	Eficiencia de Proceso de Ciclo
	Diagrama de Pareto
	Kaizen
	SMED
	5s
	Diagrama de Espina de Pescado
Gráficos de Control	
M. Kharub (2021)	SIPOC
	Mapeo de la Cadena de Valor
	Análisis Causa Raíz
	5S
	Gráficos de Control
M. Uluksan (2019)	MSA
	Proceso Sigma
	Diagrama de flujo del procesos
	Histogramas de Pareto
	Brainstorming
	Pareto
	Voz del Cliente
	Plan de recolección de datos
Definición operacional	

Artículo	Herramientas de LSS utilizadas
	Run chart
	Gráficos de Control
	Test de Normalidad
	Graficos de Caja
	ANOVA
	AMFE
	Ciclo PDCA
	A prueba de error
	Gráficos de Control
M. Mohan Prasad (2020)	Mapeo de Proceso
	Mapeo de la Cadena de Valor
	Análisis de Pareto
	Diagrama Causa y Efecto
	Gráficos de Control
	Análisis de los 5 por qué's
	5 S
	Poka yoke
	Kaizen
	Kanban
	SMED
S. Annamalai (2020)	Prueba de Hipótesis
	Análisis de Regresión Múltiple
	Correlación de Coeficientes
	Estadística descriptiva
M. Ewnetu (2023)	5S
	Mapeo de la Cadena de Valor
	Layout de las células
	Kaizen
	Poka yoke
	JIT
	TPM
	SMED

Artículo	Herramientas de LSS utilizadas
	Manufactura tipo celular
	Jidoka
	Muda
	Ciclo PDCA
	Trabajo estandarizado
	Análisis de cuello de botella
	Kanban
	Heijunka
	Gestión visual
	Flujo de producción
	Empleados multifuncionales
	Análisis causa raíz
	Flujo de una sola pieza
	Formación de equipo
	Gemba
	Visual display & Control
	Gestión de los proveedores
	A. Palange (2020)
Kaizen	
5 S	
Diagrama causa y efecto	
AMEF	
Poka yoke	
SMED	
Kanban	
JIT	
DMAIC	
Estudio de movimientos y tiempos	
Mapeo de la cadena de valor	

## 4.2.1 Herramientas de Definir

### 4.2.1.1 Matriz Priorización de Proyectos

Dentro de la etapa definir, la selección del proyecto a abordar es una etapa crítica. La gestión efectiva de proyectos es fundamental para el éxito y la competitividad de cualquier organización. En este contexto, la matriz de priorización de proyectos es una herramienta estratégica que facilita la toma de decisiones informadas sobre qué proyectos deberían recibir atención y recursos prioritarios. Esta matriz proporciona un enfoque sistemático para evaluar y clasificar proyectos en función de criterios clave, permitiendo a las organizaciones asignar sus recursos de manera eficiente y alinearse con sus objetivos estratégicos.

**Identificación de Criterios Clave.** La matriz comienza identificando criterios fundamentales para la organización. Estos criterios pueden variar según la naturaleza de la empresa, pero comúnmente incluyen factores como el retorno de la inversión (ROI), alineación con la misión y visión de la organización, viabilidad técnica, impacto en el cliente y plazos de entrega.

**Asignación de Puntajes.** Una vez que se han definido los criterios, se asignan puntajes a cada proyecto en función de su desempeño en cada uno de ellos. Estos puntajes pueden ser numéricos o cualitativos, dependiendo de la naturaleza de los criterios y la preferencia de la organización. Este proceso proporciona una evaluación objetiva de cada proyecto.

**Creación de la Matriz.** La Matriz de Priorización se construye colocando los proyectos en una matriz bidimensional, con los criterios en los ejes. Los proyectos que han sido evaluados se ubican en las celdas correspondientes. Este enfoque visual permite a los tomadores de decisiones comparar fácilmente el rendimiento relativo de cada proyecto en función de los criterios clave.

**Clasificación y Priorización.** La matriz resultante proporciona una visión clara de la clasificación de los proyectos. Aquellos que obtienen puntajes más altos en criterios críticos emergen como las principales prioridades. Esta clasificación facilita la toma de decisiones alineada con los objetivos estratégicos, asignando recursos limitados a los proyectos que ofrecen el mayor valor y contribución a la misión de la organización.

Comunicación y Transparencia. La Matriz no solo es una herramienta para la toma de decisiones, sino también para la comunicación efectiva. Permite a los equipos y partes interesadas comprender los criterios utilizados y por qué ciertos proyectos se priorizan sobre otros, fomentando la transparencia y el compromiso en toda la organización. En resumen, la Matriz de Priorización de Proyectos se erige como una herramienta esencial en la gestión estratégica, permitiendo a las organizaciones tomar decisiones fundamentadas sobre la asignación de recursos y la ejecución de proyectos. Su enfoque estructurado y visual proporciona claridad y agilidad, elementos cruciales en un entorno empresarial dinámico y en constante cambio.

#### 4.2.1.2 Project Charter

El Project Charter, o Carta de Proyecto, representa el pilar fundamental en la gestión efectiva de proyectos. Este documento, también conocido como Acta de Constitución del Proyecto, establece las bases esenciales y define los parámetros clave que guiarán el desarrollo y la ejecución de un proyecto. Sirve como una declaración clara de los objetivos, alcance, participantes clave y entregables esperados. El propósito fundamental del Charter es establecer la dirección del proyecto y proporcionar una comprensión compartida entre los miembros del equipo y las partes interesadas sobre lo que se busca lograr.

Elementos Clave del Project Charter:

Descripción del Proyecto: Define el propósito y los objetivos del proyecto.

Alcance del Proyecto. Establece los límites y las fronteras del proyecto.

Partes Interesadas. Identifica a todas las personas u organizaciones que tienen un interés en el proyecto, especificando sus roles y responsabilidades.

Cronograma Tentativo. Proporciona una visión general de las fechas clave.

Presupuesto Inicial. Ofrece una estimación inicial de los costos asociados.

Compromiso y Autorización. Esta aprobación confiere legitimidad y respaldo a las actividades planificadas, brindando la base para la asignación de recursos.

Guía para la Toma de Decisiones. Al establecer claramente los objetivos y los criterios de éxito, proporciona un marco de referencia que ayuda a los equipos a evaluar opciones, resolver problemas y adaptarse a los cambios sin perder el propósito.

Comunicación Eficiente. Informa a las partes interesadas sobre la visión y el propósito del proyecto, al tiempo que establece expectativas claras. Este enfoque transparente fomenta la confianza y la colaboración a lo largo del proyecto.

Herramienta de Evaluación de Desempeño. A medida que avanza el proyecto, el Charter se convierte en una herramienta clave para evaluar el desempeño. Los equipos pueden referirse a los objetivos y criterios de éxito establecidos inicialmente para medir su progreso y realizar ajustes según sea necesario.

En conclusión, el Project Charter representa el documento fundacional en la gestión de proyectos. Su elaboración y aprobación marcan el inicio oficial de la iniciativa, proporcionando una brújula clara para el equipo y las partes interesadas. Un Project Charter bien elaborado no solo establece las bases del proyecto, sino que también actúa como una herramienta dinámica que guía y evalúa el progreso a lo largo de su ejecución.

## 4.2.2 Herramientas de Medir

### 4.2.2.1 Value Stream Mapping: Mapeo de Flujo de Valor

El Value Stream Mapping (VSM) es una herramienta clave dentro de la metodología Lean, diseñada para analizar, visualizar y mejorar los flujos de valor en los procesos empresariales. Esta técnica, originada en el entorno de manufactura, ha encontrado aplicaciones efectivas en diversos sectores, incluyendo servicios y desarrollo de software. En esencia, un mapa de flujos de valor es una representación visual de los pasos que un producto o servicio sigue desde su concepción hasta la entrega al cliente. Se centra en identificar y eliminar desperdicios (muda) en los procesos, con el

objetivo de optimizar la eficiencia y mejorar la calidad. El VSM utiliza un conjunto de símbolos estandarizados para representar diferentes elementos en el flujo de valor, como procesos, inventarios, tiempos de espera y transporte. Estos símbolos facilitan la comprensión y el análisis visual.

Mapeo de Estado Actual y Estado Futuro. El proceso comienza con la creación de un mapa del estado actual, que muestra cómo funciona el proceso en la realidad actual. Luego, se desarrolla un mapa del estado futuro, que representa cómo podría ser el proceso después de realizar mejoras.

Identificación de Desperdicios. El VSM busca identificar y cuantificar los desperdicios en el proceso, como sobreproducción, esperas, inventarios excesivos, movimientos innecesarios y defectos. Al poner énfasis en la eliminación de estos desperdicios, se busca crear flujos de trabajo más eficientes.

La implementación exitosa del VSM implica la colaboración entre diferentes áreas de la organización, incluyendo la alta dirección, los equipos de producción y aquellos involucrados directamente en los procesos mapeados. Además, es esencial mantener una mentalidad de mejora continua, ya que los flujos de valor pueden evolucionar con el tiempo. En conclusión, el Value Stream Mapping es una herramienta valiosa para las organizaciones que buscan maximizar la eficiencia y la calidad en sus procesos. Al proporcionar una visión clara y cuantificable de los flujos de trabajo, el VSM sirve como guía para la toma de decisiones informada y la implementación de mejoras continuas.

#### 4.2.2.2 Efectividad Integral de Equipos (Overall Equipment Effectiveness, OEE)

El OEE es un indicador clave utilizado en la gestión de operaciones y la mejora continua en la industria. Se trata de una métrica que evalúa la eficiencia de los equipos de producción, permitiendo a las empresas identificar oportunidades de mejora y optimizar sus procesos. Este métrico se compone de tres factores principales: disponibilidad, rendimiento y calidad. Cada uno de estos factores contribuye a evaluar de manera integral el rendimiento de un equipo o una línea de producción.

Disponibilidad. Se refiere al tiempo en el que un equipo o máquina está disponible y listo para operar. Se calcula dividiendo el tiempo de operación real entre el tiempo total disponible. Los tiempos de inactividad, ya sea por mantenimiento no planificado, cambios de turno o cualquier otro motivo, afectan la disponibilidad. Minimizar estos tiempos no productivos es esencial para aumentar la disponibilidad.

Rendimiento. El rendimiento se mide a través de la velocidad real de producción en comparación con la velocidad teórica o estándar. Incluye factores como las velocidades de operación, los ajustes de equipo y las interrupciones menores. Mejorar el rendimiento implica maximizar la eficiencia de los procesos y minimizar las pérdidas de velocidad.

Calidad. Este componente evalúa la cantidad de productos buenos producidos en comparación con el total de productos fabricados. Incluye defectos de calidad, retrabajos y productos fuera de especificación. Mantener altos estándares de calidad es crucial para garantizar la satisfacción del cliente y reducir los costos asociados con productos defectuosos.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

Una puntuación de OEE del 100% indica un rendimiento perfecto en disponibilidad, rendimiento y calidad, mientras que una puntuación más baja señala áreas específicas que necesitan atención. Implementar el OEE requiere un enfoque sistemático, que comienza con la recopilación de datos precisos sobre el tiempo de actividad, la producción y la calidad. La información recopilada se utiliza para identificar cuellos de botella, realizar mejoras y optimizar los procesos de producción. En conclusión, el Overall Equipment Effectiveness es una herramienta valiosa en la gestión de operaciones, ya que ofrece una visión completa y cuantificable del rendimiento de los equipos de producción. Su implementación permite a las empresas no solo mejorar la eficiencia operativa, sino también mantener estándares de calidad más altos, aumentar la satisfacción del cliente y optimizar los recursos disponibles.

#### 4.2.2.3 Análisis del Sistema de Medición (Measurement System Analysis)

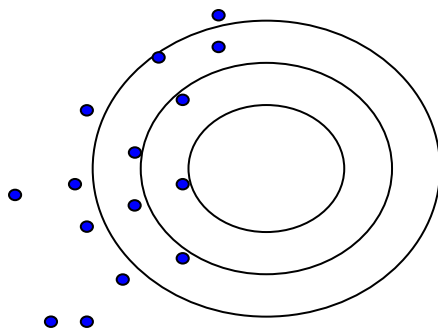
El Análisis del Sistema de Medición (MSA) es una herramienta esencial en el ámbito de la calidad y la gestión de procesos. Las mediciones son muy importantes ya que ayudan a evaluar el desempeño en las empresas, de sus equipos, de su gente y a partir de ahí se toman decisiones

importantes y a veces costosas. Cuando se mide un proceso o producto, es común encontrar variación que se puede deber a dos fuentes: *variación entre las partes* y *variación debida al sistema de medición*. En el caso de la variación de las partes, el Control Estadístico de Proceso (Statistical Process Control, SPC) se encarga de identificar las fuentes de variación y tratar de reducirlas. Respecto a la variación de la medición, el Análisis del Sistema de Medición (Measurement System Analysis, MSA) se encarga de examinar el error de estos y los factores que la afectan, a través de estudios de repetibilidad y reproducibilidad (R&R), así como de linealidad y sesgo. Al respecto, se recomienda antes de utilizar el SPC, verificar que la variación que se observa, no se deba en su mayoría a errores en el sistema de medición.

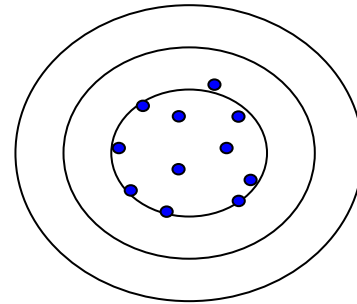
Los usos del análisis del sistema de medición son:

- ✓ Aceptar equipo nuevo.
- ✓ Comparar dos equipos entre sí.
- ✓ Evaluar un equipo sospechoso.
- ✓ Evaluar un equipo antes y después de repararlo.
- ✓ Antes de implantar gráficos de control.
- ✓ Cuando disminuye la variación del proceso.

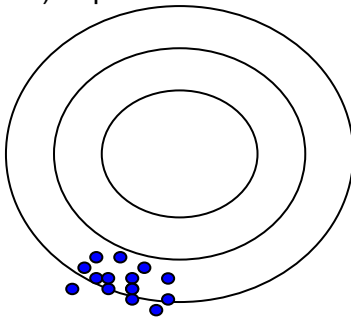
Error de un sistema de medición, puede ser clasificado en dos categorías: *Exactitud* y *Precisión*. La exactitud describe la diferencia entre la medición y el valor real de la medición. La precisión describe la variación que se observa cuando mide la misma parte repetidamente con el mismo instrumento. Ambos pueden estar presentes o no en un sistema. Por ejemplo, tener un instrumento que mide las partes con precisión (poca variación en las mediciones) pero sin exactitud. También se puede presentar un instrumento que sea exacto (el promedio de las mediciones es muy cercano al valor exacto), pero no preciso (es decir las mediciones tienen varianza grande) o combinaciones de estos resultados como se ilustra en la ilustración 1.



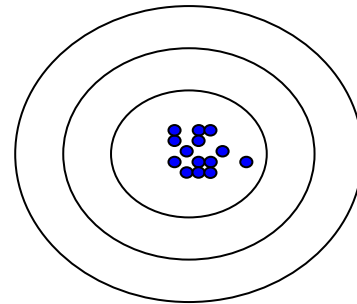
a) Impreciso e Inexacto



b) Impreciso y exacto



c) Preciso e Inexacto



d) Preciso y exacto

Ilustración 1: Representación de precisión y exactitud en un sistema de medición

Componentes que afectan la precisión. Para entender las fuentes de variación que afectan la *precisión* de un sistema de medición, se deben estudiar los dos componentes de la precisión: la repetibilidad y reproducibilidad. La Repetibilidad se refiere a la variación causada por el instrumento de medición, es decir es la variación que se observa con el mismo operador que mide la misma parte repetidamente con el mismo instrumento. La Reproducibilidad se refiere a la variación causada por el sistema de medición. Es decir, la variación observada cuando diferentes operadores miden las mismas partes utilizando el mismo instrumento.

Estudio R&R. A los estudios de la precisión de un instrumento de medición se les conoce como de Repetibilidad y Reproducibilidad o simplemente (R&R). Para realizar un Estudio R&R, se puede utilizar tanto el método de medias y rangos, como el de ANOVA. Sin embargo, dado que este

último puede identificar las fuentes de variación de mejor manera al separar el factor operador y operador-parte, es más efectivo que el primero. El método Análisis de Varianza (Analysis of Variance), reparte la variación total ( $\sigma^2_{total}$ ) de la siguiente manera:

$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{parte} + \sigma^2_{operador} + \sigma^2_{operador \times parte} + \sigma^2_{instrumento}$$

ó

$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{parte} + \sigma^2_{reproducibilidad} + \sigma^2_{repetibilidad}$$

es decir,

$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{parte} + \sigma^2_{R\&R}$$

Donde:

La variación debido a las partes que se están midiendo se denota como  $\sigma^2_{parte}$

La Reproducibilidad se compone de la variación debida al *operador* más la variación debida a la interacción *operador-parte*, es decir:

$$\sigma^2_{reproducibilidad} = \sigma^2_{operador} + \sigma^2_{operador \times parte}$$

Cabe señalar que la interacción operador-parte existe cuando hay diferencias entre operadores al medir cierto tipo de partes (por ejemplo, piezas muy pequeñas o muy grandes). A su vez, la Repetibilidad es la variación debida a la variación del *instrumento*:

$$\sigma^2_{repetibilidad} = \sigma^2_{instrumento}$$

El método ANOVA es en realidad un diseño factorial con efectos aleatorios debido a que tanto las piezas y los operadores son una muestra de sus respectivas poblaciones. En el método, primeramente, se calculan la suma de cuadrados de cada componente de variación como sigue:

$$SC_{total} = SC_{parte} + SC_{operador} + SC_{operador \times parte} + SC_{instrumento}$$

Nota: la suma de cuadrados del instrumento o de la repetibilidad, corresponde a la suma de cuadrados del error.

Elementos de la Tabla de ANOVA al considerar  $p$  partes,  $e$  ensayos y  $o$  operadores:

Suma de Cuadrados de partes  $SC_{parte}$  es la sumatoria de los cuadrados de la diferencia del promedio de cada parte y el promedio general, por la cantidad de elementos que se consideraron para el promedio de cada parte, es decir  $o * e$

$$SC_{parte} = o * e * \sum (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

donde:  $\bar{x}_i = \text{promedio de cada parte}$  y  $\bar{x} = \text{promedio general}$

Suma de Cuadrados de operador  $SC_{operador}$  es la sumatoria de los cuadrados de la diferencia del promedio de cada operador y el promedio general, por la cantidad de elementos que se consideraron para el promedio de cada operador, es decir  $p * e$

$$SC_{operador} = p * e * \sum (\bar{x}_j - \bar{x})^2$$

donde:  $\bar{x}_j = \text{promedio de cada operador}$  y  $\bar{x} = \text{promedio general}$

Suma de Cuadrados de Repetibilidad o de instrumento  $SC_{repetibilidad}$  es la sumatoria de los cuadrados de la diferencia de cada uno de los  $e$  ensayos de cada operador en cada parte y el promedio de cada parte de cada operador

$$SC_{repetibilidad} = \sum \sum \sum (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2$$

donde:

$x_{ijk} = \text{cada observación o c/u de los } e \text{ ensayo de cada operador en cada parte}$

y

$\bar{x}_{ij} = \text{promedio de cada nivel de factor o promedio de c/parte de cada operador}$

Suma de Cuadrados Total  $SC_{total}$  es la sumatoria de los cuadrados de la diferencia de cada uno de las observaciones y el promedio general

$$SC_{total} = \sum \sum \sum (x_{ijk} - \bar{x})^2$$

donde:

$x_{ijk}$  = cada observación o cada e ensayo de cada operador en cada parte y

$\bar{x}$  = promedio general

Suma de parte-operador  $SC_{parte-operador}$  se obtiene de restar a  $SC_{total}$  la suma de cuadrados de la parte, del operador y de la repetibilidad, es decir:

$$SC_{parte-operador} = SC_{total} - (SC_{parte} + SC_{operador} + SC_{repetibilidad})$$

Grados de libertad

$$SC_{total} = SC_{parte} + SC_{operador} + SC_{operador \times parte} + SC_{instrumento}$$

Corresponden los siguientes grados de libertad  $gl$ , (*degree of freedom*):

$$(p * o * e) - 1 = (p - 1) + (o - 1) + (p - 1)(o - 1) + (p * o) * (e - 1)$$

Los cuadrados medios sirven para construir pruebas estadísticas y verificar diferencias entre las partes, entre operadores y detectar la presencia de la interacción operador-parte. Los cuadrados medios se obtienen al dividir cada suma de cuadrados entre sus respectivos grados de libertad, es decir:

$$CM_{parte} = SC_{parte} / p - 1$$

$$CM_{operador} = SC_{operador} / o - 1$$

$$CM_{operador \times parte} = SC_{operador \times parte} / (o - 1)(p - 1)$$

$$CM_{instrumento} = SC_{instrumento} / p * o * (e - 1)$$

La tabla ANOVA se compone de la información mencionada anteriormente además del estadístico  $F_0$  y el valor P, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4: Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	grados de libertad (gl)	Cuadrados medios (CM)	Estadístico $F_0$	Valor P
<i>Parte</i>	$SC_{parte}$	$p - 1$	$CM_{parte}$	$\frac{CM_{parte}}{CM_{operador \times parte}}$	
<i>Operador</i>	$SC_{operador}$	$o - 1$	$CM_{operador}$	$\frac{CM_{operador}}{CM_{operador \times parte}}$	
<i>Operador- parte</i>	$SC_{operador \times parte}$	$(o - 1)(p - 1)$	$CM_{operador \times parte}$	$\frac{CM_{operador \times parte}}{CM_{instrumento}}$	
<i>Repetibilidad</i>	$SC_{instrumento}$	$p * o * (e - 1)$	$CM_{instrumento}$		
<i>Total</i>	$SC_{total}$	$(p * o * e) - 1$			

Con la información de la tabla ANOVA se procede a determinar los estimados de varianza  $\hat{\sigma}^2$  que aporta cada caso.

$$\hat{\sigma}^2_{instrumento} = CM_{instrumento}$$

$$\hat{\sigma}^2_{parte} = \frac{CM_{parte} - CM_{operador \times parte}}{e * o}$$

$$\hat{\sigma}^2_{operador} = \frac{CM_{operador} - CM_{operador \times parte}}{e * p}$$

$$\hat{\sigma}^2_{operador \times parte} = \frac{CM_{operador \times parte} - CM_{instrumento}}{e}$$

Por su parte, conociendo la varianza se procede a determinar el componente de variación de la reproducibilidad, repetibilidad, del R&R y de la variación total como sigue:

$$\hat{\sigma}^2 \text{ Reproducibilidad} = \hat{\sigma}^2_{operador} + \hat{\sigma}^2_{operador \times parte}$$

$$\hat{\sigma}^2 \text{ Repetibilidad} = \hat{\sigma}^2_{instrumento}$$

$$\text{R\&R total o Error de medición} = \hat{\sigma}^2_{repetibilidad} + \hat{\sigma}^2_{reproducibilidad}$$

$$\text{Variación total} = \hat{\sigma}^2_{R\&R} + \hat{\sigma}^2_{parte}$$

Nota. Cuando la interacción operador parte no se incluye en el modelo Anova, la variación queda de la siguiente forma:

$$\hat{\sigma}^2_{instrumento} = CM_{instrumento}$$

$$\hat{\sigma}^2_{parte} = \frac{CM_{parte} - CM_{repetibilidad}}{e * o}$$

$$\hat{\sigma}^2_{operador} = \frac{CM_{operador} - CM_{instrumento}}{e * p}$$

$$\hat{\sigma}^2 \text{ Reproducibilidad} = \hat{\sigma}^2_{operador}$$

$$\hat{\sigma}^2 \text{ Repetibilidad} = \hat{\sigma}^2_{instrumento}$$

$$\text{R\&R total o Error de medición} = \hat{\sigma}^2_{repetibilidad} + \hat{\sigma}^2_{reproducibilidad}$$

$$\text{Variación total} = \hat{\sigma}^2_{R\&R} + \hat{\sigma}^2_{parte}$$

## 4.2.3 Herramientas de Analizar

### 4.2.3.1 Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC, acrónimo de Supplier (Proveedor), Input (Entrada), Process (Proceso), Output (Salida) y Customer (Cliente), es una poderosa herramienta utilizada en la gestión de procesos para comprender y visualizar la cadena de valor completa. Esta herramienta proporciona una visión holística y estructurada de un proceso, identificando sus componentes clave y las relaciones entre ellos. Los elementos comunes son:

**Proveedor.** En el inicio del diagrama SIPOC, se identifican los proveedores externos o internos que suministran insumos al proceso. Estos proveedores pueden ser personas, departamentos, o incluso sistemas automatizados que suministran las materias primas o información necesaria para el proceso.

**Entrada.** Representa los insumos o datos que se reciben del proveedor y que son esenciales para el proceso. Identificar y comprender estas entradas es crucial para entender las variables que afectan el rendimiento del proceso.

**Proceso.** Es el corazón del diagrama SIPOC, donde se describe el conjunto de pasos y actividades que transforman las entradas en salidas. Este componente es central para entender cómo se crea valor en el proceso y cómo se pueden realizar mejoras.

**Salida.** Representa los productos o servicios resultantes del proceso. Comprender las salidas es fundamental para evaluar la efectividad del proceso y garantizar que cumpla con los requisitos y expectativas del cliente.

**Cliente.** Finalmente, se identifican los clientes internos o externos que reciben las salidas del proceso. Entender sus necesidades y expectativas es crucial para asegurar la satisfacción del cliente y la eficiencia del proceso.

#### 4.2.3.2 Análisis de Capacidad

$C_p$  es una medida de la capacidad potencial del proceso. Se calcula de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Donde  $\sigma$  representa la desviación estándar del proceso y USL y LSL son los límites de especificación superior e inferior respectivamente. El índice  $C_p$  compara el ancho de las especificaciones (USL - LSL) o variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real del proceso.

$$C_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

Un valor que establece el estándar por el cual se determina la capacidad de un proceso se define como un múltiplo de una desviación estándar del proceso (sigma). Normalmente, se utiliza  $6\sigma$  (6 veces la desviación estándar) como valor de tolerancia.

Sin embargo, el índice de capacidad del proceso  $C_p$  no tiene en cuenta dónde se ubica la media del proceso en relación con las especificaciones. El  $C_p$  simplemente mide el alcance de las especificaciones en comparación con la dispersión del proceso  $6\sigma$ . Cuando es necesario conocer la posición del centro del proceso con respecto a las especificaciones es necesario utilizar un índice de capacidad denominado  $C_{pk}$ , Donde:

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{\mu - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \mu}{3\sigma} \right]$$

En general, si  $C_p = C_{pk}$ , el proceso está centrado en el punto medio de las especificaciones y cuando  $C_{pk} < C_p$  el proceso está descentrado. Es común decir que  $C_p$  mide la capacidad potencial del proceso, mientras que  $C_{pk}$  mide la capacidad real o real.

### 4.2.3.3 Pruebas de Hipótesis

En muchos problemas de ingeniería es necesario decidir si se acepta o se rechaza un enunciado acerca de algún parámetro del problema. A dicho enunciado se le llama Hipótesis, y al procedimiento para tomar decisiones acerca de la hipótesis se le llama prueba de Hipótesis. A su vez, una hipótesis estadística es un enunciado acerca de los parámetros de una o más poblaciones. Una prueba de hipótesis Es un método estadístico para determinar cuándo aceptar una estimación, es decir una suposición sobre una población en base a un análisis de una muestra estudiada.

Tipos de Hipótesis.

Hipótesis Nula ( $H_0$ ). Es una hipótesis que parte de que no hay cambio o diferencia respecto a ciertas aseveraciones.

Hipótesis Alternativa ( $H_A$ ). Es una hipótesis para probar ciertas aseveraciones de diferencia mediante muestras.

Cuando se prueba cualquier hipótesis estadística, cuatro situaciones diferentes determinan si la decisión final es correcta o incorrecta y se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Tipos de error en pruebas de hipótesis

		VERDAD	
		$H_0$	$H_A$
JUICIO	$H_0$ No se puede rechazar	Decisión Correcta	Error Tipo 2
	$H_0$ se rechaza	Error Tipo 1	Decisión Correcta

La probabilidad de incurrir en un error tipo I se denota por  $\alpha$ , es decir:

$$\alpha = P(\text{error tipo I}) = P(\text{rechazar } H_0 \text{ cuando } H_0 \text{ es verdadera})$$

A la probabilidad del error tipo I, ( $\alpha$ ) también se le llama nivel de significancia.

Al evaluar un procedimiento de prueba de hipótesis, también es importante examinar la probabilidad de un error tipo II, el cual se denota por  $\beta$ , es decir:

$$\beta = P(\text{error tipo II}) = P(\text{No puede rechazar } H_0, \text{ cuando } H_0 \text{ es falsa})$$

#### Procedimiento General para Prueba de Hipótesis

1. Por el contexto del problema, identificar el parámetro de interés
2. Establecer la hipótesis nula  $H_0$
3. Especificar la hipótesis alternativa  $H_1$
4. Elegir un nivel de significación  $\alpha$
5. Establecer un estadístico de prueba apropiado
6. Establecer la región de rechazo del estadístico
7. Decidir si deberá rechazarse o no  $H_0$
8. Contextualizar la decisión y concluir.

#### 4.2.3.4 Modelos de regresión

Una vez que al estudiar un problema y se sabe que existe correlación entre dos variables, esto significa que una puede ser expresada en función de la otra, la cual se le denomina variable independiente y a la primera dependiente, para tal propósito se utilizará el concepto de modelo probabilístico. Al respecto, un modelo probabilístico está compuesto por la suma de dos términos, uno determinístico y un error aleatorio, esto es:

$$y = f(x) + \varepsilon$$

donde;  $y$  = variable dependiente la cual se desea predecir,

$f(x)$  = componente determinístico y función de la variable independiente de  $x$ ,

$\varepsilon$  = componente aleatorio, el cual se asume que tiene una media o *valor esperado* igual a cero, i.e.  $E(\varepsilon) = 0$ .

Existe una gran variedad de modelos probabilísticos, los cuales dependen del tipo de relación funcional que se seleccione para  $x$ , puede ser una línea o una curva de segundo grado, etc.; puede ser cualquiera función, hasta una exponencial, en este caso las intenciones son únicamente analizar el modelo más simple, que es la línea recta, el cual se conoce como modelo de primer orden o regresión lineal simple, es decir:

$$f(x) = \beta_0 + \beta_1 x$$

Entonces, el modelo poblacional de regresión lineal simple queda como sigue

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Donde los parámetros  $\beta_0$  y  $\beta_1$  se les conoce como coeficientes de regresión y:

$\beta_0$ , es el intercepto de la línea,

$\beta_1$ , es la pendiente de la línea,

$x$ , es el predictor, y

$\varepsilon$ , es el error.

Para el caso muestral, el modelo de regresión es

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

La ilustración 2 muestra gráficamente el significado del intercepto y de la pendiente de una línea, que en este caso representa a los datos. Nótese que  $\beta_1$  es la pendiente y significa la cantidad que  $y$  aumenta por cada incremento en  $x$ ; mientras que,  $\beta_0$  es el intercepto y representa el valor de  $y$ ,

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$$

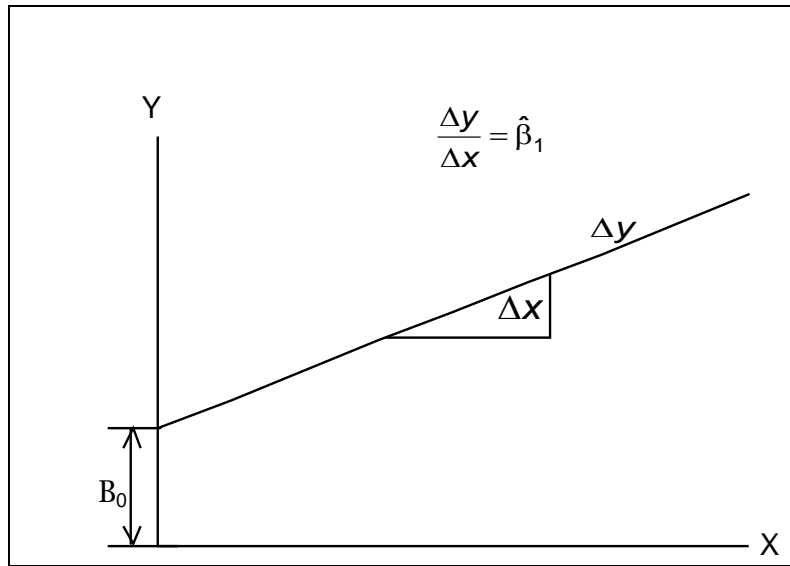


Ilustración 2: Regresión lineal simple

El problema de predicción de  $Y$  dado  $X$ , involucra **la estimación** de los parámetros  $\beta_0$  y  $\beta_1$ , los cuales son generalmente obtenidos por el método de mínimos cuadrados, el cual consiste en minimizar la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores estimados  $\hat{y}$ 's, con respecto a las observaciones  $y$ 's, es decir:

$$\min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2,$$

donde:  $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i$  y  $\hat{\beta}_0$  y  $\hat{\beta}_1$  son estimadores de  $\beta_0$  y  $\beta_1$ , respectivamente.

Entonces para obtener los estimadores por mínimos cuadrados se resuelve el siguiente problema:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i)^2$$

Con respecto a  $\hat{\beta}_0$  y  $\hat{\beta}_1$ , cuya solución está dada por:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{SS_{xy}}{SS_x}$$

#### 4.2.4 Herramientas de Mejorar

##### 4.2.4.1 Análisis del Modo y Efecto de Falla

El Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMFE) es una metodología sistemática utilizada para identificar, evaluar y priorizar los posibles modos de falla en un proceso o producto, así como sus efectos y las acciones de mitigación necesarias. Los elementos del AMEF incluyen:

Proceso/Componente. Los procesos o componentes relevantes

Modos de Falla. Posibles modos de falla para cada proceso/componente.

Efectos de Falla. Los efectos que resultarían de cada modo de falla identificado.

Gravedad (S). Calificar la gravedad del efecto en una escala de 1 a 10, donde 1 es poco grave y 10 es muy grave.

Causas de Falla. Identificar las posibles causas de cada modo de falla.

Probabilidad de Ocurrencia (O). Calificar la probabilidad de ocurrencia en una escala de 1 a 10, donde 1 es poco probable y 10 es muy probable.

Métodos de Detección. Describir los métodos de detección utilizados.

Detectabilidad (D). Calificar la capacidad de detectar el modo de falla antes de que afecte al cliente, en una escala de 1 a 10, donde 1 es fácilmente detectable y 10 es difícil de detectar.

Para cada modo de falla, se debe calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) =  $S \times O \times D$

Acciones Propuestas. Describir las acciones específicas para mitigar los modos de falla prioritarios.

De esta forma, el AMEF proporciona una estructura organizada para realizar un análisis que facilita la identificación proactiva de riesgos y la implementación de acciones preventivas para garantizar la calidad y la satisfacción del cliente.

#### 4.2.4.2 Despliegue de la Función de Calidad (Quality Function Deployment)

El Despliegue de la Función de Calidad es una metodología que tiene sus raíces en Japón y se ha convertido en una herramienta esencial para traducir las necesidades y expectativas del cliente en características de diseño y procesos de producción. El QFD es una herramienta versátil que se ha aplicado en diversas industrias para mejorar la calidad, la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa. El QFD comienza con la recopilación de la Voz del Cliente, que implica entender y documentar las necesidades, deseos y expectativas del cliente. Esto se realiza a través de encuestas, entrevistas y otras formas de retroalimentación directa del cliente. La información recopilada se organiza en una matriz conocida como la "Casa de la Calidad". Esta matriz tiene filas y columnas que representan las relaciones entre las necesidades del cliente y los elementos de diseño o procesos internos de la organización. También permite la interconexión de requisitos, lo que significa que las necesidades del cliente se relacionan directamente con los elementos de diseño y procesos que impactan esas necesidades. Esto facilita la identificación de áreas críticas para la mejora. Al centrarse en las necesidades del cliente desde el principio, las organizaciones pueden mejorar la calidad de sus productos o servicios, fortalecer la lealtad del cliente y mantener una ventaja competitiva sostenible en el mercado.

#### 4.2.4.3 Diseño de Experimentos - Análisis de Varianza

El Análisis de Varianza (ANOVA) es una herramienta estadística poderosa utilizada para investigar las diferencias entre grupos en un experimento. Su aplicación ayuda a comprender las fuentes de variación y tomar decisiones informadas. El ANOVA evalúa la varianza total de un conjunto de datos y la descompone en componentes atribuibles a diferentes fuentes. En lugar de simplemente comparar medias, como se hace en la prueba t, el ANOVA examina si las medias de tres o más grupos son iguales o diferentes.

ANOVA de un Factor. Se utiliza cuando se desea comparar las medias de más de dos grupos en un solo factor o variable independiente. Por ejemplo, podría emplearse para analizar las diferencias en los niveles de productividad entre tres métodos de entrenamiento.

ANOVA de Dos Factores. Se aplica cuando se tienen dos variables independientes. Por ejemplo, podría utilizarse para investigar la influencia de dos variables, como la temperatura y el tiempo, en el rendimiento de un proceso de fabricación.

ANOVA de Medidas Repetidas. Diseñado para estudios en los que las mismas personas o elementos son evaluados en varias ocasiones. Esto es útil en investigaciones longitudinales para analizar los cambios a lo largo del tiempo.

El ANOVA asume que las muestras son independientes y que las poblaciones tienen distribuciones normales con varianzas iguales. Estos supuestos deben verificarse antes de aplicar el análisis.

#### 4.2.4.4 Kanban

El Kanban es una metodología visual de gestión de proyectos que se centra en la visualización del flujo de trabajo para mejorar la eficiencia y la productividad. Utiliza tableros y tarjetas físicas o digitales para representar visualmente las tareas y sus estados a lo largo del proceso. El sistema Kanban como tal es una señal, comúnmente una tarjeta que autoriza a producir o transportar una determinada cantidad de un determinado producto. Con carácter general, en una tarjeta Kanban figuran: la referencia y denominación del producto, el tipo de caja, la cantidad por caja, el proceso proveedor, el supermercado y las coordenadas donde se ubica el producto. Opcionalmente, puede figurar el número de Kanban en circulación [41].

El sistema de Kanban puede incluir diferentes tipos de tarjeta dependiendo el uso o lugar donde se encuentre dentro del proceso. El Kanban de producción fluye de manera bidireccional entre el supermercado y el proveedor del proceso, y viceversa. La fórmula para el cálculo del número de kanban de producción (KP) en circulación entre el buzón, el FIFO lane y el supermercado es [41]:

$$\text{Núm KP} = \frac{d * (EPEC + F + SS)}{k}$$

$$\text{Lote} = \frac{d * EPEC}{k}$$

$$\text{Capacidad} = \text{Lote} + \frac{d * SS}{k}$$

$$\text{Inventario promedio} = \frac{\text{Lote}}{2} + \frac{d * SS}{k}$$

Donde

d= demanda

EPEC= every product every cycle

F= capacidad del FIFO lane

SS= Stock de seguridad

Adicionalmente se puede utilizar el Kanban de transporte, que representa tarjetas que circulan entre el proceso cliente, el supermercado y viceversa. Un kanban de transporte es una instrucción al operario de transporte de materiales (materials handler) para que retire del supermercado una caja del producto indicado en el Kanban y la transporte al punto de uso en el proceso cliente [41].

#### 4.2.4.5 Poka Yoke: Previniendo Errores en Procesos

El término "Poka Yoke" proviene del japonés "a prueba de errores". Es una filosofía y técnica desarrollada centrada en la prevención de errores en los procesos de producción y la mejora continua. Este enfoque se ha convertido en una parte integral de la metodología Lean Manufacturing y es aplicado en diversas industrias para garantizar la calidad del producto y aumentar la eficiencia operativa. Los poka yoke se basan en tres principios

**Diseño para la Prevención de Errores.** El Poka Yoke se basa en la idea de diseñar procesos y sistemas de manera que sea casi imposible cometer errores. Esto implica la incorporación de dispositivos o mecanismos que previenen activamente la realización de acciones incorrectas.

**Simplicidad y Claridad.** Los métodos Poka Yoke buscan la simplicidad y la claridad. Se enfocan en crear procesos que sean comprensibles de manera intuitiva, reduciendo la posibilidad de malentendidos y errores.

**Detección y Corrección Rápida.** En lugar de identificar y corregir errores después de que ocurren, el Poka Yoke se centra en detectar y corregir problemas en tiempo real. Esto minimiza el impacto de los errores y reduce los costos asociados con la corrección posterior.

Ejemplos de Poka Yoke incluyen sensores y dispositivos visuales para verificar la presencia de componentes o el estado de un proceso ayuda a evitar omisiones; diseño de formas y tamaños únicos para asegurar que las partes solo puedan ser ensambladas de una manera específica; procedimientos de verificación para garantizar que cada etapa sea revisada antes de avanzar al siguiente nivel.

En resumen, el Poka Yoke es una estrategia esencial para garantizar la calidad en los procesos de fabricación al prevenir errores antes de que ocurran. Al adoptar esta filosofía, las organizaciones pueden mejorar la eficiencia, reducir costos y, lo más importante, proporcionar productos de alta calidad a sus clientes.

## 4.2.5 Herramientas de Controlar

### 4.2.5.1 Plan de Control (Control Plan)

El plan de control es un componente fundamental en la gestión de la calidad, especialmente en entornos de manufactura y producción. Este documento detallado y estructurado tiene como objetivo establecer métodos y criterios de control necesarios para asegurar que un proceso cumpla con los estándares de calidad definidos. Es práctica común establecer un plan de control una vez que se ha realizado un AMEF.

El primer paso en la creación de un Plan de Control es identificar las características críticas del producto o servicio. Estas son aquellas que tienen un impacto significativo en la calidad y cumplimiento de los requisitos del cliente. Para cada característica crítica, se establecen límites de control que indican los rangos aceptables de variación. Esto se hace mediante la recopilación de datos y el análisis estadístico para determinar los límites superiores e inferiores. Además, el plan de control especifica los métodos exactos de medición y pruebas que se utilizarán para evaluar las características críticas. Esto puede incluir herramientas de medición, equipos de prueba especializados y procedimientos detallados. Para estas mediciones, se determina con qué frecuencia se llevarán a cabo las mediciones y el tamaño de muestra que se utilizará. Esta información garantiza que la recopilación de datos sea representativa y efectiva para identificar cualquier desviación del estándar.

Acciones Correctivas y Preventivas. Anticipándose a posibles desviaciones, el plan de control establece acciones correctivas y preventivas. Esto implica protocolos claros para abordar problemas inmediatos y evitar que ocurran en el futuro.

### 4.2.5.2 Gráficos de Control

El pre-control es una técnica de calidad que se utiliza para evaluar la capacidad o aptitud de un proceso de producción para generar unidades que se ajusten a unas especificaciones previamente fijadas. La técnica supone que la distribución del proceso tiene a lo más la amplitud de las

especificaciones, y que la media del proceso está centrada en el valor objetivo. Así, el pre-control no es recomendable para procesos con baja capacidad para cumplir con las especificaciones, se pide que el  $C_{pk} > 1.15$  por lo tanto, si la capacidad es pobre, el pre-control llevaría a la situación insostenible de estar parando y ajustando continuamente el proceso (Gutiérrez & De la Vara, 2013). El pre-control fue desarrollado en 1954 por un grupo de consultores dirigido por Satterwaite (Quality, 2009) en respuesta a la necesidad de desarrollar control estadístico de proceso (SPC) para los procesos de corto plazo, donde las gráficas de control X-barra y R no eran prácticos. A diferencia de estas herramientas estadísticas, el pre-control es un método cuyo objeto es supervisar un proceso teniendo en cuenta directamente las especificaciones del producto. La versión original del pre-control fue publicada por Shainin en 1989. En este sentido el pre-control salva algunos de los inconvenientes que muestran los gráficos de control X-R cuando son aplicados en ciertos contextos. El nombre de pre-control no significa que este procedimiento debe aplicarse antes de que el proceso dé comienzo, sino que hace referencia al hecho de que permite detectar problemas en el proceso, sobre todo en procesos de producción rápidos, antes de que un gran número de unidades defectuosas sean generadas, a diferencia de los gráficos de control.

#### 4.2.5.3 Gráficas de Pre-control

Pre-control se basa en la hipótesis de que, si el proceso está operando correctamente, la probabilidad de encontrar dos unidades fuera de los límites de control consecutivamente es demasiado pequeña. Por lo tanto, si dos unidades son encontradas consecutivamente fuera de los límites de control, es razón suficiente como para indicar una falla en el proceso. Existen dos límites de Pre-control (PC): Upper Pre-control limit (UPCL) y Lower Pre-control limit (LPCL). Cada uno representa  $\frac{1}{4}$  de la distancia entre el límite de especificaciones inferior (LSL) y el límite de especificaciones superior (USL). La ilustración 3 considera un proceso distribuido de acuerdo a la distribución normal.

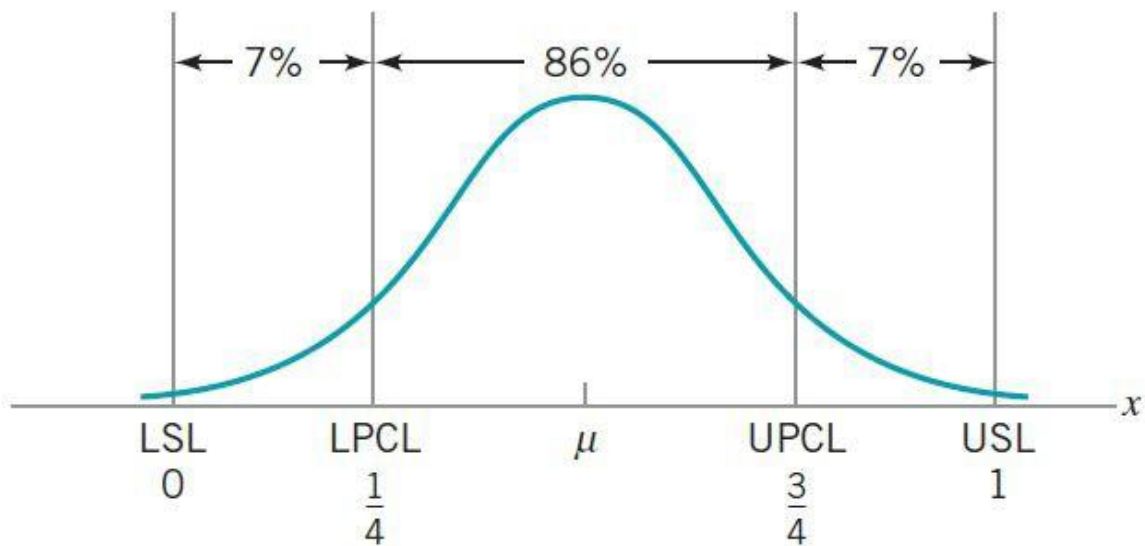


Ilustración 3: Ubicación de los límites de Pre-Control. Montgomery, D. C. (2007)

Como se observa, ya que la distribución de la característica de calidad está normalmente distribuida, se espera que un 86% del proceso este entre los límites de pre-control y un 7% aproximado estará entre los límites de control y los límites de especificación. Esto significa que solamente una pieza en 14 caerá fuera de los límites de pre-control si la media y la desviación estándar están sobre los valores objetivo. Si la probabilidad es  $\frac{1}{4}$  de que una unidad caerá fuera de los límites de pre-control, la probabilidad de que dos unidades consecutivas estén más allá de los límites de pre-control es pequeña.

Reglas a seguir para aplicar Pre-control.

1. Si el primer elemento es fuera de las especificaciones, reset y empezar de nuevo.
2. Si un artículo está dentro de especificaciones, pero fuera de una línea de pre-control, compruebe el elemento siguiente.
3. Si el segundo elemento está fuera de la misma línea de Pre-control, reiniciar el proceso.

4. Si el segundo elemento está dentro de la línea de Pre-control, continúa. El proceso se restablece solamente cuando dos elementos consecutivos se encuentran fuera.
5. Si un elemento está fuera de una línea de Pre-control y el siguiente elemento se encuentra fuera de la otra línea de Pre-control, existe variabilidad.
6. Cinco unidades consecutivas están dentro de las líneas de Pre-control, cambie la medición de frecuencia.
7. Cuando la medición de frecuencia, no se ajustan al proceso hasta que un elemento excede una línea de Pre-control. Entonces examinar el siguiente elemento y proceder como en el paso 4.
8. Cuando el proceso se reinicia, cinco puntos consecutivos deben caer dentro de las líneas de Pre-control antes que la medición de frecuencia se puede reanudar.
9. Si el operador toma más de 25 muestras sin tener que reiniciar el proceso, reducir la frecuencia de medir de modo que más unidades se fabrican entre muestras. Si tenemos que establecer antes de tomar 25 muestras, aumentar la frecuencia de calibración.

Un promedio de 25 muestras a un restablecimiento indica que la frecuencia de muestreo es satisfactoria.

#### 4.2.5.4 Programa 5'S

El Programa 5'S se basa en cinco principios clave que lo ha convertido en una herramienta invaluable para mejorar la eficiencia y la organización en el entorno laboral. Estos principios – Seiri (clasificación), Seiton (orden), Seiso (limpieza), Seiketsu (estandarización) y Shitsuke (disciplina)— forman la base de un sistema integral que impulsa la productividad y la calidad en las empresas.

Seiri (Clasificación). La primera "S" se enfoca en eliminar lo innecesario. En este paso, se revisan y clasifican los elementos en el lugar de trabajo, separando lo esencial de lo superfluo. La idea

es reducir el desorden y facilitar la identificación de elementos necesarios para las tareas diarias. Este proceso no solo ayuda a liberar espacio, sino que también simplifica la gestión de inventarios y mejora la accesibilidad a los recursos esenciales.

Seiton (Orden). Después de clasificar, el siguiente paso es organizar. Seiton busca asignar un lugar específico para cada elemento esencial, garantizando que estén disponibles cuando se necesiten. Esto no solo reduce el tiempo perdido buscando herramientas o materiales, sino que también contribuye a un ambiente de trabajo más seguro, ya que se minimiza el riesgo de accidentes relacionados con la desorganización.

Seiso (Limpieza). Esta "S" se centra en la limpieza y el mantenimiento. Mantener un entorno de trabajo limpio y ordenado no solo mejora la estética, sino que también promueve un lugar de trabajo más seguro y eficiente. La limpieza regular no solo aborda la acumulación de polvo y desorden, sino que también ayuda a identificar y abordar problemas potenciales antes de que se conviertan en obstáculos significativos.

Seiketsu (Estandarización). Para asegurar que los principios anteriores se mantengan a largo plazo, es crucial establecer estándares y procedimientos claros. Seiketsu se enfoca en la normalización de prácticas y rutinas que apoyen la clasificación, organización y limpieza. Esto implica la creación de políticas y procedimientos que se conviertan en hábitos arraigados en la cultura organizacional.

Shitsuke (Disciplina). La última "S" refleja la necesidad de mantener y mejorar constantemente las prácticas establecidas. La disciplina implica la dedicación constante a seguir los principios del Programa 5S, tanto a nivel individual como organizacional. Esta etapa se trata de cultivar una mentalidad de mejora continua y la responsabilidad de cada miembro de la organización para mantener los estándares establecidos.

En resumen, el programa 5'S no solo se trata de crear un entorno de trabajo más ordenado y limpio, sino que también promueve una cultura organizacional eficiente y de mejora continua. Al implementar estos principios, las empresas pueden experimentar beneficios tangibles en términos de productividad, calidad y seguridad, contribuyendo así a un ambiente laboral más saludable y exitoso.

### 4.3 Plataforma para la Utilización de Herramientas y Técnicas de Lean Six Sigma Enfocadas a la Industria Textil PyME.

Como se mencionó anteriormente, las empresas PyME carecen de recursos para la implementación de metodologías o técnicas que suelen representar un alto costo para las empresas. Por eso, se realizó una plataforma de libre acceso para que las PyMEs textiles puedan hacer uso de las herramientas de LSS. A continuación, muestro la plataforma y cómo funciona.

La plataforma fue diseñada en formato Excel ya que es de fácil acceso desde cualquier ordenador y así pueden verse beneficiados más empresas PyME textiles de la región. La plataforma servirá como un conjunto de plantillas donde cada empresa podrá ingresar los datos de su proyecto y obtener resultados. En cada pestaña del documento Excel, existe una hoja de cálculo para cada herramienta y sus variantes, según convenga.

Se ordenaron las herramientas más utilizadas según la literatura bajo el esquema DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar)

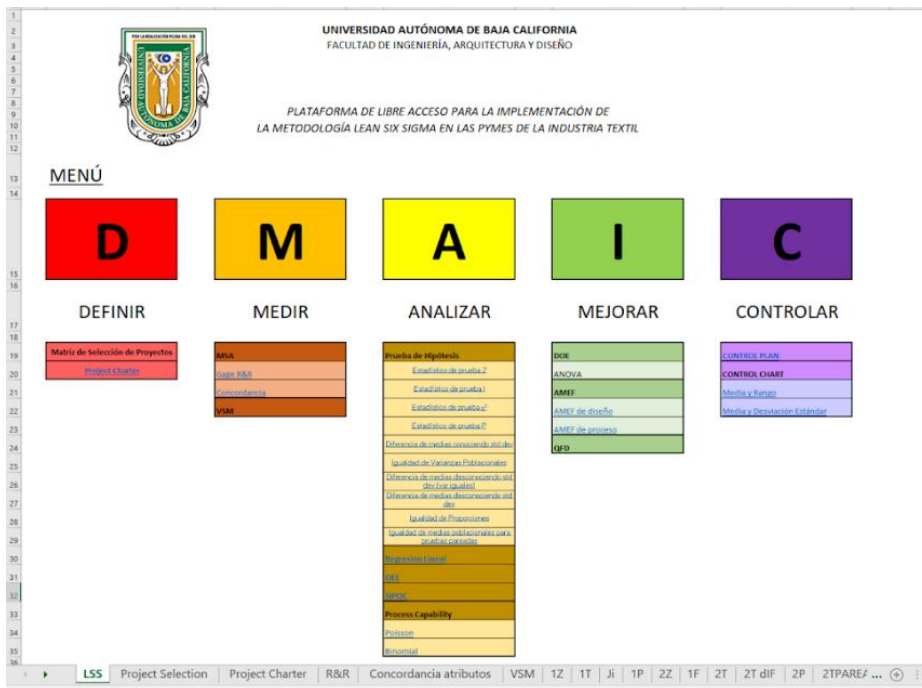


Ilustración 4: Menú principal de Plataforma LSS

En el menú principal mostrado en la ilustración 4, existe una lista de herramientas para cada etapa del DMAIC con hipervínculo a su respectiva hoja de cálculo, donde el usuario podrá acceder para su utilización.

### 4.3.1 Definir

En la etapa de “Definir” se incluyeron las herramientas “Matriz de selección de proyectos” y “Project Charter”. Las cuales puedes acceder haciendo click en cada nombre y te lleva a una plantilla lista para introducir los datos propios de la empresa y obtener los beneficios de cada herramienta

#### 4.3.1.1 Matriz de Selección de Proyectos

Una matriz de selección de proyectos es una herramienta que ayuda a priorizar los proyectos ya que muestra un resumen de los proyectos y su evaluación según las metas y objetivos de la empresa. Dándonos una calificación por proyecto y así podemos agilizar el proceso de selección de proyectos y pasar a la siguiente etapa.

#### 4.3.1.2 Project Charter

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA PLATAFORMA DE LIBRE ACCESO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN SIX SIGMA			
PROJECT CHARTER			
<b>Project Charter</b>			
Project Name:	Fill Rate Improvement	Business Location:	Acme Building Products
Team leader:	Jess Ficzet 123-456-7890	Champion:	Ar1 Sultz 123-456-7890
Project Description/Mission:	Improve line item order fill rate of outbound shipments to meet customer requirements		
Problem Statement:	The current line item fill rate average of 95% is far below customer requirements of 98%		
Business Case:	Our largest customer, Mega-Box Home Improvement Centers, requires an average line item fill rate of 98% of greater. Mega-Box represents 25% of sales, or \$217,000,000. Failure to meet delivery requirements may lead Mega-Box to move all or part of our volume to other suppliers.		
Deliverables:	Revised ordering and scheduling procedures. Improved line item fill rate, improved inventory turns, increased warehouse productivity	Goals/Metrics:	Line item fill rate Inventory turns Labor hours / Cubic foot Shipped
Process & Owner:	Order Fulfillment Process, Operations manager		
Project Scope -is:	Process extends from Scheduling, through Manufacturing, to Warehousing and Shipping	Project Scope -is not:	Manufacturing production process technology decisions - the production technology employed may be a second, longer-term project.
Key Customers:	Mega-Box Home Improvement	Expectations:	98% Line Item Fill Rate
Milestones:	Completion		

Ilustración 5: Ejemplo de Plantilla Project Charter

### 4.3.2 Medir

En la etapa de “Medir” se incluyeron las herramientas “MSA” y “VSM”. La herramienta MSA (Measurement System Analysis) o Sistema de Análisis de la medición se compone por la Herramienta Gage R&R y concordancia de atributos las cuales se utilizan para analizar el sistema de medición implementado para medir los datos, es decir, analizar si los instrumentos u operadores están midiendo correctamente los datos. Con la herramienta “VSM” o Mapeo de la Cadena de Valor, veremos ilustrado la cadena que recorre el producto desde que la orden entra hasta que es entregado al cliente donde podemos visualizar de forma general, dónde es que nuestro producto toma más tiempo en proceso y poder optimizar ese proceso.

El usuario deberá introducir los datos propios de la empresa en estas plantillas para obtener beneficios de dichas herramientas.

Operador 1	promedio	Diferencia al cuadrado de Repetibilidad Operador 1	Diferencia al cuadrado de cada dato contra la media total Operador 1	Operador 2	Promedio	Diferencia al cuadrado de Repetibilidad Operador 2	Diferencia al cuadrado de cada dato contra la media total Operador 2	Operador 3	Promedio	Diferencia al cuadrado de Repetibilidad Operador 3	Diferencia al cuadrado de cada dato contra la media total Operador 3	promedio de parte	diferencia de Cuadrados de la parte	diferen de Cuadr del operad
36.2	36.3	0.002	13.653	35.8	35.8	0.160	10.857	34.8	34.8	0.4225	12.924	35.700	10.208	0
35.3	35.3	0.002	7.812	35.6	35.6	0.063	9.579	34.7	35.2	0.25	10.208	35.233	7.444	0
30.8	30.8	0.010	2.907	30.4	30.9	0.563	4.431	29.2	29.7	0.25	5.313	30.017	6.192	0
29.8	29.8	0.010	7.317	29.2	29.9	0.022	5.333	30.1	29.2	0.81	17.682	29.656	8.153	0
32	31.7	0.022	0.255	31.1	31.7	0.090	1.974	30.9	30.9	0.64	5.784	31.383	3.258	0
30.7	29.7	0.250	3.258	30.9	30.4	0.063	3.576	29.5	29.65	0.0225	7.317	30.167	5.408	0
33.4	32.4	0.250	0.801	32.9	32.1	0.360	6.156	31.2	32.3	1.21	0.801	32.567	0.004	0
37.1	38.5	0.090	21.114	36.7	36.2	0.063	17.598	35.5	35.75	0.0625	12.215	36.333	14.856	0
30.1	30.5	0.040	5.784	30	29.7	0.022	6.275	30.2	29.65	0.3025	11.594	29.933	6.613	0
34.6	34.2	0.040	4.389	34.1	33.7	0.040	2.544	34.2	33.9	0.09	1.199	34.067	2.439	0
33	32.65			32.77	32.27							32.505	374.597	4
Promedio operador 1		32.825	Promedio operador 2		32.32	Promedio operador 3		32.37	32.23		32.11			

Ilustración 6: Ejemplo de plantilla Estudio Gage R&R

Como podemos observar en la ilustración 6, se toman muestras de las mediciones utilizando distintos operadores para determinar si existe un error de medición en el operador o instrumento.

### 4.3.3 Analizar

En esta etapa de “Analizar” dentro de la plataforma, se incluyeron las herramientas “Prueba de hipótesis”, “Regresión Lineal”, “OEE”, “SIPOC” y “Process Capability”, con plantillas para las distintas variantes de cada herramienta según el tipo de datos recolectados.

In Lean Six Sigma, OEE stands for Overall Equipment Effectiveness, and is generally considered to refer to a measurement in “Total Productive Maintenance” programs. The measure looks at effectiveness and efficiency of machinery or processes and is commonly referred to in reference to Lean Manufacturing. OEE seeks to answer three machine performance related questions:  
- How often is the machine available to run?  
- How fast does it run when it's running?

Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculator	
<b>OEE Score</b>	<b>77%</b>
<b>Availability</b>	<b>108%</b>
Run time (hours)	15.5
Stop time (hours)	1
Breaks (hours)	0.5
Operating Time (hours)	14
Planned Production Time (Hours)	13
<b>Performance</b>	<b>75%</b>

Ilustración 7: Ejemplo de plantilla OEE

Como lo muestra la ilustración 7, el usuario deberá introducir los datos actuales de su proceso para obtener un score general y conocer la eficiencia de su equipo.

### 4.3.4 Mejorar

En la plataforma de libre acceso, dentro de la etapa de “Mejorar”, se incluyeron herramientas como “DOE” (Diseño de experimentos), “AMEF” (Análisis de Modo y Efecto de Falla) y “QFD” (Quality Function Deployment) o despliegue de la función de calidad.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA PLATAFORMA DE LIBRE ACCESO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN SIX SIGMA												
Logo de la Empresa			PLAN DE CONTROL									Documento: Revisión: Emisión:
[[Prototipo] [[Pre-Lanzamiento] [[Producción			Contacto Principal / Tel:			Fecha (Original):			Fecha (Revisado):			
Plan de Control Número:			Lider del Equipo:			Fecha Aprobación Ingeniería del Cliente:			Fecha Aprobación Calidad del Cliente:			
Número de Parte:			Fecha de Aprobación de Planta Proveedor:			Otras Fechas de Aprobación (si es requerido):			Otras fechas de Aprobación:			
Nombre de Parte:			Clave del Proveedor:									
Proveedor / Planta:												
Número de Operación	Nombre de Operación	Máq., Disp., Herr. para fabricación	CARACTERÍSTICAS				MÉTODOS				Plan de Reacción	
			Número	Producto	Proceso	Clase de características especiales	Tolerancia de Proceso o Esp.	evaluación Técnica de	Muestreo			Método de Control
								Tamaño	Frecuencia			
1	Recepción de Material	N/A	1.1	Cantidad Correcta			Valor Nominal	Conteo Rápido	1	En recepción de material	Revisión con Orden de Compra	Tomar Producto de Inventario
			1.2	Madera dentro de especificación			4"x8"+/- 1/8	Muestreo Aleatorio	AQL 95%	En recepción de material	Gráfico XR	Devolver producto/tomar de inventario
			1.3	Metal dentro de especificación			30" +/- 1/8"	Muestreo Aleatorio	AQL 95%	En recepción de material	Gráfico XR	Devolver producto/tomar de inventario
			1.4		Entrega a Tiempo	Crítico para la Empresa	(+) 1 Hora.	Cronómetro	1	En recepción de material	Revisión con el Checklist	Tomar Producto de Inventario
Elaboró: Ing. Saucedo			Página 1 de 5						Fecha: 10/Noviembre/2008			
			2.1	Cantidad Correcta			Valor Nominal	Conteo Rápido	1	En recepción de material	Revisión con Orden de Compra	Tomar Producto de Inventario

Ilustración 9: Ejemplo de plantilla Control Plan

En la ilustración 9 se muestra un ejemplo de la herramienta Control Plan (Plan de Control) en donde el usuario introducirá los datos correspondientes a las características de cada uno de las acciones dentro de su proceso y cómo se controlan para que el producto final se encuentre dentro de las especificaciones del cliente y así minimizar el desperdicio.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

En función de los resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones:

La metodología Lean Six Sigma nos beneficia gestionando y mejorando la calidad y desempeño de nuestros procesos y resolviendo problemas. Es una combinación de manufactura esbelta que nos ayuda a agregar valor al cliente, optimizar los procesos y eliminando desperdicio y six sigma que es una metodología que se concentra en identificar y eliminar las causas de la variación en el proceso. En este estudio pudimos analizar las herramientas de lean y six sigma que más se utilizan en la PyME Textil y también se identificaron los Factores Críticos de Éxito de la implementación de la metodología Lean Six Sigma en la PyME.

Con base en la revisión de literatura y su análisis, se acepta la hipótesis 1 propuesta en nuestro estudio que establece que los factores críticos de éxito importantes para la implementación de la metodología LSS en la PyME son: El involucramiento y compromiso de la alta dirección, la educación y entrenamiento, cambio cultural y liderazgo.

Se acepta, también, la hipótesis 2 de este trabajo de estudio que establece que las herramientas y técnicas de LSS mayormente empleadas en el sector textil son el mapeo de cadena de valor, kanban, 5'S, Overall Equipment Effectiveness, Estandarización, FIFO, Supermercado y Heijunka.

#### 5.1.1 Trabajo Futuro y Recomendaciones

Como toda investigación, el presente trabajo aborda área de oportunidad para seguir aportando nuevo conocimiento a la ciencia, en especial a la ingeniería industrial. Como recomendaciones y trabajos futuros a realizar se tiene:

La aplicación de la plataforma de libre acceso con herramientas de LSS para la industria textil en una PyME textil como caso de estudio.

La validación y aplicación de un cuestionario para diagnosticar el nivel de implementación de la metodología LSS en la industria PyME Textil de Ensenada, Baja California.

La expansión de este estudio a una región más amplia como Baja California o México.

Lista de abreviaciones

AMEF.- Análisis del modo y efecto de falla.

Anova.- Análisis de varianza (*Analysis of variance*).

CTQ.- Crítico para la calidad (*critical to quality*).

## 6 REFERENCIAS

- López, G., 2001. *Metodología Six Sigma: Calidad Industrial*. [Online] Available at: <http://www.mercadeo.com/archivos/six-sigma.pdf> [Accessed 13 Noviembre 2010].
- Céspedes, A., 1995. *Meta-Análisis*. La Habana: Instituto Superior de Medicina Militar “Dr. Luis Díaz Soto”. Caleb, M.-H. & Al-Refaie, A., 2008. Improving wooden part's quality by adopting DMAIC procedure. *Quality and Reliability Engineering International*, pp.351-60.
- Ladani, L. et al., 2006. Implementation of six sigma quality system in Celestica with practical examples. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.69-88.
- Chakrabarty, A. & Tan, K.C., 2007. A survey of Six Sigma Implementation in Singapore Service Industries. In *Proceedings of the 2007 IEEE IEEM*. Singapore, 2007. IEEE.
- Chakrabarty, T. & Tan, K., 2007. The current state of six sigma application in service. *Managing service quality*, pp.194-208.
- Chandler, A., 1962. *Strategy and structure: Chapters in the history of American enterprise*. Cambridge: M.I.T. Press.
- Chan, K. & Spedding, T., 2001. On-line optimization of quality in a manufacturing system. *International Journal of Production Research*, pp.1127-46.
- Carnell, M., 2003. Gathering customer feedback. *Quality progress*, pp.60-61.
- Larson, A., 2003. *Demystifying Six Sigma: A company wide approach to process improvement*. New York: American Management Association.
- Castellanos, R., 2008. *Pensamiento, Herramientas y acción del estratega*. [Online] La Habana Available at: [www.eumed.net/libros/2008a/345/](http://www.eumed.net/libros/2008a/345/).
- Catherwood, P., 2002. What's different about Six Sigma. *Manufacturing Engineer*, pp.186-89.
- Caulcutt, R., 2004. Black Belt types. *Quality and Reliability Engineering International*, pp.427-32.
- Lazarus, R. & Stamps, B., 202. The promise of six sigma. *Managed Healthcare Executive*, pp.27-30.

- Lee, H. & Choi, B., 2003. Knowledge Management Enablers, Processes, and Organizational Performance: An Integrative View and Empirical Examination. *Journal of Management Information Systems*, pp.179-228.
- Lee, K., 2002. *Success Factors of Six Sigma Implementation and the Impact on Operations Performance*. Cleveland: Cleveland State University.
- Lei, M. & Lomax, R., 2005. The effect of varying degrees of nonnormality in structural equation modeling. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, pp.1-27.
- Lin, L.-C., Li, T.-S. & Kiang, J., 2008. A continual improvement framework with integration of CMMI and Six Sigma model por auto undustry. *Quality and reliability engineering international*, pp.551-69.
- Linderman, K., Schroeder, R., Zaheer, S. & Choo, A., 2003. Six Sigma: A Goal-Theoretic Perspective. *Journal of Operations Management*, pp.193-203.
- Lipsey, M. & Wilson, D., 2001. *Practical Meta-analysis*. London: Sage Publications.
- Cohen, L. & Malion, L., 1990. *Metodos de Investigacion Educativa*. Madrid España: La Muralla.
- Lomax, R., 1989. *Covariance structure analysis: Extensions and developments*. Greenwich: Thompson.
- Cooley, W., 1978. Explanatory observational studies. *Educational researcher*, pp.9-15.
- Cooke-Davis, T., 2002. The real success factors on projects. *International Journal of Project Management*, pp.185-90.
- Cooper, N., 2003. Do teams and six sigma go together? *Quality progress*, pp.25-30.
- Cortina, J.M., 1997. Que es el Coeficiente de Cronbach? una Examinacion de Teorias y Aplicaciones. *Journal of Applied Psychology*, pp.98-104.
- Cozby, P.C., 2005. *Metodos de Investigacion del Comportamiento*. McGraw-Hill.
- Crago, M., 2000. Patient safety, six sigma & ISO 9000 quality management. *Quality Digest*.

Crom, S., 2000. Implementing Six Sigma in Europe: a cross-cultural perspective. *Quality Progress*, pp.73-75.

Cronbach, L.J., 1951. *Coefficient alpha and the internal structure of tests*.

Cronbach, L., 1971. Test Validation. In Thorndike, R. *Educational Measurement*. Washington, D.C.: American Council on Education. pp.443-507.

Chua, R., 2001. What you need to know about six sigma. *Productivity digest*.

Curkovic, S., Melnyk, S. & Calantone, R., 2000. Validating the Malcom Baldrige National Quality Award Framework through SEM. *International journal of production research*, pp.765-91.

Curran, P., West, S. & Finch, J., 1997. The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological methods*, pp.16-29.

Lyon, L., 2002. Meta-analysis: Method of Accumulating Results Across Research Domains. pp.1-17.

Áviles, S., 1995. Metanálisis si, metanálisis no. *Jornada científica CNICM*.

**Unsupported source type (ElectronicSource) for source Dia09.**

Al-Aomar, R. & Youssef, M., 2006. Achieving six sigma rating in a system simulation model. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.190-206.

Alderson, P., Green, S. & Higgins, J., 2004. *Cochrane Reviewers' Handbook 4.2.2*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, LTD.

Adam, S., 2008. Design process improvement through the DMAIC Six Sigma approach: a case study from the Middle East. *International Journal of six Sigma and Competitive Advantage*, pp.35-47.

Aghili, S., 2009. A Six Sigma Approach to Internal Audits. *Strategic Finance*, pp.38-43.

Ahire, S., Landeros, R. & Golhar, D., 1995. Total Quality Management: A Literature Review and an Agenda for future research. *Production and Operations Management*, pp.277-307.

Akaike, H., 1987. Factor Analysis and AIC. *Psychometrika*, pp.317-32.

American Society for Quality, 1996. *Glossary and Tables for Statistical Quality Control*. Milwaukee: Quality Press.

American Society for Quality, 2004. *ASQ organization*. [Online] Available at: <http://asq.org/sixsigma/blurry-six-sigma-vision.pdf> [Accessed 1 Noviembre 2011].

Anand, G., Ward, P. & Tatikonda, M., 2009. Role of Explicit and Tacit Knowledge in Six Sigma Projects:, An Empirical Examination of Differential Project Success. *Journal of Operations Management*.

Anawis, M., 2010. Six Sigma and the PC World. *ScientificComputing*, pp.22-24.

Anbari, F., 2002. Six sigma method and its applications in project management. In *Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars and Symposium*. San Antonio Texas, 2002. Project Management Institute.

Anderson, J., Rungtusanatham, M., Schroeder, R. & Devaraj, S., 1995. A path analytic model of theory of quality management underlying the Deming management method. *Decision Science*, pp.637-58.

Antony, J., 2004. Some pros and cons of six sigma: an academic perspective. *The TQM Magazine*, pp.303-06.

Antony, J., 2008. What is the Role of Academic Institutions for the Future Development of Six Sigma? *International Journal of Productivity and Performance Management*, pp.107-10.

Antony, J., Antony, F.J., Kumar, M. & Rae, B., 2007. Six Sigma in Service Organisations Benefits, Challenges and Difficulties, Common Myths, Empirical Observations and Success Factors. *International Journal of Quality & Reliability Management*, pp.294-311.

Antony, J. & Bañuelas, R., 2002. Key Ingredients for the Effective Implementation of Six Sigma Program. *Measuring Business Excellence*, pp.20-27.

Antony, J. & Desai, D.A., 2009. Assessing the Status of Six Sigma Implementation in the Indian Industry Results From an Exploratory Empirical Study. *Management Research News*, pp.413-23.

Antony, J., Kumar, M. & Labib, A., 2008. Gearing Six Sigma into UK Manufacturing SMEs: Results From a Pilot Study. *Journal of the Operational Research Society*, pp.482 -493.

Antony, J., Kumar, M. & Tiwari, M., 2005. An Application of Six Sigma Methodology to Reduce the Engine-Overheating Problem in an Automotive Company. *Engineering Manufacture* , pp.633-46.

Aragón, J., Senise, M. & Matías, F., 1998. ESTRATEGIA, ESTRUCTURA ORGANIZATIVA y DESEMPEÑO MEDIOAMBIENTAL: REPERCUSIONES DEL AJUSTE. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, pp.41-56.

Arenas, A., 2003. *Metodología de la Investigación*. Cholula, Puebla.

Avery, S., 2001. Linking supply chains saves Raytheon \$400 million. *Purchasing*, pp.27-34.

Black, K. & Robert, M., 2006. Essentials characteristics of six sigma black belt candidates: a study of US companies. *International Journal of six sigma and competitive advantage*, pp.301-12.

Bandalos, D., 1993. Factors influencing the cross-validation of confirmatory factor analysis models. *Multivariate behavioral research*, pp.351-74.

Barney, J., 1991. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, pp.99-120.

Barrada, C.A., 2003. Qué es en realidad Six sigma? *Gestión de Negocios*, pp.1-10.

Basu, R., 2004. Six-Sigma to Operational Excellence: Role of Tools and Techniques. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.44-64.

Basu, R. & Nevan, J., 2003. *Quality Beyond Six Sigma*. El sevier.

Bañuelas, R. & Antony, J., 2002. Critical Success Factors for the Successful Implementation of Six Sigma Projects in Organization. *The TQM Magazine*, pp.92-99.

Bañuelas, R. & Antony, J., 2003. Going from six sigma to design for six sigma: an exploratory study using analytic hierarchy process. *The TQM Magazine*, pp.334-44.

- Bañuelas, R. & Antony, J., 2004. Six sigma or Design for Six Sigma? *The TQM Magazine*, pp.250-63.
- Bañuelas, R., Antony, J. & Brace, M., 2005. An application of Six Sigma to reduce waste. *Quality and Reliability Engineering International*, pp.553-70.
- Bañuelas, R., Johnson, M., Virakul, T. & Antony, J., 2009. Assessing the Role of Six Sigma in a Supply chain: an Exploratory Study in the UK Manufacturing Organisations. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.380-97.
- Bendell, T., 2004. Managing Engineering Improvement by Six Sigma. In *International Engineering Management Conference.*, 2004.
- Benson, J. & El-Zahhar, N., 1994. Further refinement and validation of the revised test anxiety scale. *Structural equation modeling*, pp.203-21.
- Benson, J. et al., 1992. Cross-validation of a revised test anxiety scale using multi-national samples. In Hagtvet, K. *Advances in test anxiety research*. Lisse, Holanda: Swets y Zeitlinger. pp.62-83.
- Bentler, P., 1988. Causal modeling via structural equation systems. *International journal of research*.
- Bentler, P. & Bonett, D., 1980. Significance test and goodness of fit in the analysis of covariances structures. *Psychological Bulletin*, pp.588-606.
- Bollen, K. & Long, S., 1993. Introduction. In Bollen, K. & Long, S. *Testing Structural Equation Models*. Newbury Park, California: Sage Publications. pp.1-9.
- Bollen, K. & Curran, P., 2006. *Latent Curve Models. A structural equation perspective*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J. & Rothstein, H., 2009. *Introduction to Meta-Analysis*. Wiltshire: Wiley.
- Bowen, N. & Guo, S., 2012. *Structural Equation Modeling*. New York, NY.: Oxford University Press.

- Box, G.E.P., Hunter, W.G. & Hunter, J.S., 1978. *Statistics for Experimenters, An introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*. John Wiley and Sons.
- Brady, J.E. & Allen, T.T., 2006. Six Sigma Literature: A Review and Agenda for future research. *Quality and Reliability Engineering International*, pp.335-67.
- Breyfogle, F., 2003. *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. New York: Wiley.
- Briones, G., 1996. Metodología de la investigación Constructos Variables e Hipotesis. *UNIMINUTO. INVESTIGACIÓN. COMUNICACIÓN GRÁFICA*, pp.1-3.
- Browne, M. & Cudek, R., 1989. Single sample cross-validation indices for covariances structures. *Multivariate behavioral research*, pp.445-55.
- Brussee, W., 2004. *Statistics for six sigma made easy*. New York: McGraw Hill.
- Bryers, L., 1987. *Strategic Management*. New York: Harper and Row.
- Buen Día, L..C.P.y.H.F., 1998. *Metodos de Investigacion en Psicopedagogia*. Mcgraw-Hill.
- Bunce, M., Wang, L. & Bidanda, B., 2008. Leveraging Six Sigma with industrial engineering tools in crateless retort production. *International journalr of production research*, pp.6701-19.
- Burge, R., 2008. Reducing resistance to six sigma projects. *Industrial Engineer*, pp.35-39.
- Burgess, G., 2009. Continuous improvement. *Industry week*, pp.36-37.
- Burnes, B., 1992. *Managing Change: A Strategic Approach to Organisational Development and Renewal*. London: Pitman Publishing.
- Byrne, G., 2003. Ensuring optimal success with six sigma implementations. *Journal of Organizacional Excellence*, pp.43-50.
- Byrne, B., 2010. *Structural Equation Modeling with AMOS*. New York, NY: Routledge.
- Dale, B., 2006. *An empirical investigation of factors promoting knowledge management system success*. Texas Tech University.

- Dale, B. & McQuater, R., 1998. *Managing business improvement and quality*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Dasgupta, T., 2003. Using the six sigma metric to measure and improve the performance of a supply chain. *Total quality management and business excellence*, pp.355-66.
- DeCoster, J., 2004. *Meta-analysis notes*. Tuscaloosa, Al.: The University of Alabama.
- De Feo, J., 2002. Creating strategic change more efficiently with a new Design For Six Sigma Process. *Journal of Change Management*, pp.60-81.
- De Feo, J., 2002. Creating strategic change more efficiently with a new Design For Six Sigma Process. *J. of Change Management*, pp.60-81.
- De Feo, R. & Barnard, W., 2004. *Juran Institute's Six-Sigma Breakthrough and Beyond Quality Performance Breakthrough Methods*. New York: McGraw-Hill.
- De Vore, K., 2008. A Six Sigma approach to stability testing. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, pp.413-21.
- Deninson, D. & Spreitzer, G., 1991. Organizational culture and organizational development. *Research in Organizational Change and Development*, pp.1-22.
- Deshmukh, S.V. & Lakhe, R.R., 2009. An Innovative Model of Six Sigma for SMEs: the T-DMAIC Model. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.187-203.
- Detert, J., Schroeder, R. & Muriel, J., 2000. A framework for linking culture and improvement initiatives in organizations. *Academy of Management Review*, pp.850-63.
- Devellis, R.F., 2005. *Scale Development Theory and Applications*. Sage Publications.
- Dirgo, R., 2005. *Look forward: beyond lean and six sigma*. Boca Raton, Fl.: J. Ross Publishing.
- Doble, M., 2005. Six sigma and chemical process safety. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.229-44.
- Eckes, G., 2000. *The six sigma revolution*. New York: John Wiley and Sons.

- Eckes, G., 2001. *Making six sigma last*. New York: John Wiley and sons.
- Eckes, G., 2003. *Six sigma for everyone*. Hoboken, New Jersey: Grupo editorial Norma.
- Ehie, I. & Sheu, C., 2005. Integrating Six Sigma and Theory Of Constraints for continuous. *Journal of Manufacturing Technology Management*, pp.542-53.
- Eisenberger, R., R., H., S., H. & Sowa, D., 1986. Perceived organizational support. *Journal of applied psychology*, pp.500-07.
- Flynn, B., Schroeder, R. & Sakakibara, S., 1995. The impact of quality management practices on performance and competitive advantage. *Decision Sciences*, pp.659-92.
- Fan, X. & Wang, L., 1998. Effects of potential confounding factors on fit indices and parameter estimates for true and misspecified models. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, pp.701-35.
- Fermín Gómez Fraile, J.F.V.B.M.T.M., 2006. *Six Sigma*. Fc Ediciones.
- Fernandez, V., 2004. *Relaciones encontradas entre las dimensiones de las estructuras organizativas y los componentes del constructo "capacidad de absorción": El caso de las empresas ubicadas en el territorio español*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Frings, G. & Grant, L., 2005. Who moved my sigma.effective implementation of the six sigma methodology to hospitals. *Quality Engineering International*, pp.311-28.
- Fundin, A. & Cronemyr, P., 2003. Use customer feedback to choose six sigma projects. *ASQ six sigma forum magazine*, pp.17-21.
- Glass, E., 1976. *Primary, secondary and Meta-analysis of research*. Educational Researcher.
- Gadea, A., 2005. *Factores que facilitan el éxito y la continuidad de los equipo de mejora de las empresas industriales*. Tesis. Barcelona: UPC Universidad Politécnica de Cataluña.
- Gamero, N., 2008. *El clima afectivo en equipos de trabajo: antecedentes y consecuencias*. Valencia: Universitat de València.

- George, M., Rowlands, D. & Kastle, B., 2004. *What is lean six sigma?* New York: McGraw-Hill.
- Gillett, J., Fink, R. & Bevington, N., 2010. How Caterpillar uses 6 sigma to execute strategy. *Strategic Finance*, pp.26-28.
- Gibbons, P.M., 2006. Improving overall equipment efficiency using a Lean Six Sigma approach. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.207-32.
- Ginny, F. & Grant, L., 2005. Who moved my sigma.effective implementation of the six sigma methodology to hospitals. *Quality and Reliability engineering International*, pp.311-28.
- Goldstein, M., 2001. Six Sigma Program Success Factors. *Six SigmaForum Magazine*, pp.36-45.
- Goh, T.N., 2002. The Role of Statistical Design of Experiments in Six Sigma: Perspectives of a Practitioner. *Quality Engineering*, pp.659-71.
- Goh, T., 2002. A strategic assessment of six sigma. *Quality and reliability engineering*, pp.403-10.
- Goh, T., Tang, L.-C. & Lam, S.-W., 2006. Six Sigma: a SWOT analysis. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.233-42.
- González, C., 2005. La metodología six sigma. In Equipo, A.M.d.T.e. *Trabajo en equipo, el caso mexicano*. Ciudad de México: Panorama. pp.69-80.
- Gordon, M., 2002. *Six sigma quality for business and manufacture*. Amsterdam: Elsevier.
- Gowen, C., 2002. How to Implement Six Sigma For Maximum Benefit. *Six sigma forum*, pp.27-31.
- Gray, J. & Anantatmula, V., 2009. Managing six sigma projects through the integration of six sigma project management process. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.127-43.
- Green, F., 2006. Six Sigma and the green belt perspective: a study in five companies. *International Journal of six sigma and competitive advantage*, pp.291-300.

Green, F., Barbee, J., Cox, S. & Rowlett, C., 2006. Green belt six sigma at a small company. *International Journal of six sigma and competitive advantage*, pp.179-89.

Guidon, 2011. *Industry News*. [Online] Available at: <http://www.guidonps.com/industry-news/intel-to-incorporate-lean-six-sigma-into-financial-management-streamlining-efforts/> [Accessed 30 November 2011].

Gutiérrez, H. & De la Vara, R., 2004. *Control estadístico de calidad y Six sigma*. Ciudad de México: McGraw-Hill.

Hahn, G.J., 2005. Six Sigma: 20 Key Lessons Learned. *Quality and Reliability Engineering International*, pp.225-33.

Hahn, G.J., Doganaksoy, N. & Stanard, C., 2001. Statistical tools for Six Sigma. *Quality Progress*, pp.78-82.

Hahn, G., Hill, W., Hoerl, R. & Zinkgraf, S., 1999. The Impact of Six Sigma Improvement, a Glimpse into the future of statistics. *The American Statistician*, pp.208-15.

Hahn, G. & Hoerl, R., 1998. Key Challenges for Statisticians in business and industry. *Quality Progress*, pp.195-200.

Hammer, M., 2002. Process management and the future of Six Sigma. *MIT Sloan Management*, pp.122-32.

Hare, L., 2005. Linking statistical thinking to six sigma. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.389-402.

Harrington, D., 2009. *Confirmatory factor analysis*. New York: Oxford University Press.

Harrold, D., 1999. Designing for six sigma capability. *Control Engineering*.

Harry, M., 1998. A Breakthrough strategy for profitability. *Quality Progress*, pp.60-62.

Harry, M., 2000. Six Sigma leads enterprises to coordinate efforts. *Quality Progress*, pp.70-73.

Harry, M., 2000. Six sigma focyses on improvement rates. *Quality Progress*, pp.76-80.

- Harry, M. & Schroeder, R., 1999. *Six sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations*. Reed Business Information.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C. & Baptista Lucio, P., 1997. *Metodologia de la Investigacion*. Mcgraw-Hill.
- Hernandez, R., Fernandez, C. & Baptista, P., 1997. *Metodologia de la Investigacion*. Mcgraw-Hill.
- Heuvel, J., Does, R. & Vermaat, M., 2004. Six sigma in a Dutch hospital: does it work in the nursing departament? *Quality and Reliability Engineering International*, pp.419-26.
- Hilton, R., Balla, M. & Sohal, A.S., 2008. Factors critical to the success of a Six-Sigma quality program in an Australian hospital. *Total Quality Management & Business Excellence*, pp.887-902.
- Ho, Y.-C., Chang, O.-C. & Wang, W.-B., 2008. An empirical study of key success factors for Six Sigma Green Belt projects at an Asian MRO company. *Journal of Air Transport Management*, pp.263-69.
- Hoelter, J.W., 1983. The Analysis of Covariance Structures. *Sociological Methods & Research*, pp.325-44.
- Hoerl, R., 2001. Six Sigma Black Belts: What Do They Need to Know? *Journal of Quality Technology*, pp.391-406.
- Hoerl, R., 2004. One perspective on the future of Six-Sigma. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.112-19.
- Hoerl, R., Rodebaugh, W. & Snee, R., 2004. Six Sigma and statistical leadership. In *Annual Quality Congress Proceedings*. Milwaukee, 2004. Annual Quality Congress Proceedings.
- Hogan, T., 2004. *Pruebas Psicologicas*.
- Hong, G. & Goh, T., 2004. A comparison of Six-Sigma and GQM approaches in software development. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.65-75.
- Hox, J.L., 2003. Multilevel models for meta-analysis. In Reise, S. & Duan, N. *Multilevel modeling. Methodological advances, issues and applications*. Mahwah: Lawrence Erlbaum. pp.90-111.

- Ho, S., Xie, M. & Goh, T., 2006. Adopting six sigma in higher education: some issues and challenges. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.335-52.
- Hoyle, R., 1995. *Structural Equation Modeling: concepts, issues and applications*. Thousand Oaks, California: SAGE publications.
- Hu, M., Bart, B. & Sears, R., 2005. Leveraging six sigma disciplines to drive improvement. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.121-33.
- Hu, M., Bart, B. & Sears, R., 2005. Leveraging six sigma disciplines to drive improvement. *Int. J. of six sigma and competitive adv.*, pp.121-33.
- Hwang, Y., 2006. The practices of integrating manufacturing execution system and six sigma methodology. *International Journal of advanced manufacturing technology*, pp.761-68.
- INEGI, 2005. *Información estadística*. [Online] Available at: [www.cuentame.inegi.org.mx](http://www.cuentame.inegi.org.mx) [Accessed 11 enero 2012].
- INEGI, 2011. *Banco de información económica*. Distrito Federal: [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx).
- Ingle, S. & Roe, W., 2001. Six Sigma Black Belt Implementation. *The TQM Magazine*, pp.273-80.
- Iwaarden, J.V. et al., 2008. The Six Sigma Improvement Approach: a Transnational Comparison. *International Journal of Production Research*, pp.6739-58.
- J., B. & Bandalos, D., 1992. Second-order confirmatory factor analysis of the reactions to test's scale with cross-validation. *Multivariate behavioral research*, pp.459-87.
- Jöreskog, K., 1993. Testing structural equation models. In Bolle, K. & Long, S. *Testing Structural Equation Models*. Newbury Park, California: Sage. pp.294-316.
- Jöreskog, K. & Sörbom, D., 1993. *Lisrel 8: Structural equation modeling with the Simplis command language*. Chicago: Scientific Software International.
- Johnson, A., 2002. Six sigma in R&D. *Research Technology Management*, pp.12-16.

- Johnson, J.A. & Gitlow, H., 2006. Design New Housing at the University of Miami: A Six Sigma DMADV-DFSS Case Study. *Quality Engineering*, pp.299-323.
- Johnson, A. & Swisher, B., 2003. How six sigma improves R&D. *Research Technology Management*, pp.12-15.
- Johnson, J.A., Widener, S., Gitlow, H. & Popovic, E., 2006. A "Six Sigma" Black Belt Case Study: G.E.P. Box's Paper Helicopter. *Quality Engineering*, pp.413-30.
- Jones, E.C., Mellat, M. & Adams, S.G., 2010. A Framework for Effective Six Sigma Implementation. *Total Quality Management*, pp.415-24.
- Joseph C. Chen, Y.L.y.R.A.C., 2008. Taguchi-based Six Sigma approach to optimize plasma cutting process: an industrial case study. *Int J Adv Manuf Technol* , pp.760-69.
- Juran, I., 2008. *manual de Black Belt*. six sigma world best.
- Klefsjö, B., Bergquist, B. & Edgeman, R., 2006. Six Sigma and Total Quality Management: different. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.162-78.
- Kleinbaum, D., Kupper, L., Nizam & Muller, K., 2008. *Applied regression analysis and other multivariable methods*. Belmont, California.: Thomson.
- Kline, R., 2005. *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: The Guilford Press.
- Kline, R., 2011. *Principles and practices of Structural Equation Modeling*. New York: The Guilford Press.
- Kanani, Y., 2006. Study and Analysis of Control Phase Role for Increasing the success of Six Sigma Projects. In *International Conference on Management of Innovation and Technology.*, 2006. IEEE.
- Kanji, G., 2008. Reality check of Six Sigma for Business Excellence. *Total quality management*, pp.575-82.

Kaplan, D., 2009. *Structural Equation Modeling, foundations and extensions*. Thousand Oaks, California: SAGE publications.

Kaplan, R. & Norton, D., 1992. The balanced scorecard, measures that drive performance. *Harvard Business Review*, p.71.

Kapur, K. & Feng, Q., 2005. Integrated optimisation models and strategies for the improvement of the six sigma process. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.210-28.

Katzenbach, J. & Smith, D., 1993. The dicipline of teams. *Harvard Business Review*.

Kaushik, P., Grewal, C., Bilga, P. & Khanduja, D., 2008. Utilising Six Sigma for energy conservation: a process industry case study. *International Journal of six Sigma and Competitive Advantage*, pp.18-34.

Kaynak, H., 2003. The relationship between total quality management practices and their effects on firm performance. *Journal of operations management*, pp.1-31.

Kerlinger, F., 1975. *Investigacion del Comportamiento: Tecnicas y Metodologia*.

Koning, H. & Mast, J., 2005. Grounding of six sigma's breakthrough cookbook to research a methodology? *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.263-75.

Kovach, J. & Cho, B., 2006. A D-optimal approach to robust design under constraints: a new design for six sigma tool. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.389-403.

Kubiak, T., 2003. An integrated approach system. *Quality Progress*, pp.41-45.

Kuei, C. & Madu, C., 2003. Customer-centric Six Sigma quality and reliability management. *The International Journal of Quality and Reliability Management*, pp.954-64.

Kumar, M., 2007. Critical success factors and hurdles to Six Sigma implementation: the case of a UK manufacturing SME. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.333-51.

Kumar, M. & Antony, J., 2008. Comparing the Quality Management Practices in UK SMEs. *Industrial Management & Data Systems*, pp.1153-66.

- Kumar, M. & Antony, J., 2009. Multiple Case-Study Analysis of Quality Management Practices Within UK Six Sigma and Non-Six Sigma Manufacturing Small- and Medium-Sized Enterprises. *Engineering Manufacture*, pp.925-34.
- Kumar, M., Antony, J., Antony, F.J. & Madu, C.N., 2006. Winning Customer Loyalty in an Automotive Company through Six Sigma: a Case Study. *Quality and Reliability Engineering International*, pp.849-66.
- Kumar, M. et al., 2008. Common Myths of Six Sigma Demystified. *International Journal of Quality & Reliability Management*, pp.878-95.
- Kumar, S. & Michael, S., 2008. International Journal of Productivity and Performance Management. *REFLECTIVE PRACTICE Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs*, pp.254-73.
- Kumar, S., Wolfe, A.D. & Wolfe, K.A., 2008. Using Six Sigma DMAIC to Improve Credit initiation Process in a Financial Services Operation. *International Journal of Productivity and Performance Management*, pp.659-76.
- Kwak, Y. & Anbari, F., 2006. Benefits, Obstacles, and Future of Six Sigma Approach. *Technovation*, pp.708-15.
- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L. & Gupta, P., 2005. *The Black belt handbook*. Schaumburg: McGraw-Hill.
- McAdam, R. & Lafferty, B., 2004. A multilevel case study critique of six sigma; statistical control or strategic change? *International journal of operations and production management*, pp.530-49.
- McAdam, R. & Evans, A., 2004. The Organisational Contextual Factors Affecting the Implementation of Six-Sigma in a High Technology Mass-Manufacturing Environment. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.29-43.
- McManus, 2008. So long Six Sigma? *Industrial Engineer*, p.18.

- McQuater, R., Dale, B., Wilcox, M. & Booden, R., 1994. The effectiveness of quality management techniques and tools in the continuous improvement process. In *Proceedings of Factory 2000.*, 1994. IEE.
- Malhotra, N.K., 1997. *Investigacion de Mercados. Un Enfoque Practico*. Mexico D.F: Prentice-Hall Hispanoamerica.
- Ma, H., 1999. Creation and preemption for competitive advantage. *Management Decision*, pp.256-66.
- Mahanti, R. & Antony, J., 2009. Six Sigma in the Indian software industry: some observation and results from a pilot survey. *The TQM Journal*, pp.549-64.
- Manso, M.E., Cruz-Lemus, J., Genero, M. & Piattini, M., 2008. *Uso de meta-análisis para integrar resultados experimentales*. Valladolid: Acta de taller de jornadas de ingeniería del software y bases de datos.
- Mendoza, J., 2005. Six sigmas: hacia la cumbre de la calidad. *Pensamiento y gestión*, pp.101-17.
- Miles, R. & Snow, C., 1978. *Organizational Strategy, Structure and Process*. New York: McGraw Hill.
- Mohammad, J.J., Shafieezadeh, M. & Ali, M., 2008. Using Knowledge Management in DMAIC Methodology of Six Sigma Projects. In *Proceedings of the 2008 1st International Conference on Information Technology*. Gdansk, Poland, 2008. IEEE.
- Mulaik, S., 2009. *Linear causal modeling with structural equations*. Boca Raton, Florida: Chapman and Hall.
- Mulrow, C., 2004. *Rationale for Systematic Reviews*. BMJ.
- Nabhani, F. & Shokri, A., 2009. Reducing the Delivery Lead Time in a Food Distribution SME Through the Implementation of Six Sigma Methodology. *Journal of Manufacturing Technology Management*, pp.957-74.
- Nakhai, B. & Neves, J.S., 2009. The Challenges of Six Sigma in Improving Service Quality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, pp.663-84.

- Neuscheler-Fritsch, D. & Norris, R., 2001. Capturing financial benefits from Six Sigma. *Quality Progress*, pp.39-45.
- Nonthaleerak, P. & Hendry, L., 2006. Six Sigma: literature review and key future research. *International Journal of six sigma and competitive advantage*, pp.105-61.
- Nonthaleerak, P. & Hendry, L., 2008. Exploring the Six sigma Phenomenon Using Multiple Case Study Evidence. *International Journal of Operations & Production Management*, pp.279-303.
- Plecko, A., Vujica, H. & Polajnar, A., 2009. An application of six sigma in manufacturing company. *Advances in production engineering & management*, pp.243-54.
- Pande, P. & Holpp, L., 2002. *What is six sigma?* new york: Mc Graw Hill.
- Pande, P., Neuman, R. & Cavanagh, R., 2000. *The six sigma way: How GE, Motorola and other top companies are honing their performance*. New York: McGraw-Hill.
- Pantano, V., O'Kane, P. & K., S., 2006. Management of Innovation and Technology. *Cluster Based six sigma deployment in small and medium sized enterprises*, pp.788-92.
- Pearson, T., 2000. Six Sigma and the knowledge revolution. In *Annual Quality Congress*. Milwaukee, 2000. Annual Quality Congress.
- Perry, L. & Barker, N.B., 2006. Six Sigma in the service sector: a focus on non-normal data. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.313-33.
- Pickrell, G., Lyons, H. & Shaver, J., 2005. Lean six sigma implementation case studies. *International Journal of six sigma and competitive advantage*, pp.369-79.
- Pollock, S., 2010. Bringing the personal touch to training and cultural change case study. *The journal for quality & participation*, pp.34-37.
- Porter, M., 1985. *Competitive advantage*. New York: The free press.
- Primitivo, R.A., 2002. Manufactura Delgada y Six Sigma en empresas Mexicanas: Experiencias y Reflexiones. *Revista de Contaduría y Administración*, pp.51-69.

Pyzdek, T., 2003. *Six Sigma Handbook Revised and Expanded*. New York: Mc Graw Hill.

Pyzdek, T., 2003. *The Six sigma Project Planner*. Mc Graw Hill.

Pyzdek, T., 2004. Strategy deployment using balanced scorecards. *International Journal of six sigma and competitive advantage*, pp.21-28.

Pzydek, T., 2003. *The Six Sigma Handbook*. New York: Mc Graw Hill.

Quero Virla, M., 2010. Confiabilidad y Coeficiente Alpha de Cronbach. *Telos*, pp.248-52.

R., S. & C., V., 2002. Quality Management re-visited: A Reflective Review and Agenda for future Research. *Journal of Operations Management*, pp.91-109.

Rajamanoharan, I. & Collier, P., 2006. Six Sigma implementation, organisational change and the impact on performance measurement systems. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.48-68.

Randall, S., Bennett, N. & Liden, R., 1996. Social exchange in organizations: perceived organizational support, leader-member exchange and employee reciprocity. *Journal of applied psychology*, pp.219-27.

Rao, P., Bajpai, L. & Verma, P., 2009. Six Sigma and its implementation in medium/small sized organizations - a case study. *International Journal of Six Sigma and competitive advantage*, pp.325-39.

Reed, M., 2000. Six sigma eavesdropping on the net! *Quality Australia*.

Reise, S. & Naihua, D., 2003. *Multilevel Modeling, methodological advances, issues and applications*. Mahwah, Nj.: Lawrence Erlbaum Associates.

ReVelle, J., 2004. Continuous improvement six sigma. *Professional safety*, pp.38-46.

Reyes, P., 2002. Manufactura Delgada (Lean) y Six Sigma en empresas: experiencias y reflexiones. *Contaduria y Administración*, pp.51-69.

- Ricondo, I. & Viles, E., 2005. Six sigma and its link to TQM, BPR, lean and the learning organization. *International Journal of six sigma and competitive advantage*, pp.323-54.
- Rockart, J., 1979. Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review*, pp.238-41.
- Rodriguez, A., 2008. *A frameork to align strategy, improvement performance and customer satisfaction using an integration of six sigma and balanced scorecard*. Orlando, Florida: University of Central Florida.
- Schön, K., 2006. Six sigma in a non-American culture. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.404-28.
- Schumacker, R. & Lomax, R., 2010. *A beginners guide to Structural Equation Modeling*. New York: Routledge.
- Sacks, H. et al., 1987. Meta-analyses of randomized controlled trials. *The New England journal of medicine*, pp.450-55.
- Sadagopan, P., Devadasan, S. & Goyal, S., 2005. Three six sigma transitions and organizational preparedness exercise. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.134-50.
- Sanchez, B., Budtz, E., Ryan, L. & Hu, H., 2005. Structural Equation Models: A review with applications to environmental epidemiology. *Journal of the American Statistical Association*, pp.1443-55.
- Sandholm, L. & Sorqvist, L., 2002. 12 Requirements for six sigma success. *Six sigma forum magazine*, pp.17-22.
- Sarabia, F., 1999. *Metodología para la investigación en marketing y dirección de empresas*. Madrid: Ediciones Pirámide.
- Sarkar, B.N., 2007. Capability Enhancement of a Metal Casting Process in a Small Steel Foundry Through Six Sigma: a Case Study. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.56-71.

Sarkar, B.N., 2007. Designing Sustainable Strategies for Continuous Improvement Deployment Programme: Lessons from a Steel plant in India. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.352-74.

SEDECO, 2009. *Directorio de maquiladoras 2009*. [Online] Available at: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/sedeco/estadisticas/directorios/maquiladoras2009Ensenada.pdf> [Accessed 8 enero 2012].

Shahin, A., 2008. Companies, Design for Six Sigma (DFSS): Lessons Learned From World-Class. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.48-59.

Sharma, U., 2003. Implementing Lean Principles With The Six Sigma Advantage: How a Battery Company Realized Significant Improvements. *JOURNAL OF ORGANIZATIONAL EXCELLENCE*, pp.43-52.

Shenawy, E., Baker, T. & Lemak, D., 2007. A Meta-analysis of the Effect of TQM on Competitive Advantage. *International Journal of Quality and Reliability Management*, pp.442-71.

Shenhar, A., Levy, O. & Dvir, D., 1997. Mapping the dimensions of project success. *Project Management Journal*, pp.5-13.

Shingo, S., 1989. *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering viewpoint*. Portland: Productivity Inc.

Skrondal, A. & Rabe-Hesketh, S., 2004. *Generalized latent variable modeling, multilevel, longitudinal, and structural equation models*. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC.

Smith, L., 2001. Six sigma and the evolution of quality in product development. *Six sigma forum magazine*, pp.28-35.

Smith, L. & Phadke, M., 2005. Some thoughts about problem solving in a DMAIC framework. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.151-66.

Snee, R., 1999. Why should statisticians pay attention to six sigma? *Quality Progress*, pp.100-03.

Snee, R., 2004. Six Sigma: the Evolution of 100 Years of Business Improvement Methodology. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.4-20.

Snee, R., 2010. Lean six sigma getting better all the time. *International journal of lean six sigma*, pp.9-29.

Snee, R. & Hoerl, R., 2007. Integrating lean and Six Sigma a holistic approach. *Six sigma forum magazine*, pp.15-21.

Stock, G., 2002. Taking performance to a higher level. *Six Sigma Forum Magazine*, pp.23-26.

Su, C.-T., Chiang, T.-L. & Chnag, C.-M., 2006. Improving service quality by captalising on an integrated Lean six Sigma methodology. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.1-22.

Su-Hu, Y., 1995. The international Transferability of the firms advantages. *California Management Review*, pp.73-88.

Szeto, A. & Tsang, A., 2005. Antecedents to successful implementation of six sigma. *International Journal of six sigma and competitive advantage*, pp.307-22.

Tang, L., Goh, T., Lam, S. & Zhang, C., 2007. Fortification of Six Sigma: Expanding the DMAIC Toolset. *Quality and Reliability Engineering International*, pp.3-18.

Tang, L., Goh, T., Yam, H. & Yoap, T., 2006. *Six Sigma: Advanced Tools for Black Belts and Master Black Belts*. John Wiley & Sons.

Tapia, M.A., 2000. *Metodologia de la Investigacion*. [Online] Available at: <http://www.angelfire.com/emo/tomaustin/Met/metinacap.htm>.

Thawani, S., 2004. Six Sigma: strategy for organizational excellence. *Total Quality Management*, pp.655-64.

Thompson, B., 2003. *Score reliability: contemporary thinking on reliability issues*. Thousand Oaks, California: SAGE.

Tkáč, M. & Lyócsa, Š., 2009. On the Evaluation of Six Sigma Projects. *Qual. Reliab. Engng. Int.*

Tobias, P., 1991. A Six Sigma Program Implementation. In *IEEE 1991 Custom Integrated Circuits Conference*, 1991. IEEE.

Trompenaars, F., 1993. *Riding the waves of culture: Understanding Cultural diversity in Business*. New York: McGraw Hill.

Ugboro, I. & Obeng, K., 2000. Top management leadership, employee empowerment, job satisfaction and customer satisfaction in TQM organization. *Journal of quality management*, pp.247-72.

Vázquez, R., 2007. *Identificación de los factores de mayor influencia en la práctica exitosa de Kaizen*. Ciudad Juárez: Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.

Valles, A., Sanchez, J., Noriega, S. & Gómez, B., 2009. Implementation of Six Sigma in a Manufacturing Process: A Case Study. *The International Journal of Industrial Engineering*, pp.171-81.

Van Den Hauvel, J., Does, R. & Koning, H., 2006. Lean Six Sigma in a hospital. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.377-88.

Voelkel, J., 2002. Six sigma: something's missing. *Quality Progress*, pp.98-101.

Wang, H., 2008. A Review of Six Sigma Approach: Methodology, Implementation and Future Research., 2008. IEEE.

Wang, F., Du, T. & Li, E., 2004. Applying six sigma to supplier development. *Total quality management and business excellence*, pp.1217-29.

Ward, S., Poling, S. & Clipp, P., 2008. Selecting Successful Six Sigma Projects. *Quality Managament*, pp.50-51.

Wasik, J. & Ryan, B., 1993. *TQL in the Fleet: from Theory to Practice*. Arlington, VA: TQLO Publication.

Welch, J. & Byrne, J., 2001. *Jack -Straight from the Gut*. New York: Warner Books.

Williams, L. & Holahan, P., 1994. Parsimony-based fit indices of multiple indicator models: Do they work? *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, pp.161-89.

- Wright, N. & Basu, R., 2008. Project management and six sigma: obtaining a fit. *International Journal of six Sigma and Competitive Advantage*, pp.81-94.
- Wyper, B. & Harrison, A., 2000. Development of six sigma methodology in human resource function: a case study. *Total quality management*, pp.720-27.
- Yam, H.S.Y.T., 2006. Six Sigma: Past, Present and Future. In Yam, H.S. & Yoap, T. *Six Sigma: Advanced Tools for Black Belt and Master Black Belt*. John Wiley and Sons. pp.2-17.
- Yang, C., 2004. An integrated model of TQM and GE-Six-Sigma. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.97-111.
- Yang, K., 2004. Multivariate statistical methods and Six Sigma. *International journal of six sigma and competitive advantage*, pp.76-96.
- Yang, T. & Hsieh, C.-H., 2009. Six-Sigma project selection using national quality award criteria and Delphi fuzzy multiple criteria decision-making method. *Experts Systems with Applications*, pp.7594-603.
- Yang, K.-J., Yeh, T.-M. & Yang, C.-C., 2008. The analysis of the implementation status of six sigma: an empirical study in Taiwan. *International Journal of six Sigma and Competitive Advantage*, pp.60-80.
- Yeung, V.W.S., 2007. Six Sigma paradigm shift. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.317-32.
- Zhan, W., 2008. A Six Sigma Approach for the Robust Design of Motor Speed Control Using Modelling and Simulation. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, pp.95-113.
- Zhao, X., 2005. Integrated Triz and Six Sigma Theories for service/Process Innovation. In *IEEE*, 2005. IEEE.
- Zu, X., Robbins, T. & Lawrence, F., 2009. Mapping the critical links between organizational culture and TQM/Six Sigma practices. *International J. Production Economics*, pp.1-2