



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

“ESTUDIO TÉCNICO PARA LA APLICACIÓN DE LA  
METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE UNA VARILLA DE LA  
ESTRUCTURA DE APOYO ASS-VERT”

**T E S I S :**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
**ÁREA INDUSTRIAL.**

**P R E S E N T A :**

**GALLEGOS LÓPEZ MARCO ANTONIO**

ASESOR: ING. MOISÉS CERVANTES PATIÑO

MÉXICO 2010





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ÍNDICE

	PÁGINA
INDICE	i
AGRADECIMIENTOS	iv
OBJETIVO	vi
INTRODUCCIÓN	vii
CAPITULO 1, RESEÑA DE LA INDUSRIA METAL-MECÁNICA (HIERRO Y ACERO)	1
1.1 Industria manufacturera en México	2
1.2 Industria metal-mecánica	4
1.2.1 Procesos de manufactura en la industria metal-mecánica	4
1.3 Calidad de las industrias manufactureras	7
CAPITULO 2, FUNDAMENTOS DE SEIS SIGMA.	11
2.1 Metrología dimensional	12
2.2 Control estadístico, variabilidad y pensamiento estadístico.	14
2.2.1 Conceptos relativos al control de calidad.	14
2.2.2 Variabilidad	15
2.2.3 Pensamiento estadístico	16
2.3 Historia de Seis Sigma	17
2.4 ¿Qué es Seis Sigma?	18



CAPITULO 3 METODOLOGÍA SEIS SIGMA: DEFINIR, MEDIR, ANALIZAR, MEJORAR Y CONTROLAR (DMAIC)	22
3.1 Metodología DMAIC	23
3.2 Desarrollo de la metodología DMAIC	25
3.2.1 Etapa previa	25
3.2.1.1 Identificar las oportunidades del negocio.	26
3.2.1.2 Beneficios y definición de métricos	29
3.2.2 Aplicación del proyecto en la etapa previa	32
3.2.2.1 Alcances	32
3.2.2.2 Desarrollo	32
3.3 Etapa de definición	35
3.3.1 Herramientas en la etapa de definición	35
3.3.2 Definición del problema y charter del proyecto	39
3.3.3 Aplicación en el proyecto de la etapa de definición	40
3.4 Etapa de medición	47
3.4.1 Herramientas utilizadas en la etapa de medición	50
3.4.1.1 Gráficas de control	52
3.4.1.2 Capacidad del proceso	57
3.4.1.3 Estimación de los índices de capacidad mediante una muestra	63
3.4.1.4 Rendimiento de un proceso (YIELD)	75
3.4.2 Aplicación en el proyecto de la etapa de medición	76
3.5 Etapa de análisis	80
3.5.1 Herramientas utilizadas en la etapa de análisis	80
3.6. Etapa de mejora	84
3.6.1 Herramientas utilizadas en la etapa de mejora	84
3.7 Etapa de control	87
3.7.1 Herramientas utilizadas en la etapa de control	89
3.8 Resultados preliminares	97



**CAPITULO 4, PROPUESTA DE APLICACIÓN, FACTIBILIDAD DEL CASO PRÁCTICO 99**

4.1 Descripción de la planta	101
4.1.1 Resumen de sus operaciones	101
4.2 Capacidad de producción	102
4.3 Recopilación de datos, proyecto piloto Seis Sigma	102
4.4 Estudio técnico y cotejo de resultados	104
4.5 Análisis de factibilidad técnica para la implementación en la totalidad de la planta.	108
4.6 El despliegue de Seis Sigma en PyME's	110
CONCLUSIONES	112
ANEXOS	113
APENDICE	118
VOCABULARIO	121
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	123
RESUMEN DE TABLAS Y CUADROS	125



*A DIOS Y A MI FAMILIA  
QUE SIEMPRE ESTUVIERON A MI LADO  
EN TODO MOMENTO.*



## AGRADECIMIENTOS

El más sincero agradecimiento a mi director de tesis Ing. Moisés Cervantes Patiño y el apoyo del Ing. Juan Germán Valenzuela Ramos por su firme apoyo en la redacción de esta tesis.

Al Ing. Carlos A. Peñalosa, Gerente General de Fresados y Maquinados, S.A. por su apoyo para realizar las estancia y obtener los datos dentro de la empresa.

A los miembros de Fresados y Maquinados, S.A., ingenieros, empleados y becarios que colaboraron conmigo en el mapeo del proceso, reportes de tiempos y aun más importante, su confianza.

A mis profesores, compañeros y amigos que me facilitaron material didáctico, resolvieron mis dudas y estuvieron acompañándome en el transcurso del proyecto.

Al COMECYT, por el apoyo económico para realizar esta tesis.

Y un especial agradecimiento a mi familia por la comprensión su firme apoyo moral y económico en el transcurso de mi carrera y la realización de la tesis.

Gracias.



## OBJETIVO

Determinar la factibilidad técnica de implementar una metodología Seis Sigma en la fabricación de una varilla de la estructura de apoyo ASS- VERT, del chasis de un camión de la marca *Freightliner*, como parte para la implementación en todos los procesos de manufactura y donar el estudio para su aplicación en los procesos correspondientes.





## INTRODUCCIÓN

La realización de un estudio técnico en empresas de manufacturera ha servido para analizar los elementos que integran la ingeniería básica del producto o proceso o ambas que se desea implementar, para ello se hace una descripción detallada del mismo con la finalidad de mostrar todos los requerimientos para hacerlo funcional.

La industria manufacturera del sector metal-mecánica es un eje fundamental en la actividad económica en México, de ella se derivan un gran número de industrias que soportan en su mayoría la actividad industrial en nuestro país.

Esta se encuentra distribuida a los largo del territorio nacional, formada desde pequeños talleres hasta grandes plantas de producción, las cuales abastecen el mercado interno del país y productos para exportación. Gran parte de esta industria se encuentra conformada por pequeñas y medias empresas (PyMES), que forman alrededor del 70% de las empresas dedicadas a este rubro.

En los últimos años 30 años la industria metal mecánica ha tenido un desarrollo constante en el país, tan solo de 1994 a la fecha ha tenido un crecimiento de 1.27% anual, lo cual es evidencia de un negocio rentable (INEGI, 2006). Cabe mencionar que en el segundo semestre de 2008 y primer semestre de 2009 la crisis económica mundial afecto de sobre manera a la industria manufacturera, y especialmente a la industria automotriz, reduciendo la producción y exportación de automóviles a E.U.

El entorno económico y la política gubernamental han colaborando en la creación de espacios para el desarrollo de empresas de diversas índoles principalmente en la zona centro y las principales ciudades del país. Las PyMES han tomado un espíritu de competitividad, que les ha permitido competir en precio, calidad y entrega con otras empresas de su mismo giro, para ganar e incrementar el número de sus clientes. Con lo cual adquieren mayor responsabilidad para mantenerse en una constante actualización, y así, sobrevivir dentro del mercado.



La calidad es un punto clave para mantenerse a la vanguardia dentro del mercado, el aumento de la productividad y lograr mayores utilidades incrementa el capital de la empresa y posteriormente utilizarlo para la expansión de la misma.

Existen varias metodologías, recursos tecnológicos y herramientas de ingeniería, que mejoran el desempeño de las empresas y en nuestro país se ha vuelto una práctica común la aplicación de estas a todos los niveles empresariales. Las empresas con mayor infraestructura trabajan bajo estándares de alta calidad para la elaboración de sus productos y lo transmiten a todos sus proveedores dentro y fuera del país.

La aplicación de estas permite entre otras ventajas reducir costos, reducir desperdicios, reducir el índice de contaminación al medio ambiente, reducir tiempos de espera, aumentar los índices de satisfacción de los clientes, aprovechar al máximo la capacidad intelectual de todos los empleados, manteniéndolos al mismo tiempo motivados y comprometidos con la organización.

Una de las metodologías es Seis Sigma, que presenta la importancia de reducir la variación, los defectos y los errores en todos los procesos de una organización, para así lograr aumentar la cuota de mercado, minimizar los costos e incrementar los márgenes de ganancia de la misma.

Estas metas se pretenden alcanzar mediante un programa riguroso de mejora, diseñado e impulsado por la alta dirección a lo largo de la organización. La metodología DMAIC por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) es adoptada como base para el desarrollo de los proyectos Seis Sigma y de igual manera como base para los sistemas de calidad de muchas compañías. El cumplimiento riguroso de cada uno de estos pasos garantiza una mejora sustentable del proceso y la obtención de resultados visibles.



## **CAPÍTULO 1**



### **RESEÑA DE LA INDUSTRIA METAL-MECÁNICA**

**(HIERRO Y ACERO)**



La industria manufacturera en México es eje fundamental en la actividad económica del país, de ella se derivan un gran número de industrias que soportan en su mayoría la actividad industrial como lo es la metal-mecánica, siderúrgica, metalúrgica, petrolera, química, automotriz, minera, pesquera, agroindustriales y eléctrica-electrónica.

### 1.1 Industria manufacturera en México.

El sector manufacturero, de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), se encuentra dividido en 21 subsectores, 86 ramas, 182 subramas y 293 clases de actividad. Cada una de ellas están conformadas por unidades económicas dedicadas principalmente a la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias con el fin de obtener productos nuevos.

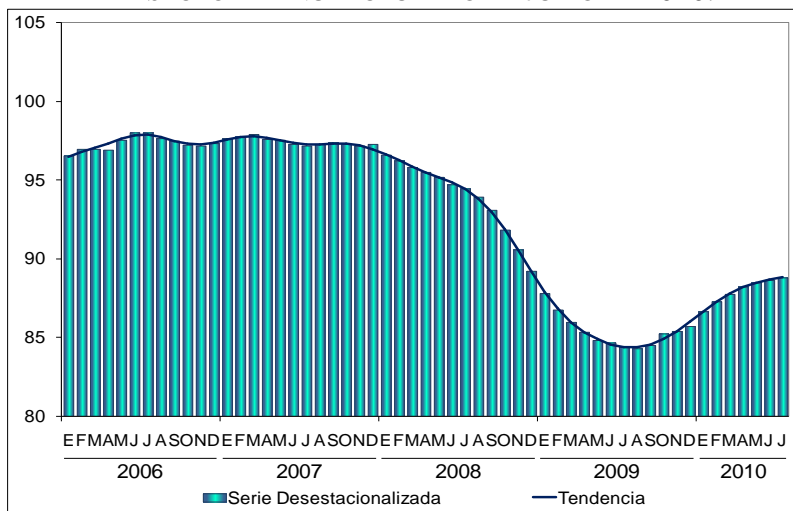
De acuerdo al XV censo industrial existen en México 344 118 establecimientos que realizan actividades manufactureras y que ocupan 4.2 millones de personas. En su mayoría se concentran en el centro, norte y occidente del país. Las entidades federativas, resaltando por su importancia, son: Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Estado de México, Durango, Querétaro, Hidalgo, Jalisco, Puebla y Tamaulipas donde se concentra más del 95% de las empresas del sector. El 92.6% de los establecimientos manufactureros en el país son micronegocios; en contraparte sólo el 0.9 % son establecimientos grandes.

La información de los Censos Económicos 2004 indica que el sector manufacturero en México es el más importante en la generación de producción bruta total aportando el 43.3%, además concentra el 10.9% de las unidades económicas, y una de cada cuatro personas ocupadas.

Con base en la Encuesta Industrial Mensual Ampliada (EIMA) que lleva a cabo el INEGI en empresas de transformación del sector manufacturero en México, el personal ocupado en la industria manufacturera de transformación creció 5.2% en el séptimo mes de este año respecto al nivel de julio de 2009. Por tipo de contratación, los obreros registraron un aumento de 7.6% y los empleados que realizan labores administrativas de 0.1% en el mes de referencia.



CIFRAS DESESTACIONALIZADAS Y TENDENCIA DEL PERSONAL OCUPADO DEL SECTOR MANUFACTURERO<sup>1/</sup> A JULIO DE 2010.



CUADRO 1.1 Personal ocupado, sector manufacturero de transformación 2010. Fuente: INEGI.

En los primeros siete meses del presente año, el personal ocupado en la industria manufacturera de transformación creció 2.7% y las horas-hombre trabajadas 5.4% con relación al mismo periodo de 2009, en tanto que las remuneraciones medias reales registraron una disminución de (-)0.5% en igual lapso. Al interior de estas últimas, las prestaciones sociales cayeron (-)1.7%, mientras que los salarios pagados a obreros aumentaron 2.2% y los sueldos pagados a empleados 0.4 por ciento.

PRINCIPALES INDICADORES DEL SECTOR MANUFACTURERO A JULIO DE 2010 (Variación porcentual respecto al mismo periodo del año anterior)

Concepto	Julio	Ene-Jul
<b>Empleo</b>	<b>5.2</b>	<b>2.7</b>
Obreros	7.6	4.6
Empleados	0.1	(-) 1.7
<b>Horas hombre trabajadas</b>	<b>5.9</b>	<b>5.4</b>
Obreros	8.2	7.6
Empleados	0.3	0.3
<b>Remuneraciones medias reales pagadas<sup>2/</sup></b>	<b>(-) 1.4</b>	<b>(-) 0.5</b>
Prestaciones sociales	(-) 2.1	(-) 1.7
Sueldos pagados a empleados	(-) 0.6	0.4
Salarios pagados a obreros	1.3	2.2

CUADRO 1.2 Indicadores del sector manufacturero de transformación 2010. Fuente: INEGI.



## 1.2 Industria metal-mecánica.

Las empresas metal-mecánicas transforman la materia prima en piezas mecánicas y estructurales mediante procesos mecánicos, con o sin el arranque de virutas, cambiando su forma geométrica (Kalpakjian, 2002), y en la mayoría de los casos se realiza un acabado superficial.

Los insumos requeridos son principalmente el hierro y el acero, en menor cantidad aluminio, cobre y latón. Requieren de equipo, herramienta y los materiales auxiliares correspondientes como diversos aceites y emulsiones especiales que deben ser aptos para las necesidades de cada proceso. La industria metal-mecánica es amplia, puesto que los distintos productos sacados de la misma son empleados para la fabricación de máquinas y herramientas.

### 1.2.1 Procesos de manufactura en la industria metal-mecánica.

La mayoría de los procesos que se desarrollan dentro de la industria metal-mecánica son aquellos que provocan desprendimiento de viruta para obtener la forma, terminado y tolerancias de las piezas deseadas.

La mecánica básica de los procesos de maquinado del tipo de viruta se ilustra en su forma más sencilla en la figura 1.1.

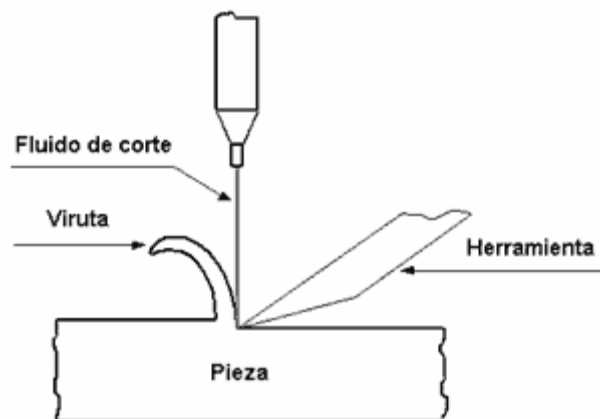


Figura 1.1. Mecánica del proceso de maquinado del tipo de viruta.



A continuación se presenta una tabla con los principales procesos de maquinado y sus correspondientes características:

Proceso	Características	Tolerancias Comerciales, mm
Torneado	Incluye las operaciones de torneado y refrentado en toda clase de materiales; usa herramienta monofilos o de forma; baja rapidez de producción, pero mediana a alta con tornos de revolver y máquinas automáticas y requieren mano de obra capacitada	Acabado: 0.05 a 0.13 Desbaste: 0.13 Adelgazado: 0.025 a 0.05
Mandrilado	Apto para superficies o perfiles internos, con características parecidas al torneado; es importante la rigidez de la barra de mandricular para evitar vibraciones; requiere mano de obra capacitada.	0.025
Taladrado	Proceso que permite obtener orificios redondos de diversos tamaños y profundidades; se requiere mandrilado y escariado para obtener mayor precisión; rapidez de producción; la destreza del operador depende del lugar del orificio y de la exactitud especificada.	0.075
Fresado	Proceso para la obtención de diversas formas con contornos, superficies planas y ranuras. Gran variedad de herramientas, versátil, rapidez de producción de baja a mediana, requiere mano de obra capacitada.	0.13 a 0.25
Cepillado	Proceso que permite obtener superficies planas y perfiles rectos en perfiles grandes; adecuado para producir pocas cantidades; la destreza del operador depende de la forma de la parte	0.08 a 0.10
Formado	Proceso que permite obtener superficies planas y perfiles de contorno recto en piezas relativamente pequeñas, adecuado para producción en pequeñas cantidades; la mano de obra calificada requerida depende de la forma de la pieza.	0.05 a 0.13
Brochado	Proceso que permite obtener superficies planas externas e internas, ranuras y contornos con buen acabado superficial; herramientas costosas, velocidad de producción elevada; la destreza del operador depende de la forma de la pieza.	0.025 a 0.15
Aserrado	Con este proceso obtenemos cortes rectos y de contorno en formas planas y estructurales. No es adecuado para materiales duros a menos que la sierra tenga dientes de carburo o este recubierta con diamante; baja rapidez de producción, requiere poca destreza del operador.	0.8

Tabla 1.1 Principales procesos de maquinado

Dentro de los procesos que se desarrollan en la industria metal-mecánica, de manera distinta a los procesos con desprendimiento de viruta, existen los procesos que implican deformación de los metales para darles una forma diferente y ángulos precisos, entre los principales tenemos los siguientes:



*Rolado o laminado de metales.* Es el proceso de reducir el espesor (modificar la sección transversal) de una pieza larga, mediante fuerzas de compresión aplicada a través de un juego de rodillos.

*Forjado de los metales:* Es un proceso en el que la pieza se conforma mediante la aplicación de fuerzas sucesivas de compresión, aplicada a través de diversos dados o matrices y herramientas. En operaciones sencillas de forma se utiliza normalmente la fuerza humana, pero en su mayoría requieren un equipo formado por prensas y martinets, mediante accionamientos hidráulicos o contra pesos electromecánicos.

Al proceso de forjado se relacionan varias operaciones que son las siguientes:

*Cabeceado.* Es esencialmente una operación de recalado, que normalmente se hace en el extremo de una varilla o alambre redondos, para producir una sección transversal mayor.

*Penetrado.* Es un proceso de indentación (sin atravesar) de la superficie de una pieza con un punzón, para producir una cavidad o impresión.

*Punzonado.* Consiste en oprimir un punzón endurecido, con determinada geometría en la punta, sobre la superficie de un bloque de material.

*Extrusión y estirado de metales.* En este proceso una palanquilla (“billet”, en inglés) por lo general redonda se coloca en una cámara (recipiente) y es impulsado a través de una abertura de una matriz mediante un pinzón hidráulico o ariete de prensa.

Y por último, el *ensamble de materiales* que es unir dos o más partes entre sí (montaje) para formar un conjunto o subconjunto completo. La unión de las partes se puede lograr con soldadura, adhesivos y ensamble Mecánico.





### 1.3 Calidad en las industrias manufactureras.

La calidad nos hace referencia a la totalidad de las propiedades y características que inciden sobre la capacidad del producto para satisfacer determinada necesidad de un cliente.

La calidad del producto siempre ha sido uno de los aspectos más importantes de las operaciones de manufactura. El producto manufacturado desarrolla ciertas características externas e internas causadas por los procesos de producción que se usaron para obtenerlo (Kalpakjian, 2002).

La prevención de defectos en productos y en inspecciones en línea son objetivos principales en las actividades manufactureras. Teniendo en cuenta la situación de competitividad que existe a nivel global, el mejoramiento continuo de la calidad es prioridad en todas las empresas, por ello es vital la estrecha colaboración y comunicación entre los ingenieros de diseño y manufactura, así como la intervención y apoyo de la dirección de la empresa.

A la fecha, los conceptos en que se basan las actuales normas de calidad han evolucionado rápidamente a partir de principios del siglo XXI, como se puede apreciar en las fechas siguientes:

- ❖ 1900, Inspección como actividad.
- ❖ 1930, Muestreo estadístico.
- ❖ 1950, Prácticas de aseguramiento de calidad en empresas.
- ❖ 1970, Idem a nivel nacional.
- ❖ 1979, Normas para el aseguramiento de la calidad, BS 5750.
- ❖ 1987, Basadas en la BS 5750 se editan las normas ISO serie 9000.
- ❖ 1994, Se realiza revisión de las normas base.
- ❖ 2000, Revisión de las normas para el SGC (9000, 9001 y 9004).
- ❖ 2008, Revisión de la norma ISO-9001.

La serie de normas ISO 9000 se adoptó en México en 1990 como una serie NOM-CC, sin embargo a raíz de los estudios de la DG/SECOFI se decidió cambiar a NMX en 1992. En este mismo año se promulgó la Ley Federal sobre Metrología y normalización, en la cual se describe el esquema



mexicano de normalización y certificación, dando por primera vez el respaldo legal para que el sector privado pueda promoverlos.

### Familia de Normas ISO 9000

Es la serie de normas sobre gestión de la calidad que describen los requisitos que deben cumplir el Sistema de Gestión de la Calidad de una organización en diferentes situaciones.

Las normas que forman ésta familia son:

ISO 9000:2000 (NMX-CC-9000:2000) Sistema de Gestión de la Calidad, Fundamentos y Vocabulario. Su propósito es establecer un punto de arranque para el entendimiento de las normas y define los términos fundamentales usados en la Familia ISO:9000.

ISO 9001:2008 (NMX-CC-9001:2008) Sistemas de Gestión de la Calidad, Requerimientos. Su propósito es mostrar el requerimiento de las normas que se usa para evaluar la habilidad para el cumplimiento de los requerimientos del cliente y las regulaciones aplicables, y por eso orientada a la satisfacción del cliente.

ISO 9004:2000 (NMX-CC-9004:2000) Sistema de Gestión de la Calidad, Directrices para la mejora del desempeño. Esta norma proporciona las directrices que consideran tanto la eficiencia como la efectividad del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC). El objetivo de esta norma es la mejora del desempeño de la organización y la satisfacción de los clientes así como de las partes interesadas.

Por otro lado existen normas adicionales complementarias a la serie ISO 9000 que utilizadas en combinación pueden apuntalar de manera importante la administración de las organizaciones.



Normas complementarias de la Serie 9000 de SGC.

ISO 19011:2002 Directrices para la auditoria del Sistema de Gestión de la Calidad y Ambiental.

ISO 10005:1995 Gestión de Calidad, Directrices para los planes de Calidad.

ISO 10006:2003 Gestión de Calidad, Directrices para la Calidad en administración de proyectos.

ISO 14010, ISO 14011 e ISO 14012 Auditorías Ambientales.

Dependiendo del desarrollo del sistema de calidad existente la mayoría de las empresas pueden detectar los distintos niveles en los que se puede enmarcar el sistema de gestión de la calidad (SGC), (Lefcovich, 2006).

*Nivel 1: Inspección.* En este nivel se asume que la empresa produce defectos de calidad y existe un equipo o departamento que se dedica única y exclusivamente a separar los productos defectuosos de los buenos. Tipos de inspecciones hay muchos. Éstos van desde los más sencillos, inspección total, a inspecciones más evolucionadas basadas en parámetros estadísticos, muestreos e inspecciones selectivas.

*Nivel 2: Control de Calidad.* La aplicación de técnicas estadísticas a los procesos productivos nos permite la obtención de informaciones muy valiosas sobre los procesos de producción. Podemos determinar la capacidad de un proceso, es decir, demostrar si el proceso está suficientemente bien preparado para producir sin defectos de calidad en condiciones normales. También nos permite determinar las causas especiales de fallo que afectan al proceso, es decir, aunque el proceso sea capaz puede haber una causa especial (operario, material defectuoso, avería, etc.) que provoque la aparición de productos defectuosos.

*Nivel 3: Aseguramiento de la Calidad.* Este sistema involucra a todos los departamentos de la empresa, no sólo al de calidad. Se da mayor importancia al factor humano en la empresa y la dirección de la empresa empieza a tomar el papel de liderazgo en la consecución de los objetivos de calidad. No obstante, los sistemas de aseguramiento de la calidad no son los sistemas de calidad más evolucionados que se conocen porque tienen un objetivo de calidad determinado y se limitan a asegurar ese nivel de calidad sin preocuparse por superarlo.



*Nivel 4: Calidad Total.* La calidad total integra todos los elementos de calidad de los niveles anteriores pero la amplía a todos los niveles de la empresa y a todo su personal. Se caracteriza por una búsqueda constante de mejora en todos los ámbitos de la empresa y no sólo los aspectos productivos. La calidad llega hasta la propia elección estratégica de la empresa teniendo en cuenta todos los escenarios competitivos y poniendo la voz del cliente en el lugar más importante, que es el que le corresponde. Es en éste nivel en el cual operan las empresas que han implementado Lean Seis Sigma y el Sistema Just-in-Time.

Relacionando el concepto de Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) con Gestión de Calidad Total (GCT), no es más que cuando se relaciona la Gestión de Calidad (GC) con la Gestión Empresarial (GE).

$$GCT = GE + GC$$

GCT: es la coincidencia de la empresa y la gestión de calidad

En la actualidad conviven empresas con sistemas de calidad de distintos niveles, no obstante el incremento de la competencia y la globalización de los mercados están empujando irremediabilmente a las empresas a desarrollar sistemas de calidad más evolucionados.



## CAPÍTULO 2



## FUNDAMENTOS DE SEIS SIGMA



Seis Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio enfocándose en los aspectos que son críticos para el cliente.

## 2.1 Metrología dimensional.

La metrología dimensional es de gran importancia en la industria en general, pero especialmente en la de manufactura pues las dimensiones y la geometría de los componentes de un producto son características esenciales del mismo ya que, entre otras razones, la producción de los diversos productos debe ser dimensionalmente homogénea, de tal manera que estos sean intercambiables aun cuando sean fabricados en distintas máquinas, plantas, empresas o incluso en distintos países.

La metrología dimensional incluye la medición de todas aquellas propiedades que se determinen mediante la unidad de longitud, como por ejemplo distancia, posición, diámetro, redondez, planitud, rugosidad, etc. Algunos conceptos básicos de metrología dimensional son los siguientes:

- La calibración que es el conjunto de operaciones con las que se establece, en ciertas condiciones específicas, la correspondencia entre los valores indicados en un instrumentos, equipo o sistema de medida con los valores conocidos correspondientes a una magnitud de medida o patrón, asegurando así la trazabilidad de las medidas a las correspondientes unidades básicas.

Para calibrar un instrumento es necesario disponer de un instrumento o patrón de mayor precisión que proporcione el valor convencionalmente verdadero que es el que se empleará para compararlo con la indicación del instrumento sometido a calibración.

- La trazabilidad es un conjunto de acciones, medidas y procedimientos técnicos que permite identificar y registrar cada producto desde su nacimiento hasta el final de la cadena de comercialización. La trazabilidad permite rastrear la cadena de producción y otorga a los productores la posibilidad de colocar sus productos en mercados específicos más rentables que exigen la certeza del origen y de las distintas etapas del proceso productivo.



- Se denomina ajuste a la relación mecánica existente entre dos piezas que pertenecen a una máquina o equipo industrial, cuando una de ellas encaja o se acopla en la otra. Y verificar un instrumento de medición es comprobar que efectivamente funcione bien.
- La precisión se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión. Una medida común de la variabilidad es la desviación estándar de las mediciones y la precisión se puede estimar como una función de ella. Exactitud se refiere a que tan cerca del valor real se encuentra el valor medido. En términos estadísticos, la exactitud está relacionada con el sesgo de una estimación. Cuanto menor es el sesgo más exacta es una estimación.
- La incertidumbre puede derivarse de una falta de información o incluso porque exista desacuerdo sobre lo que se sabe o lo que podría saberse. Puede tener varios tipos de origen, desde errores cuantificables en los datos hasta terminología definida de forma ambigua o previsiones inciertas del comportamiento humano. La incertidumbre puede, por lo tanto, ser representada por medidas cuantitativas (por ejemplo, un rango de valores calculados según distintos modelos) o por afirmaciones cualitativas (por ejemplo, al reflejar el juicio de un grupo de expertos).

Los instrumentos de medición además de sus características de tipo constructivo poseen otras que definen su aptitud metrología. Los instrumentos se definen a través de características metrológicas, que son las siguientes:

- ✓ Campo de medida
- ✓ Alcance
- ✓ Sensibilidad
- ✓ División de la escala

Otras de tipo funcional que sirven para cuantificar de medida, la precisión y que son las siguientes:

- ✓ Incertidumbre
- ✓ Fiabilidad



Además de las citadas, es importante conocer la actuación del instrumento ante dos situaciones denominadas:

- Repetibilidad
- Reproducibilidad

## 2.2 Control de calidad, variabilidad y pensamiento estadístico.

### 2.2.1 Conceptos relativos al control de calidad.

Un proceso es un conjunto de actividades interrelacionadas que reciben determinados insumos y los transforman en un resultado o en un producto. Puede estar formado por varias etapas o subprocesos donde cada una de estas etapas puede verse como un proceso.

Por su parte, un requerimiento es la necesidad o expectativa que es especificada, ya sea de forma implícita u obligatoria por parte del cliente. La satisfacción del cliente implica la percepción de éste acerca del grado con el cual sus requerimientos han sido cumplidos. Para cumplir con estos objetivos se requiere un sistema de administración de la calidad para dirigir y controlar una organización con respecto a la política de calidad que se refiere a las intenciones y directrices generales de una organización respecto a la calidad, que son formalmente expresadas por la alta administración.

El objetivo del control de calidad y la mejora continua es realizar actividades recurrentes para incrementar la habilidad para cumplir con requerimientos, o sea, implementar la mejora continua en las características de la calidad. Para esto se aplican acciones preventivas y correctivas, las primeras sirven para eliminar la causa de una potencial inconformidad u otra situación potencial indeseable. La segunda es para eliminar la causa de la inconformidad que se ha detectado.

Las variables de salida, características de la calidad o variables de respuesta (denominada por la letra Y), son las variables en las que se reflejan los resultados obtenidos por el proceso de transformación. A través de los valores que toman estas variables se evalúa la eficacia del proceso, por lo que generalmente son características de calidad del producto que se obtiene con el proceso.





Existen tres tipos de variables de salida de acuerdo al tipo de especificaciones que deben de cumplir:

- Cuanto más pequeña mejor.
- Cuanto más grande mejor
- Valor nominal es mejor

Otra clasificación son la variables continuas y variables discretas o de atributos. Las variables de un proceso industrial pueden ser de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que se miden, como el peso, volumen, voltaje, longitud, resistencia, temperatura, tiempo, dimensiones varias, etc. Mientras que las variables discretas o por atributos son por lo general variables de conteo, como número de artículos defectuosos por lote, número de quejas, número de servicios de mantenimiento.

Las variables de entrada del proceso (denominadas con la letra X) son las que definen las condiciones de operación del proceso y por lo regular de su valor dependen la eficacia del proceso. Entre las variables de entrada existen aquellas que pueden influir en los resultados de un proceso, sin estar controladas en su totalidad, como lo podría ser la humedad relativa en el medio ambiente, habilidad de un operario, método del trabajo, etc.

### 2.2.2 Variabilidad

Una de las bondades de Seis Sigma es que traslada las mediciones de variación a un valor de medición sencillo de entender, lo que nos permite saber de manera confiable si los productos y servicios cumplen o no cumplen con los requerimientos de los clientes. Al definir y medir los requerimientos de los clientes podemos calcular tanto el número de defectos en el proceso y el porcentaje de productos y servicios buenos producidos (Vargas, 2007).

El primer paso para encontrar la verdadera causa de los defectos es una observación cuidadosa del fenómeno del defecto, después de esa observación la verdadera causa será evidente. El proceso de encontrar las causas de los productos defectuosos entre muchos factores se llama *diagnóstico del proceso* descrito por Kume(2002). Al realizar un diagnóstico correcto nos permite ver cuáles son las verdaderas causas de los defectos. Para realizar un diagnóstico correcto hay varios métodos, algunos



utilizan la intuición o la experiencia, otros recurren al análisis estadístico de datos que proporcionan objetividad y precisión a las observaciones, mientras que otros incluso utilizan la investigación experimental.

Dentro del proceso industrial interactúan máquina, mano de obra (gente), materia prima, mediciones, medio ambiente y métodos (6 M's), y determinan de manera global al proceso. Independientemente de los tipos de productos o del sistema de producción utilizado la causa de los defectos es universal; la variación descrita por Gutiérrez(2004), y cada una de las 6 M's aporta cierta variabilidad a la salida del proceso. Los procesos no operan de manera aislada sino que interactúan con el resto del sistema y como resultado todos los procesos son variables. Comúnmente en las fábricas los productos defectuosos se consideran como desperdicios, pero pronto se aceptan como parte del proceso.

Los productos defectuosos son causados por las variaciones, si estas variaciones se reducen, seguramente disminuirán los productos defectuosos. Este es un principio sencillo y sólido, aplicable a cualesquiera que sean los tipos de productos o de las clases de métodos de producción utilizados.

### 2.2.3 Pensamiento estadístico

El pensamiento estadístico es una filosofía de aprendizaje y acción, establece la necesidad de un análisis adecuado de los datos de un proceso como una acción indispensable para mejorar la calidad y reducir la variabilidad. Los métodos estadísticos proporcionan un medio eficaz para desarrollar una nueva tecnología y controlar la calidad de los procesos de manufactura.

Evaluar la capacidad o habilidad de un proceso es analizar qué tan bien sus variables de salida cumplen con las especificaciones.

Un primer punto a resolver es un estudio inicial de la capacidad, es decir cómo y cuántas unidades muestrear. Para esto no hay reglas pero si existen algunas recomendaciones en donde cada determinado tiempo o cada determinada cantidad de unidades se toma un subgrupo de unidades.



El muestreo de aceptación es el proceso de inspección de una muestra de unidades extraídas de un lote con el propósito de aceptar o rechazar todo un lote. Para ello podemos diseñar planes de muestreo como lo pueden ser el muestreo por atributos, estadística, planes por atributos o muestreo por variables.

Si hablamos en términos de variables, una regla rápida que ocasionalmente se usa para ajustar tanto la frecuencia como el tamaño de la muestra en el monitoreo y control de un proceso es una adaptación de la tabla de muestreo de aceptación para variables Military Standard 414 (Doty, 1991, citado por Gutiérrez, 2007). Esta adaptación sugiere que el número de piezas a inspeccionar por lote está dado por:

Tamaño del lote	Porcentaje a muestrear
60 – 300	10%
301 – 1000	5%
1001 – 5000	2%
Más de 5000	1 %

Si no se produce por lotes, el tamaño de lote puede considerarse como la producción de un día o extenderse a lo más a la producción de una semana.

### 2.3 Historia de Seis Sigma

Seis Sigma fue introducida por primera vez en 1987 en Motorola por un equipo de directivos encabezados por Bob Galvin, presidente de la compañía, con el propósito de reducir los defectos en los productos electrónicos e impulsada por el ingeniero Mikel Harry, que comienza a influenciar a la organización para que estudiará la variación en los procesos como una manera de mejorar los mismos. Desde ese momento, Seis Sigma ha sido adoptado, enriquecido y generalizado por un gran número de compañías.

Además de Motorola, dos compañías internacionales que se han comprometido de manera ejemplar con Seis sigma son AlliedSignal, quien inicio su programa en 1994, y General Electric (GE) en 1995. La cooperación, entusiasmo y firmeza de Larry Bossidy y Jack Welch, presidentes de las



respectivas compañías fue un factor determinante para realizar el programa. En Latinoamérica, Mabe es una de las organizaciones que ha logrado consolidar unos de los programas de Seis Sigma más exitoso.

#### 2.4 ¿Qué es seis sigma?

Seis Sigma representa una métrica, una filosofía de trabajo y una meta. Como una métrica, Seis Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel como producto o servicio fuera de especificación. Como filosofía de trabajo, es el mejoramiento continuo de procesos y productos. Y como meta, es un compromiso de obtener estadísticamente un nivel de clase mundial, al producir virtualmente cero defectos (Escalante, 2008).

Esta meta se pretende alcanzar mediante un programa riguroso de mejora, diseñado e impulsado por la alta dirección a lo largo y ancho de la organización, con el objetivo de lograr mejoras, eliminar defectos, retrasos, procesos y transacciones. La metodología SeisSigma está fundamentada en herramientas y pensamiento estadístico.

La sigma o desviación estándar ( $\sigma$ ) refleja la variabilidad de un proceso. En términos estadísticos, el propósito de Seis Sigma es reducir la variación para lograr desviaciones estándar tan pequeñas que se pueda asegurar que todos los productos o servicios cumplan o excedan las expectativas de los clientes y así, aumentar ventas, disminuir costos, permitir un ahorro y obtener la confianza de los clientes.

La filosofía Seis Sigma se basa en que todos los procesos pueden ser definidos, medidos, analizados y controlados para lograr niveles extremadamente bajos de defectos y así, lograr altos niveles de desempeño. Establece un concepto de perfección llamado “Entitlement” que se refiere a tener procesos con niveles de cero defectos.

La metodología Seis Sigma puede ser aplicada a todos los procesos (manufactura, servicios y negocio) para reducir la cantidad de defectos y desperdicios. Cabe mencionar que Seis Sigma no es



sustituto de las normas ISO-9000, puesto que son herramientas y filosofías diferentes que la mayoría de las veces se complementan.

El liderazgo de Seis Sigma a nivel negocio y en proyectos recae tradicionalmente en el master blackbelts MBB`S (maestro cinta negra) y blackbelts BB`S (cinta negra). Estos líderes se dedican de tiempo completo a Seis Sigma y sus responsabilidades son establecer objetivos de calidad para el negocio, monitorear el progreso del cumplimiento de estos objetivos, selección de proyectos Seis Sigma y supervisión del entrenamiento a los equipos de los proyectos.

Nombre	Rol
Líder	Es el ejecutivo de más alto rango y es su responsabilidad desarrollar, encaminar y permear la estrategia Seis Sigma.
Líder de implementación	Dirección ejecutiva de la iniciativa Seis Sigma. Suele tener una jerarquía sólo por debajo del líder.
Champions y/o Patrocinadores	Gerente de planta y gerentes de área, son los dueños de los Problemas y establecen prioridades. Su responsabilidades garantizar el éxito de la implementación de Seis Sigma en sus áreas de influencia.
Master Black Belt	Dedicado 100% a Seis Sigma, realiza asesoría y tienen la responsabilidad de mantener una cultura de calidad dentro de la empresa. Dirigen y asesoran proyectos claves. Son mentores de los Black Belt.
Black Belt	Gerente dedicado de tiempo completo a Seis Sigma, realizan y asesoran proyectos.
Green Belt	Ingenieros, analistas financieros, expertos técnicos en el negocio, atacan problemas de sus áreas, dedicados de tiempo parcial a Seis Sigma. Participan y liderean equipos.
YellowBelt	Personal de piso que tiene problemas en su área.

Tabla 2.1 Capital humano en Seis Sigma



La implementación de Seis Sigma recae en los miembros de los equipos de proyectos (ingenieros, analistas financieros, expertos técnicos en el negocio, etc.), quienes reciben entrenamiento del nivel greenbelt GB (cinta verde). Este entrenamiento lo imparten los MBB`S, BB`S o especialistas externos en coordinación con los primeros. El capital humano que participa en el despliegue de Seis Sigma, actores y sus roles, los podemos ver en la siguiente tabla 2.1.

La estrategia de Seis Sigma busca profundizar en el entendimiento al cliente y sus necesidades además de revisar de manera crítica los procesos de la organización; y partiendo de esto establecer prioridades, trabajar para desarrollar nuevos conceptos, procesos, productos y servicios que cumplan con los requerimientos del cliente en cantidad o volumen, calidad, tiempo y servicio, sobre todo que excedan las expectativas del cliente.

Los datos y el pensamiento estadístico orientan los esfuerzos de Seis Sigma; los datos son necesarios para identificar las variables críticas de la calidad (VCC) y los procesos o áreas a ser mejoradas. Los proyectos no pueden ser elegidos al azar, a través de los datos se puede demostrar que con la ejecución de estos la diferencia puede ser percibida por el cliente.

Los proyectos Seis Sigma se desarrollan en forma rigurosa en base a la metodología compuesta por cinco fases:

- ❖ (D) Definir el proyecto. En esta fase se debe tener una visión clara del problema que se pretende resolver mediante un proyecto Seis Sigma.
- ❖ (M) Medir la situación actual. En esta segunda etapa se miden las VCC del producto o servicio (variables de salida Y`s).
- ❖ Analizar las causas raíz. La meta de esta fase es identificar la(s) causa(s) raíz del problema (identificar las X`s vitales), entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos.



- ❖ (M) Mejorar las VCC. En esta cuarta etapase tiene que evaluar e implementar soluciones que atiendan las causas raíz, asegurando que se reduzcan los defectos y por lo tanto la variabilidad.
  
- ❖ Controlar para mantener la mejora. Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, en esta etapase diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (controlar las X`s vitales) y se cierra el proyecto.



## CAPÍTULO 3



### **METODOLOGÍA SEIS SIGMA:**

**DEFINIR**

**MEDIR**

**ANALIZAR**

**MEJORAR**

**CONTROLAR**

**(DMAIC)**





Este modelo es un proceso de mejoramiento continuo, en el que permanentemente se estimula al personal para que el círculo de mejoramiento se repita y perdure, generando un ambiente propicio para la aceptación de nuevos cambios, aceptar nuevos retos y una adecuada adaptación a un medio cada vez más competido.

### 3.1 Metodología DMAIC

La metodología DMAIC es adoptada por las empresas para el desarrollo de los proyectos Seis Sigma. Se compone de cinco etapas:

- *Definir,*
- *Medir,*
- *Analizar,*
- *Mejorar (Improve en inglés)*
- *Controlar.*

Cada una de ella nos acerca de manera disciplinada a las mejoras necesarias del proceso y los productos, a través de una integración efectiva de proyectos ejecutivos, herramientas estadísticas y de resolución de problemas.

El cumplimiento riguroso de cada uno de las etapas garantiza una mejora sustentable del proceso y la obtención de resultados visibles, tanto para empresas de manufactura o de servicios. A continuación podemos ver cada una de las etapas la metodología y su finalidad pretendida.





La metodología DMAIC se basa aunque no esté expresado directamente en el ciclo Deming (Véase la figura 3.1), el cual es una guía lógica y racional para actuar en una gran variedad de situaciones especialmente en la resolución de problemas.

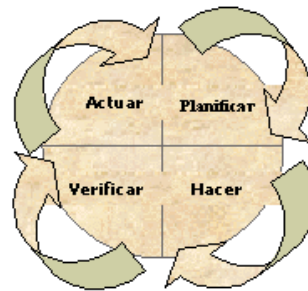


Figura 3.1 Ciclo Deming.

En la figura 3.2 podemos observar el diagrama de la metodología DMAIC, la interacción entre sus etapas y el comportamiento cíclico que muestra.

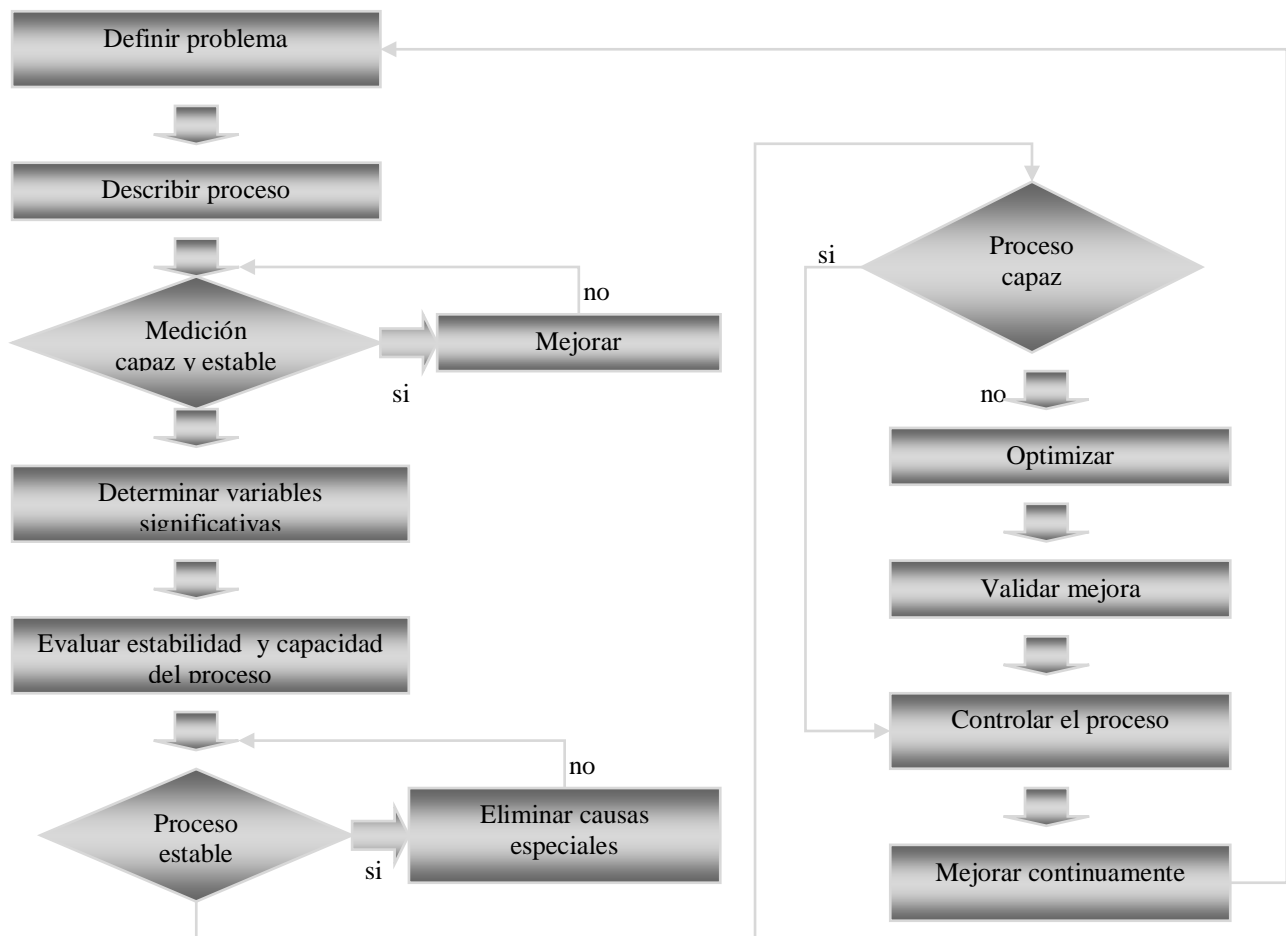


Figura 3.2 Diagrama de flujo de la metodología DMAIC.



### 3.2 Desarrollo de la metodología DMAIC.

El presente estudio fue elaborado para determinar la factibilidad técnica de implementar Seis Sigma en una PyME del sector metal-mecánico. Por recomendación de los ingenieros de planta se optó por realizar el estudio para sólo un proceso, que es la fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERY, componente del chasis de un camión marca Freightliner.

Como se explicó en el capítulo 2, el proyecto debe efectuarse desarrollando la teoría y la práctica conforme transcurre el proyecto en cada una de las etapas de la metodología DMAIC.

A continuación se describen las etapas de la metodología así también, algunas herramientas estadísticas y de resolución de problemas que se consideraron aptas para el despliegue de la metodología en el proceso y así, obtener los datos pertinentes para efectuar el estudio técnico.

#### 3.2.1 Etapa previa.

Existe una etapa previa que no está expresada dentro de la metodología DMAIC, pero es indispensable pues ésta prevé la selección adecuada del proyecto, la formación de los equipos de trabajo y establecer el marco del proyecto (charter).

Para iniciar podemos utilizar un diagrama de Gantt, para plasmar las actividades que desarrollaremos durante el proyecto, con la posibilidad de modificarlas en el camino del trayecto. El Diagrama de Gantt consiste en una matriz de doble entrada en la que se anotan en las líneas, las diferentes actividades que componen un proyecto y en las columnas, el tiempo durante el cual se desarrollarán esas actividades. Véase un ejemplo en la figura 3.3.

Para construir un diagrama de Gantt se debe obtener un listado de actividades, las cuales son ordenadas según han de ser ejecutadas. La ejecución de las actividades incluye dos variables estrechamente ligadas: tiempo y recursos, se debe tener presente la real disponibilidad de recursos humanos, materiales y financieros, y la posibilidad de desarrollar la actividad en el tiempo previsto; por lo que se estaría construyendo un calendario operativo.

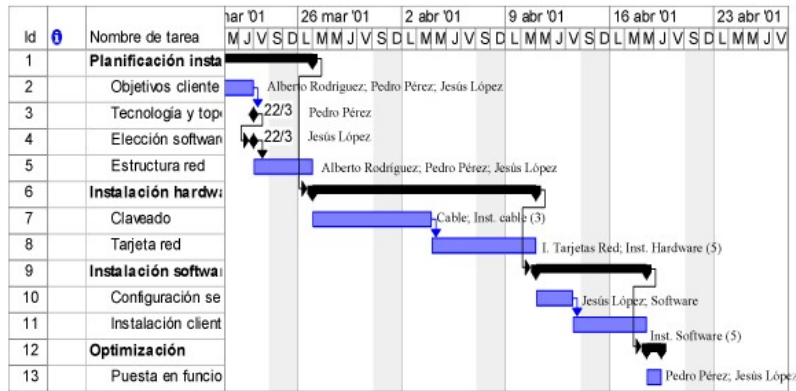


Figura 3.3 Ejemplo del Diagrama de Gantt

La mínima unidad de tiempo en este gráfico es un día, aun que usualmente se puede utilizar como tiempo la semana laboral, por obvias razones.

### 3.2.1.1 Identificar las oportunidades del negocio.

Debemos identificar los proyectos potenciales que sean de mayor impacto en el negocio. Las ideas o propuestas se obtienen de datos históricos, reportes de clientes, buzón de sugerencias, de operadores, gerentes y directores.

Un buen proyecto Seis Sigma tiene elementos que son críticos para el buen desarrollo del mismo, que van desde la buena selección del proyecto, al igual que la asignación del campeón, cinta negra y cintas verdes adecuados, la terminación a tiempo, así como el apoyo y participación de todos los involucrados en diversas funciones y revisiones administrativas para mantener los proyectos enfocados y a tiempo. Por lo que la gerencia debe estar comprometida e involucrada para obtener resultados realmente exitosos.

Los proyectos deben ser planteados de manera objetiva, de tal manera que cumplan con las siguientes características:

- ❖ Medible, establecer claramente la manera de cómo se medirá el cumplimiento de la meta que se tiene establecida.



- ❖ Específico, Mencionar específicamente el proceso a realizar en cada una de las áreas de trabajo.
- ❖ Tiempo, establecer el cronograma del proyecto.
- ❖ Alcanzable, tener la capacidad para alcanzar los resultados y mejoras que se están proponiendo.

El objetivo del proyecto se basará en el nivel de mejoramiento al que sea desea lograr. Y está en función de la dificultad del problema y de las habilidades del equipo para poder resolverlo. El objetivo debe responder a las siguientes preguntas:

- ¿El qué? (indicador),
- ¿Cuánto?
- ¿Cuándo?

En general los proyectos seleccionados están enfocados a mejorar la calidad, disminuir los costos y mejorar el servicio. Una manera de hacerlo a un nivel operativo podría ser con base a los indicadores de operación que están bajo control del equipo.

Los métricos del negocio son aquellos indicadores que nos dirán si estamos o no alcanzando nuestros objetivos y por lo tanto podremos tomar decisiones sobre la marcha y ajustar, mejorar o cambiar partes de nuestro proyecto. Los objetivos y métricos claves del negocio son establecidos regularmente cada año dentro de la organización, es recomendable que la selección de los proyectos Seis Sigma se trabaje en conjunto con los objetivos y métricos para formar una línea que apoye los objetivos globales de la empresa de manera adecuada.

En la selección de uno o varios proyectos, se recomienda reconocerlos de dos formas:

- ❖ De arriba hacia abajo, lo que significa que se identificará por medio de la asociación de métricos usados en el plan estratégico de la empresa y las salidas (Y's) globales.
- ❖ Y de abajo hacia arriba, que significaría que exista una retroalimentación de las gerencias, asociando los problemas con las oportunidades del proceso.



No todos los proyectos requieren desplegar la metodología Seis Sigma, en algunos casos el conocimiento y experiencia de la empresa, permite solucionarlo de manera rápida, sin necesidad de seguir la secuencia de pasos de la metodología. Esto depende de la complejidad, tamaño y alcance de los procesos de la organización. Por lo cual una medida para reconocer un proyecto Seis Sigma se basaría en su complejidad, como lo podemos observar en a figura 3.4.

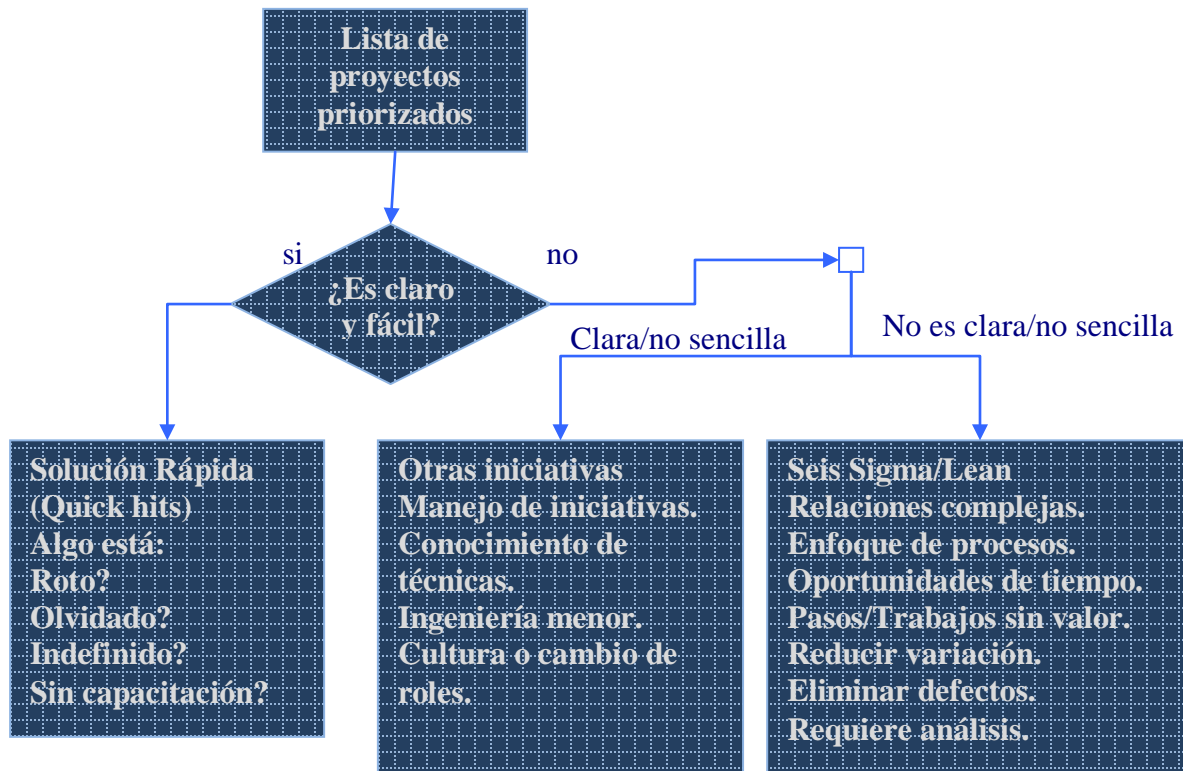


Figura 3.4 Diagrama de reconocimiento de un proyecto Seis Sigma.

También, podemos identificar un proyecto Seis Sigma si tomamos en cuenta las siguientes consideraciones:

- Enfocarnos en la reducción de la variación, eliminación de defectos y reducir los ciclos del tiempo.
- Mejorando los tiempos del proceso, obtenemos mayor capacidad y bajos costos e inventarios.
- Causas complejas y soluciones no siempre claras, demandan análisis del proceso.



Como regla esencial al empezar a definir un problema se debe tener cuidado de no insinuar la causa, no sugerir el remedio y no asignar culpas. De esta manera se evitará que se contamine de ideas erróneas y por otro lado que alguno de los miembros se sienta incomodo por la propuesta.

El impacto positivo que puede tener un proyecto se aprecia si está relacionado con los objetivos de manufactura y los planes estratégicos y operativos de la empresa; pues de esta forma se relacionan y entienden los objetivos de cada departamento, los cuales deben apoyar los planes corporativos del negocio y así, ofrecer un panorama amplio para la elección los proyectos más adecuados, que posteriormente se traducirán en el charter del proyecto (Véase anexo 1).

### 3.2.1.2 Beneficios y definición de métricos.

Es importante mencionar el beneficio económico que tiene un proyecto Seis Sigma, puesto que esto les importa y es tangible para los accionistas. La clasificación de estos beneficios se engloba en ahorros directos, indirectos y evitar costos (aviodance)<sup>1</sup>

Los cálculos financieros deben ser supervisados por el contador o asesor financiero de la empresa con la finalidad de asegurarse que los cálculos son razonables y apropiadamente explicados, y además de complementar y validar esta información con reportes por mes, semestre o año. En dado caso de no contar con la supervisión de un asesor financiero, se debe ser cauteloso en estimar cifras, lo recomendable es estimar el ahorro en prevención de gastos innecesarios.

Las estimaciones de este tipo y para este trabajo se realizarán con base a la disminución en tiempo, de acuerdo a la identificación y mejora los métricos de desempeño, que se relacionan con los resultados financieros del negocio.

Los métricos en los que podemos tener especial atención son los siguientes, aunque no significa que sean los únicos que existen.

---

<sup>1</sup> Los ahorros directos se ven reflejados en los estados de resultados (Utilidad Neta), los ahorros indirectos en la hoja de balance. Y la prevención de costos, se refiere al ahorro que podemos prevenir y evitar gastos innecesarios.



- *First Pass Yield (FPY)* - Porcentaje de producto bueno a la primera. Porcentaje de producto hecho bien a la primera vez sin recurrir a acciones de retrabajo o ajuste.
- *Rolled Throughput Yield (RTY)* - Producto del First Pass Yield para todos los pasos. (Calidad). Representa el porcentaje de producto el cual es elaborado en todo el proceso sin la necesidad de ser reprocesado o ajustado.
- *Costos de Calidad Pobre (CIPQ); residuo y trabajo*– El resultado de fallar por no producir con el 100% de la calidad a la primera (incluye retrabajos, residuos en trabajo, materiales, energéticos y devoluciones)
- *Capacidad de producción o Ciclo de tiempo*- El número de unidades que un proceso es capaz de producir en un periodo de tiempo dado, usualmente como un porcentaje del Entitlement (cero defectos).
- *Inventario de Materias Primas o Producto en Proceso*- Valor en dólares (o en pesos) del inventario de materias primas o materiales expresados como días de ventas o días de producción.
- *Tiempos muertos de materias Primas*- El tiempo requerido por los proveedores para la entrega de una orden.
- *Tiempo Total (CT)* – Tiempo total en minutos, horas o días para completar un proceso o un paso del proceso.
- *Entregar a tiempo-completo*- Desempeño de las entregas de los proveedores o hacia los clientes, completar los requerimientos de los clientes en el tiempo requerido.
- *Buenos inventarios finales (FG)* Valor en dólares o en pesos del inventario del producto final expresado en dólares o pesos por día de venta o días de producción.
- *Ventas perdidas* – Valor en dólares o en pesos del ingreso de cantidades aceptadas, en dólares o pesos por día de ventas.
- *Devoluciones de clientes* – Porcentaje o valor en dólares de todas las devoluciones de los clientes o productos rechazados.

Cada uno de los métricos debe estar perfectamente definido, con la finalidad de poder medir la mejora que obtengamos durante el desarrollo del proyecto, para así saber si estamos cumpliendo la meta propuesta. Cada vez que definamos un métrico debemos asegurarnos de qué tan buena es





nuestra base histórica, que se refiere a dónde nos encontramos actualmente con respecto al métrico al métrico y que es nuestro punto de partida.

No es difícil obtener la base histórica, lo más recomendable es iniciar tomando datos para cada paso del proceso dados los métricos de interés del negocio. No se debe imaginar los datos del sistema, si los datos no están disponibles, estudios sencillos pueden generar suficientes datos para complementar la información requerida.

Seis Sigma cierra rápidamente los límites entre la base histórica y el Entitlement, que es el más alto objetivo, llegar casi a la perfección. Suena un poco fuera de la realidad, sobre todo si decimos que siempre vamos tener una variación implícita en los procesos, sin embargo es importante tenerlo en cuenta en el charter para generar una visión ambiciosa.

Una vez que se tiene identificado un buen proyecto, lo siguiente es seleccionar al personal que integrará el equipo y desarrollará el proyecto. Esta tarea es por lo general de los campeones con el apoyo del o los BB. Su labor empieza por la selección de un líder del equipo, que puede ser un BB o un GB, o un candidato a estas categorías, quien debe tener un conocimiento operativo del problema, pero que no se sospeche que sea parte del problema. Lo ideal es designar como líder de proyecto a gente que le gusten los retos, que es capaz de dar seguimiento, continuidad y sabe la importancia de lograr resultados.

El resto de los miembros del equipo se pueden definir con base en lo que puedan aportar al equipo y la necesidad de contar con diferentes puntos de vista, experiencias y especialidades. El propio líder del equipo es juez y parte para la formación del equipo. Para el caso práctico, se hacen ciertas consideraciones puesto que el proyecto tiene un enfoque para PyMES.



### 3.2.2 Aplicación del proyecto en la etapa previa

#### 3.2.2.1 Alcances

Desarrollar un proyecto piloto de implementación Seis Sigma en uno de los procesos de la planta, de los resultados obtenidos, enriquecer el estudio técnico que servirá para analizar la factibilidad técnica de implementar Seis Sigma en la totalidad de la planta.

#### 3.2.2.2 Desarrollo

Se realizó la planeación de las actividades generales del estudio, como se puede apreciar en la figura 3.5.

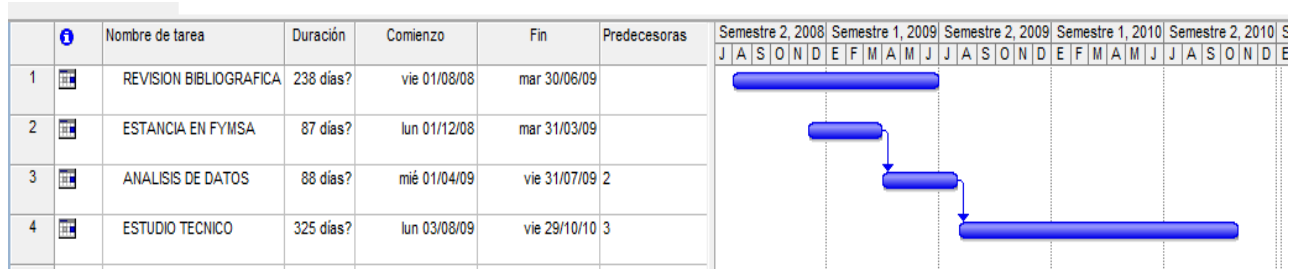


Figura 3.5 Gráfica de Gantt

En el gráfico se observa el desarrollo del estudio realizado en un periodo de 15 meses. En los primeros meses se dio a la tarea de la revisión bibliográfica sobre lean Seis Sigma. A partir del mes de diciembre se realizó una estancia de cuatro meses en FYMSA, en los cuales se realizaron observaciones, toma de tiempos y registro de datos necesarios de los procesos de la empresa, de acuerdo a la metodología DMAIC

Los 4 meses posteriores fueron de trabajo de análisis de datos, detección de oportunidades de mejora y algunas correcciones que se detectaron al caminar del proyecto. Los meses restantes, se elaboró el estudio técnico, el cual se presenta en el capítulo 4.



El equipo se formó de acuerdo al capital humano disponible y capacitado, compuesto por 3 personas, de acuerdo a un criterio mínimo de personal requerido<sup>2</sup> para una PYME.

Las áreas y responsabilidades son las siguientes:

- Persona que conozca y domine en su mayoría las herramientas utilizadas en la metodología DMAIC - Candidato para convertirse en Green belt
- Personas que ayudarán de manera indirecta al proyecto – yellow belt.

El proyecto piloto se desarrolló bajo dos líneas del plan estratégico de la empresa:

- Entrega 100% a tiempo (Cumplir con los requerimientos).
- Tener desecho interno y externo global inferior al 2% del año anterior.

Las metas son reducir el tiempo de ciclo en los procesos, entregar las piezas en un 100% a tiempo, y reducir el (FPY) porcentaje de producto bueno a la primera al 2%.

La dirección en conjunto con el equipo formado, identificamos las variables críticas de la calidad (VCC), basándose en las especificaciones establecidas por el cliente. Del análisis se desprenden las siguientes VCC:

Y<sub>1</sub> Tiempo de entrega

Y<sub>2</sub> Cumplimiento de los requerimientos.

Para cada una de las variables su capacidad para cumplir con especificaciones es deficiente y se atiende normalmente con una inspección en la primera pieza del lote, inspecciones patrulla y al retrabajo para cumplir con especificaciones. Por lo cual es prioritario implementar medidas para disminuir los costos en retrabajo, inspecciones y garantizar la satisfacción y lealtad de los clientes.

---

<sup>2</sup> El criterio que se utilizó se basó en los diferentes estudios que se han realizado para la implementación de Seis Sigma en una PYME, que es 1 Green Belt por cada 100 personas trabajando en planta, contando con mínimo 2 personas que apoyen al proyecto Seis Sigma de manera indirecta.



Cada una de los puntos referidos en este apartado puede verse en el charter del proyecto, véase anexo 1.

Para las siguientes etapas se seguirá una línea de acción basada en el modelo: *DMAIC – SANG, para la aplicación de Seis Sigma*, como se aprecia en la figura 3.6, este modelo incluye cada una de las 5 etapas o fases, la actividad a desarrollar y las herramientas sugeridas para cada actividad.

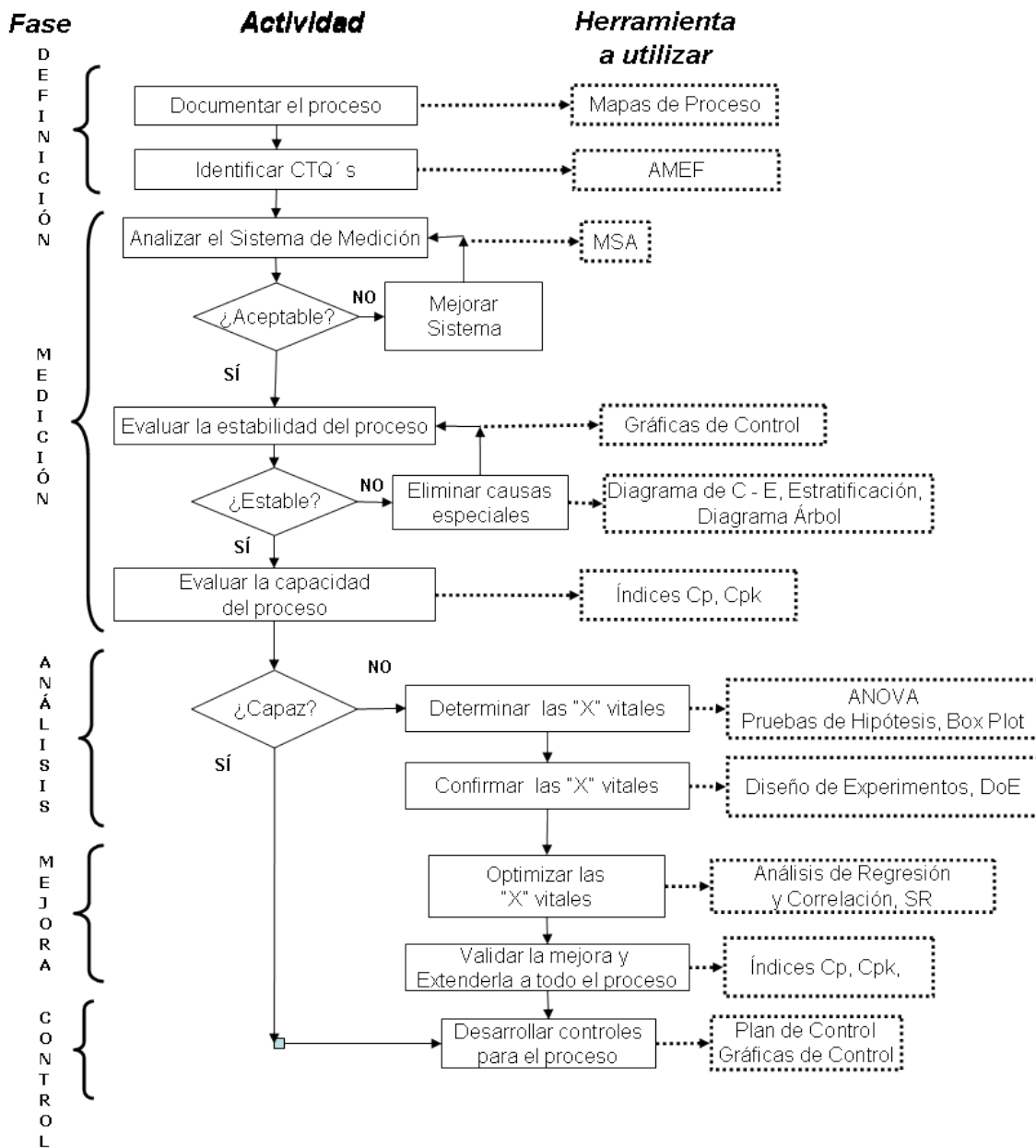


Figura 3.6 Modelo DMAIC – SANG para la aplicación de Seis sigma



Como parte de la elaboración de este trabajo, se dio a la tarea de estudiar cada una de las herramientas a utilizar en cada actividad del *modelo DMAIC – SANG para la aplicación de Seis sigma* y analizar los cambios necesarios al modelo utilizando algunas otras herramientas, que sean las más convenientes para aplicarlos en el desarrollo del trabajo, para posteriormente modificar el modelo propuesto y postularlo como modelo de aplicación en una PyME del sector metal-mecánico.

### 3.3 Etapa de definición

El objetivo de esta etapa es identificar y validar las oportunidades de mejora que existen en el negocio, definir los elementos del proceso, (sus pasos, entradas, salidas y características) y los requerimientos críticos del cliente.

Para cumplir con los objetivos de la etapa de definición, se propone el desarrollo de las siguientes actividades:

- Dar una descripción general del problema
- Hacer un diagrama de flujo del proceso completo y una narración general o un mapeo del proceso.
- Seleccionar las variables críticas para la calidad (VCC) y asegurarse que a través de ellas se escucha al cliente.
- Delimitar y definir el problema

Para ello se requiere definir y describir cada uno de los procesos que se desarrollan dentro de la empresa, lo que significa señalar los elementos, pasos, entradas, salidas y variables de cada proceso.

#### 3.3.1 Herramientas en la etapa de definición

Para describir el proceso se puede realizar un diagrama de flujo o proceso, en el cual es importante buscar oportunidades para eliminar operaciones innecesarias, es decir, hacerlos más rápidos o hacer los pasos paralelos, reacomodar operaciones o simplificarlas.



Los *diagramas de flujo o flujogramas* son diagramas que emplean símbolos gráficos para representar los pasos o etapas de un proceso. También permiten describir la secuencia de los distintos pasos o etapas y su interacción.

**CURSOGRAMA ANALITICO DE CONFRONTADHL**

GAPIC CLIENTE: AAACESA

UBICACIÓN: CONFRONTA DHL		<b>RESUMEN</b>			
ACTIVIDAD: ARRASTRE V CLARADO	EVENTO	PRESENTE	PROPUESTO	AHORROS	
FECHA: 2 DE SEPTIEMBRE DE 2009	OPERACIÓN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
COORDINADOR: CERMÁN TERCERO	TRANSPORTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
ANALISTA: ING. M. CALLEGOS	ESPERA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REVISOR: ING. A. ALDÁZ	INSPECCIÓN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
MÉTODO: < PRESENTE >	PROPUESTO	ALMACENAMIENTO		<input type="checkbox"/>	
TIPO: < MANUAL >	MATERIAL	MÁQUINA	TIEMPO (MIN)	56.25	
COMENTARIOS:	COSTO		DISTANCIA (M)	10.5	
<b>DESCRIPCIÓN DE LOS EVENTOS</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>DISTANCIA (M)</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	
Captura en el sistema	<input type="checkbox"/>	6			
Demora en la captura en el sistema	<input type="checkbox"/>	2			
Colocar paquetes en báscula	<input type="checkbox"/>	0.1			
Pesar	<input type="checkbox"/>	0.12			
Confronta en Báscula	<input type="checkbox"/>	0.1			
Colocar paquetes en el trasportador de rodillos	<input type="checkbox"/>	0.1	0.5		
Tracer etiquetas	<input type="checkbox"/>	0.1	10		
Etiquetar	<input type="checkbox"/>	0.73			
Preparar reja	<input type="checkbox"/>	2			
Acomodar paquetes dentro de la reja	<input type="checkbox"/>	21			
Esperar a llenar la reja	<input type="checkbox"/>	9		por parte del montacargas	
Arrastre hacia el almacén 23B	<input type="checkbox"/>	4			
Acomodar reja para descargar la paqueteria	<input type="checkbox"/>	2			
Desarmar reja	<input type="checkbox"/>	4			
Regresar al almacén DHL	<input type="checkbox"/>	5			
Guardado de la paqueteria	<input type="checkbox"/>	8			
Almacenamiento	<input type="checkbox"/>				

Figura 3.7 Ejemplo de un cursograma analítico

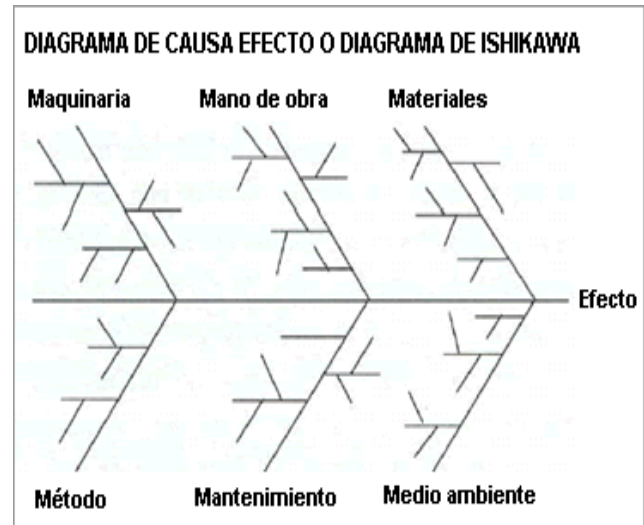


Figura 3.8 Ejemplo de un diagrama de Ishikawa

Un *diagrama de proceso*, es una representación gráfica de los pasos que se siguen en toda una secuencia de actividades, dentro de un proceso o un procedimiento, identificándolos mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza.

Un *cursograma analítico* es un diagrama que muestra la trayectoria de un producto o procedimiento señalando todos los hechos sujetos al análisis el símbolo que corresponda, incluye, además, toda la información que se considera necesaria para el análisis, tal como distancias recorridas, cantidad considerada y tiempo requerido

El *diagrama de Ishikawa* (Fig. 3.8) es un diagrama que muestra las posibles causas clasificadas de un problema. El objetivo de este tipo de diagrama es encontrar las posibles causas de un problema. En un proceso productivo, el diagrama de Ishikawa puede estar relacionado con uno o más de los factores que intervienen en cualquier proceso de la fabricación que son las 6<sup>o</sup> M.



Este diagrama se basa en un proceso de generación de ideas llamado lluvia de ideas. Esta es una técnica para generar muchas ideas en un grupo, requiere de la participación espontánea de todos. Con la utilización de la lluvia de ideas se alcanzan nuevas ideas y soluciones creativas e innovadoras, rompiendo paradigmas establecidos.

Aunque una manera más directa es realizar una lluvia de ideas para cada una de las diferentes ramas y colocar las ideas resultantes en el mismo. A veces en lugar de una o más de las 10<sup>M</sup>, se puede realizar un diagrama de Ishikawa con base a las fases del proceso.

La *técnica de grupo nominal* se utiliza para jerarquizar propuestas. El objetivo de la técnica de grupo nominal es lograr el consenso entre los participantes de un equipo. En general puede usarse cuando los asuntos o propuestas por jerarquizar no pueden ser cuantificados, o sea muy difícil hacerlo.

Aplicado, por ejemplo, a las ideas resultantes de un diagrama de Ishikawa, cada miembro del equipo de manera individual, jerarquiza las ideas, es decir, les asigna un orden de importancia. Después se combinan las jerarquizaciones de todos los miembros y se suman, la idea más recurrente se verá reflejada en la frecuencia con el valor más alto y por consecuencia será la más importante.

Algunas veces, al tratar de enfrentar un determinado problema se tienen creencias acerca de lo que está pasando, ideas vagas o simplemente suposiciones. Estas posturas conducen a tener una situación problemática inespecífica o ambigua.

La manera de actuar asertivamente y poder definir el problema objetivamente es recolectar información a través de las herramientas que se usan para definir un problema, como se muestra en la Fig. 3.9.

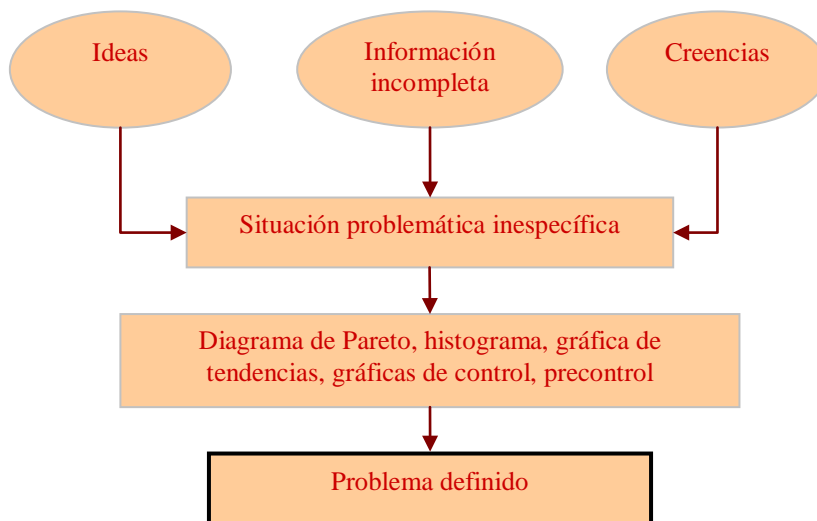


Figura 3.9 Pasos para definir un problema.

Algunas herramientas estadísticas son las siguientes.

El diagrama de Pareto (Fig. 10) consiste en una gráfica de barras ordenadas de mayor a menor, donde cada barra representa el peso que tiene cada uno de los factores que se analizan. El objetivo del diagrama de Pareto es representar información de manera que facilite la rápida visualización de los factores con mayor peso. La viabilidad y utilidad del diagrama en general está respaldada por el llamado principio de Pareto, conocido como “ley 80-20” o “pocos vitales, muchos triviales”, el cual reconoce que unos pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos generan muy poco del efecto total.

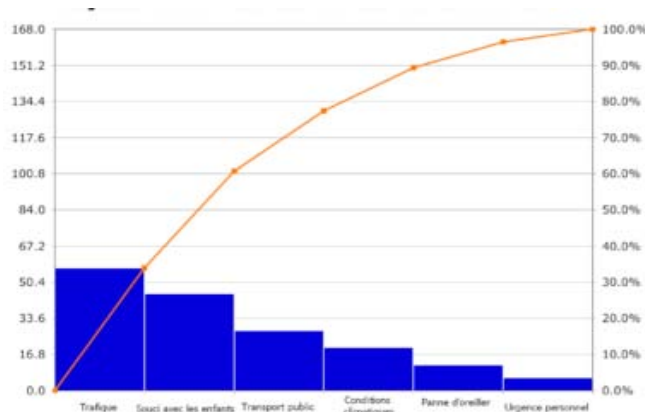


Figura 3.10 Ejemplo de un diagrama de Pareto

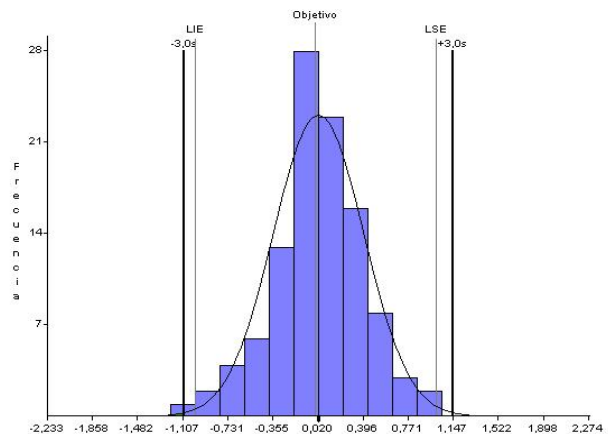


Figura 3.11 Ejemplo de un Histograma





*El Histograma* (Fig. 3.11) es una gráfica de barras que muestra la repetición de un grupo de datos. Su objetivo es visualizar la dispersión, el centrado y la forma de un grupo de datos. El uso sistemático del histograma facilita el entendimiento de la variabilidad y favorece el pensamiento estadístico, ya que con un solo vistazo se logra tener una idea sobre la capacidad de un proceso, se evitan decisiones sólo apoyándose en la media, y se detectan datos raros y formas especiales de la distribución de los datos.

*La tabla de frecuencia* es una herramienta que analiza la distribución de unos datos clasificándolos por su magnitud. Se divide el rango de variación en cierta cantidad de intervalos y después se cuentan los datos que se están en cada intervalo. Para establecer el número de intervalos o clases, hay varios criterios, uno de ellos dice que el número de clases debe ser aproximadamente igual a la raíz cuadrada del número de datos. El histograma es la representación gráfica de la tabla de frecuencias.

### 3.3.2 Definición del problema y charter del proyecto

La definición del problema establece una situación que se debe cambiar en forma clara, concisa y por escrito. La definición debe contestar a las preguntas:

- ✓ ¿Qué?
- ✓ ¿De qué magnitud?
- ✓ ¿A quién está afectando?
- ✓ ¿Dónde?

Una vez definido el problema, se diseña la estructura del proyecto en base al fin, los objetivos y actividades a desarrollar. Durante el proceso donde identificamos el problema debemos considerar la gestión del proyecto que es muy importante sobre todo para no tener problemas de carácter administrativo durante la ejecución del proyecto, la cual se verá reflejada en el charter del proyecto.



El charter del proyecto es uno de los documentos más importantes del proyecto, ya que engloba toda la información necesaria acerca del proyecto y los beneficios que se esperan con el desarrollo del mismo.

El charter es el primer documento del proyecto y por lo general ningún proyecto podrá iniciar de manera formal si no tiene una propuesta de charter.

Las partes principales que debe contener un charter son:

- Información general del proyecto: líder del proyecto, fecha de revisión, fecha de terminación, línea del producto y champion.
- Enunciado del problema
- Objetivo
- Alcance del proyecto
- Resultados
- Métricos clave
- Partes interesadas
- Beneficios
- Programa
- Barreras críticas e impedimentos
- Revisión del charter

### 3.3.3 Aplicación del proyecto de la etapa de definición

En las áreas de producción y calidad, nos dimos a la tarea de estudiar el proceso de fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS- VERT, que debido a su naturaleza y complejidad fue escogido para realizar el estudio.

La varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT es un producto de reciente adquisición, por lo cual nos apoyamos en las especificaciones y tolerancias establecidas por FYMSA y el cliente para la toma y análisis de datos. Véase anexo 2 y 3.



Recordando las VCC:

$Y_1$  = Tiempo de entrega. No ha presentado algún reporte o queja por parte del cliente.

El tiempo de entrega está relacionado con el tiempo de ciclo<sup>3</sup>, el cual refleja la eficiencia y coordinación de los recursos materiales y humanos a lo largo del proceso, por lo que es un factor que influye en los costos de la producción, y en los plazos de entrega que la empresa puede soportar.

En este caso, el tiempo de ciclo de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT cumple sobre los límites del tiempo establecido, lo cual significa que no es del todo bueno, puesto que el tiempo destinado en holguras es más del 50 % de tiempo real de trabajo.

$Y_2$  Cumplimiento de los requerimientos. No se ha cumplido satisfactoriamente con las especificaciones establecidas. Existe un esfuerzo en el ensamble final de la pieza.

No cumplir con especificaciones provocó el rechazo de la primera entrega (100 piezas) de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT. Como primera medida al rechazo se inició una inspección al 100 % contra la hoja de proceso e inspección y la hoja de tolerancias y especificaciones, así también, la búsqueda de las causas de los artículos en proceso.

Con la finalidad de un mejor entendimiento del problema se elaboró el mapeo del proceso de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT (véase anexo 4) para identificar posibles causas bajo una visión compartida.

El diagrama de Ishikawa (Fig.12) muestra las posibles causas clasificadas del rechazo.

---

<sup>3</sup> Es el tiempo que transcurre desde que el cliente inicia un pedido que se transforma en órdenes de compra para proveedores, órdenes de producción de materiales y subensambles hasta que todo esto se transforma en un producto en manos del cliente.

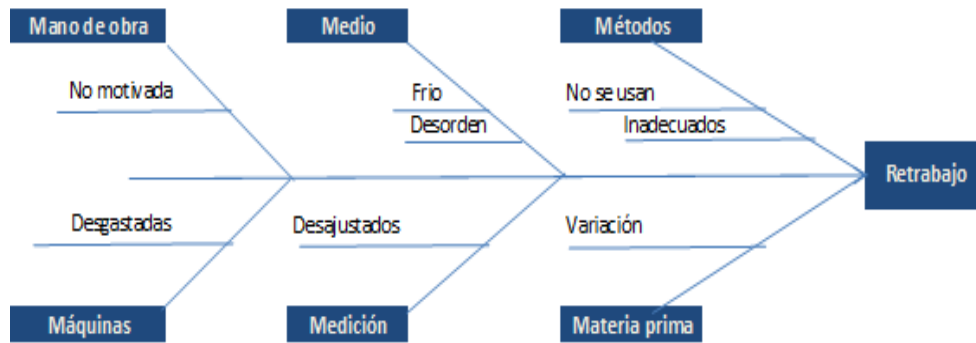


Figura 3.12 Diagrama de Ishikawa

Con la identificación de la causa más la utilización de las herramientas estadísticas mencionadas en el inciso anterior, podemos identificar las oportunidades de mejora en el proceso de fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT, que benefician al cliente.

La tabla 3.1 contiene la información de defectos por pieza de 5 lotes de 20 piezas cada uno, de los artículos rechazados.

Discrepancias	Frecuencia	Porcentaje	%Acumulado
Planchado dos	24	42,11	42,11
Reproceso en el rectificado	15	26,32	68,42
Punzonado uno	7	12,28	80,70
Punzonado dos	4	7,02	87,72
Avellanado	4	7,02	94,74
Otros	3	5,26	100,00
Total	57		

Tabla 3.1 Tabla de frecuencias

La información esta ordenada de mayor a menor, así como las columnas de porcentaje y porcentaje acumulado.

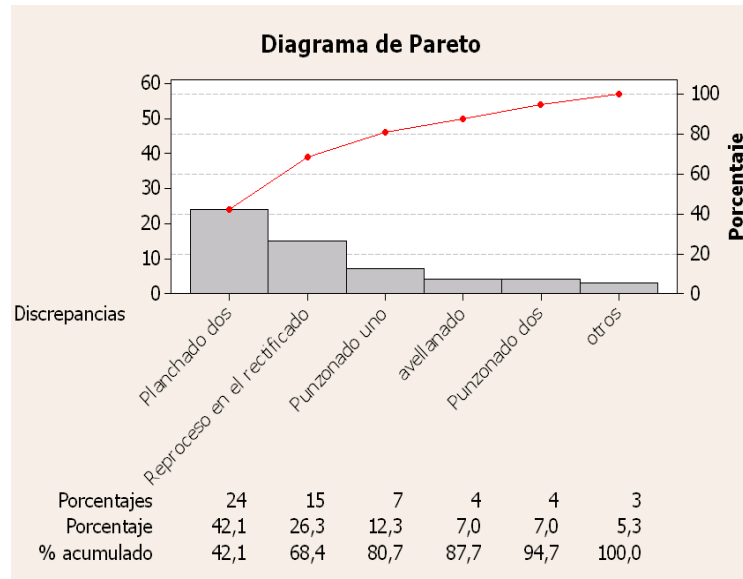


Figura 3.13 Diagrama de Pareto

En el diagrama de Pareto (Fig. 3.13) podemos observar las 3 principales causas que ocupan el 80.7% de los defectos.

- ✓ Planchado dos: fuera de especificación con respecto a su posición.
- ✓ Rectificado: fuera de especificaciones.
- ✓ Punzonado uno: fuera de especificaciones.

El planchado dos que se encuentra fuera de especificación con respecto a su posición, significa un mayor esfuerzo en el ensamble final de la pieza.

El rectificado que no cumple con especificaciones provoca un esfuerzo mayor en el ensamble de los elementos (Fig. 3.14) y retrabajo en la pieza con lo cual el tiempo de ciclo se alarga.

El punzonado uno, avellanado, punzonado dos y otras causas que se encuentren fuera de especificaciones dificultan el ensamble final de la pieza.

Como solución inmediata para el planchado dos, se colocó y se puso en funcionamiento un dispositivo poka-yoke, cuya función es guardar la perpendicularidad entre el planchado dos con respecto al planchado uno; de esta manera la perpendicularidad que debe guardar la pieza con



respecto a su posición cumple satisfactoriamente con las especificaciones, además de servir como apoyo en el proceso de punzonado para mantener las especificaciones.

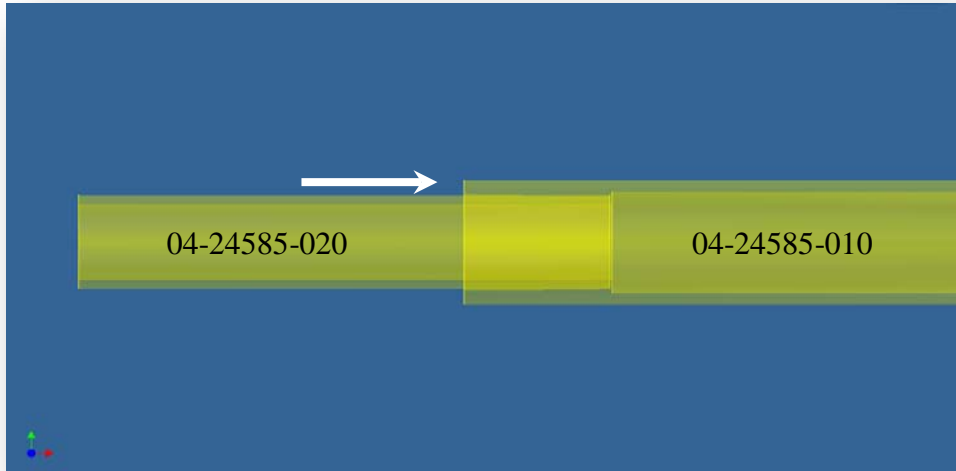


Figura. 3.14 Dificultad al ensamblar el tubo 04-24585-020 dentro del tubo 04-24585-010.

Para las fallas detectadas en el rectificado se optó por dar un seguimiento estadístico de acuerdo a la metodología DMAIC para la resolución de estas mismas, puesto que los trabajadores detectaron varias causas que podían dar origen a las fallas en el rectificado, por lo cual se recurría al retrabajo para poder ensamblar las piezas correctamente.

Como primer acercamiento para establecer las condiciones actuales del proceso de fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS – VERT, en el área de rectificado, se realizó un seguimiento estadístico en el rectificado del diámetro interior del tubo 04-24585-010, para un nuevo lote de fabricación.

Una de las características de la calidad en el rectificado tiene especificaciones de  $21.8 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ . (Ver anexo 3). Para contar con una base histórica que nos permita obtener la capacidad del proceso para cumplir con esta especificación, se obtiene una muestra aleatoria<sup>4</sup> de 40 unidades producidas de un nuevo lote 100 piezas. De las mediciones de esas 40 unidades se obtiene que la media y la desviación estándar para la muestra son:  $\bar{X} = 21.804$  y  $S = 0.115399$

<sup>4</sup> La estimación de los índices de capacidad los obtendremos mediante una muestra (estimación por intervalos).



Con los valores de:  $\bar{X} = 21.804$ ,  $S = 0.115399$  y con una confianza al 95 % cuyo valor  $Z_{\alpha/2} = 1.96$  se pueden estimar los siguientes los índices (Véase cálculos en el apéndice A1):

$$\hat{C}_p = 0.7221 \pm 0.1601$$

$$\hat{C}_{pk} = 0.7105 \pm 0.1885$$

$$\hat{C}_{pm} = 0.7336 \pm 0.2277$$

El 0.1601, 0.1885 y el 0.2277, son los errores de estimación y son iguales a la mitad del intervalo de confianza. De esta manera, con una confianza de 95%, el verdadero valor del índice  $C_p$  está entre 0.8822 y 0.562 ( $0.7221 \pm 0.160132$ ); el  $C_{pk}$  se localiza con una confianza de 95% entre 0.899 y 0.522 ( $0.7105 \pm 0.1885$ ); y el índice  $C_{pm}$  con una confianza de 95% entre 0.9613 y 0.5059 ( $0.7336 \pm 0.2277$ ).

Como se aprecia en las tabla 3.2, en base a los resultados sería riesgoso afirmar que el proceso es potencialmente incapaz, ya que el valor de de  $C_p$  puede ser de hasta 0.8822. Aunque el  $C_p$ , no es  $\geq 1$ , por lo que obviamente el proceso no es adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso y requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.

VALOR DEL ÍNDICE $C_p$	CATEGORÍA DE PROCESO	DECISIÓN (SI EL PROCESO ESTÁ CENTRADO)
$C_p \geq 2$	CLASE MUNDIAL	SE TIENE CALIDAD SEIS SIGMA
$C_p > 1.33$	1	ADECUADO
$1 < C_p < 1.33$	2	PARCIALMENTE ADUCUADO. REQUIERE DE UN CONTROL Estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	NO ADECUADO PARA EL TRABAJO. UN ANÁLISIS DEL PROCESO ES NECESARIO. REQUIERE DE MODIFICACIONES SERIAS PARA PODER ALCANZAR UNA CALIDAD SATISFACTORIA.
$C_p < 0.67$	4	NO ADECUADO PARA EL TRABAJO. REQUIERE DE MODIFICACIONES MUY SERIAS.

Tabla 3.2 Valores del  $C_p$  y su interpretación



Los métricos seleccionados son los siguientes:

- a) First Pass Yield (FPY) Porcentaje de producto bueno a la primera. Porcentaje de producto hecho bien a la primera vez sin recurrir a acciones de retrabajo o ajuste.
- b) Capacidad de producción o ciclo de tiempo. El número de unidades que un proceso es capaz de producir en un periodo de tiempo dado, usualmente como un porcentaje del Entitlement (cero defectos).

La definición del problema es la siguiente:

El incumplimiento en las especificaciones y métodos de trabajo en el rectificado del diámetro interno del tubo 04-24585-010, dificulta el ensamble con el tubo 04-24585-020 (véase figura 3.16), lo cual provoca retrabajo y consecuencia el aumento del tiempo de ciclo de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT.

Indicador seleccionado:

Disminuir el porcentaje de retrabajos, que es aproximadamente 15% del total de la producción de la pieza.

Objetivo:

Recolectar, procesar y analizar los datos pertinentes al proceso de fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT en un periodo de 4 meses dentro de FYMSA, para implementar un programa de mejora que permita un ahorro en desperdicios y mano de obra dentro de la empresa, al disminuir el ciclo del proceso posteriormente a la implementación del programa.

Las VCC, que nos interesan para este proyecto son:

Y<sub>1</sub> Tiempo de entrega (reducción del ciclo de proceso)

Y<sub>2</sub> Esfuerzo en el ensamble (ensamble de los elementos de la pieza)





Las VCC se obtuvieron de acuerdo a los resultados del análisis estadístico y los métricos seleccionados, por lo cual no se recurrió a la utilización de un AMEF, como lo sugiere el método DMAIC – SANG, pues no se consideró un proceso tan complejo. La propuesta general de diseño del charter para este proyecto se muestra en el anexo 1.

### 3.4 Etapa de medición.

La toma de mediciones es de gran importancia en las empresas, pues con base en ellas se evalúa el desempeño y la eficiencia de los recursos. Dentro de un sistema de medición se coleccionan los datos que arrojan las operaciones, procedimientos, instrumentos de medición, software y personal definido para asignar un número a la característica que está siendo medida.

En la etapa de medición se verifica la capacidad y estabilidad de los sistemas de medición por medio de estudios de repetibilidad, reproducibilidad, linealidad, exactitud y estabilidad. De igual manera se verifica que las variables críticas de la calidad (VCC) puedan medirse de forma consistente, se miden su situación actual (baseline) y se establecen las metas para las VCC.

Todos los sistemas de mediciones deben poseer las siguientes propiedades estadísticas establecidas:

- Estar en control estadístico (estabilidad estadística).
- Su variabilidad debe ser pequeña comprobada con las especificaciones (5% de los datos fuera de especificaciones) y con la variación del proceso.
- Los incrementos de medida no deben ser mayores a 1 / 10 de lo menor a las especificaciones y la variación del proceso.
- Poco sesgo (No mayor al 10%).

La variación de los sistemas de medición se efectúa a través de estudios de repetibilidad, reproducibilidad (Gage R&R), exactitud, estabilidad y linealidad.



Los usos de la evaluación son:

- Aceptar equipo nuevo.
- Comprobar dos equipos entre si.
- Evaluar un calibrador sospechoso.
- Evaluar un calibrador antes y después de repararlo.
- Antes de implantar gráficas de control.
- Cuando disminuya la variación del proceso
- De manera continua de acuerdo con la frecuencia de medición recomendar en los estudios.

La precisión y la exactitud son dos manifestaciones de la variabilidad y en cualquier proceso de medición. La precisión es la variación que presenta los resultados al medir varias veces una misma magnitud o mensurado con el mismo equipo. En otras palabras la precisión es la habilidad de un instrumento de medición para repetir y reproducir su propia medición, sin importar si esta es correcta o incorrecta. La exactitud o sesgo se refiere al desfase o desplazamiento que tienen las mediciones en relación al estándar o verdadero valor que se supone conocido.

Dicho de otra manera la exactitud es la diferencia entre el promedio de las mediciones hechas por un operario (VP) y el valor real (VR) obtenido con el master (patrón o instrumento de medición usado para medir a los de uso diario)

$$\% \text{ error} = \left( \frac{|VP - VR|}{y} \right) \times 100$$

–

$y = \frac{R}{d_2}$  (variación del proceso), o LSE- LIE (tolerancia)

$d_2$

Los problemas de falta de exactitud pueden deberse a calibración inadecuada, error en el master, instrumento de medición desgastado, el calibrador no está hecho para medir esa característica, o se está midiendo la característica equivocada o se usa el instrumento de manera incorrecta.



La linealidad se define como la diferencia en exactitud (sesgo) entre el master y el promedio observado sobre todo el rango de operación del instrumento.

Los problemas de falta de linealidad pueden deberse a que el instrumento no está calibrado correctamente en los extremos de su rango de operación, existe error en las mediciones máximas y mínimas del master, el instrumento de medición está desgastado.

El procedimiento para obtener la linealidad consiste en:

- Tomar varias piezas que cubran el rango de operación del calibrador y medirlas con el master.
- Medir cada pieza, varias veces por un solo operador.
- Obtener el promedio de las mediciones y restarlo del valor del master de cada pieza (exactitud promedio).
- Ajustar una línea de regresión  $y = ax + b$ , donde:

a = pendiente

b = intersección con el eje y

x = medición del master

y = exactitud (sesgo) promedio

La linealidad se calcula como:  $|a| * (\text{variación del proceso o tolerancia.})$

El porcentaje de linealidad es  $100 * (\text{linealidad} / \text{variación del proceso o tolerancia.})$ .

Se desea un porcentaje de linealidad menor o igual a 10 %.

La estabilidad es la cantidad de variación en exactitud sobre cierto periodo. Sin evaluar la estabilidad no es posible asegurar evaluaciones confiables sobre las demás propiedades estadísticas.

La manera de determinar la estabilidad es a través de una gráfica de control generalmente de medias o rangos, y se desprenden estas dos posibilidades:



- Si existe una situación fuera de control en los rangos, significa que la repetibilidad no es estable.
- Si existe una situación fuera de control en las medias, significa que la exactitud ha cambiado, entonces será necesario encontrar las causas y corregir la situación, si es debido al desgaste, hay que recalibrar el instrumento.

La repetibilidad es la variación en las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Se define como la variación alrededor de la media. Esta variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso. Las causas posibles de problemas de repetibilidad son: suciedad, fricción, desajuste o desgaste.

La reproducibilidad es la variación entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición

#### 3.4.1 Herramientas utilizadas en la etapa de medición

*Al método de repetibilidad y reproducibilidad (RR)* se le conoce como medias y rangos o método largo. Los pasos para el estudio son:

- Calibrar el instrumento.
- Seleccionar 2 o 3 operarios que midan por lo menos dos veces las mismas 10 piezas (numeradas) en orden aleatorio.
- Seleccionar las piezas que cubran todo el rango de variación de la especificación, incluyendo algunas fuera de ella.
- Llenar el formato de RR o usar algún software.



Se concluye que:

Si la repetibilidad es grande comparada con la reproducibilidad las razones posibles son:

- El calibrador necesita mantenimiento.
- El rediseño del calibrador
- Mejorar la sujeción de la pieza
- Existe mucha variación entre las piezas.

Si la reproducibilidad es mayor comparada con la repetibilidad, las causas posibles son:

- El operario necesita entrenamiento en el uso del calibrador.
- Las calibraciones en la escala del calibrador no están claras.
- Cabe la posibilidad de implementar un dispositivo de sujeción que permita usar de manera sencilla el calibrador.

El método del rango o método corto, se usa como una aproximación en la evaluación de la repetibilidad y reproducibilidad de un sistema de medición. Se recomienda usar cinco piezas y dos operadores.

Otro método alternativo al estudio de RR es el *análisis de varianza (ANOVA)*. Las ventajas de ANOVA con respecto a método tradicional son:

- Las varianzas pueden ser estimadas con mayor exactitud
- Se pueden obtener mayor información como la interacción entre piezas y operarios.

Para calibradores que solamente toman en cuenta si la pieza es buena (B) o mala (NB), la manera de realizar un estudio corto es:



- Que dos operarios evalúen las mismas 20 piezas (numeradas) dos veces cada una. Se recomienda que algunas de ellas estén ligeramente fuera de especificación.
- El calibrador será aceptable si concuerdan las cuatro evaluaciones para cada pieza. De lo contrario el calibrador debe ser mejorado o reevaluado y si no puede ser evaluado, se deberá cambiar.

La estabilidad y la capacidad, que son las características requeridas por un sistema de medición, se componen a su vez de otros elementos.

La estabilidad incluye la reproducibilidad, es decir, que las mediciones no deben cambiar por el efecto del tiempo o por cambios en operadores o en el medio. La capacidad, en cambio, necesita de sensibilidad, o sea de repetibilidad (precisión) y exactitud (sesgo).

La incertidumbre es la medida del error que tiene una medición. Existen dos tipos de incertidumbre: A y B, la incertidumbre tipo A está relacionada con la precisión del equipo.

$$(t_{\alpha/2, n-1})S/\sqrt{n}$$

Siendo  $(t_{\alpha/2, n-1})$  un valor de la distribución t que depende del tamaño de muestra y del nivel de confianza deseado. Y la incertidumbre tipo B tiene que ver con la exactitud del instrumento de medición y una forma de calcularlo es:

$$I_B = |\text{promedio} - \text{master}| / \sqrt{3}$$

#### 3.4.1.1 Gráficas de control

Es inevitable que algún producto manufacturado no sufra de variaciones. Estas variaciones tienen causas de dos tipos: causas debidas al azar y causas asignables. Las variaciones debidas al azar son inevitables en el proceso, aun si la los procesos se realizan con materia y procesos estandarizados. La variación debida a causas asignables significa que hay factores significativos que pueden ser investigados.



En la práctica cuando los puntos o grupo de datos se encuentran por fuera de los límites de control o muestran una tendencia particular, se dice que el proceso está fuera de control. Para poder controlar el proceso, se requiere poder predecir el resultado dentro de un margen de variación debido al azar.

Para hacer una gráfica de control es necesario estimar la variación debida al azar. Para esto se dividen los datos en subgrupos dentro de los cuales el lote de materia prima, las máquinas, los operadores y otros factores son comunes, de modo que la variación dentro del subgrupo puede considerarse aproximadamente la misma que la variación debida al azar.

Hay varias clases de gráficas de control dependiendo de su propósito y de las características de la variable. En cualquier tipo de gráfica de control el límite de control se calcula usando la siguiente fórmula:

$$(\text{Valor promedio}) = \pm 3 * (\text{desviación estándar}).$$

Donde la desviación estándar es la variación debida al azar. Este tipo de gráfica de control se llama una grafica de control de 3-sigma.

Hay dos tipos de gráficas de control, una para valores continuos y otra para valores discretos. Los tipos de graficas prescritos por JIS (Japanese Industrial Standards) se muestran en la tabla 3.2 y sus líneas de control se muestran en la tabla 3.3.

<i>Valor característico</i>	<i>Nombre</i>
<i>Valor continuo</i>	Gráfica $\bar{x} - R$ (Valor promedio y rango)
	Gráfica $x$ (variable de mediana)
<i>Valor discreto</i>	Gráfica $pn$ (Número de unidades defectuosas)
	Gráfica $p$ (Fracción de unidades defectuosas)
	Gráfica $c$ (Número de defectos)
	Gráfica $u$ (Número de defectos por unidad)

Tabla 3.3. Tipos de gráficas prescriptas por la JIS



<i>Tipo de gráfica</i>	<i>Límite superior de control (LS)</i>
<i>De control</i>	<i>Línea central (LC)</i>
	<i>Límite inferior de control (LI)</i>
<i>Valor continuo - promedio</i>	$LS = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$
$\bar{x}$	$LC = \bar{\bar{x}}$
	$LI = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$
<i>Valor continuo - rango</i>	$LS = D_4 \bar{R}$
	$LC = \bar{R}$
	$LI = D_3 \bar{R}$
<i>Valor continuo – valor medio</i>	$LS = \bar{x} + 2.66 \bar{R}s$
	$LC = \bar{x}$
	$LI = \bar{x} - 2.66 \bar{R}s$
<i>Valor discreto – número</i>	$LS = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$
<i>De unidades defectuosas</i>	$LC = \bar{p}n$
$pn$	$LI = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$
<i>Valor Discreto – fracción</i>	$LS = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$
<i>De unidades defectuosas</i>	$LC = \bar{p}$
$p$	$LI = \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$
<i>Valor discreto – número</i>	$LS = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$
<i>De defectos</i>	$LC = \bar{c}$
$c$	$LI = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
<i>Valor discreto – número</i>	$LS = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$
<i>De defectos por unidad</i>	$LC = \bar{u}$
$u$	$LI = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$

Tabla 3.4. Líneas de Control de la gráficas

La gráfica  $\bar{x}$  - R se usa para controlar y analizar un proceso en el cual la característica de calidad del producto que se está midiendo toma valores continuos, tales como longitud, peso o concentración y esto proporciona mayor cantidad de información del proceso.  $\bar{x}$  representa un valor promedio de un





subgrupo y R representa el rango del subgrupo. Una gráfica R se usa generalmente en combinación con una gráfica  $\bar{x}$  para controlar la variación de un subgrupo.

La gráfica x. Cuando los datos de un proceso se registran durante intervalos largos de tiempo o los subgrupos de datos no son efectivos, se gráfica cada dato individualmente y esa gráfica puede usarse como gráfica de control. Debido a que no hay subgrupo y el valor de R no puede calcularse, se usa el rango móvil  $R_s$  de datos sucesivos para el cálculo de los límites de control de x.

La gráfica pn y la gráfica p, se usan cuando la característica de calidad se representa por el número de unidades defectuosas o la fracción defectuosa. Para una muestra de tamaño constante se usa una gráfica pn del número de unidades defectuosas, mientras que una gráfica p de la fracción de defectos s usa una muestra de tamaño variable.

La gráfica c y la gráfica u, se usan para controlar y analizar un proceso por los defectos de un producto, tales como rayones en placas de metal, número de soldaduras defectuosas y entre muchas otras. Una gráfica c referida al número de defectos se usa para un producto cuyas dimensiones son constantes, mientras que una gráfica u se usa para un producto de dimensión variable.

Lo más importante en el control del proceso es captar el estado del proceso de manera precisa leyendo la gráfica de control y ligeramente tomar acciones apropiadas cuando se encuentre algo anormal en el proceso. Cuando decimos que el estado del proceso es controlado, es porque el promedio y la variación del proceso no cambian. Si un proceso está o no controlado se juzga según los siguientes criterios a partir de la gráfica de control.

- a) Fuera de los límites de control. Puntos que están por fuera de los límites de control.
- b) Racha. Estado en el cual los puntos ocurren continuamente en un lado de la línea central y el número de puntos se llama longitud de la racha. Una longitud de siete puntos en una racha se considera normal. Se considera anormales cuando son más de 10 puntos consecutivos ocurren en un mismo lado de la línea central.
- c) Tendencia. Cuando los puntos forman una curva continua ascendente o descendente.



- d) Acercamiento a los límites de control. Teniendo en cuenta los puntos que se acercan a los límites de control 3-sigma, si 2 o 3 puntos consecutivos ocurren por fuera de las líneas de 2-sigma, el caso se considera anormal.
- e) Acercamiento a la línea central. Cuando la mayoría de los puntos están dentro de las líneas de 1.5-sigma, esto se debe a una forma inapropiada de hacer los subgrupos. El acercamiento a la línea central no significa un estado de control, sino una mezcla de la información de diferentes poblaciones en los subgrupos, lo cual hace que los límites de control sean demasiados amplios, cuando se presenta esta situación es necesario cambiar la manera de hacer los subgrupos.
- f) Periodicidad. También es anormal que la curva muestra repetidamente una tendencia ascendente para casi el mismo intervalo.

El objetivo del análisis del proceso es identificar de causas específicas asignables de la variación de una característica de calidad en un proceso. Después de encontrar esas causas asignables por medio del análisis del proceso, es necesario realizar una serie de acciones correctivas en relación con las causas asignables. Entre las acciones correctivas podemos mencionar las siguientes:

- a) Organización correcta de los subgrupos.
- b) Variación dentro del subgrupo y variación entre subgrupos.
- c) Estratificación.
- d) Prueba de la diferencia entre gráficas de control estratificadas.
- e) Prueba de la diferencia en la variación entre estratos.

Por lo general, cuando se usa una grafica de control para analizar un problema, ésta no se usa sola sino en conjunto con histogramas.



### 3.4.1.2 Capacidad del proceso

Para evaluar de forma precisa la capacidad del proceso se requiere conocer por lo menos dos parámetros del mismo, como lo son su media,  $\mu$ , y su desviación estándar,  $\sigma$ , ya que así se podrán calcular los límites reales y los índices de capacidad. En caso de no conocer el valor de estos parámetros es necesario estimarlos en base a:

$$\mu \approx \bar{X} \text{ y } \sigma \approx S = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde el símbolo  $\approx$  significa aproximadamente igual, mientras que la constante  $d_2$  establece la relación entre el rango y la desviación estándar y su valor depende del tamaño de la muestra que se tome ya sea en un tiempo dado o de forma aleatoria. Los valores obtenidos no son igual a  $\mu$  y a  $\sigma$ , ya que los valores de  $\bar{X}$  y  $S$ , dependen de los artículos seleccionados en la muestra. Además no se requiere tener una información para confirmar que tan veraz es la estimación, calculando el error de estimación y el intervalo de confianza.

Los procesos industriales tienen variables de salida o de respuesta, las cuales deben cumplir con ciertas especificaciones para así considerar que el proceso está funcionando de manera satisfactoria. Evaluar la habilidad o capacidad de un proceso es analizar qué tan bien cumplen sus variables de salida con las especificaciones.

Sea una característica de calidad de un producto o variable de salida de un proceso, del tipo nominal es mejor, donde para considerar que hay calidad las mediciones deben ser igual a cierto valor nominal o ideal ( $N$ ), o al menos tienen que estar dentro de cierta especificación inferior ( $EI$ ) y superior ( $ES$ ).

El índice de capacidad<sup>5</sup> potencial del proceso,  $C_p$ , se define de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

<sup>5</sup> Existen diversas formas de interpretar el  $C_p$  de acuerdo al tipo de estudio, ya sea a largo o a corto plazo



Donde  $\sigma$  representa la desviación estándar del proceso, y ES y EI son las especificaciones superior e inferior para la características de calidad. El índice  $C_p$  compara el ancho de las especificaciones o variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real del proceso:

$$C_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}} \quad C_T = \frac{1}{C_p}$$

Decimos que  $6\sigma$  (seis veces la desviación estándar) es la variación real, debido a las propiedades de la distribución normal, en donde se afirma que entre  $\mu \pm 3\sigma$  se encuentra el 99.73% de los variables de una variable con distribución normal.

Interpretación del índice  $C_p$ . Para que el proceso pueda considerarse potencialmente capaz de cumplir con especificaciones se requiere que la variación real siempre sea menor que la variación tolerada. De aquí que lo deseable es que el índice  $C_p$  sea mayor que 1, y si el valor del índice  $C_p$  es menor que 1 es una evidencia de que no cumple con las especificaciones. La interpretación que a continuación se dará se basa en que los índices se han estimado considerando variabilidad a corto plazo.

Si al analizar el proceso se encuentra que su capacidad para cumplir especificaciones es mala existen tres opciones: modificar el proceso, mejorar su control, mejorar el sistema de medición, modificar tolerancias o inspeccionar el 100% de los productos. Por el contrario, si hay capacidad excesiva ésta se puede aprovechar, por ejemplo: con la venta de la precisión, del método, reasignando productos a máquinas menos precisas, acelerar el proceso y reducir la cantidad de inspección.

Índice  $C_r$

$$C_r = \frac{6\sigma}{ES - EI}$$

Como se puede apreciar, el índice  $C_r$  es el inverso del  $C_p$  ya que compara la variación real contra la variación tolerada. Con este índice se requiere que el numerador sea menor que el denominador, es decir, lo deseable son valores de  $C_r$  pequeños (menores a 1).



La ventaja de del índice  $C_r$  sobre el  $C_p$ , es que tiene una interpretación un poco más intuitiva, el índice  $C_r$  representa la proporción de la banda de especificaciones que es ocupada por el proceso. Por ejemplo, si el  $C_r = 0.60$ , querrá decir que la variación del proceso abarca o cubre sólo el 60% de la banda de especificaciones, por lo que su capacidad potencial es satisfactoria. En cambio, si el  $C_r = 1.20$  eso indica una capacidad pobre ya que la variación del proceso cubre el 120% de la banda de especificaciones.

### Índices $C_{pk}$ , $C_{pi}$ , $C_{ps}$

La desventaja de los índices  $C_p$  y  $C_r$  es que no toman en cuenta el centrado del proceso. Para superar esta desventaja será necesario recurrir a otros índices, uno de ellos es el *índice de capacidad real: el índice  $C_{pk}$* . Para calcularlo hay varias formas equivalentes, una de ellas consiste en calcular un índice de capacidad para la especificación inferior,  $C_{pi}$ , y otro para la superior  $C_{ps}$ , de la siguiente manera:

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma}$$

$$C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$$

La distancia de la media del proceso a una de las especificaciones representa la variación tolerada para el proceso de un solo lado de la media. Por eso se divide entre  $3\sigma$  en lugar de  $6\sigma$ .

Los índices unilaterales se interpretan en forma más o menos similar al índice  $C_p$ . El índice  $C_{pk}$  está definido por:

$C_{pk} =$  Al valor más pequeño de entre  $C_{pi}$  y  $C_{ps}$ .

El índice  $C_{pk}$  es igual al índice unilateral más malo, por lo que si el valor del  $C_{pk}$  es satisfactorio eso indicará en realidad es capaz.



VALOR DEL ÍNDICE (CORTO PLAZO)	PROCESO CON DOBLE ESPECIFICACIÓN (ÍNDICE $C_p$ )		CON REFERENCIA A UNA SOLA ESPECIFICACIÓN ( $C_{ps}$ , $C_{pk}$ )	
	% fuera de las dos especificaciones	Partes por millón fuera	% fuera de una especificación	Partes por millón fuera
	<b>0.2</b>	54.8506%	548 506.130	27.4253%
<b>0.3</b>	36.8120%	368 120.183	18.4060%	184 060.092
<b>0.4</b>	23.0139%	230 139.463	11.5070%	115 069.732
<b>0.5</b>	13.3614%	133 614.458	6.6807%	66 807.229
<b>0.6</b>	7.1861%	71 860.310	3.5930%	35 930.266
<b>0.7</b>	3.5729%	35 728.715	1.7864%	17 864.529
<b>0.8</b>	1.6395%	16 395.058	0.8198%	8 197.529
<b>0.9</b>	0.6964%	6 934.046	0.3467%	3 467.967
<b>1.0</b>	0.2700%	2 699.934	0.1350%	1 349.967
<b>1.1</b>	0.0967%	966.965	0.0483%	483.483
<b>1.2</b>	0.0318%	318.291	0.0159%	159.146
<b>1.3</b>	0.0096%	96.231	0.0048%	48.116
<b>1.4</b>	0.0027%	26.708	0.0013%	13.354
<b>1.5</b>	0.0007%	6.802	0.0003%	3.401
<b>1.6</b>	0.0002%	1.589	0.0001%	0.794
<b>1.7</b>	0.0000%	0.340	0.0000%	0.170
<b>1.8</b>	0.0000%	0.067	0.0000%	0.003
<b>1.9</b>	0.0000%	0.012	0.0000%	0.006
<b>2.0</b>	0.0000%	0.002	0.0000%	0.000

Tabla 3.5 Los índices de  $C_p C_{ps} C_{pk}$ , en términos de la cantidad de piezas malas Bajo normalidad y proceso centrado en el caso de doble especificación

Si no es satisfactorio no cumple con por lo menos una de las especificaciones. Algunos elementos adicionales para la interpretación del índice  $C_{pk}$  son los siguientes:

- El índice  $C_{pk}$  siempre va a ser menor o igual que el índice  $C_p$ . Cuando sean muy próximos, eso indicará que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones.



- Si el valor del índice  $C_{pk}$  es mucho más pequeño que el  $C_p$ , nos indicará que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones.
- De acuerdo con la tabla 3.5, cuando los valores de  $C_{pk}$  sean mayores a 1.25 o 1.45 se considerará que se tenga un proceso con capacidad satisfactoria.
- Valores del  $C_{pk}$  igual o negativos indican que la media del proceso está fuera de especificaciones.

### Índice K

El índice de K de descentrado de proceso o índice de localización K es una medida especializada para evaluar el centrado del proceso, ya que mide en términos relativos y porcentuales qué tan descentrada o alejada está la media de un proceso un proceso respecto al valor nominal, N, (target) para la características de calidad. Este índice se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)} \times 100$$

De esta forma el índice K es igual a la media del proceso  $\mu$ , menos el valor nominal para la característica de la calidad, dividida entre la mitad de la distancia de las especificaciones. Es decir, el índice K mide qué tan descentrado está el proceso en función de la mitad de la amplitud de las especificaciones, y al multiplicar por 100 se convierte en una medida porcentual.

La interpretación de los valores de K es como sigue:

- Si el signo del valor de K es positivo significa que la medida del proceso es mayor al valor nominal y será negativo cuando  $\mu$  sea menor que N.
- Valores de k menores a 20% en términos absolutos se pueden considerar como aceptables, pero a medida que el valor absoluto de K sea más grande que 20% indica un proceso muy descentrado.



- El valor nominal N es la calidad, objetivo y óptima, cualquier desviación respecto a este valor lleva a una disminución en la calidad.

Índice  $C_{pm}$  (índice de Taguchi)

Taguchi propone una definición alternativa de los índices de capacidad del proceso, la cual se fundamenta en lo que él denominó función de pérdida. Al índice propuesto por Taguchi, se le denota como  $C_{pm}$ , toma en cuenta de manera simultánea el centrado y la variabilidad del proceso. El índice está definido por:

$$C_{pm} = \frac{ES - EI}{6\tau}$$

Donde

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$$

El valor de N generalmente es igual al punto medio de las especificaciones, es decir  $N = 0.5 (ES+IE)$ . Nótese que el índice  $C_{pm}$  compara el ancho de las especificaciones con  $6\tau$ ; pero  $\tau$  no sólo toma en cuenta la variabilidad del proceso, a través de  $\sigma^2$ , sino que también toma en cuenta el centrado a través de  $(\mu - N)^2$ . De esta forma si el proceso está centrado,  $\mu = N$ , entonces el  $C_p$  y el  $C_{pm}$  son iguales.

Interpretación: Cuando el índice  $C_{pm}$  es mayor que uno quiere decir que el proceso cumple con especificaciones, y en particular que la media del proceso está dentro de la tercera parte media de la banda de las especificaciones. Si  $C_{pm}$  es mayor a 1.33, entonces el proceso cumple con especificaciones, pero además la media del proceso está dentro de la quinta parte media del rango de especificaciones.

Por último, es necesario recordar que las interpretaciones de los índices antes vistos, para que sean aplicables como pronósticos del desempeño del proceso en un futuro inmediato, es importante que los procesos sean estables.





### 3.4.1.3 Estimación de los índices de capacidad mediante una muestra

Para conocer los índices de capacidad e interpretarlos se necesita conocer la media  $\mu$  y la desviación estándar  $\sigma$  del proceso con una buena aproximación sin embargo, no siempre se conocen por lo que en ocasiones será necesario utilizar datos muestrales y con base en ello tomar decisiones acertadas. Sea  $x_1, x_2, \dots, x_n$  una muestra aleatoria del proceso, y si los índices se estiman usando  $\bar{X}$  y  $S$  en lugar de  $\mu$  y  $\sigma$ , respectivamente, y si la muestra es pequeña (menos a 100 o 150), es incorrecto comparar los valores estimados con los valores mínimos recomendados para los índices. Así, a partir de una muestra aleatoria se estiman los índices  $C_p, C_{pi}, C_{ps}, C_{pk}, C_{pm}$  de la siguiente manera:

$$\hat{C}_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

$$\hat{C}_{pi} = \frac{\bar{X} - EI}{3\sigma}$$

$$\hat{C}_{ps} = \frac{ES - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$\hat{C}_{pk} = \text{Mínimo}(\hat{C}_{pi}, \hat{C}_{ps},)$$

$$\hat{C}_{pm} = \frac{ES - EI}{\sqrt{S^2 + (\bar{X} - N)^2}} = .7336$$

Los valores obtenidos no se deben interpretar en función de las tablas 3.2 y 3.5 sobre todo si la muestra sólo es de unas cuantas decenas o si no es representativa del proceso. Al estar basados en una muestra, los valores de los índices dependen de la misma y van a variar de muestra a muestra. Aquí lo que se debe hacer es una estimación por intervalo, en la cual se toma en cuenta el error estándar de su correspondiente estimador muestral. De forma específica los intervalos de confianza para  $C_p, C_{pk}, C_{pm}$  están dados por:



$$\hat{C}_p \pm Z_{\alpha/2} = \frac{\hat{C}_p}{\sqrt{2(n-1)}}$$

$$\hat{C}_{pk} \pm Z_{\alpha/2} = \sqrt{\frac{\hat{C}_{pk}^2}{2(n-1)} + \frac{1}{9n}}$$

$$\hat{C}_{pm} \pm Z_{\alpha/2} \frac{\hat{C}_{pm}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} + \frac{(\bar{X} - N)^2}{S^2}}{\left(1 + \frac{(\bar{X} - N)^2}{S^2}\right)^2}}$$

Donde  $n$  es el tamaño de muestra y  $Z_{\alpha/2}$  es el percentil de la distribución normal que determina la confianza de la estimación. De esta manera, si a partir de una muestra aleatoria del proceso se estiman los índices de capacidad muestrales, entonces el verdadero valor del índice de capacidad del proceso se encontrará entre el intervalo obtenido con las expresiones anteriores, con la confianza deseada.

#### Procesos con una sola especificación

En la industria existen gran cantidad de variables de este tipo, ya sea variables del tipo entre más grande mejor, donde se interesa que sean mayores a cierto valor mínimo (EI); o variables del tipo entre más pequeñas mejor, donde lo que nos interesa es que no exceda un valor máximo (ES).

Si se tienen características de calidad del tipo “entre más grande mejor” que debe ser mayor que una especificación inferior (EI), entonces el índice de capacidad inferior,  $C_{pi}$ , está definido por:

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma}$$

El valor mínimo de los índices  $C_{ps}, C_{pi}$ , para que el proceso se pueda considerar capaz de cumplir con la correspondiente especificación es de 1.25. Si la característica de la calidad es crítica, entonces el valor mínimo debe ser 1.45, o fijarse de acuerdo con la tabla 2.3 utilizando la columna de procesos con sólo una especificación.



### Índices de capacidad de largo plazo: $P_p$ , y $P_{pk}$

Cuando hablamos de capacidad podemos tener una perspectiva de corto y largo plazo. La capacidad de corto plazo es calculada a partir de muchos datos tomados durante un periodo lo suficientemente corto para que no haya influencias externas sobre el proceso. Por lo tanto, esta capacidad representa lo mejor que se puede representar al proceso, mientras que la capacidad a largo plazo se calcula con muchos datos tomados por periodos suficientemente largos para que los factores externos puedan influir en el desempeño del proceso.

Por lo general, para designar a los índices calculados con la desviación estándar de largo plazo se les designa con  $P_p$  en lugar de  $C_p$ ,  $P_{pk}$  en lugar de  $C_{pk}$ , y así con los demás índices cuya letra inicial es C se sustituye por P. Es decir, el  $P_p$  se calcula de igual forma que el  $C_p$ , la diferencia es la forma en que se calculó la desviación estándar: largo plazo para  $P_p$  y corto plazo para  $C_p$ .

### Índice Z (la métrica de Seis Sigma)

Otra forma de medir la capacidad de un proceso es mediante el índice Z, el cual consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la media  $\mu$  del proceso en unidades de desviación estándar  $\sigma$ . De esta manera, para un proceso de doble especificación se tiene Z superior  $Z_s$  y el Z inferior,  $Z_i$  definidos de la siguiente manera:

$$Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma}$$

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma}$$

Tomando en cuenta la forma que se estandariza una variable con distribución normal el índice Z se distribuye normal con media 0 y desviación estándar 1. Por ello, entre más grande sea el valor de Z mejor será la capacidad del proceso. Como se puede ver hay una relación directa entre los índices  $C_{ps}$  y  $C_{pi}$  con el estadístico Z, ya que:

$$3C_{ps} = Z_s \text{ y } 3C_{pi} = Z_i$$



Por tanto, su interpretación se debe hacer con respecto a esta relación.

La capacidad de corto plazo evaluada a través de  $C_p$  y por el índice  $Z$  (designado por  $Z_{ct}$ ) representa la tecnología del proceso. Mientras que la capacidad de largo plazo medida por  $P_p$  y por el estadístico  $Z$  (designado con  $Z_{lt}$ ) representa la tecnología del proceso combinada con el control de la tecnología.

### Calidad tres sigma

Tener un proceso tres sigma significa que los límites reales de su variable de salida coincidan con las especificaciones de calidad para tal variable. Por ejemplo, para el proceso de envasado de azúcar de una empresa azucarera se tiene como especificación que los costales deben contener 50 kilos con una tolerancia de más menos 600 gramos. De esta forma la especificación inferior es  $EI = 49.4$  Kg. y la superior  $ES = 50.6$  Kg. Tener costales con menos de 49.4 implica, además de clientes insatisfechos, multas por parte de la autoridad; mientras que costales con un peso mayor a 50.6 repercute en mayores costos para la empresa.

Para que este proceso se pueda considerar de calidad Tres Sigma, se requiere que su media coincida con la calidad nominal (50 Kg.), y que los límites reales sean iguales a las especificaciones. Esto se logra si la media y la desviación estándar del proceso son  $\mu = 50.0$  y  $C_{pk} = 1$  ya que los límites reales serían:

$$\text{Límite real inferior} = \mu - 3 \sigma = 50.0 - 3 (0.2) = 49.4$$

$$\text{Límite real superior} = \mu + 3 \sigma = 50.0 + 3 (0.2) = 50.6$$

En este caso, bajo condiciones de estabilidad<sup>6</sup>, se esperaría que el peso de los costales varíe entre 49.4 a 50.6 Kg. Visto a través de la gráfica de capacidad de la figura 3.15 suponiendo que el peso siga una distribución normal se espera que bajo condiciones de estabilidad en el proceso el área bajo la curva normal que cae dentro de especificaciones es de 99.73%. De esta forma 99.73% de los

<sup>6</sup> Es decir, que el proceso es estable (bajo control estadístico) cuando sus puntos caen dentro de los límites.



costales cumplirían con las especificaciones y sólo el 0.27% no. En este caso, los índices  $C_p$  y  $C_{pk}$  serían de 1.

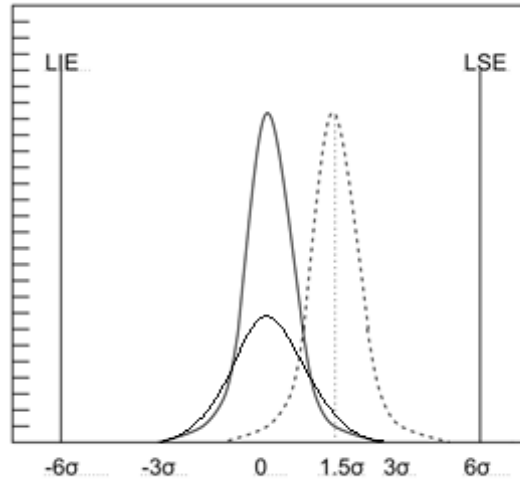


Figura 3.15 Procesos con calidad tres y seis sigma

Recordando  $3C_{ps} = Z_s$  y  $3C_{pi} = Z_i$ , de esta manera, para el peso de los costales

$$Z_s = \frac{50.6 - 50.0}{0.2} = 3$$

De igual forma se puede ver que  $Z_i = 3$ . En otras palabras, el estadístico Z es igual al nivel de calidad medida en términos de sigma

El 0.27% de artículos defectuosos implica 2700 PPM (ver tabla 3.5). Lo que significa una cantidad de defectos demasiado alta.

Lo anterior se agrava si consideramos la diferencia entre capacidad de corto y largo plazo<sup>7</sup> donde los estudios hablan de que la media de un proceso puede desplazarse a través del tiempo hasta 1.5 sigmas del valor nominal. Es decir, que el índice Z puede tener un cambio o movimiento hasta de

<sup>7</sup> La relación entre la capacidad de corto  $Z_{ct}$  y de largo plazo  $Z_{lt}$ , está dada por la siguiente ecuación:  
 $Z_{ct} = 1.5 + Z_{lt}$



1.5 ( $Z_{mov} = 1.5$ ), por lo que si esto ocurriera en el caso de los costales, por ejemplo con el desplazamiento hacia la especificación superior, entonces la media del proceso podría ser hasta:

$$\mu' = \mu + 1.5 (\sigma) = 50.0 + 1.5 (0.2) = 50.3$$

Con ello, la gráfica de capacidad podría tomar la forma que se muestra en la figura 3.15, donde ahora el área de la curva dentro de especificaciones es sólo del 93.32%, lo que implica una tasa de defectos de 66 810 PPM, un  $P_{pk} = 0.5$  y  $Z_s = 1.5$ , ya que:

$$P_{pk} = C_{ps} = \frac{50.6 - 50.3}{3(0.2)} = 0.5$$

Por lo tanto, a largo plazo, en lugar de tener una calidad de 3 sigmas,  $Z_{ct} = 3$ , se tiene una calidad de 1.5 sigmas,  $Z_{lt} = 1.5$ . Todo esto hace a la calidad de tres sigmas poco satisfactoria. Por este motivo se requiere una calidad más elevada y esta meta se llama Seis Sigma.

### Calidad Seis Sigma

Tener esta calidad significa diseñar productos y procesos que logren que la variación de las características de calidad sea tan pequeña que la campana de la distribución quepa dos veces dentro de las especificaciones. En otras palabras, los límites dados por:  $\mu = 6$ , estén dentro o coincidan con las especificaciones, como se ilustra a través de la figura 3.15.

Por ejemplo, en el caso de los costales de azúcar, tener una calidad Seis Sigma significaría que en lugar de que la desviación estándar tenga un valor de 0.2 se requiere que  $\sigma = 0.1$ . Es decir, reducir la variación un 50% respecto a la calidad. En términos del índice  $C_p$ ,<sup>8</sup> un proceso Seis Sigma equivale a que el proceso tenga un  $C_p = C_{pk} = 0.2$  y de  $Z_s = Z_i = 6$ .

<sup>8</sup> $C_p = C_{pk}$  solo si puede suceder si el valor nominal coincide con la media del proceso.



Con un proceso Seis Sigma, si llegara a ocurrir a largo plazo que la medida del proceso se moverá hasta  $1.5\sigma$  veces a partir del valor nominal, hacia la especificación superior, entonces la media del proceso sería:

$$\mu' = \mu + 1.5 (\sigma) = 50.0 + 1.5 (0.1) = 50.15$$

Y el  $P_{pk}$  y  $Z_{tl}$  sería ahora de:

$$P_{pk} = C_{ps} = \frac{50.6 - 50.15}{3(0.1)} = 1.5$$

$$Z_{tl} = \frac{50.6 - 50.15}{(0.1)} = 4.5$$

Que de acuerdo a la tablas 3.5 y 3.6, para  $P_{pk} = 1.5$  corresponde una tasa de calidad fuera de especificaciones de 3.4 defectos por cada millón producidas (3.4 PPM). Esto lo podemos observar en la figura 3.15, donde la línea punteada representa la calidad de largo plazo donde se incluye un desplazamiento del proceso de  $1.5\sigma = Z_{mov} = 1.5$ .

CALIDAD DE CORTO PLAZO				CALIDAD DE LARGO PLAZO CON UN MOVIMIENTO DE $1.5s = Z_{mov} = 1.5$		
Índice $C_p$	Calidad Sigmas (Z.ct)	% de la curva Dentro de especificaciones	PPM fuera de especificaciones	Índice Z.lt	% de la curva Dentro de especificaciones	PPM fuera de especificaciones
0.33	1	68.27	317 300	-0.5	30.23	697 700
0.67	2	95.45	45 500	0.5	69.13	308 700
1.00	3	99.73	27 000	1.5	93.32	66 807
1.33	4	99.9937	63	2.5	99.379	6 210
1.67	5	99.999943	0.57	3.5	99.9767	233
2.00	6	99.999998	0.002	4.5	99.99966	3.4
Nivel de calidad en sigmas: $(Z.ct) = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln(PPM)}$						

Tabla 3.6 Calidad de corto y largo plazos en términos en PPM y el nivel de Sigma (índice Z.ct)



Para tomar en cuenta las fluctuaciones de la medida del proceso, se considera una ventana de operación de  $\pm 1.5$ . La amplitud de dicha ventana de operación está basada en la incapacidad de las gráficas de control de shewhart a reaccionar rápidamente a cambios por debajo de ese valor.

Considerando  $LIE = -3\sigma$  y  $LSE = +3\sigma$ , y el proceso centrado en cero, entonces  $C_p = 1$ , y su fracción defectuosa es de 0.027%. Tomando en cuenta la ventana de operación de entonces en el caso extremo, el porcentaje del proceso que está fuera de las especificaciones es de 6.68% por que la fracción defectuosa es:

$$p(x > 3\sigma) = p\left(Z > \frac{3\sigma - 1.5\sigma}{\sigma}\right) = p(Z > 1.5) = 0.0668$$

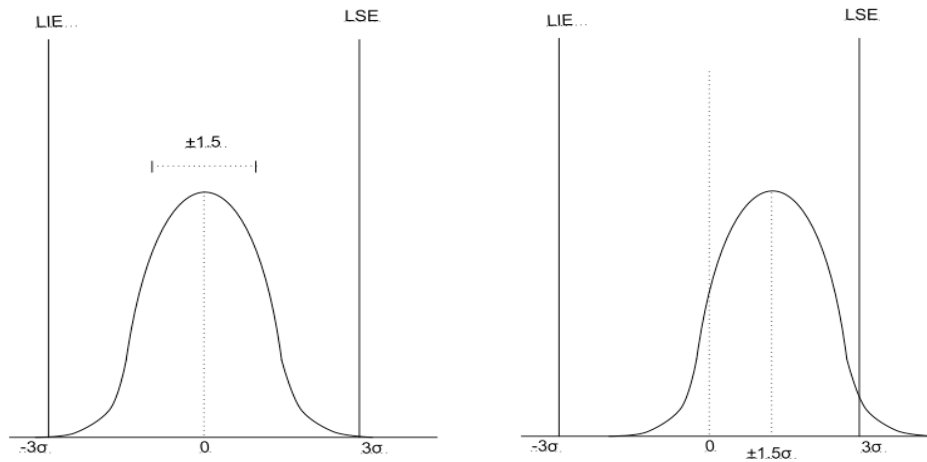


Figura 3.16. Desplazamiento de 1.5

Así,  $C_p = 1$  significa que la fabricación defectuosa no será mayor de 6.68% mientras que las fluctuaciones de la media del proceso no serán mayores de 1.5% sobre el proceso centrado.

De la misma forma,  $C_p = 2$  significa una fracción defectuosa igual a 3.4 ppm = 0.00034%, considerando el proceso centrado en el extremo de la ventana de operación ( $\pm 1.5$ ).

Considerando el proceso no centrado, posicionado en la fracción defectuosa (FD) se calcula de la siguiente manera:

$$FD = p(X > 6\sigma) = p\left(Z > \frac{6\sigma - 1.5\sigma}{\sigma}\right) = p(Z > 4.5)$$

$$FD = 3.4 \text{ ppm}$$



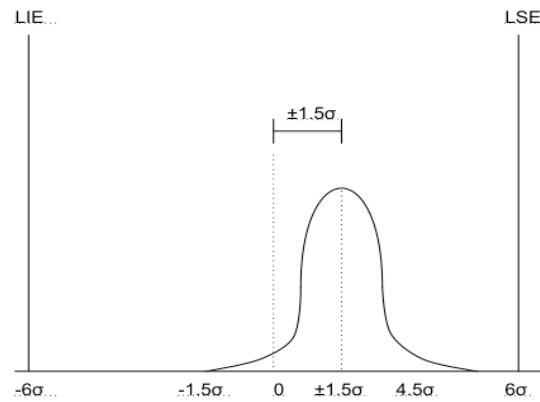


Figura. 3.17 Proceso no centrado

Considerando el proceso centrado

$$\begin{aligned}
 FD &= p(X > 6\sigma) + p(X < -6\sigma) = 2p\left(Z > \frac{6\sigma - 0}{\sigma}\right) \\
 &= 2p(Z > 6) = 2(9.90121E10^{-10}) = 0.00198 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

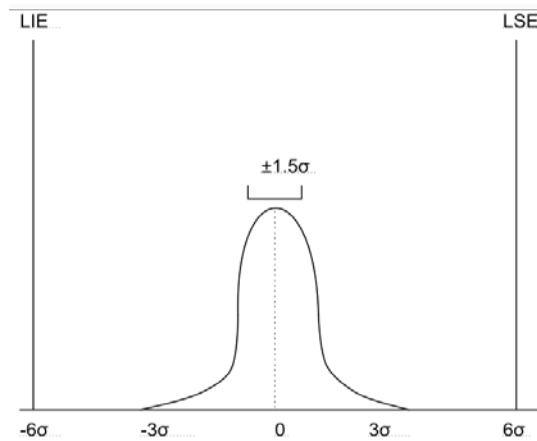


Figura. 3.18 Proceso centrado

Como  $C_p$  no toma en cuenta la ubicación del proceso, es necesario definir otro índice que si lo considere y es el siguiente:

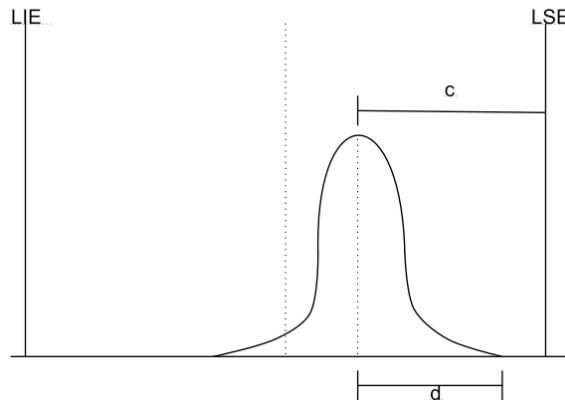


Figura. 3.19 Comparación  $c / d$

Al comparar  $c/d$  se puede ver el centrado del proceso en relación con la mitad de la variación del mismo.

$c$  = Es la distancia entre el centro del proceso (media) y el límite de especificación más cercano.

$d$  = Es la mitad del ancho del proceso.

El índice de capacidad real  $C_{pk}$  queda definido por:

$$C_{pk} = \frac{LE - \bar{x}}{3s} \quad \text{si } LIE \leq \bar{x} \leq LSE$$

$$C_{pk} = -\frac{LE - \bar{x}}{3s} \quad \text{si } \bar{x} > LSE \text{ ó } \bar{x} < LIE$$

Siendo LE el límite de especificación más cercano a la media del proceso.

El índice  $C_p$  se usa para evaluar el proceso, separa la variación del centrado; el índice  $C_{pk}$  se usa para darle seguimiento al proceso con respecto al tiempo, evalúa la variación y el centrado con base en un solo número y representa la tolerancia disponible del proceso cuando el proceso necesita utilizar el 100 de la tolerancia.

Los estudios a largo plazo se realizan en un periodo más largo de tal forma que se incluyan todas las fuentes de variación en el proceso.



En lugar de calcular las  $S$ , los datos se combinan en un solo grupo y se calcula la desviación estándar. Esta  $s$  estima la variación interna y la variación debida a las fluctuaciones entre subgrupos. Como los estudios a corto plazo no necesitan la variación entre los subgrupos directamente, conviene que utilicen la ventana de operación de  $\pm 1.5\sigma$  al reportar sus resultados.

La ventaja de los estudios a corto plazo es que son rápidos y más sencillos que los estudios a largo plazo. Para realizar un estudio a corto plazo se acostumbra tomar 20 subgrupos de 5 muestras cada uno, y estimar la desviación estándar interna.

La estimación de  $s$  a corto plazo se usa para calcular  $C_p$  y  $C_{pk}$ . La estimación de  $s$  a largo plazo se usa para evaluar los índices de desempeño  $P_p$  y  $P_{pk}$  que se calculan con las mismas fórmulas de  $C_p$  y  $C_{pk}$ , respectivamente, sustituyendo la desviación estándar a corto plazo por la de largo plazo.

Para resumir y ahondar en el significado de los niveles de calidad de sigmas, con respecto a la ventana de operación, de  $\pm 1.5\sigma$ , se puede que:

Si se considera un proceso ideal con nivel de calidad  $3\sigma$  cuando  $C_p = C_{pk} = 1$ . Su fracción defectuosa es de  $0.27\% = 2700$  ppm. Si el proceso está desfasado en  $\pm 1.5\sigma$ ,  $C_p = 2$  y  $C_{pk} = 0.5$ , su fracción defectuosa es de  $6.68\% = 66,800$  ppm.

Se considera un proceso con nivel de calidad  $6\sigma$  cuando  $C_p = C_{pk} = 2.20$  Y su fracción defectuosa es de  $0.00198$  ppm. Si el proceso está desfasado  $\pm 1.5\sigma$ ,  $C_p = 1$  y  $C_{pk} = 1.5$ , su fracción defectuosa es de  $3.4$  ppm.

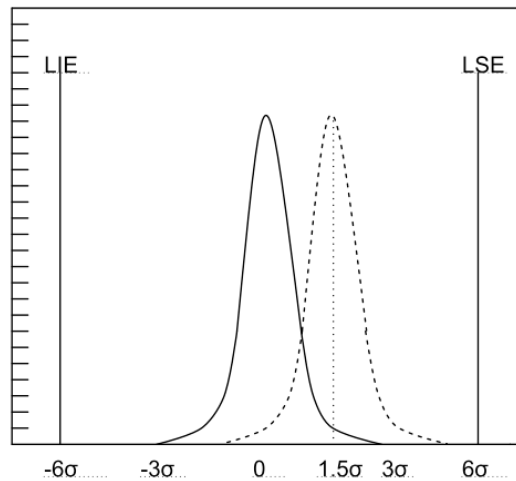


Fig.ura 3.20 Calidad 6 sigma

En la práctica, la calidad Seis Sigma, a pesar de posibles desplazamientos, es un proceso de prácticamente cero defectos y por lo tanto una meta para procesos de clase mundial.

En general, si se conocen las partes por millón fuera de especificaciones de largo plazo, PPM, entonces el nivel de calidad en sigmas (de corto plazo) se obtiene con la siguiente ecuación (Schmidt y Launsby, 1997, citado por Gutiérrez, 2007)

$$\text{Nivel de calidad en sigmas (Z.ct)} = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln(\frac{PPM}{1000000})}$$

Donde ln es el logaritmo natural. Suponiendo que un proceso de largo plazo tiene PPM=20 000, entonces este proceso tiene una calidad de  $0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln(\frac{20\ 000}{1\ 000\ 000})} = 3.65$  sigmas.

Los defectos son medidos casi siempre como un porcentaje del total de unidades producidas o total de oportunidades por defectos, se conoce mejor como partes por millón (ppm) y se puede obtener utilizando la siguiente fórmula:

$$PPM = (\frac{\sum \text{Partes defectuosas}}{\sum \text{Producidas}}) * 10^6$$



A la vez existen otras formas de calcular los niveles de defectos, los cuales se utilizan dependiendo del tipo de proceso en el cual estemos trabajando:

Defectos por millón de oportunidades:

$$\text{DPMO} = (\sum \text{defectos} / \sum \text{Oportunidades}) * 10^6$$

Defectos por unidad:

$$\text{DPU} = \sum \text{Defectos} / \sum \text{Unidades producidas}$$

La tercera fórmula es por lo regular utilizada para los productos de manufactura complicada como tarjetas de circuitos o motores.

El programa Seis Sigma se apoya en el entrenamiento continuo de todos en la metodología DMAIC y sus herramientas relacionadas. Generalmente la capacitación se da sobre la base de un proyecto que se desarrolla paralelamente al entrenamiento, lo que refuerza la teoría aprendida.

#### 3.4.1.4 Rendimiento de un proceso (YIELD)

El rendimiento tradicional de un proceso se obtiene dividiendo el número de piezas que entran entre el número de piezas que son producidas de acuerdo con las especificaciones:

El rendimiento de primera vez (first-time yield) corresponde al número de piezas hechas bien a la primera vez en cada fase del proceso.

El rendimiento en cadena (Rolled Throughput yield) es el producto del rendimiento en cada paso del proceso, para este caso no se incluye el retrabado.



### 3.4.2 Aplicación en el proyecto de la etapa de medición

En esta etapa se analizaremos el sistema de medición, la estabilidad del proceso y la capacidad del mismo.

Para verificar que el sistema de medición sea aceptable nos apoyaremos en el software Minitab con el cual realizaremos el estudio R&R al proceso de rectificado.

Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición			
Partes:	10	Operadores:	2
Réplicas:	2	Total de corridas:	40
Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA			
R&R del sistema de medición para C5			
Nombre del sistema de medición: R&R			
Fecha del estudio: JUN 09			
Notificado por: MAGL			
Tolerancia:			
Misc:			
<b>R&amp;R del sistema de medición</b>			
%Contribución			
		VarComp	(de VarComp)
R&R del sistema de medición	total	0,0002075	1,72
Repetibilidad		0,0001275	1,06
Reproducibilidad		0,0000800	0,66
Operadores		0,0000342	0,28
Operadores*Partes		0,0000458	0,38
Parte a parte		0,0118722	98,28
Variación total		0,0120797	100,00
La tolerancia del proceso es = 0,5			
Desv.Est.			
		(DE) Var. de estudio (6 * SD)	
R&R del sistema de medición	total	0,014405	0,086429
Repetibilidad		0,011292	0,067750
Reproducibilidad		0,008944	0,053666
Operadores		0,005845	0,035071
Operadores*Partes		0,006770	0,040620
Parte a parte		0,108960	0,653758
Variación total		0,109908	0,659447
%Tolerancia			
		%Var. de estudio (%SV)	(SV/Toler)
R&R del sistema de medición	total	13,11	17,29
Repetibilidad		10,27	13,55
Reproducibilidad		8,14	10,73
Operadores		5,32	7,01
Operadores*Partes		6,16	8,12
Parte a parte		99,14	130,75
Variación total		100,00	131,89

Tabla 3.7 Resultados del R&R

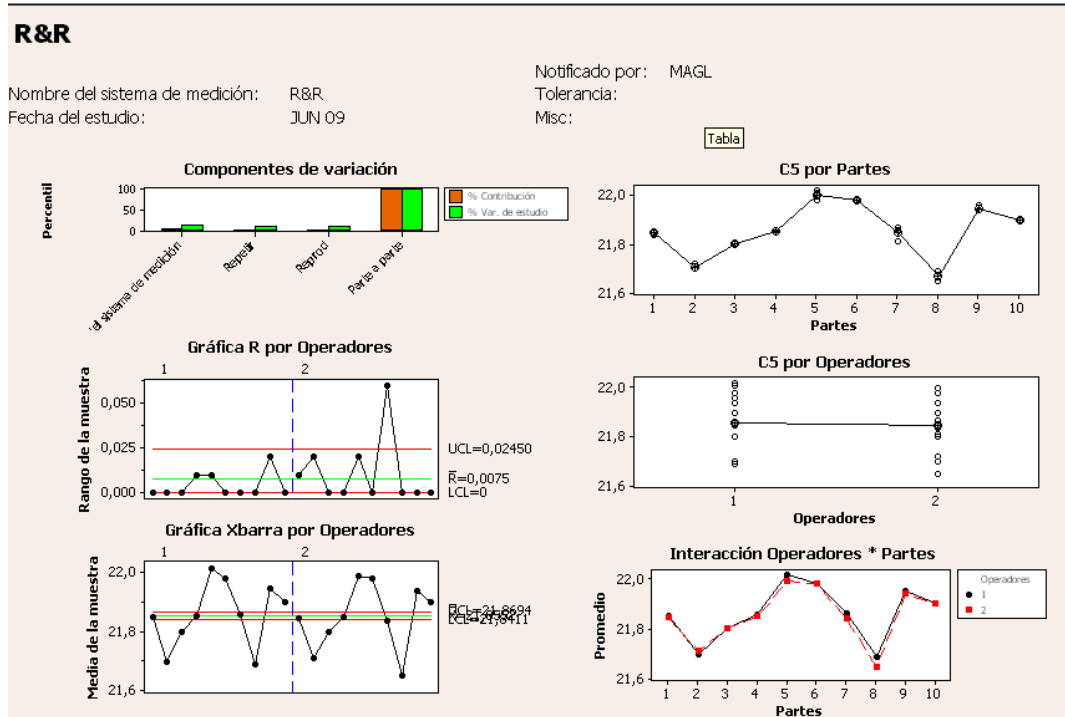


Figura. 21 Estudio R&R

En la tabla 3.7, se muestra los resultados del estudio, en cual fue hecho en 10 piezas, por dos trabajadores, con dos replicas, sumando un total de 40 mediciones.

El estudio R&R arroja los resultados que se encuentran en la tabla 3.7 y se observa una contribución de 13.11 % del sistema de variabilidad total observada, que es aceptable, mientras que la contribución a la tolerancia es de 17.29 % que es considerada como aceptable. Podemos concluir que el estudio R&R es aprobado. De acuerdo a los siguientes criterios.

El índice P/T (precisión /tolerancia) se interpreta como sigue:

- $P/T \leq 10 \%$  Excelente proceso de medición.
- $10 \% < P/T \leq 20 \%$  Bueno
- $20 \% < P/T \leq 30 \%$  Marginal (casi aceptable)
- $30 \% < P/T$  Inaceptable y debe corregirse



Una vez aprobada la calidad de las mediciones se procede a evaluar la estabilidad del proceso. Para ello utilizaremos el software minitab y determinar la línea base de la variable.

En la figura 3.22 podemos observar el estudio de estabilidad realizado a un lote de 100 piezas. Para realizar el estudio de estabilidad se construyó una gráfica X-R tomando como línea base los datos de las especificaciones proporcionadas por el cliente.

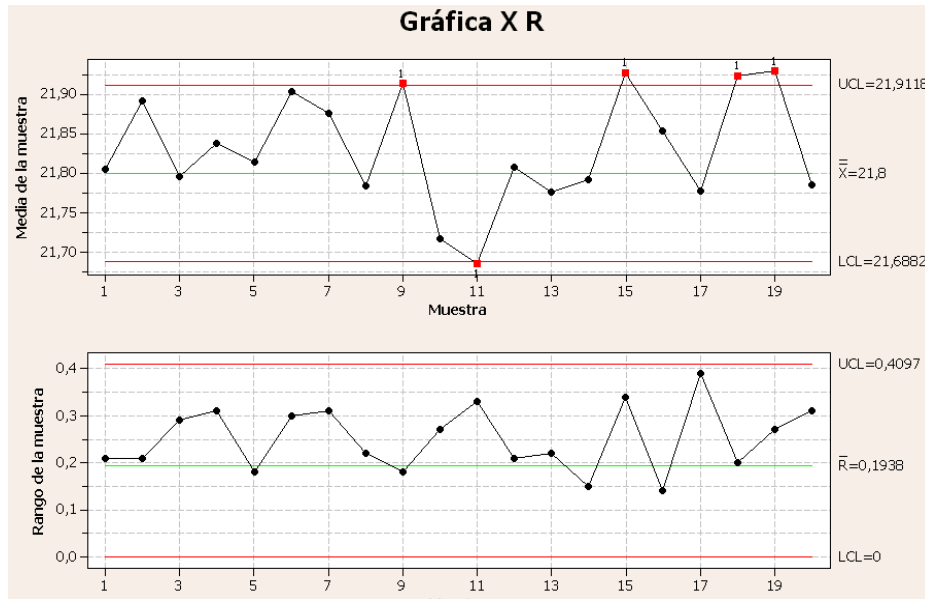


Figura. 3.22 Grafica X R

Las especificaciones o tolerancias de la pieza son: EI = 21.55 y ES = 22.05. En la figura 3.23 se observa que los resultados están cargados hacia la especificación superior. Lo cual se ve reflejado en el número de puntos fuera de especificación. La prueba falló en los puntos: 9; 11; 15; 18; 19. De los cuales 4 puntos por arriba del ES y uno por debajo del IS. Solo considerando los puntos fuera la estimación del índice de inestabilidad está dada por:  $St = (5 / 20) = 25\%$ .

Aunque no hay criterios estandarizados para considerar una buena estabilidad en el proceso, tomaremos el criterio citado por Gutierrez (2007):

St de 0 a 2 % La estabilidad del proceso es buena.

St de 2 % a 5 % La estabilidad del proceso es marginalmente aceptable

St sea mayor a 5 % se considera mala





Lo cual significa que con un 25 % indica un proceso muy inestable, con lo cual la correspondiente carta de control se vuelve poco práctica, ya que se hace imposible atender todas las señales especiales; en este caso será mejor analizar los principales patrones de la carta generar conjeturas sobre causas y proceder a corroborar las conjeturas.

El estudio de capacidad se realizó en base a los datos de las 100 piezas registradas anteriormente. En la figura 3.23 se observa el gráfico obtenido.

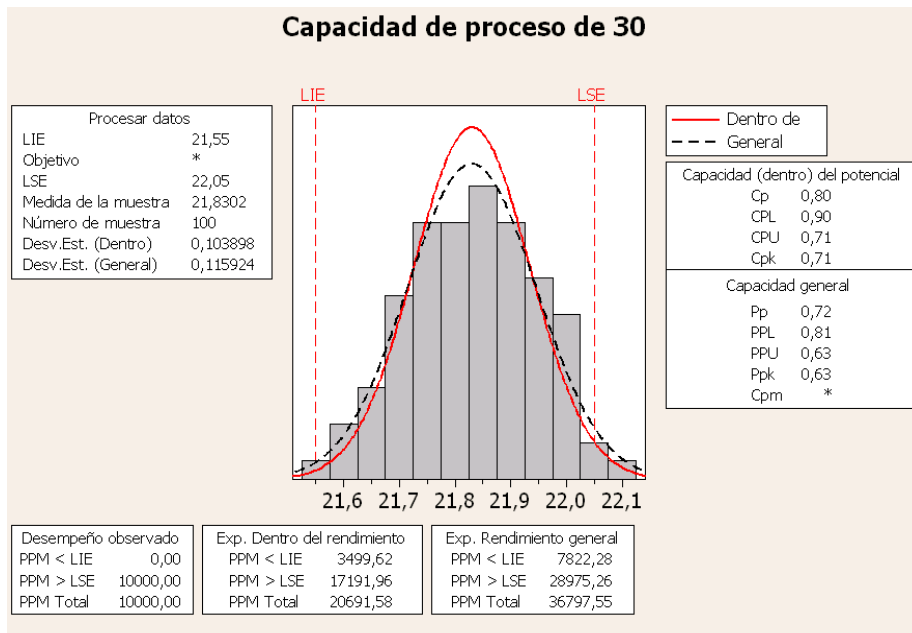


Figura. 3.23 Capacidad de proceso

La curva angosta es la distribución potencial (variación a corto plazo) que se tendría si se reduce la variabilidad entre subgrupos, que ocurre cuando típicamente cuando un proceso se encuentra en control estadístico durante el periodo de muestreo. En este caso se puede demostrar que el proceso no se encuentra en control estadístico en cuanto a su media, pero si en cuando a su variabilidad.

Con un Cp de 0.8, implica de acuerdo a tablas 3.2 y 3.5, con un 1.663 % fuera de dos especificaciones y con 16 395 ppm., que no es adecuado para el trabajo, necesita un análisis del proceso y requiere de modificaciones serias para poder alcanzar una calidad satisfactoria.



### 3.5 Etapa de análisis.

Uno de los primeros pasos de esta etapa es determinar las variables significativas, lo cual se logra cuando las variables del proceso definidas en el en la etapa anterior, deben ser confirmadas por medio de análisis de varianza, diseño de experimentos o estudios multivari, para medir la contribución de esos factores en la variación del proceso. Adicionalmente, para analizar el proceso se pueden usar pruebas de hipótesis e intervalos de confianza.

Una vez encontrados los factores críticos, se ajusta el proceso y se reduce su variación.

#### 3.5.1 Herramientas utilizadas en la etapa de análisis.

*La prueba de hipótesis (PH)* es un procedimiento estadístico usado para tomar una decisión, con base en una muestra, en cuanto al valor que puede tener algún parámetro (media, varianza, proporción, diferencia entre medias, proporciones, cociente entre varianzas), o sobre la distribución que pueda tener la población de donde vienen los datos.

Los elementos de la una PH son:

- Las hipótesis. La que se desea probar ( $H_0$ ) y su complemento ( $H_a$ ).
- La(s) muestra(s). La información que se obtiene de la población o poblaciones.
- El estadístico de prueba. (EP). Es una variable aleatoria que resume la información de la muestra.
- La región de rechazo de  $H_0$  (RR $H_0$ ). Es una parte de la distribución de referencia en la cual si el EP se encuentra ahí, se rechaza  $H_0$ .
- La decisión. Decidir si rechaza o no  $H_0$ .
- El nivel de confianza de la prueba ( $1 - \alpha$ ).

Probar una hipótesis estadística es una decisión probabilística, por lo que existe el riesgo de cometer error tipo I o error tipo II. El primero ocurre cuando se rechaza  $H_0$ , siendo que ésta es verdadera, y



el error tipo II es cuando se acepta  $H_0$  siendo que es falsa. En toda prueba de hipótesis, cada tipo de error tiene una probabilidad de ocurrir: Con  $\alpha$  y  $\beta$  se denotan las probabilidades de los errores tipo I y II, respectivamente. Así,

$\alpha = P(\text{error tipo I}) = \text{Probabilidad de rechazar } H_0 \text{ siendo } H_0 \text{ verdadera.}$

$\beta = P(\text{error tipo I}) = \text{Probabilidad de rechazar } H_0 \text{ siendo } H_0 \text{ falsa.}$

A  $1 - \beta$  se le llama potencia de la prueba y es la posibilidad de rechazar  $H_0$  cuando es falsa, es decir, potencia =  $1 - \beta = P \{ \text{rechazar } H_0 \text{ cuando ésta es falsa.}$  A se le conoce también como la significancia dada o predeterminada de la prueba y es la probabilidad de la región o intervalo de rechazo; su valor se especifica por parte del investigador desde que planea el estudio. Generalmente se utilizan los valores de  $\alpha = 0.05$  o  $0.01$ , dependiendo del riesgo que se quiera admitir en la conclusión. Mientras más pequeño sea el valor de  $\alpha$  se requiere más evidencia en los datos para poder rechazar  $H_0$ .

*El diseño y análisis de experimentos (DOE)* se puede definir como un conjunto de técnicas estadísticas usadas para planear experimentos y analizar sus resultados, de manera ordenada y eficiente.

Existen tres principios básicos a ser considerados en todo diseño y análisis de experimentos:

- El orden de los experimentos debe ser aleatorio. Aleatorizar el orden de las pruebas neutraliza fuentes de variación que pueden estar presentes durante el experimento.
- Es recomendable replicar cada experimento. La razón es obtener un estimado de error, tanto para ver que tan bien el diseño representa al proceso como para comparar los factores y determinar si son activos o no. Se define como réplica genuina la obtenida en una sola prueba o medición para cada combinación de los factores y volver a repetir dichas condiciones para cada réplica adicional, en lugar de tomar varias muestras o mediciones de una vez en cada combinación. Lo opuesto a las réplicas genuinas son las repeticiones.



- Ocasionalmente pueden existir variables presentes en un experimento, cuyo efecto no se desea probar y que incluso pueden afectar o encubrir la influencia de las variables con las que se desea experimentar.

Los pasos para la experimentación son:

- Definir el problema.
- Seleccionar la variable de respuesta.
- Verificar el estado de las máquinas en donde se van hacer las pruebas.
- Verificar la capacidad y estabilidad de los instrumentos de medición.
- Seleccionar las variables a experimentar y sus niveles.
- Determinar el tipo de diseño a usar y el número de réplicas.
- Realizar las pruebas aleatoriamente.
- Analizar los resultados.
- Conclusiones.

Una de las maneras de comparar procesos o grupos, es a través de la comparación de sus medias, con una técnica llamada *análisis de varianza (ANOVA)* desarrollada por R. A. Fisher. Esta técnica consiste en descomponer la variación total de los datos en:

- La variación interna o natural, que sirve de referencia de los grupos.
- La variación entre los grupos de medias, para comparar estos dos tipos de variación, es decir si existe diferencia o no entre las medias.

Existen varios tipos ANOVA, uno de ellos es el ANOVA de factor fijo que se utiliza cuando se desea investigar el efecto que los diferentes niveles de ese factor tiene con respecto a la media de la respuesta, la variable de respuesta o a la variable de salida.

La varianza de un grupo de datos se define como una desviación promedio de los valores con respecto a su media, con base en unidades cuadradas. Es decir, que tanto se alejan o se acercan en promedio a su media.



$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{SS}{gl} = \frac{\text{suma de cuadrados}}{\text{grados de libertad}}$$

Las unidades originales quedan al cuadrado por el factor  $SS = \sum(x_i - \bar{x})^2$ , que es una medida de variación. Al dividir entre  $n - 1$  se obtiene una medida de desviación promedio.

La variación se descompone en los siguientes elementos:

1. SST = Variación total.
2. SSt= Variación entre grupos
3. SSE = variación natural (error).

Donde variación interna o natural = variación aleatoria + error de medición.

La variación total se puede descomponer en sus elementos básicos:

$$SST = SSt + SSE$$

*Análisis de medias (ANOM)*. Este análisis es una prueba estadística para comparar un grupo de medias entre si y determinar si éstas son iguales o no. El procedimiento consiste en desarrollar límites de decisión que representen la variación permitida para considerar las medias iguales.

En el caso de querer comparar dos medias solamente, los intervalos de confianza son una buena alternativa.

Una manera más práctica de realizar experimentos son los diseños de variables con dos niveles. Su representación es por medio de matrices de diseño.

*Las graficas multivari* son un procedimiento gráfico de descomposición de fuentes de variación. Su objetivo es mostrar las fuentes de variación más importantes del proceso.



Las fuentes de variación pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Interna (posición). Ocurre cuando existe una variación en cierta característica de calidad a lo largo de la pieza.
- Entre piezas (cíclica). Es la variación entre piezas o entre lotes fabricados en cierto periodo largo. Representa la variación en operadores, materia prima, medio y otros.
- Variación de fuente. Es la variación provocada por diferentes fuentes que elaboraron el mismo producto.
  - ❖ En cuanto al tamaño de la muestra:
  - ❖ Se recomienda que el tamaño de muestra sea de por lo menos entre tres a cinco piezas producidas consecutivamente.
  - ❖ El tiempo entre las muestras debe ser suficientemente largo para poder observar variación entre las muestras.
  - ❖ Se deben tomar un mínimo de 15 mediciones para el estudio.

### 3.6. Etapa de mejora

Después de evaluar la estabilidad y capacidad del proceso, si esta última resultara no satisfactoria, se deberá optimizar el proceso. Para ello se puede volver a usar diseño de experimentos, incorporar análisis de de regresión o superficies de respuesta (RSM).

#### 3.6.1 Herramientas utilizadas en la etapa de mejora.

*El diagrama de dispersión* es una gráfica simple entre dos variables. Su objetivo es visualizar el tipo y el grado de relación entre esas dos variables. La relación directa indica que si una variable crece o decrece, la otra se moverá en la misma dirección.

Causalidad implica una relación causa efecto entre dos variables, y casualidad no es eso precisamente.



*Un análisis de regresión* es una técnica usada para relacionar a través de un modelo, una o más variables independientes con una variable dependiente. Y puede ser usada para la descripción y representar el comportamiento de un proceso, como predicción en base de un valor de  $y$  desconocido, y estimación con base a un valor de  $x$  conocido, y para obtener cierta respuesta del proceso.

El modelo de regresión lineal simple expresa la relación que puede existir entre una variable independiente y una variable de respuesta o dependiente. El modelo y su interpretación se muestran a continuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

$Y$  = variable dependiente a modelar (respuesta).

$X$  = variable independiente.

$\varepsilon$  = componente de error (medición + variación natural). Variable aleatoria (VA).

$\beta_0$  = Intersección. Si los datos incluyen cero, representan la media de la distribución. Además los datos no indican nada sino incluyen el cero.

$\beta_1$  = Pendiente. Es el cambio en la media para cada cambio que se registre en  $x$ .

La estimación de los parámetros del modelo es por medio del método de mínimos cuadrados que consiste en minimizar el error del modelo:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad \hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$S_{xy} = \sum_{xy} \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} \quad S_{xx} = \sum X^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

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

La prueba del significado de la regresión determina de manera estadística si vale la pena obtener un modelo de regresión o no, y la medida de de la variable de respuesta es suficiente.



Las hipótesis son:

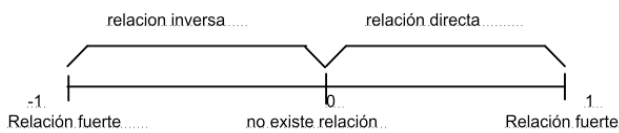
Ho:  $\beta_1 = 0$ ; no existe relación entre  $x$  y  $y$  la regresión no tiene sentido.

Ha:  $\beta_1 \neq 0$ ;  $x$  es valiosa para explicar la variación de  $y$ .

El coeficiente de correlación lineal muestra ( $r$  o  $R$ ) representa el grado de asociación lineal entre  $x$  y  $y$  y se define por:

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{yy}S_{xx}}} = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} = \pm \sqrt{R^2}$$

Su rango de operación está entre -1 y 1 y su interpretación se muestra en la siguiente figura:



El análisis de regresión múltiple consiste en generar modelos de regresión con más de una variable independiente ( $X$ 's). El modelo de regresión múltiple es el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

Donde:

$n$  = número de datos.

$p$  = Número de parámetros ( $\beta_s$ ).

$k$  = Número de variables ( $X$ 's).

La regresión polinomial es un caso particular de la regresión lineal en el cual los parámetros ( $\beta_s$ ) son lineales.

El modelo polinomial de segundo orden y una variable es el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \varepsilon$$





Donde:

$\beta_0$  = Valor de  $E(y)$  cuando  $x=0$ .

$\beta_1x$  = Parámetro de translación de la parábola (derecha o izquierda).

$\beta_2x^2$  = Razón de curvatura (hacia arriba o hacia abajo).

*Superficies de respuesta* (RSM\*) es una técnica de modelación del comportamiento de una característica seleccionada de un proceso. El objetivo de esta técnica es encontrar una mejor región de operación para dicha característica seleccionada del proceso.

El procedimiento es el siguiente:

- Aplicar un modelo de primer orden (diseño factorial con puntos centrales).
- Aplicar el método del ascenso y descenso más pronunciado.
- Si existe curvatura en la respuesta, aplicar un modelo de segundo orden.

El diseño con puntos centrales se usa para probar si existe curvatura en la respuesta.

El punto de estacionario ( $X_0$ ) es donde se encuentra el valor óptimo de la superficie de respuesta.

En este paso es necesario confirmar la mejora del proceso a través de volver a realizar estudios de capacidad. Si el proceso no es aún capaz, será necesario regresar a algún paso anterior de la metodología y volver a avanzar. Una vez validada la mejora, se implementan las nuevas condiciones de operación del proceso.

### 3.7 Etapa de control

En esta etapa se deberá monitorear y mantener en control los procesos. Es necesario desarrollar AMEF y planes de control e incluir técnicas afines como gráficas de control, precontrol, gráfica Cusum y gráfica EWMA.



Los elementos de producción son de acuerdo a NKS/Factory Magazine, materiales, métodos, mano de obra, máquinas e información, los cuales están interactuando dentro de una planta, como se muestra en la siguiente figura:

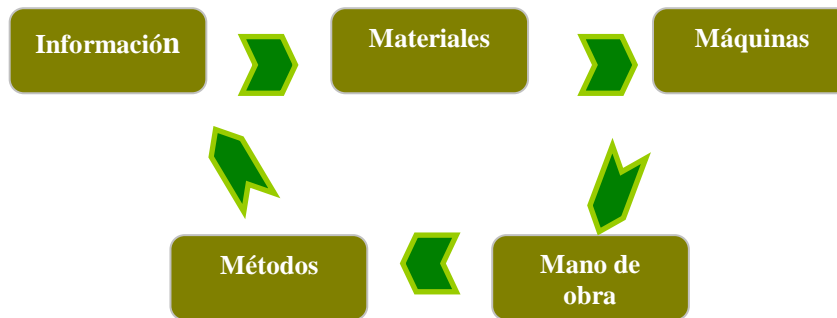


Figura. 3.24 Elementos de producción.

Para que el número de problemas sea reducido, al igual que un mejoramiento en el desempeño del proceso, es necesario un factor muy importante relacionado con cada uno de los elementos de la producción. Ese factor vital es el control de todos los elementos mostrados. Control se puede definir como un grupo de acciones encaminadas a mantener una situación en un estado deseado.

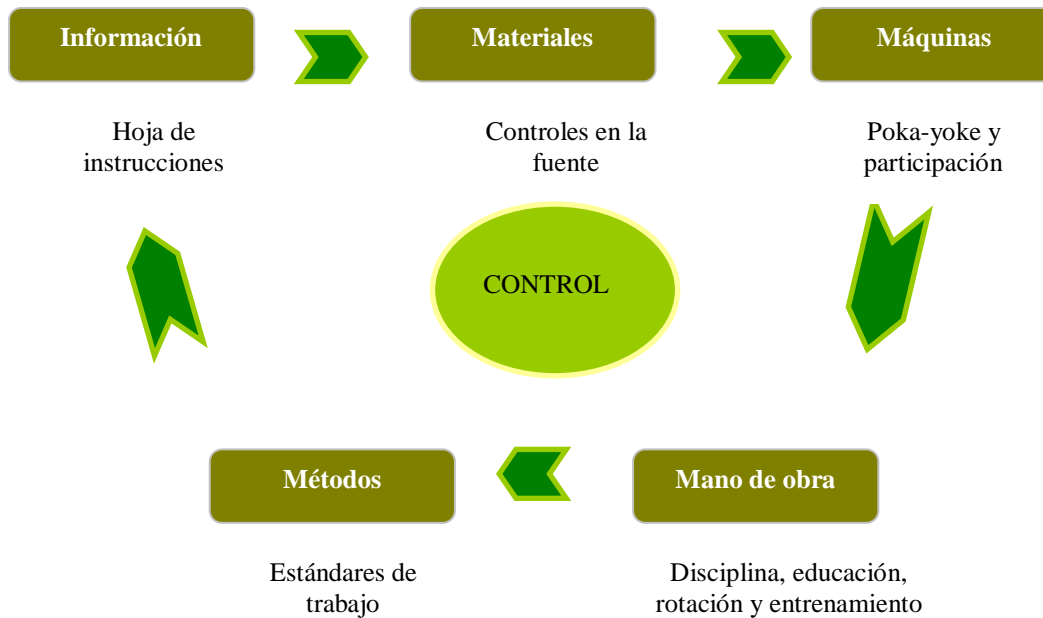


Figura. 3.25 Interacción entre los diferentes elementos de producción y control



### 3.7.1 Herramientas utilizadas en la etapa de control

*El análisis de modo y efecto de fallas (AMEF / FMEA)* es un grupo sistemático de actividades con el propósito de:

- Reconocer y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso y los defectos de dichas fallas.
- Identificar acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran fallas potenciales.
- Documentar todo el proceso.

Las características de AMEF son minimizar la probabilidad de una falla o minimizar el defecto de la falla. Se efectúa previamente a la finalización del concepto o diseño, o previamente al inicio de la producción. Es un proceso importante e interactivo sin fin que sirve para documentar el diseño y el proceso.

El AMEF de de diseño evalúa lo que podría resultar mal con el producto durante su uso y durante su manufactura como consecuencia de debilidades del diseño.

El AMEF de proceso se enfoca en las razones de fallas potenciales durante su manufactura, como resultado del incumplimiento con el diseño original o con las especificaciones del diseño.

El uso de AMEF se enfoca en nuevos diseños, nueva tecnología o procesos nuevos, cuando se hacen modificaciones a diseños o procesos existentes, cuando se usa un diseño o proceso ya existente en un nuevo ambiente, o simplemente una nueva aplicación. Sin embargo también se puede usar en procesos que ya estén instalados y funcionando, y también como técnica de solución de problemas.

El AMEF de diseño se debe llevar a cabo antes que la liberación de los dibujos para producción. No se basa en los controles del proceso para corregir las diferencias en el diseño, pero si toma en cuenta las limitaciones técnicas y físicas de manufactura y ensamble.



El AMEF de proceso se debe llevar a cabo anteriormente de la preparación herramental y debe tomar en cuenta todas las operaciones de manufactura, desde componentes individuales hasta ensambles.

No se basa en cambios en el diseño para corregir las deficiencias en el proceso, pero si lo considera para la planeación del proceso de manufactura para cumplir con las expectativas del cliente.

El manual de la planeación avanzada de la calidad del producto (*APQP del QS9000*), enfatiza la forma en la que deberá llevarse a cabo esta planeación, de tal manera que se cumplan los requerimientos de los clientes.

El APQP provee un marco de referencia global que indica las etapas dentro de la planeación en donde se deberán realizar dichos análisis.

Las fases del APQP son:

- Planeación y definición del problema.
- Diseño y desarrollo del producto.
- Diseño y desarrollo del proceso.
- Validación del producto y del proceso.
- Producción.

A modo de resumen se presentan las fases del APQP y la intervención de los AMEF's:

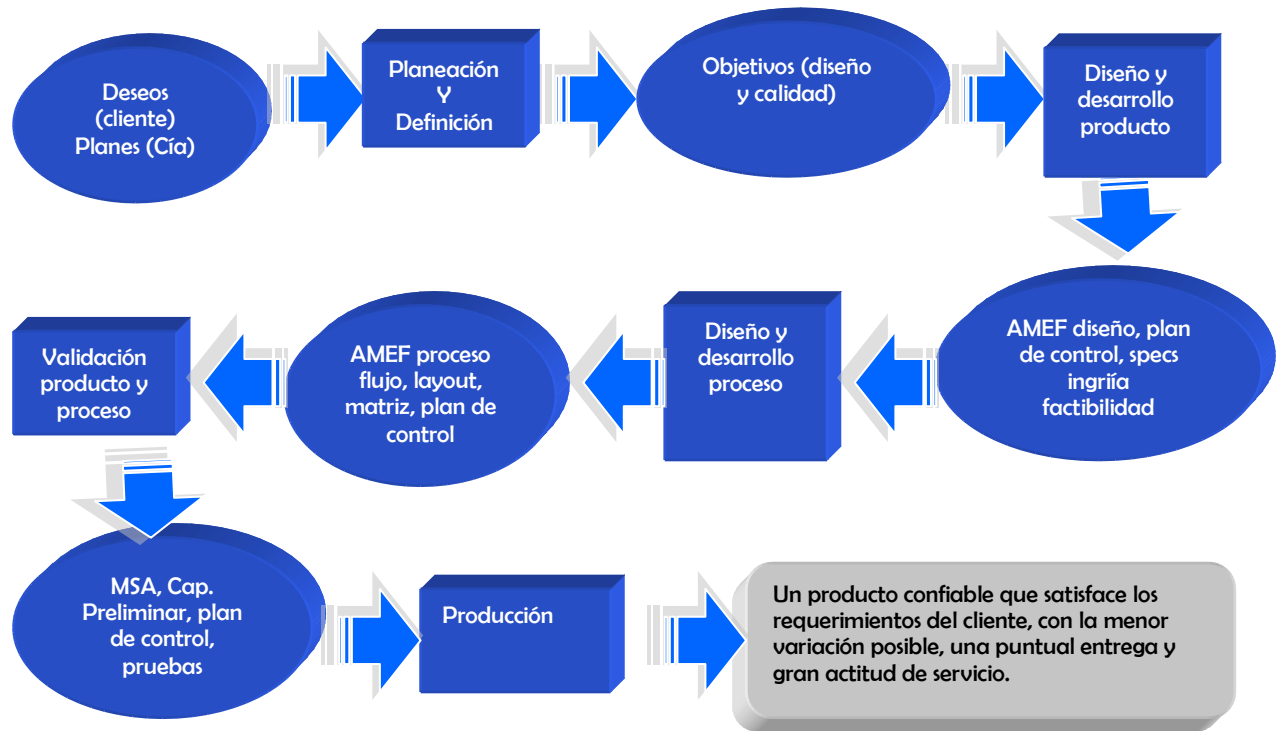


Figura. 3.26 Pasos y características principales del APQP

Los beneficios del AMEF son:

- Reducción de costos internos debido a retrabados por no hacerlo bien a la primera vez.
- Reducción del número de quejas y costos por garantías.
- Aumento de la satisfacción del cliente.
- Confianza en que los productos de la compañía son producidos basados en métodos de producción robustos y confiables.

Pasos del AMEF

- Seleccionar el equipo y realizar lluvia de ideas (equipo formado por personal de diferentes áreas).
- Elaborar diagrama de bloques (diseño) o diagrama de flujo (proceso).
- Obtener datos de fallas y llenado de la forma (modos de falla).



- Análisis de la información. Pueden ser análisis cuantitativos o cualitativos, se puede utilizar lluvia de ideas, Ishikawa, SPC, DOE, simulación para obtener información sobre los efectos de las fallas y estimar la severidad, ocurrencia y detención.
- Recomendar acciones de mejoramiento.
- Evaluar las acciones. Confirmar efectividad de las acciones y recomendar mejoras – llenar las columnas apropiadas: recalculando RPN.
- Continuar con las mejoras (documento dinámica).

Para el inicio del AMEF de diseño es necesario:

Desarrollar una lista de lo que se espera que sea el proceso y lo que no se espera que sea.

Elaborar un diagrama de bloques del sistema, subsistema y componente a ser analizado (estos diagramas deberán acompañar al AMEF).

La diferencia entre la elaboración del diagrama de flujo y esta nueva presentación es que en estas últimas sustituyen las variables por las características del proceso o del producto en cada operación, aunque pueden incluirse ambas como parte del diagrama de flujo.

*El plan de control* es una continuación del AMEF en donde se registra información de control importante, principalmente para características críticas señaladas en el AMEF. De acuerdo con Juran y Gryna “Para estar en estado de autocontrol, a la persona se le debe de proveer: a) información sobre lo que se debe hacer, b) información sobre su desempeño y c) medios para regular su desempeño (autoridad y habilidad)”.

También de acuerdo a Juran y Gryna “el concepto de dominancia se manifiesta en el o los factores que son determinantes para el buen funcionamiento de un proceso”. Existen varios tipos de dependencia o dominancia:

- Mano de obra. El sistema es sensible al conocimiento y habilidades del operario. Sus formas recomendadas de control son las *gráficas de control p y c*, hojas de verificación, poka-yoke y auditorías de proceso.



- **Materiales.** El sistema es sensible a los materiales / componentes (formulación, almacenamiento, variación). Sus fórmulas de control son las gráficas de control x, reportes de laboratorio, poke-yoke e inspección.
- **Máquinas.** El sistema es sensible a los parámetros de operación de las máquinas, vida y reparación de herramientas, variación entre posiciones, aditamentos de sujeción. Su control se basa en auto-ajustes de parámetros y gráfica de medias y rangos. Para el caso de aditamentos, su control son los procedimientos de carga, ajustes, mantenimiento y muestreo. En el caso de sus herramientas, es necesario verificar la primera pieza, controlar los lotes y poke-yoke.
- **Métodos.** El sistema es sensible al ajuste inicial, al mantenimiento preventivo de los equipos y a los sistemas de medición. Su control se ejerce por medio de un inicio adecuado, verificar la primera pieza y control de lotes. En cuanto a mantenimiento es necesario una correcta programación y dispositivos de aviso.
- **Medio.** El sistema es sensible a los defectos del medio, como temperatura, humedad, polvo, vibración. Su control se debe realizar por medio de realizar por medio de revisiones periódicas y primera pieza.

El formato del plan de control es el siguiente:

<b>Compañía/ planta</b>	Fecha inicio	Departamento	Preparado por:	Hoja	
	Última rev.	Proceso	Aprobado por	No. Documento	
Parámetro	Crítico	<b>Medición</b>			
		Especificación	Instrumento	Responsable	
<b>Medición</b>				Método de control	Plan de reacción
Lugar	Registro	Frecuencia	Muestra		

Figura. 3.27 Formato del plan de control



Un plan de reacción es un procedimiento que indica las actividades por realizar en caso de que exista alguna anomalía en el funcionamiento del proceso.

*El precontrol* es una técnica estadística que indica el desempeño de un proceso respecto a sus especificaciones. El objetivo es controlar la capacidad del proceso para producir dentro de especificaciones y prevenir defectos.

Requisitos del precontrol:

- Cualquier proceso en donde se pueda medir y modificar la característica de la calidad de interés.
- Procesos continuos o discretos (piezas)
- Que la producción total sea de tres o más piezas.
- No es necesario que la distribución de la característica de calidad sea normal, ni que el proceso esté en control estadístico.
- No existe alguna suposición ni requisito adicionales.

Una forma de precontrol es obtener zonas de precontrol para tolerancias bilaterales y unilaterales, que nos pueden indicar para los costos mínimos o máximos, de las mediciones. Las reglas de operación para una gráfica de precontrol son las siguientes:

- Arranque o calificación de un proceso. Para procesos nuevos, o cambio de en el inicio de sus procesos, cambio de materia prima, etc. Tomar cinco unidades consecutivas y que todas ellas estén en zona verde (ZV). De esta forma se garantiza que la distribución es lo suficientemente angosta para producir dentro de especificaciones.
- La calidad se empieza a controlar desde el arranque ya que si dos piezas están dentro de zona amarilla (ZA) o una en zona roja (ZR), se debe ajustar el proceso antes de hacer la tercera y reiniciar la cuenta. Si una de ellas está en ZA, reiniciar la cuenta.





En producción, tomar dos unidades  $n = 2$ ,

- ❖ Si las 2 están en ZV, continuar.
- ❖ Si una está en ZV y otra en ZA, continuar.
- ❖ Si las dos están en ZA, ajustar.
- ❖ Si las están en ZA, pero en opuestas direcciones, parar y aplicar arranque.
- ❖ Si alguna está en ZR, parar y aplicar arranque.

El riesgo es la probabilidad de no detectar un cambio en el proceso, es decir, que no se manifieste por medio de la obtención de doble amarillo o una observación en rojo.

La frecuencia de muestreo. En promedio debe haber seis parejas de observaciones entre los periodos de ajuste. Así, dividir el promedio de tiempo entre ajustes entre seis (por ejemplo, si es de una hora se tomará una muestra cada 10 minutos)

Ventajas del precontrol.

- Se puede usar en recorridos cortos y largos.
- No es necesario graficar en el precontrol. Se puede llevar la grafica cuando sea necesario demostrar el seguimiento de alguna corrida.
- Trabaja con especificaciones en lugar de límites de control.
- Señala el tiempo de ajuste del proceso o de un cambio de herramienta.

De acuerdo con Leodolter y Swersey (1997), “el precontrol no se interesa en la estabilidad del proceso sino en su capacidad”. Sin el proceso es muy capaz, precontrol no intervendrá. Sin embargo, aunque el proceso sea estable pero no muy capaz, precontrol detendrá el proceso y lo ajustará aunque no encuentre causas especiales de variación, produciendo en ocasiones ajustes innecesarios que provocaran más variación.



El precontrol a diferencia de las gráficas de control, no da pistas hacia el mejoramiento continuo. En conclusión se puede decir que el precontrol es recomendado para operaciones de maquinado y trabaja mejor cuando el proceso es capaz.

*La gráfica de sumas acumuladas (CUSUM) de medias* es usada para detectar cambios pequeños o medianos en la media del proceso, de una manera más rápida que las gráficas de control de Shewhart.

Uso de las gráficas de shewhart (Pyzdek, 1992)

- Para detectar cambios de magnitud de 2 sigmas o mayores.
- Se requiere simplicidad
- Los costos de muestreo son bajos.

Cuando se tiene la necesidad de una respuesta rápida ante cambios pequeños en el rango de 0.5 a 2 sigmas. Sin embargo es lenta para cambios grandes, se recomienda si los costos de muestreo son altos y hay que reducirlos y cuando se necesita saber cuando ocurrió el cambio en el proceso:

- Se tienen largas corridas de producción.
- La varianza del proceso es estable.
- El proceso puede ajustarse para trabajar en un valor objetivo y específico.

*La gráfica EWMA* tiene una función similar a la gráfica de CUSUM, pues también es usada para detectar cambios pequeños en la media del proceso. Es más fácil de operar que la CUSUM, y se usa típicamente con tamaños de muestras  $n = 1$ , su ventaja es que se puede usar en modelación de series de tiempo y para pronosticar y es sensible a la suposición de normalidad.

Se puede combinar con las gráficas de Shewhart para detectar cambios grandes como pequeñas.



### 3.8 Resultados preliminares.

Como podemos apreciar a través del desarrollo del capítulo 3, existen muchos puntos clave del proceso que podemos mejorar.

En la etapa de definición entendimos el problema, las VCC para el cliente y las VCC del proceso, establecimos las metas y los objetivos que nos llevarán al cumplimiento de las mejoras del proceso de fabricación de la pieza de la estructura de apoyo ASS VERT.

Durante la etapa de medición analizamos el sistema de medición utilizando herramientas del MSA, siendo el estudio satisfactorio. Sin embargo, al evaluar la estabilidad del proceso con las gráficas de control los resultados fueron desalentadores, con un  $St = 25\%$  tenemos un proceso inestable.

La evaluación de la capacidad del proceso apoyo los resultados de la datos obtenidos en el estudio de estabilidad, el comportamiento del proceso estaba cargado a la especificación superior (ES) y teniendo un  $Cp = 0.8$ , el proceso necesita un análisis y requiere de modificaciones serias para poder alcanzar una calidad satisfactoria.

De acuerdo al *modelo DMAIC - SANG* para la aplicación de Seis Sigma, lo conveniente es eliminar las causas especiales y poder evaluar nuevamente la estabilidad del proceso.

Al iniciar la eliminación de causas especiales utilizando diversas herramientas estadísticas y de resolución de problemas, nos dimos cuenta que gran parte de los problemas que provocan la inestabilidad en el proceso son debidas a situaciones externas del proceso, las cuales se ven plasmadas en la figura 3.12 de los cuales los más sobresalientes fueron maquinaria, medio ambiente y mano de obra.

Por lo cual se propuso realizar un estudio técnico, para observar y demostrar una pequeña teoría: Mantener eficientes elementos técnicos del proceso, nos dará la oportunidad de obtener y mantener un proceso estable que nos permita disminuir la variabilidad.



Si el estudio técnico resulta favorable podemos continuar con el despliegue de la metodología Seis Sigma. En caso contrario, debemos concentrar nuestros esfuerzos en ordenar y controlar aspectos técnicos del proceso, implementando por ejemplo un sistema 5's, como primera medida para mejorar nuestros procesos.



## CAPÍTULO 4



### **PROPUESTA DE APLICACIÓN, FACTIBILIDAD DEL CASO PRÁCTICO**



## ESTUDIO TÉCNICO

### Resumen:

- Descripción de la planta.
- Capacidad de la planta para la fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS VERT.
- Recopilación de datos, del proyecto piloto de implementación Seis Sigma
- Estudio técnico y cotejo de resultados.
- Análisis de factibilidad técnica para la implementación en la totalidad de la planta.



#### 4.1 Descripción de la planta.

FYMSA es una empresa dedicada a fabricar y maquilar productos metalmecánicos, especializada en la manufactura de partes para la industria automotriz.

Ubicada en el Centro del municipio de Lerma Estado de México, a 5 Km del paseo Tollocan y fácil acceso a la autopista México - Toluca. Mantiene alianzas estratégicas con Damylar Chraylers y relaciones comerciales con su socio tecnológico en los Estados Unidos, para en un futuro próximo desarrollar tecnología para el suajado de metales a partir de equipo diseñado para el suaje de materiales blandos.

##### 4.1.1 Resumen de sus operaciones

- ❖ Actualmente la empresa se ha enfocado a proveer piezas automotrices, agrícolas y de ferrocarril, mediante procesos como: fresado, maquinado, suajado de materiales blandos (PCV, PET, PP), troquelado, ensamble, aplicación de pintura electrostática y por aspersión.
- ❖ El sistema de producción que usualmente usado es en serie y semi automatizados, maneja lotes pequeños de 20 a 50 piezas.
- ❖ La planta productiva cuenta con 30 empleados y capacidad de producción de maquinados y troquelados son hasta 350 toneladas, con una tasa de crecimiento anual de entre 4% y 5%.
- ❖ Actualmente cuenta con 2,240 m<sup>2</sup> de construcción techada en la planta matriz y 360m<sup>2</sup> en Santiago Tianguistenco, con oportunidad de expansión de 600m<sup>2</sup>.
- ❖ Todos sus proveedores de materia prima son nacionales y cuentan con certificación de calidad en sus productos.
- ❖ El mercadeo de sus productos lo hace directamente y a través de sus representantes, manteniendo uno de ellos exclusivamente en la zona norte del país.
- ❖ Sus principales competidores se ubican dentro del Distrito Federal y zonas conurbadas del Estado de México, sosteniendo una competitividad en calidad y precios.

El lay out general de la planta (anexo 5), nos muestra la distribución actual de la planta.



4.2 Capacidad de producción.

La capacidad de la planta para fabricar la varilla de la estructura de apoyo ASS VERT, es de 25 piezas en un día laborable. El promedio un lote de 100 piezas está listo en 4 días, los cálculos se estimo con base a lo observado durante el proceso de fabricación, véase anexo 4.

4.3 Recopilación de datos, proyecto piloto de implementación Seis Sigma. A continuación se muestra un resumen de cada una de las etapas de la metodología DMAIC:

Etapa	Actividad	Desarrollo
Previa	Selección del proyecto	La selección del proyecto se realizó en conjunto con la dirección, para las áreas de mecanizado y prensas; la responsabilidad del proyecto fue asumida por el becario que propuso inicialmente el proyecto.
	Formar el equipo	Sé formo un equipo integrado por una persona de control de calidad y 2 becarios. Contando con la colaboración activa del Ingeniero de turno, la gerencia y RH.
	Establecer marco del proyecto	Se definió un prototipo de charter para establecer los lineamientos generales del proyecto. Anexo 1.
Definir el proyecto	Descripción general y objetivo del proyecto	Recolectar, procesar y analizar los datos pertinentes sobre el proceso de fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT en un periodo de 4 meses dentro de FYMSA, para implementar un programa de mejora que permite ahorrar desperdicios y mano de obra dentro de la empresa, al disminuir el ciclo del proceso posteriormente a la implementación del programa.
	Hacer un diagrama de flujo o un mapeo del proceso.	El mapeo del proceso completo se puede apreciar en al anexo 4.
	Seleccionar la VCC y asegurarse que a través de ellas se escuche al cliente	Y <sub>1</sub> Tiempo de entrega (reducción del tiempo de ciclo) Y <sub>2</sub> Esfuerzo en el ensamble (ensamble de los elementos de la pieza)





	Delimitar el problema	Recolección y procesamiento de datos en el área de maquinado y prensas, de cada una de las operaciones del proceso de fabricación de la varilla de la estructura ASS VERT. Ordenar la administración de procesos de calidad sin tocar el área económica.
	Proponer una buena primera definición del problema	El descuido en el cumplimiento de especificaciones del rectificado interno del tubo MG0010, dificulta el subensamble con el tubo MG0020 (figura 3.14, Pág. 44), lo cual provoca el aumento del tiempo de ciclo de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT.
Medir la situación actual	Verificar que puede medirse en forma consistente las VCC	Se verificó que se pueden medir de manera consistente las VCC, puesto que el R&R se observa una contribución de 13.11 % del sistema de variabilidad total observada, que es aceptable, mientras que la contribución a la tolerancia es de 17.29 % que es considerada como aceptable. Podemos concluir que el estudio R&R es aprobado.
	Hacer un estudio de la capacidad y estabilidad para las VCC	Se realizó un estudio de estabilidad, el índice de inestabilidad es de 25 %, con lo cual el no indica que el proceso es altamente inestable. El estudio de capacidad nos arroja un $C_p = 0.8$ el cual nos indica que no es adecuado para el trabajo y necesita un análisis del proceso.
	Establecer metas para las VCC	Como meta inicial, Eliminar las causas especiales que haga el proceso estable y posteriormente ir por un $C_p \geq 1.5$ .
Analizar las causas raíz		
Mejorar las VCC		
Controlar para mantener la mejora		



#### 4.4 Estudio técnico y cotejo de resultados

##### *A.-- Finalidad de la operación*

En los datos proporcionados durante el desarrollo del proyecto Seis Sigma, fueron podemos observar que la variabilidad en los procesos influye en medida en la calidad del producto. Si logramos planear, idear estrategias de mejora y control, las oportunidades de crecimiento serán cada vez palpables a corto y largo plazo.

Existen varias alternativas para plantear nuestran estrategia de mejora, una de ellas pueden ser apoyadas en nuestra propia experiencia y capacidad para la resolución de problemas, sin dejar a un lado la valiosa ayuda de la herramientas de ingeniería.

Durante el desarrollo del trabajo, se muestra de maneras sencillas algunas herramientas estadísticas y de resolución de problemas, y resultados a través de software especializado, el análisis del proceso de fabricación una pieza (varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT), que son de gran ayuda no sólo en la administración de proyectos sino también pueden cubrir las oportunidades de mejora que surjan dentro de la empresa y tener la confianza de que se pueden aprovechar.

##### *B.- Diseño de la partes*

El diseño de cada uno de los elementos de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT, es elaborado por Demian Chryler, y es obligación de FYMSA, cumplir con cada uno de los requerimientos en material, forma, dimensiones y tolerancias establecidas en la hoja de especificaciones. Véase anexo .

Como medida de control para cumplir cada uno de los requerimientos se revisa cuidadosamente la primera pieza de fabricación de cada elemento, verificando tolerancias y especificaciones, véase anexos 2 y 3.



### *C.- Tolerancias y especificaciones*

Las tolerancias y especificaciones de cada elemento de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT, mantienen cierto margen que considera la variabilidad en cada proceso de fabricación.

Las tolerancias establecidas por el cliente permiten cumplirlas de manera satisfactoria. Esto se ha llevado a cabo con la implementación de planes de control, como anteriormente se menciona y se pueden mejorar aún más con la implementación de gráficas de control, para mantener el proceso controlado en el corto y largo plazo.

### *D.- Material*

El material empleado para la fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT, es un acero cédula 40 de alta resistencia, idóneo en precio y especificaciones para el maquinado de la pieza.

Los proveedores de acero cuentan con certificados de calidad en sus productos, lo que garantiza una alta calidad la materia prima para la fabricación de la varilla. Sin embargo, como medida de seguridad se revisa la materia prima al llegar a la empresa, el cual a pasar la revisión es llevado al almacén de materia prima, (ALM MP).

### *E. Secuencia y proceso de fabricación*

El proceso de producción se guía bajo órdenes de producción programadas por el departamento de ingeniería. Cada orden de producción indica cantidad, máquina y proceso a seguir (véase anexo 2), para su correcta fabricación.

La secuencia es llevada a cabo satisfactoriamente, cuenta con una lógica en cada proceso. Cada pedido se compone de 100 piezas y cada uno de ellos es dividió en lotes de 20 piezas para su



fabricación, con lo cual se busca evitar demoras. Sin embargo, existen almacenamientos temporales que retrasan las operaciones posteriores.

Para este caso no se consideran cambios en el proceso o secuencia de las operaciones, y después de analizar la lógica del proceso, sería imprudente recomendar algún cambio, o modificación de la distribución de planta, sin realizar un análisis de distribución de planta de todos los elementos de la misma.

#### *F. Configuración y herramientas*

La configuración de las herramientas, tiene un especial cuidado, puesto que el almacén de herramientas presenta serios problemas.

El empleo de patrones o calibradores de bloques con la finalidad de realizar ajustes rápidos a los topes de la máquina, se encuentran en buenas condiciones y son aptos para la tarea señalada, así como los dispositivos Poka-yoke, para colocar la pieza en su posición correcta.

La utilización, de tablas de registro y un lugar apto para colocar los instrumentos de medición es importante para la toma de muestras. Además, de elementos de sujeción más eficientes que cumplan con su tarea, de tal manera que la piezas puedan quitarse rápidamente. Lo recomendable, sería ordenar el almacén de herramientas, para mantener un orden sobre las herramientas.

#### *G. Manejo de materiales*

Cada operación requiere de materiales y productos en un momento determinado los cuales son frecuentemente son entorpecidos por el arribo tardío o temprano de materiales.

La existencia de plataformas para colocar productos semiterminados a funcionado excelentemente.



El espacio para manejo temporal es inadecuado, ya que interrumpe el flujo y paso de materias primas y productos semiterminados de otros procesos.

La ubicación de los materiales alrededor de la estación de trabajo, en el área de maquinado es reducida, la colocación de productos terminados y semiterminados impide moverse libremente dentro del área de maquinado, dificultando la maniobra de operación de las demás maquinaria.

Se puede utilizar un carro plataforma para el manejo de materia prima, productos semiterminados y terminados, en vez de hacerlo de manera manual

La utilización de patines neumáticos aumentaría la velocidad para desplazar los materiales de diferentes estaciones de trabajo si usamos plataformas tipo caja.

#### *H.- Distribución de planta*

De acuerdo con (Niebel, 2009) por las propiedades y demanda de este producto, la distribución por proceso es la más eficiente, que es el sistema de distribución actualmente instalado en la empresa. A pesar de ello, cuenta con la desventajas de un distribución de este tipo que son los recorridos largos, además de accesos reducidos en las pasillos.

#### *I.- Localización de la planta*

La planta se encuentra ubicada en Hidalgo 58 Ote., Municipio de Lerma, Estado de México, México, CP:52000, a 30 min de Toluca, y a 30 min de la Cd. de México. Y a 5 Km. del paseo Tollocan, teniendo fácil acceso a rutas carreras



*J.- Maquinaria y equipo*

Actualmente cuenta con el siguiente equipo:

- 6 prensas troqueladoras; de 350, 100, 75, 40(2) y 5 toneladas.
- 1 prensa hidraulica de 20 toneladas.
- 3 tornos paralelos
- 2 cortadoras horizontales
- 1 oh/163
- 1 cortadora circular
- 1 cepillo de codo
- 3 taladros; de columna, fresador y radial.
- 1 afiladora de brocas.
- 2 esmeriles para afilado de herramientas
- 3 fresadoras; tipo 1, tipo 2 y universal tipo 3.
- 1 rectificadora horizontal.
- 2 equipos de soldadura de arco corriente directa y potencial constante.
- 1 soldadora por resistencia con veinte kva de salida.
- 2 equipos completos para soldadura oxiacetilénica y gas butano.
- 2 plantas de soldar eléctricas.
- 1 planta de soldar para corriente directa o alterna

En el caso de equipo de computo, se tiene una computadora HP pavilion, que para las operaciones diarias de la empresa es suficiente. Sin embargo, para el uso adecuado del sistema y ejecución del programa Minitab, se necesitará en medida de lo posible una máquina de las mismas condiciones, que la existente.

*K.- Recursos humanos*

Los recursos humanos existentes son suficientes para cubrir este proceso, sin embargo el desconocimiento de tal proyecto, así como sus dimensiones, dificulta su implementación.



#### 4.5 Análisis de factibilidad técnica para la implementación en la totalidad de la planta.

El analizar la factibilidad técnica de este proyecto, nos lleva a la toma de decisiones para la dirección en cuanto a si seguir adelante con el proyecto o no. La comprensión objetiva y cuantitativa de la factibilidad del proyecto y de los riesgos potenciales del proyecto propuesto es esencial.

Los criterios para determinar la factibilidad técnica de implementar Seis Sigma son los siguientes:

- ✓ *Maquinaria y equipo*, como se ha visto en el estudio técnico anterior, FYMSA cuenta con el equipo y maquinaria necesaria para realizar cualquier producto dentro de su catálogo de productos, sin la necesidad de mandarlos a maquilar. Sin embargo, la maquinaria y equipo es viejo, lo que el reajuste es una actividad recurrente.

Equipos inadecuados para el transporte y manejo material, dificultan el transporte de materia prima, productos semiterminados y terminados, por este motivo la un gran número de partes son llevadas de manera manual, con lo cual retrasa las operaciones, y ocasiona lesiones en los operarios. Esto debe mejorarse si se quiere implementar proyectos Seis Sigma en la empresa.

- ✓ La distribución de la planta instalada actualmente resulta eficiente de acuerdo a la capacidad y demanda de la planta. Pensando en una posible expansión, aumento de la demanda, sería necesario considerar alinear la distribución de planta a las exigencias de cliente.

Las condiciones de la planta en el contexto de seguridad e higiene son deficientes, sólo apenas logrando la certificación. La maquinaria y equipo, se sostienen bajo un mantenimiento preventivo, que frecuentemente se convierte en correctivo.

- ✓ Los recursos humanos existentes en la planta son confiables y están capacitados para realizar eficientemente su trabajo. La adaptabilidad al cambio, por parte de trabajadores y mandos medios ha sido tomada de manera indiferente. La administración y la gerencia, en



primera instancia acepto de manera optimista las propuestas, aun que en el último mes de estancia, se cabildeó la oportunidad de iniciar en la totalidad de la empresa.

#### 4.6 El despliegue de Seis Sigma en PyME's

El despliegue de la metodología Seis Sigma es válida en cualquier tipo de empresa independientemente de su sector o tamaño. En el caso de este proyecto podemos observar en el siguiente cuadro comparativo los resultados que podemos obtener al implementar Seis Sigma.

RESULTADOS		
	AHORA	PROPUESTO
<b>CAPACIDAD</b>	<b>Cp = 0.8</b>	<b>Cp &gt; 1.5</b>
<b>COSTOS</b>	\$ 1 527	\$ 663.16
<b>TIEMPO</b>	64 hrs	28.8 hrs
<b>CALIDAD</b>	Suficiente para lograr la certificación	Mantener la certificación y aumentar la cartera de clientes.

La única diferencia es que para desplegar Seis Sigma en PyMEs se debe refinar el modelo de despliegue para satisfacer sus necesidades. A continuación se plantean algunas sugerencias para mejorar la implementación de la metodología Seis Sigma.

1. Es importante que los dueños tengan una introducción a la metodología antes de que el programa comience para asegurar el entendimiento de las etapas del proceso y así poder jugar un rol de liderazgo positivo. El resultado de la capacitación al equipo de liderazgo permitirá describir lo que significa Seis Sigma, su rol como "champions", el por qué Seis Sigma es importante para la empresa y la focalización en los resultados técnicos, en calidad y financieros de los proyectos de mejora.





2. También es clave la elección del asesor externo para la formación de empleados para el entrenamiento. Con la finalidad de minimizar costos adicionales de entrenamiento y una reducción del tiempo de implementación se recomienda darlos en la empresa. Se recomienda el empleo de gente con talento con las habilidades para la resolución de los problemas. Un modelo que está funcionando bien en empresas de tamaño reducido, es el de comenzar formando Green Belts. No tienen una dedicación exclusiva en la mejora sino que la integran como uno más de sus actividades en la empresa. Esos agentes de cambio deben ser los mejores empleados, así que cederlos para comenzar a implementar la metodología es lo más importante.

3. El desarrollo de una estructura que gestione y despliegue Seis Sigma es indispensable para conseguirlo. Para una PyME consiste en que no se justifiquen recursos a tiempo completo para manejar el proceso. Dentro de este contexto, el asesor externo absorberá los problemas y crisis diarias, jugando un papel clave en el liderazgo y ser mentor del encargado del responsable del proyecto..

4. Selección de proyectos económicamente rentables a ser realizados en plazos realistas. Una de las decisiones más importantes que tiene que tomar el dueño de empresa es la elección del proyecto al que dedicará los recursos internos. El equipo de liderazgo debe ser parte de la selección de los proyectos para asegurar la consistencia con la estrategia de negocio.

5. Mantener el impulso de Seis Sigma. Se debería continuar con una comunicación abierta y constante a través de toda la organización para el entendimiento de lo que significa Seis Sigma. La toma de decisiones será substituido por la toma de decisiones basada en hechos y datos concretos, en pensamientos estadísticos y causales para descubrir las variables críticas de proceso y tomar las decisiones correctas. El proceso de mejora Seis Sigma se enfoca en métricas, en consecuencia, deberían desarrollarse paneles de control y registros donde se indiquen e informen las mejoras de costos y de los procesos.



## CONCLUSIONES

En este proyecto de factibilidad técnica se llegó a las siguientes conclusiones:

Los resultados del estudio técnico muestran que no es factible en su totalidad (véase capítulo 4), la distribución de la planta y los recursos humanos para implementarla son buenos; en tanto que la maquinaria y equipo no lo son, por lo cual dificultaría la toma de tiempos y la medición del proceso. Por lo cual se recomienda enfocar nuestros esfuerzos en mejorar lineamientos técnicos, como maquinaria y equipo

Una medida prudente si se desea tener una mejora continua en los procesos, sería desplegar las 5's dentro de la empresa y mejorar los sistemas de calidad.

Si se desea apostar por un proyecto Seis Sigma, un sistema que está funcionando bien en empresas de tamaño reducido, es el de comenzar formando Green Belts. El cual no profundizara en los fundamentos teóricos de las herramientas estadísticas sino que se centran especialmente en sus aspectos críticos y de interpretación de resultados. En pocas palabras apostar por la capacitación.

El número de personas que se forman depende del tamaño de la compañía pero un buen indicador sería el de 1 GB por cada 100 empleados. El entrenamiento de estos GB se lleva a cabo sobre proyectos reales de la compañía que van desarrollando a lo largo de la formación. En el periodo entre sesiones formativas, los GB aplican las diferentes herramientas de la metodología a dichos proyectos con el apoyo del formador que habitualmente es un consultor con formación y experiencia como Black Belt. En ocasiones también pueden completar su formación hasta alcanzar el nivel de Black Belt y convertirse así en el consultor interno de la empresa.

La estancia en FYMSA fue muy gratificante, al tener a cargo la elaboración del proyecto donde se aplicaron diversas herramientas estadísticas, software y diversos conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería, a demás aprender de manera práctica los procesos de fabricación de una empresa metal-mecánica.

Las técnicas de trabajo de Seis Sigma son válidas en cualquier tipo de empresa independientemente de su sector o tamaño. La única diferencia es que para lanzar un programa de mejora Seis Sigma en pequeñas y medianas empresas, se deben refinar el modelo de despliegue de la metodología para satisfacer sus necesidades. Lo más problemático en el caso de una pequeña o mediana empresa es la asignación de recursos a la mejora.



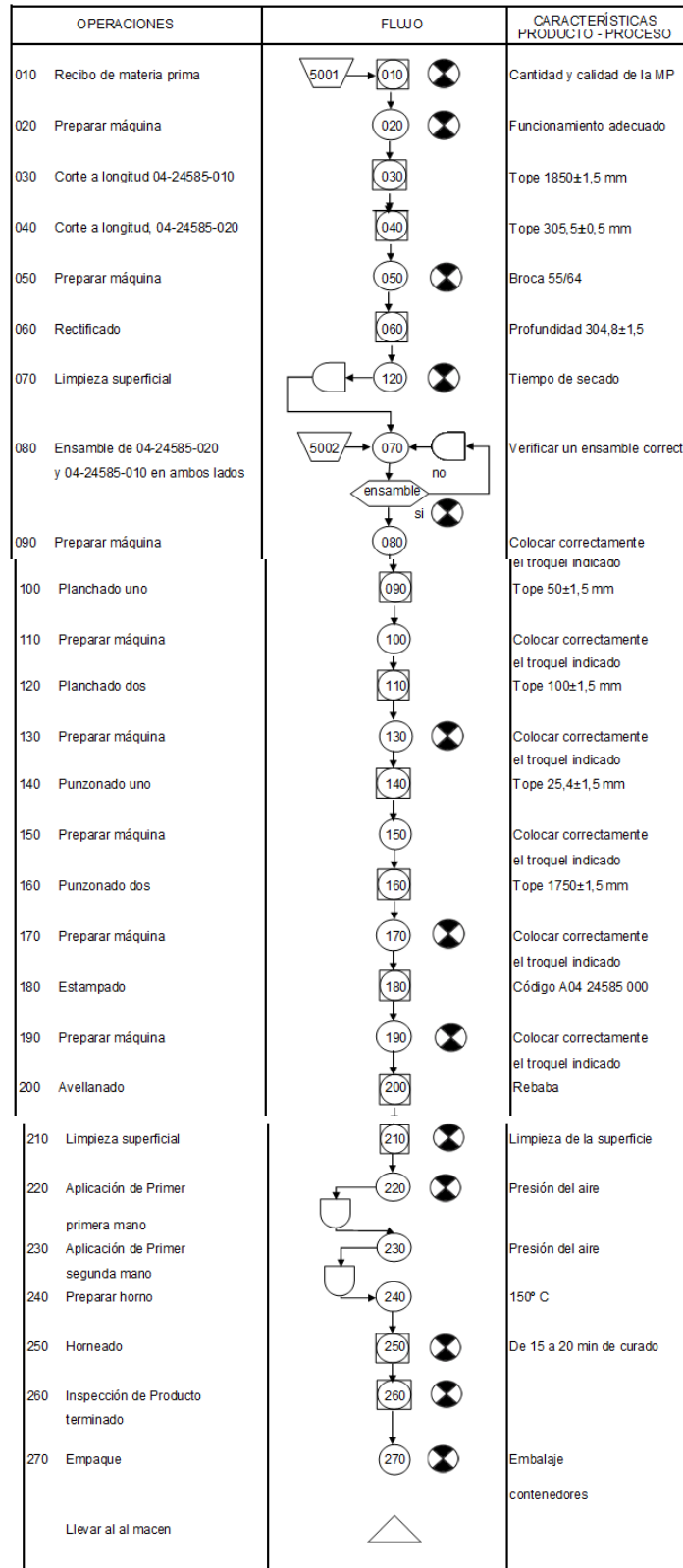
ANEXO 1- CHARTER DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO: FABRICACION DE LA VARILLA DE APOYO ASS VERT		PROYECTO: 1			
LIDER DEL PROYECTO:	MARCO ANTONIO GALLEGOS LOPEZ	FECHA / REVISIÓN	01/01/2009		
CHAMPION	EXTERNO	FECHA DE TERMINACIÓN	01/03/2010		
UBICACIÓN	LERMA ESTADO DE MEXICO				
LÍNEA D E L P R O D U C T O	FREIGHTLINER				
ENUNCIADO DEL PROBLEMA: INDICAR CLARAMENTE LA RAZÓN POR LA CUAL FUE PLANTEADO EL PROYECTO. PREGUNTA CLAVE ¿POR QUÉ ES NECESARIO QUE ESTE PROYECTO SE LLEVE A CABO?	El descuido en el cumplimiento de especificaciones del rectificador interno del tubo MG0010, dificulta el subsensamblaje con el tubo MG0020 (véase figura 3.9), lo cual provoca el aumento del tiempo de ciclo de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT.				
OBJETIVOS: DESCRIBIR EL OBJETIVO DEL PROYECTO EN FORMATO SMART (ESPECÍFICO, MEDIBLE, ACORDADO, REALISTA Y EN TIEMPO)	Recolectar, procesar y analizar los datos pertinentes sobre el proceso de fabricación de la varilla de la estructura de apoyo ASS-VERT en un periodo de 4 meses dentro de FYMSA, para implementar un programa de mejora que permita un ahorro en desperdicios y mano de obra dentro de la empresa, al disminuir el ciclo del proceso posteriormente a la implementación del programa.				
ALCANCE PROYECTO: ¿QUÉ ACTIVIDADES O ÁREAS CONECTADAS AL PROCESO O PRODUCTO DESIGNADOS SERÁN INVESTIGADAS? ¿QUÉ PARTES NO SERÁN INVESTIGADAS?	Recolección y procesamiento de datos en el área de maquinado y prensas, de cada una de las operaciones del proceso de fabricación de la varilla de la estructura ass vert. Ordenar la administración de procesos de calidad sin tocar el área económica.				
RESULTADOS: ¿CUAL ES EL CRITERIO QUE SE UTILIZARÁ PARA DETERMINAR QUE EL PROYECTO HA FINALIZADO DE MANERA ACEPTABLE?	Se determinará a juicio de la gerencia si el proyecto es viable o no.				
MÉTRICAS CLAVE: ¿QUÉ MEJORA SE ESPERA? ¿LOS VALORES QUE SE UTILIZAN PARA EVALUAR EL IMPACTO DEL PROYECTO EN LOS MÉTRICAS CLAVE	METRICOS	BASELINE	META	ENTITLEMENT	UNIDADES
	First Pass Yield (FPY)				
	Capacidad de producción o ciclo de tiempo				
PARTES INTERESADAS: ¿QUIÉNES SON Y QUÉ TIPO DE INTERÉS TIENEN EN EL PROYECTO?	EQUIPO CENTRAL: LOS 3-4 MIEMBROS QUE LLEVARÁN A CABO EL PROYECTO A TRÁVES DE TODAS ETAPAS.	Un becario, encargado: Marco Gallegos, becario asistente: José Luis y En cargada de calidad: Mayra			
	RECURSOS CENTRALES: PERSONAS ADICIONALES QUE ASISTIRÁN EN EL TRABAJO DE CAMPO	Ingeniero de turno: Alejandro			
	CLIENTES: INTERESADOS Y/O EXTERNOS BENEFICIARIOS DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO	Freightliner			
BENEFICIOS: ¿QUÉ BENEFICIO VERÁN LOS CLIENTES Y CÓMO SE RELACIONAN A LOS BENEFICIOS DE NUESTRO LADO?	Incremento en la eficiencia de los procesos y entrega 100% a tiempo, con una calidad excelente.				
PROGRAMA: INTRODUZCA LOS NOMBRES DE LOS DEPARTAMENTOS CLAVE/FUNCIONES INVOLUCRADAS. POSTERIORMENTE, REALICE UNA AMPLIA LISTA DE LAS ETAPAS CON LAS FECHAS DESEADAS. UTILICE LAS CLAVES PROPUESTAS PARA ESTABLECER RESPONSABILIDADES PARA CADA DEPTO./FUNCIÓN	FECHA LIMITE	DEFINICIÓN DE ETAPAS			
	DIEMBRE, 2008	Ingeniería (Becario) Etapa previa, evaluación inicial del proceso.			
	ENERO, 2009	Ingeniería (equipo formado) Etapa de definición, descripción del proceso.			
	FEBRERO, 2009	Ingeniería (equipo formado) Etapa de definición, definición del problema.			
	MARZO, 2009	Ingeniería (equipo formado) Etapa de medición y análisis, estudio R&R			
	ABR-ABR, 2010	Ingeniería (Becario) Etapas de análisis y mejorad el proceso.			
BARRERAS E IMPEDIMENTOS: LOS RIESGOS OCACIONALES (INTERNO Y EXTERNOS) QUE PODRÍAN ACABAR CON ESTE PROYECTO O LLEVAR A MÁS CAMBIOS EN ALCANCES U OBJETIVOS	Desconocimiento de la metodología Seis Sigma de mandos intermedios y falta de confianza, por la poca experiencia del promotor del proyecto.				
REVISIÓN DE CHARTER: ¿VAL E LA PENA EL ESPERAR? ¿LO PODRÍAMOS HACER? ¿PODRÍAMOS GANAR?			CHARTER APROBADO <input checked="" type="checkbox"/> MÉTRICAS APROBADAS <input checked="" type="checkbox"/>		



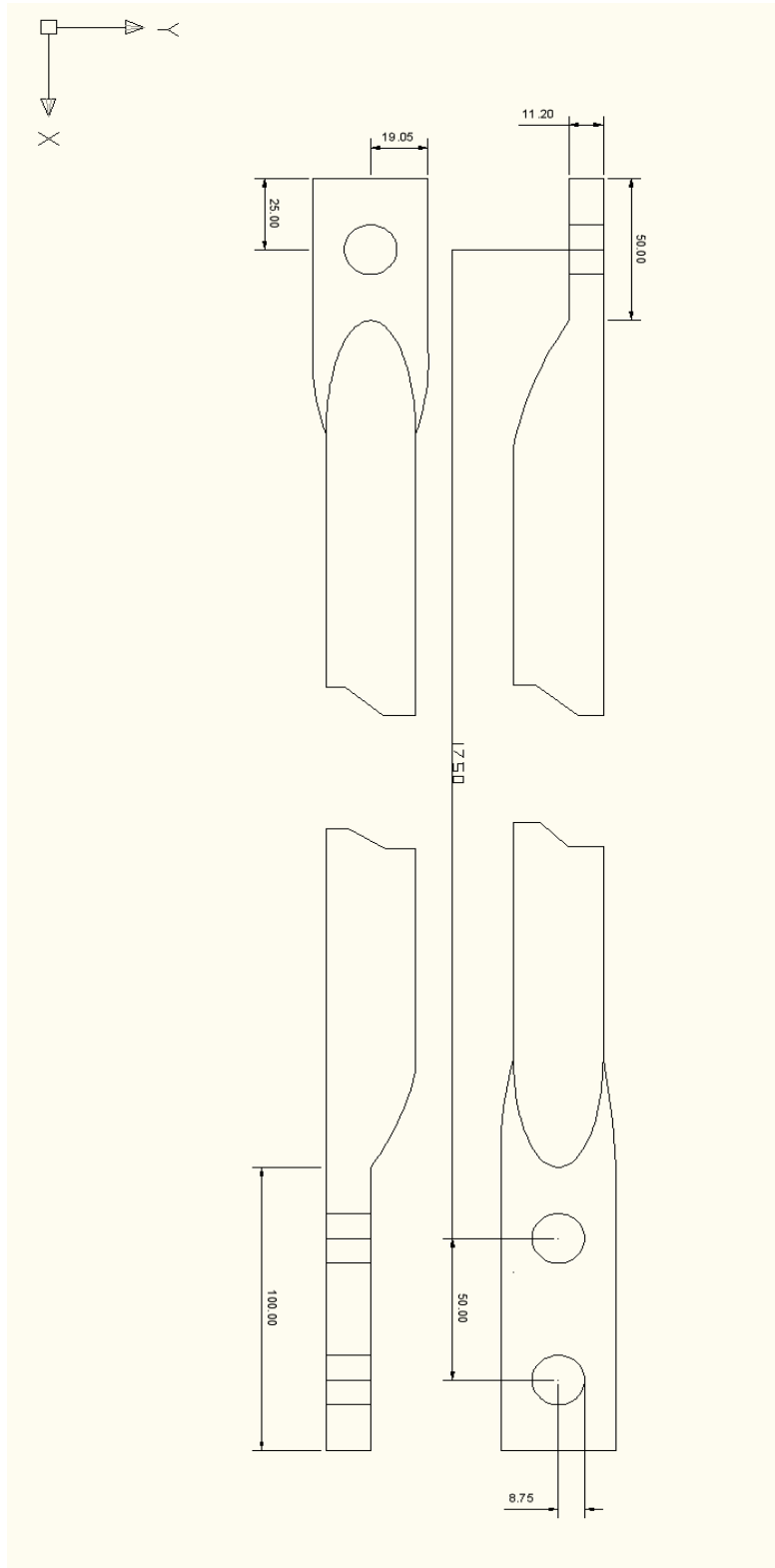
ANEXO 2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA VARILLA DE APOYO ASS VERY





ANEXO 3 HOJA DE TOLERANCIAS Y ESPECIFICACIONES





ANEXO 4 MAPEO DEL PROCESO

CURSOPROGRAMA ANALÍTICO DE VARILLA DE APOYO ASS-VERY				RESUMEN			
UBICACIÓN: PLANTA PYMSA				EVENTO	PRESENTE	PROPUESTO	AHORRO
ACTIVIDAD: FABRICACION VARILLA				OPERACIÓN	26	2770	2770
FECHA: MARZO DE 2009				TRANSPORTE	7	670	400
ANALISTA: INC. M. CALLECOS				ESPERA	8	1340	0
				INSPECCIÓN	14	70	70
MÉTODO				ALMACENAMIENTO	2	180	60
TIPO				TOTAL	5030	3300	1730
COMENTARIOS:					100%	65.60%	34.39%

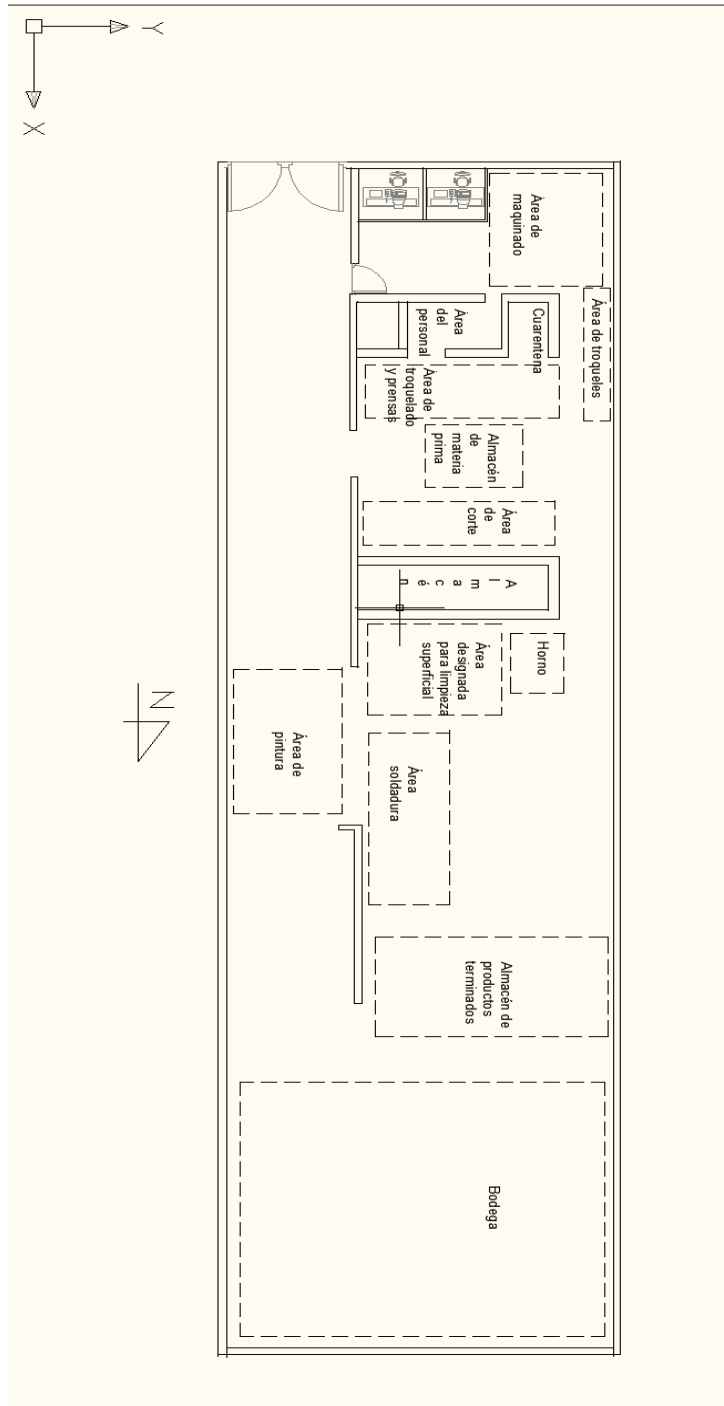
DESCRIPCIÓN DE LOS EVENTOS	SÍMBOLO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACIONES
1 Recibo de materia prima	○	30	
2 Inspeccionar materia prima	○	20	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 1
3 Almacenamiento en ALMMP	○	180	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 1
4 Preparar máquina	●	30	
5 Transportar pza x pza a como da ita en co rta do ra	○	100	
6 Corte a longitud 04-24585-010	○	350	
7 Inspección de primera pieza del lote	○	5	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 6
8 Almacenamiento temporal en contenedores	○	120	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 6
9 Corte a longitud, 04-24585-020	○	200	
10 Inspección de primera pieza	○	5	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 10
11 Almacenamiento temporal en contenedores	○	180	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 10
12 Preparar máquina	●	60	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 11
13 Transportar contenedor cerca del tomo	○	20	
14 Rectificado	○	200	
15 Inspección de primera pieza	○	5	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 14
16 Transportar las piezas para su limpieza	○	100	
17 Limpieza superficial	○	120	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 16
18 Transportar contenedor para su ensamble	○	300	
19 Ensamble de 04-24585-020 y 04-24585-010	○	300	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 18
20 Inspección de primera pieza	○	5	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 18
21 Preparar máquina	●	60	
22 Planado uno	○	50	
23 Inspección de primera pieza	○	5	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 22
24 Preparar máquina	●	60	
25 Planado dos	○	50	
26 Inspección de primera pieza	○	5	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 25
27 Almacenamiento temporal en el contenedor	○	300	
28 Preparar máquina	●	60	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 27
29 Punzado uno	○	60	
30 Inspección de primera pieza	○	5	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 29
31 Preparar máquina	●	60	
32 Punzado dos	○	60	
33 Inspección de primera pieza	○	5	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 32
34 Almacenamiento temporal en el contenedor	○	300	
40 Avelanado	○	180	
41 Inspección de primera pieza	○	5	
42 Almacenamiento temporal en el contenedor	○	120	
43 Limpieza superficial	○	120	
44 Transportar contenedor para aplicar primer	○	30	
45 Aplicación de Primer primera mano	○	120	
46 Aplicación de Primer segunda mano	○	120	
47 Inspección de primera pieza	○	5	
48 Almacenamiento temporal en los estantes de secado	○	180	
49 Preparar horno	○	60	ACTIVIDAD PARALELA A ACT. 48
50 Transportar estantes al horno	○	20	
51 Hornado	○	120	
52 Inspección de primera pieza	○	5	
53 Transportar piezas en contenedores para inspección	○	60	
54 Inspección del producto terminado	○	20	
55 Transportar contenedor para su empaque	○	60	
56 Empaque	○	120	
57 Llevar al almacén	○	20	

**OBSERVACIONES GENERALES**  
 Tiempo estimado para producir un lote de 100 piezas de la varilla de la estructura de apoyo ASS VERT 3840 incluyendo actividades paralelas lo que significa que  
 4 días x 16 hrs = 164 hrs; 164 hrs x 60 min = 3840 min  
 En promedio se produce una pieza cada 38.4 min, lo que significa que se producen alrededor de 25 piezas por día laborable.  
 Con un salario mensual de \$ 4200.00; \$191.00 x un día laborable; \$ 23.86 x hora; \$23.86\*64 horas = \$1527  
 Un ahorro de 28.83 horas, lo que significa un ahorro de \$663.16, que es un 34.39 % del total que cuesta producir 100 piezas.



ANEXO 5 LAY-OUT DE LA PLANTA





## APENDICE A1

### Cálculos de los índices de capacidad y su rango de estimación página 63

Con los valores de:  $\bar{X} = 21.804$ ,  $S = 0.115399$  y con una confianza al 95 % cuyo valor  $Z_{\alpha/2} = 1.96$  se pueden estimar los siguientes los índices:

$$\hat{C}_p = \frac{22.05 - 21.55}{6 \times 0.115399} = 0.7221$$

$$\hat{C}_{pi} = \frac{21.804 - 21.55}{3 \times 0.115399} = 0.7337$$

$$\hat{C}_{ps} = \frac{22.05 - 21.804}{3 \times 0.115399} = 0.7106$$

$$\hat{C}_{pk} = \text{Mínimo}(0.7336, 0.7105) = 0.7106$$

$$\hat{C}_{pm} = \frac{22.05 - 21.55}{\sqrt{0.115399^2 + (21.804 - 21.8)^2}} = .7336$$

$$\hat{C}_p: 0.7221 \pm 1.96 \times \frac{0.7221}{\sqrt{2(40 - 1)}} = 0.7221 \pm 0.160132$$

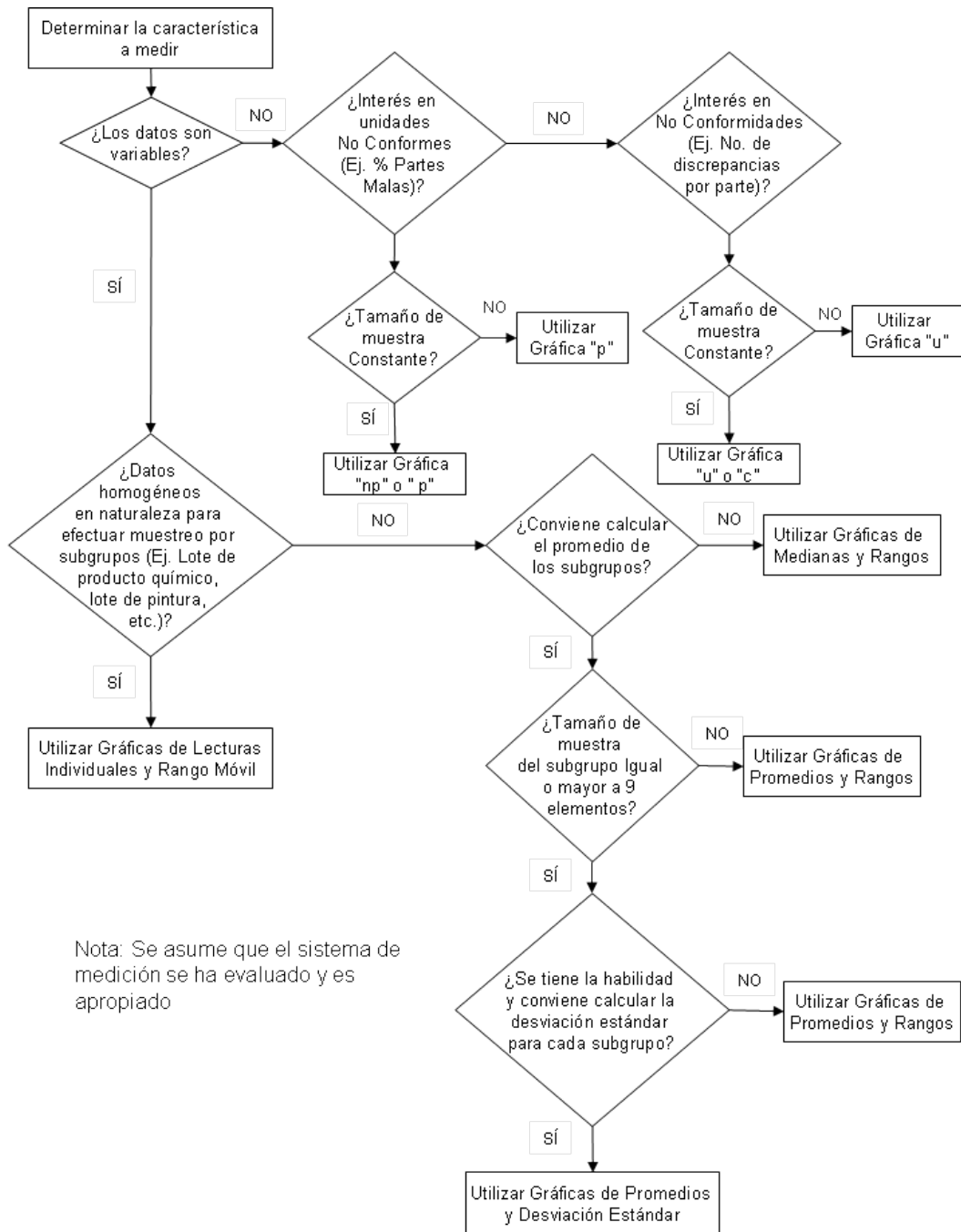
$$\hat{C}_{pk}: 0.7105 \pm 1.96 \times \sqrt{\frac{0.7105^2}{2(40-1)} + \frac{1}{9(40)}} = 0.7105 \pm 0.1885$$

$$\hat{C}_{pm}: 0.7336 \pm 1.96 \frac{0.7336}{\sqrt{40}} \times \sqrt{\frac{\frac{1}{2} + \frac{(21.804 - 40)^2}{0.115399^2}}{\left(1 + \frac{(21.84 - 40)^2}{0.115399^2}\right)^2}} = 0.7336 \pm 0.2277$$





APENDICE A2



Nota: Se asume que el sistema de medición se ha evaluado y es apropiado



## APENDICE A3

Tamaño de subgrupo	Gráficas de Promedios y Rangos				Gráficas de Promedios y Desviación Estándar			
	Gráfica de Promedios	Gráfica de Rangos		Gráfica de Promedios	Gráfica de Desviación Estándar			
	Factores para Límites de Control	Divisores para Estimar la Desv. Estándar	Factores para Límites de Control	Factores para Límites de Control	Divisores para Estimar la Desv. Estándar	Factores para Límites de Control		
n	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	1.880	1.128	-	3.267	2.659	0.7979	-	3.267
3	1.023	1.693	-	2.574	1.954	0.8862	-	2.568
4	0.729	2.059	-	2.282	1.628	0.9213	-	2.266
5	0.577	2.326	-	2.114	1.427	0.9400	-	2.089
6	0.483	2.534	-	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435



## VOCABULARIO

**Acciones correctivas:** Son aquellas orientadas a eliminar la causa de una inconformidad que se ha detectado. Se orientan a prevenir recurrencias.

**Aseguramiento de la calidad:** Conjunto de actividades preestablecidas y sistemáticas, aplicadas en el marco del sistema de la calidad, que se ha demostrado que son necesarias, para dar confianza adecuada de que una entidad satisfará los requisitos para la calidad. Conjunto de actividades preestablecidas y sistemáticas, aplicadas en el marco del sistema de la calidad, que se ha demostrado que son necesarias, para dar confianza adecuada de que una entidad satisfará los requisitos para la calidad.

**Calidad:** La totalidad de las características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas. La totalidad de las características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas.

**Capacidad de corto plazo:** Se calcula a partir de muchos datos tomados durante un periodo corto para que no haya influencias externas en el proceso.

**Capacidad de largo plazo:** Se calcula con muchos datos tomados de un periodo largo para que los factores externos influyan en el proceso.

**Competitividad:** Es la capacidad de una empresa para generar valor para el cliente y sus proveedores de mejor manera que sus competidores.

**Control de la calidad:** Técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para satisfacer los requisitos para la calidad. Técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para satisfacer los requisitos para la calidad.

**Eficacia:** Grado con el cual las actividades planeadas son realizadas y los resultados planeados son logrados. Se obtienen mejorando resultados de equipos, materiales y en general el proceso.

**Eficiencia:** Relación entre los resultados logrados y los recursos empleados. Se mejora reduciendo tiempos desperdiciados por paros de equipo, falta de material, retrasos, etcétera.



**Muda (Desperdicio):** Palabra japonesa que significa "Desperdicio". Una actividad que consume recursos pero no genera valor.

**Poka – Yoke:** Dispositivos "A prueba de error" diseñados para prevenir la producción de defectos en la realización de un servicio o manufactura de un producto por medio de la detección y/o bloqueo de las condiciones de error que posteriormente generan el defecto. Ejemplo: "Seguro automático en puertas de automóvil" Error que detecta/bloquea: Dejar la puerta abierta al salir del auto. Defecto que impide: Robo de artículos y equipo en el interior del auto.

**Procedimiento:** Manera especificada de realizar una actividad.

**Proceso:** Conjunto de recursos y actividades relacionadas entre sí que transforman elementos entrantes en elementos salientes.

**Productividad:** Es la capacidad de generar resultados utilizando ciertos recursos. Se incrementa mediante el mejoramiento continuo del actual sistema de producción.

**Producto:** Es el resultado de un proceso en el que intervienen varias actividades interrelacionadas.

**Satisfacción al cliente:** Es la percepción del éste acerca del grado con el cual sus necesidades o expectativas han sido cumplidas.

**Sesgo:** Es una medida numérica de la asimetría en la distribución de un conjunto de datos.

**Sistema de calidad:** La organización, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para implementar la gestión de la calidad. La organización, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para implementar la gestión de la calidad.

**Variabilidad:** Se refiere a la diversidad de resultados de una variable o de un proceso.

**Variables continuas:** Son las que al medirse sus resultados se ubican en una escala continua que corresponde a un intervalo de los números reales.

**Variables discretas:** Son elementos que pueden cuantificarse con la simple observación. Son números enteros.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Avallone, Eugene A. (2005). *“Marks, Manual del ingeniero mecánico”*. McGraw-Hill, tomo I. México.

Avallone, Eugene A. (2005). *“Marks, Manual del ingeniero mecánico”*. McGraw-Hill, tomo II. México.

Cervantes Patiño, Moisés. (2008). *“Introducción e interpretación norma ISO 9001:2000, requisitos de las sistemas de gestión de la calidad”* UNAM, México.

Cervantes Patiño, Moisés. (2008). *“Norma ISO 9001:2000, requisitos de los sistemas de gestión de la calidad”*. UNAM, México.

Díaz Mondragón, Manuel. (2006). *“Estados financieros de México y el mundo”*. Gasca SICCO, México.

Escalante Vázquez, Edgardo J. (2008). *“Seis Sigma: metodología y técnicas”*. Limusa, México.

Gutiérrez-Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. (2004). *“Control estadístico de calidad y Seis Sigma”*. McGraw-Hill, México.

Herránz Cortés, Tomas. (2005). *“Manual de mecánica Industrial”*. Ed. Cultural, tomo I, Madrid-España.

Kume, Hitoshi. (2002). *“Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad”*. Norma, Bogotá-Colombia.



Niebel, Benjamín. (2009). “Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo”. McGraw-Hill. México.

Peter S. Pande, Larry Holpp. (2002). “*¿Qué es Six Sigma?*” McGraw-Hill.

Seminario de actualización profesional. (2005). “*Seis Sigma como estrategia de competitividad para las empresas del siglo XXI*” Instituto Politécnico Nacional, México.



## RESUMEN DE TABLAS Y CUADROS

### Capítulo 1

Cuadro 1.1. Personal ocupado, sector manufacturero de transformación 2010	3
Cuadro 1.2 Indicadores del sector manufacturero de transformación 2010	3
Tabla 1.1 Principales procesos de maquinado	5
Figura 1.1. Mecánica del proceso de maquinado del tipo de viruta	4

### Capítulo 2

Tabla 2.1 Capital humano en Seis Sigma	19
--	----

### Capítulo 3

Figura 3.1 Ciclo Deming.	24
Figura 3.2 Diagrama de flujo de la metodología DMAIC.	24
Figura 3.3 Ejemplo del Diagrama de Gantt	26
Figura 3.4 Diagrama de reconocimiento de un proyecto Seis Sigma	28
Figura 3.5 Gráfica de Gantt	32
Figura 3.6 Modelo DMAIC – SANG para la aplicación de Seis sigma	34
Figura 3.7 Ejemplo de un cursograma analítico	36
Figura 3.8 Ejemplo de un diagrama de Ishikawa	36
Figura 3.9 Pasos para definir un problema	38
Figura 3.10 Ejemplo de un diagrama de Pareto	38
Figura 3.11 Ejemplo de un Histograma	38
Figura 3.12 Diagrama de Ishikawa	42
Figura 3.13 Diagrama de Pareto	43



Figura. 3.14 Dificultad al ensamblar el tubo 04-24585-020 dentro del tubo 04-24585-010.	44
Figura. 3.15 Procesos con calidad tres y seis sigma.	67
Figura. 3.16 Desplazamiento de 1.5	70
Figura. 3.17 Proceso no centrado	71
Figura. 3.18 Proceso centrado	71
Figura. 3.19 Comparación $c / d$	72
Figura 3.20 Calidad 6 sigma	74
Figura. 21 Estudio R&R	77
Figura. 3.22 Gráfica X-R	78
Figura. 3.23 Capacidad de proceso	79
Figura. 3.24 Elementos de producción.	88
Figura. 3.25 Interacción entre los diferentes elementos de producción y control	88
Figura. 3.26 Pasos y características principales del APQP	91
Figura. 3.27 Formato del plan de control	93
Tabla 3.1 Tabla de frecuencias	42
Tabla 3.2 Valores del $C_p$ y su interpretación	45
Tabla 3.3 Tipos de gráfica prescriptas por JIS	53
Tabla 3.4. Líneas de Control de las gráficas	54
Tabla 3.5 Los índices de $C_p$ $C_p$ $C_{p_r}$ , en términos de la cantidad de piezas malas Bajo normalidad y proceso centrado en el caso de doble especificación	60
Tabla 3.6 Calidad de corto y largo plazos, en términos en PPM y el nivel de Sigma (índice Z.ct)	69
Tabla 3.7 Resultados del R&R	76