

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**

**METODOLOGÍA SEIS SIGMA APLICADA  
A UNA INDUSTRIA QUÍMICA Y DE PROCESO.  
ESTUDIO DE UN CASO DE DISMINUCIÓN DE INVENTARIOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA

**EDUARDO VARGAS ORIHUELA**



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.

Jurado asignado:

Presidente Prof. Ernesto Pérez Santana

Vocal Prof. María del Rocío Cassaigne Hernández

Secretario Prof. Eduardo Flores Palomino

1er Suplente Prof. Jorge Alejandro Avella Martínez

2do Suplente Prof. Yolanda Castillo Vallejo

Sitio donde se desarrolló el tema:

**Empresa SunChemical, S.A de C.V., Corporativo Planta Naucalpan**

Asesor del Tema

---

**M. en C. Maria del Rocío Cassaigne Hernández**

Sustentante

---

**Eduardo Vargas Orihuela**

Muere lentamente  
Quien se transforma en esclavo del hábito,  
Repetiendo todos los días los mismos trayectos.

**Pablo Neruda**

## **Agradecimientos:**

Una dedicación especial con todo mi cariño y aprecio a mis Padres, quienes gracias a su apoyo y a su ejemplo de vida, me han enseñado a ser una persona de bien...

Papa, Mama muchas gracias, los quiero mucho.....

A Yolis por su gran cariño y paciencia y sobre todo por ser la compañera de mi vida. Gracias Corazón.

A Meli por ser tan inteligente, bromista y la niña más bonita de este mundo.

A Alex por ser el niño más inteligente y curioso del mundo.

A mi gran amigo Enrique Pérez-Cirera por su confianza y enseñanza durante los nueve años que compartimos en SunChemical.

Un agradecimiento especial a María Tefresa Amezcua, perdón, quise decir María Teresa Amezcua, por sus sabios consejos, bromas y por ese gran corazón que tiene.

A Crsiti, Bruno y Pepe por los buenos ratos y por su gran apoyo.

A Monica Franco por su gran amistad y por recordarme que nunca es tarde para titularse.

A todos mis grandes amigos con quienes compartí momentos inolvidables en la Escuela: Rodolfo, Morales, Mario, Magda, Raul, Ismael, Gisela, Alejandra, Livia, Cheni, Chivis, Federico, Raquel.

A mi gran maestro y amigo en Six Sigma Ángel Guerrero.

<b>Contenido</b>	<b>i</b>
<b>Objetivo</b>	<b>vi</b>
<b>Alcance</b>	<b>vi</b>
<b>Hipótesis</b>	<b>vi</b>
<b>1. Introducción</b>	
1.1 Historia	2
1.2 ¿Qué es Six Sigma?	3
<b>2. Antecedentes</b>	
<b>2.1 Variación de los Procesos</b>	
2.1.1 Defectos y niveles de Six Sigma	7
2.1.2 Variación y relación con defectos	13
2.1.3 Variación y requerimientos de los clientes	16
<b>2.2 Metodología DMAIC, Mejora de Procesos</b>	
2.2.1 Introducción a la metodología	20
<b>Etapa de Definición</b>	
2.2.2 Objetivo	22
2.2.3 Identificar y validar las oportunidades de mejora	22
2.2.4 Calculo de los beneficios de Six Sigma	30
2.2.5 Definición de los métricos	33
2.2.6 Costo de la pobre calidad (COPQ)	34
2.2.7 Desarrollo del equipo para el proyecto	36
2.2.8 Charter del Proyecto (Desarrollo – Validación)	38
a) Información general del proyecto	38
b) Enunciado del problema	39
c) Objetivo	40
d) Alcance del proyecto	41
e) Resultados	43
f) Métricos clave	43

g) Partes interesadas	46
h) Beneficios	47
i) Programa	48
j) Barreras criticas e impedimentos	49
k) Revisión del charter	51
l) Propuesta general del charter	52
m) Ejemplo de formato general de Charter	53

## **Etapa de Medición**

2.2.9 Objetivo	54
2.2.10 Mapa de proceso	54
2.2.11 Matriz de causas y efectos (C&E matriz)	60
2.2.12 Estadística básica	65
a) Tipos de datos	68
b) Medidas de tendencia central	69
c) La distribución normal	70
2.2.13 Uso de los gráficos	72
a) Gráfica de puntos	72
b) Gráfica de histograma	73
c) Distribución suavizada	73
d) Serie de datos	73
e) Diagramas de bloques	75
f) Diagramas de pareto	75
g) Diagramas de dispersión	76
2.2.14 Análisis del sistema de medición (MSA)	77
a) Resumen	77
b) Términos a evaluar en este capítulo	79
c) Términos relacionados con la precisión	80
d) Indicador %R&R	81
e) Índice de la capacidad de medición P/T	82
f) Recomendaciones para un estudio MSA	85

## **Etapa de Análisis**

2.2.15	Objetivo	86
2.2.16	Análisis de capacidad	86
2.2.17	Capacidad de Proceso	88
2.2.18	Tipos de índices de capacidad	91
2.2.19	Capacidad con datos por atributos	93
2.2.20	FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)	94
2.2.21	Introducción a las Pruebas de Hipótesis	99
	a) Fundamentos de las pruebas de Hipótesis	101
	b) Riesgo de decisión	102
	c) Errores de decisión	103
	d) Valor de p	104
	e) Tipos de datos	106

## **Etapa de Mejora**

2.2.22	Objetivo	110
2.2.23	Diseño de Experimentos (DOE)	110
	a) Diseño experimental	111
	b) Prueba y error	112
	c) Un factor a la vez	113
	d) Factorial completo	113
	e) Puntos a observar durante los experimentos	115
	f) ¿Qué es un factorial $2^k$ ?	116
	g) Calculando defectos	118
	h) Efectos de Interacción	119
	i) Efectos significantes	121
	j) ANOVA. Análisis de varianza	122
	k) Desarrollo de un ejemplo DOE	123

<b>Etapa de Control</b>	
2.2.4 Objetivo	129
2.2.25 Planes de control	129
a) Documentación del plan de control	132
b) Métodos de control	132
<b>Validación de mejora</b>	<b>134</b>
<b>3. Estudio de Caso “Desarrollo Proyecto de Inventarios”</b>	
3.1 Objetivo del Proyecto	136
3.2 Alcance del Proyecto	136
3.3 Métricos del negocio	137
3.4 Fase de Definición / Medición	137
3.4.1 Resumen de desarrollo del proyecto	137
3.4.2 Charter del proyecto	138
3.4.3 Mapa del proceso	139
3.4.4 Matriz de causa y efecto	141
3.4.5 Análisis de los sistemas medición (MSA)	143
3.4.6 Capacidad del proceso	147
3.4.7 Nivel de sigma	148
3.5 Fase de análisis	150
3.5.1 FMEA	150
3.5.2 Diagramas de pareto	151
3.5.3 Análisis de regresión	153
3.6 Fase de mejora	154
3.6.1 Resumen	154
3.6.2 Control de inactivos	155
3.6.3 Control de material activo. Coeficiente de variación	155
3.6.4 Actualización del FMEA	157

3.7 Fase de control	158
3.7.1 Plan de control	158
3.7.2 Cpm	161
<b>4. Resultados</b>	
4.1 Resumen de resultados	162
4.2 Fase de validación del proyecto	164
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>166</b>
<b>7. Glosario de terminos</b>	<b>168</b>
<b>6. Referencias Bibliograficas</b>	<b>170</b>

## **Objetivo**

Presentar los fundamentos y la aplicación de la metodología de Six Sigma en los procesos industriales, a través de una explicación breve de las principales herramientas utilizadas en el desarrollo de los proyectos y de la presentación de un proyecto real llevado a cabo en la industria de fabricación de tintas.

## **Alcance**

La tesis esta enfocada a presentar de manera general las bases de la metodología tradicional de Six Sigma, las herramientas más comunes que pueden ser utilizadas durante el desarrollo de un proyecto y el resumen de un proyecto real.

No abarca el fundamento científico - teórico de las herramientas estadísticas damos por hecho que estos ya han sido validados y comprobados en otros trabajos.

## **Hipótesis**

La esencia de la metodología Six Sigma consiste en mejorar los procesos a tal grado que podamos garantizar una producción libre de defectos, lo cual debe verse reflejado en la generación de beneficios económicos tangibles para la empresa.

El presente trabajo tendrá un enfoque teórico en los fundamentos necesarios para entender el funcionamiento de la metodología y las herramientas usadas en el desarrollo de los proyectos.

Laparte experimental de la metodología estará enfocada a desarrollar un proyecto transaccional en el área de inventarios, buscando una reducción de los inventarios que permita un aumento del capital de trabajo por \$6, 500,000 pesos.

Los beneficios a obtener deberán ser validados por el área financiera (contraloría) reflejándose en la hoja de balance de los estados financieros.

Debido a que durante el desarrollo del proyecto se establecerán las acciones que lleven a una reducción paulatina de los inventarios, seguramente el beneficio neto esperado de \$6.5 millones será alcanzado posterior al cierre del proyecto.

El proyecto tendrá una duración aproximada entre 8-10 meses, durante este tiempo consideramos que podíamos lograr un 50% de los beneficios propuestos en el charter del proyecto.

# Capitulo 1



## Introducción

## 1.1 Historia

Six Sigma es un nuevo concepto que se aplica para una antigua visión de: Obtener productos y servicios casi perfectos para nuestros clientes.

A mediados de 1990 Jack Welch CEO de General Electric (GE) inicio la implementación de Six Sigma en la compañía para que los esfuerzos de mejora en la calidad fueran alineados a las necesidades del negocio. Este acercamiento a la implementación de Six Sigma incluyo el uso de herramientas estadísticas y no estadísticas con el propósito de crear productos de alta calidad y bajo costo en menos tiempo que la competencia. En adelante tanto grandes y pequeñas compañías han seguido el ejemplo de GE para la implementación de varias versiones de Six Sigma.

Jack Welch describe a Six Sigma como “La iniciativa de mayor impacto y beneficios que ha llevado a cabo GE”. El reporte anual de GE en 1997 establece que six sigma generó más de \$300 millones de utilidad operativa.

¿Por que es tan atractivo Six Sigma para muchos negocios hoy en día?, ¿Por que ser exitoso y mantener exitosos los negocios es muchos más difícil hoy en día que años anteriores? Actualmente muchas de las empresas operan sus procesos en niveles de ineficiencia que podrían llevarlas a proveer bienes y servicios que no cumplan con las especificaciones de los clientes y a generar defectos que afectan directamente la utilidad de la empresa. Six Sigma brinda poderosas herramientas que nos permiten mejorar los niveles de desempeño de los procesos, con la finalidad de disminuir o eliminar los defectos que se producen en los bienes o servicios y mejorar la rentabilidad del negocio.

Compañías como General Electric, Motorola, Allied Signal, Ford, entre otras, aplican la metodología Six Sigma para crear nuevos productos y mejorar los procesos existentes. Los líderes de estas y otras compañías saben que Six Sigma abarca una gran variedad de herramientas sencillas para resolver problemas, reducir variación y mantener la satisfacción de los clientes.

Por medio de Six Sigma podemos.....

- Generar resultados palpables de manera rápida, vinculados a una meta muy ambiciosa que es: Reducir los niveles de defectos (y el costo que implican) a niveles casi de cero en un determinado período.
- Establecer mecanismos que nos permitan generar ganancias
- Establecer metas para cada empleado involucrado en el proceso
- Generar valor para el cliente, por medio de eliminar los “defectos” generados por una burocracia funcional y por una falta de enfoque en los esfuerzos de mejora de los líderes en las necesidades externas de los clientes.
- Aumentar nuestra habilidad para ejecutar cambios estratégicos.

## 1.2 ¿Que es Six Sigma?

¿Pero, si Six Sigma es tan bueno, donde se ha escondido durante estos años?.....

Igual que muchos de los grandes inventos, Six Sigma no es algo nuevo. Six sigma combina algunas de las mejores técnicas del pasado con innovaciones recientes en la administración de negocios utilizando el sentido común. Por ejemplo, Balance ScoreCard es una herramienta relativamente nueva en las prácticas de administración, mientras que muchas de las herramientas de medición estadísticas usadas en Six Sigma han sido desarrolladas desde los años 40's o antes.

El termino “Six Sigma” se refiere a una meta particular de reducción de defectos a niveles cercanos a cero. Sigma es una letra del alfabeto griego usada para representar la “Desviación Estándar de una Población”.

La Sigma o “Desviación Estándar” nos dice mucho acerca de la variación en un grupo de mediciones (Población). A mayor variación más grande es el valor de la desviación estándar. Por ejemplo, podrías comprar tres playeras con la “misma” longitud de manga, solo para descubrir que las playeras no tienen exactamente la misma longitud impresa en la etiqueta: Dos son más cortas que el valor indicado y la otra es casi un centímetro más largo – esto es una representación de la desviación estándar.

En términos estadísticos, por lo tanto, el propósito de Six Sigma es reducir la variación para lograr desviaciones estándar tan pequeñas que puedas asegurar que todos los productos o servicios cumplan o excedan las expectativas de los clientes.

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

La metodología de Six Sigma puede ser aplicada a todos los procesos (manufactura, servicio y negocio) para reducir la cantidad de defectos y/o desperdicios. Es importante mencionar que Six Sigma no es un sustituto de ISO-9000 ya que son herramientas y filosofías diferentes que en muchos casos se complementan. En Six Sigma primero se entiende el problema antes de plantear una solución y se establecen mejoras de acuerdo al tipo de proceso.

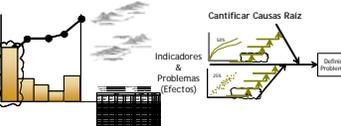
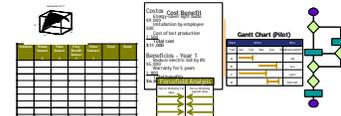
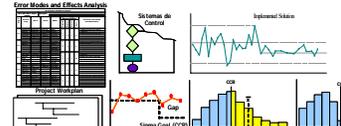
La mejora se lleva a cabo por medio de proyectos enfocados a lograr una meta clara y perfectamente definida (disminuir costos, aumentar margen de utilidad, disminuir rotación, disminuir cartera, aumentar eficiencia, etc). Por medio de herramientas estadísticas y de mejora continua aplicadas en cada una de las etapas del proyecto, así como de un equipo interdepartamental responsable de cumplir las metas.

En general los proyectos deben estar enfocados a mejorar el desempeño del proceso, a través de la disminución de la variación que el proceso presente en sus diferentes salidas claves. Este resultado solo se puede lograr si medimos a través del tiempo la magnitud de esta variación y el costo que representa para la empresa por medio de retrabajos, tiempos muertos, desperdicio, reclamaciones, devoluciones, etc.

Los proyectos en general serán un parte aguas para el desempeño del proceso, ya que la mejora deberá ser palpable en el corto tiempo (no más de 6 meses).



# Capítulo 2

<p><b>1.0</b> Definir Oportunidades</p> <p>↓</p> <p>ALCANTAR</p>	<p><b>Objetivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar y/o validar las Oportunidades de mejora, desarrollar los procesos del negocio, definir los requerimientos críticos del cliente y preparar un equipo efectivo para el proyecto</li> </ul>	<p><b>Actividades principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Validar/Identificar Oportunidades del negocio</li> <li>Validar/Desarrollar un Charter</li> <li>Identificar un mapa de proceso</li> <li>Identificar pasos clave y refinar el proceso</li> <li>Trasladar la voz del cliente en críticos para la calidad.</li> <li>Desarrollar el equipo</li> </ul>	<p><b>Técnicas y Herramientas Potenciales</b></p>  <p>Charter del proyecto Plan de acción Sigma Goal (OCG)</p>	<p><b>Resultados Clave</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Charter del equipo</li> <li>Planes de Acción</li> <li>Mapas de Proceso</li> <li>Oportunidades Claves de Ganar</li> <li>Requerimientos Críticos del Cliente</li> <li>Equipo Preparado</li> </ul>
<p><b>2.0</b> Medir Desempeño</p> <p>↓</p> <p>ALCANTAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar mediciones críticas que son necesarias para evaluar el éxito</li> <li>Empezar a desarrollar una metodología efectiva de recolección de datos para medir el desempeño del proceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar indicadores de entradas, proceso y salidas</li> <li>Desarrollar un plan de medición operacional.</li> <li>Analizar datos</li> <li>Determinar si existen causas especiales</li> <li>Determinar el nivel de sigma</li> <li>Recolectar más datos para la base histórica.</li> </ul>	 <p>Listas de Chequeo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrada, Proceso, e Indicadores de salida</li> <li>Definiciones Operacion</li> <li>Formatos y planes para recolectar datos</li> <li>Base Historica</li> <li>Ambiente productivo del equipo</li> </ul>
<p><b>3.0</b> Analizar Oportunidades</p> <p>↓</p> <p>ALCANTAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar las oportunidades para identificar un problema específico y definir un enunciado del problema fácil de entender.</li> <li>Identificar y validar las causas raíz que aseguren la eliminación "real" del problema</li> <li>Determinar fuentes verdaderas de variación y modos de falla potencial que generen insatisfacción del cliente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entender el proceso</li> <li>Entender datos e identificar problemas específicos</li> <li>Desarrollar un enunciado del problema</li> <li>Identificar causas raíz</li> <li>Métodos comparativos</li> <li>Estudios de fuentes de variación</li> <li>FMEA</li> <li>Análisis de regresión</li> <li>Capacidad del proceso</li> </ul>	 <p>Cantificar Causas Raiz Indicadores &amp; Problemas (Efectos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de Datos</li> <li>Validación de causas raíz</li> <li>Fuentes de variación</li> <li>FMEA</li> <li>Establecer problema</li> <li>Soluciones Potenciales</li> </ul>
<p><b>4.0</b> Mejorar Desempeño</p> <p>↓</p> <p>ALCANTAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar, evaluar y seleccionar las soluciones de mejora correctas.</li> <li>Desarrollar una propuesta de cambio gerencial para apoyar a la organización en adaptarse a los cambios introducidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Métodos de superficie de respuesta</li> <li>Generar ideas de solución</li> <li>Determinar impactos de soluciones: Beneficios</li> <li>Evaluar y seleccionar soluciones</li> <li>Desarrollar mapas de proceso</li> <li>Comunicar soluciones</li> </ul>	 <p>Costos Cost Benefit Gantt Chart (Plan)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soluciones</li> <li>Mapa del proceso y documentación</li> <li>Implementación de soluciones</li> <li>Impactos de la mejora y beneficios</li> <li>Storyboard</li> <li>Change Maps</li> </ul>
<p><b>5.0</b> Control Desempeño</p> <p>↓</p> <p>ALCANTAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entender la importancia de planeación y ejecución apoyándose en el plan y determinar la propuesta a ser tomada para asegurar el logro de los objetivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollar un pla piloto &amp; soluciones piloto</li> <li>Verificar reducción en causa raíz</li> <li>Identificar si es necesario soluciones adicionales para lograr la meta</li> <li>Identificar y desarrollar oportunidades de estandarización y replica</li> <li>Integrar y administrar las soluciones en el trabajo diario del proceso.</li> <li>Planes de control integrados al proceso</li> </ul>	 <p>Error Matrix and Effects Analysis Sigma Goal (OCG)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de control de procesos</li> <li>Estandares y procedimientos</li> <li>Entrenamiento</li> <li>Evaluación del equipo</li> <li>Implementación de planes</li> <li>Análisis de problemas potenciales</li> <li>Resultados y soluciones piloto</li> <li>Estandarización de oportunidades</li> </ul>

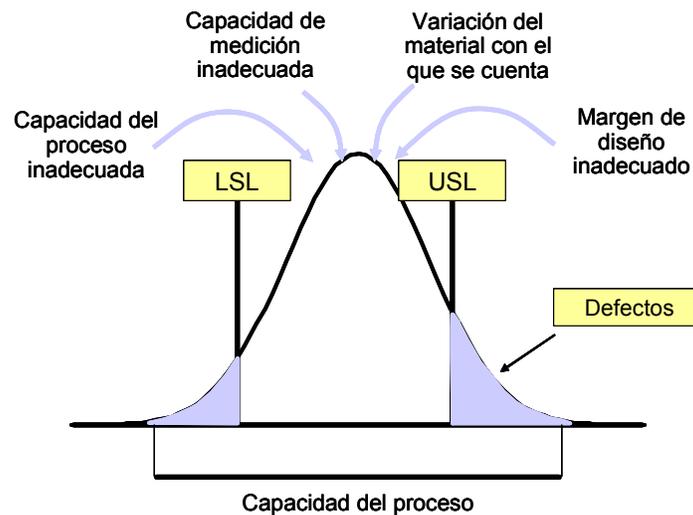
## Antecedentes

## 2.1 Variación de los Procesos

### 2.1.1 Defectos y niveles de Six Sigma

Una de las virtudes de Six Sigma es que puede trasladar 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. Un defecto es cualquier variación en una característica necesaria del producto, servicio o proceso de entrega que este fuera de las especificaciones del cliente, requerimientos o fuera de los estándares de calidad. Un defecto se presenta cuando hay un error en el proceso, si se necesita más trabajo para corregirlo, ajustarlo o modificarlo. En resumen se considera un defecto cualquier cosa que no fue hecha bien en el primer intento.

Como podemos ver en el grafico siguiente los defectos son básicamente todas las variaciones que están fuera de las especificaciones del cliente.



Una devolución de un cliente es un defecto, una atención ruda de la recepcionista es un defecto en el servicio, un mal trabajo de pintura en un coche nuevo es un defecto, una entrega tarde es un defecto, una revisión a la orden de compra, falta de materiales o exceso de inventarios, adiciones a los lotes o errores de inspección, errores en el presupuesto, etc.

Si puedes definir y medir los requerimientos de los clientes, podrás calcular tanto el número de defectos en tu proceso (desempeño de las salidas del proceso) y el porcentaje de productos y servicios buenos producidos (libres de defectos).

Los defectos son medidos casi siempre como un porcentaje del total de unidades producidas o total de oportunidades por defectos, esta medida se conoce mejor como partes por millón “ppm” y su calculo se basa en la siguiente formula:

#### Partes por millón defectuosas

$$\text{ppm} = (\sum \text{Partes defectuosas} / \sum \text{Producidas}) \times 10^6$$

Sin embargo existen otras maneras de calcular los niveles de defectos, las cuales se utilizaran dependiendo del tipo de proceso en el cual estemos trabajando:

#### Defectos por millón de oportunidades

$$\text{dpmo} = (\sum \text{Defectos} / \sum \text{Oportunidades}) \times 10^6$$

#### Defectos por unidad

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

La tercera fórmula es generalmente utilizada para productos de manufactura complicada como tarjetas de circuitos electrónicos o motores.

Antes de Six Sigma, si los defectos eran medidos estos eran reportados como porcentaje malo. Normalmente, las compañías querían ser optimistas y medían el porcentaje bueno. En la medida en que los niveles de calidad mejoran, es más fácil complacerse cuando llegamos al 99% bueno.

Sin embargo cuando decimos que tenemos un proceso al 99% bueno, en realidad tenemos un proceso que esta generando defectos en más de 6,000 ppm, lo cual seguramente le está costando mucho dinero a la empresa y no lo estamos viendo.

¿Cuántos de nuestros productos ya llegaron a este 99% bueno? ¿Cuántos todavía necesitan subir su nivel?

Existe una relación entre las diferentes formas de medir los defectos. Como se muestra en la tabla siguiente las ppm de defectos nos pueden dar una muy buena idea del nivel de sigma, el valor de Cp o el % bueno de un determinado proceso.

<b>Número de Desviaciones Estándar</b>	<b>Probabilidad ( % Bueno )</b>	<b>PPM Defectuoso</b>	<b>Cp</b>
+/- 1σ	30.23 %	697,700	0.33
+/- 2σ	69.13 %	308,700	0.66
+/- 3σ	93.32 %	66,810	1.00
+/- 4σ	99.379 %	6,210	1.33
+/- 5σ	99.9767 %	233	1.67
+/- 6σ	99.99966 %	3.4	2.00

Implementing Six Sigma, Second edition, Forrest & Breyfogle

¿Como sería nuestra vida si los servicios, procesos u actividades con las cuales tenemos contacto diariamente tuvieran un nivel de calidad de 99% bueno?, lo que significa que el nivel de sigma sería de 4.0 aproximadamente. Veamos como se traducirían estos ejemplos a la vida diaria en un país como Estados Unidos.

- Veinte mil envíos de correo perdidos cada hora en el sistema de correos nacional.
- 5,000 operaciones quirúrgicas erróneas cada semana a nivel nacional.
- Dos aterrizajes tardíos en cada aeropuerto diariamente
- Doscientas mil recetas médicas erróneas al año
- Sin electricidad por siete horas seguidas cada mes

Referencia: Implementing Six Sigma, Second Edition, Forrest & Breyfogle

La mayoría de nosotros no estaríamos contentos si tuviéramos que tolerar los bajos niveles de calidad que aquí se enlistan. ¿Cuántos de ustedes se subirían a un avión si supieran que en un aeropuerto cualquiera, dos de los vuelos se cancelaran diariamente? En el 2002, el aeropuerto O'Hare tuvo más de 950 000 despegues y aterrizajes, si el aeropuerto trabajará a un nivel de eficiencia del 99% bueno, entonces 26 vuelos se cancelarían diariamente...

Los nuevos estándares de calidad se están moviendo rápidamente del 99% bueno a Six Sigma. Veamos algunos niveles de calidad de algunos de los procesos que se llevan a cabo diariamente, siguiendo los mismos ejemplos veamos el impacto que tiene el cambiar de un valor de desempeño de 99% bueno a 99.99966% bueno.

<b>99% Bueno (~4σ)</b>	<b>99.99966% Bueno (6σ)</b>
<u>Sistema postal</u>	
<b>20 000 envíos perdidos por hora</b>	<b>7 envíos perdidos por hora</b>
<u>Aerolíneas</u>	
<b>2 vuelos cancelados diariamente</b>	<b>1 vuelo cancelado cada cinco años</b>
<u>Medicina</u>	
<b>200 000 recetas erróneas al año</b>	<b>68 recetas erróneas al año</b>

El servicio postal de los Estados Unidos se gasta miles de millones automatizando los sistemas de correo para prevenir correo perdido o mal dirigido. El costo de hacerlo manualmente y reenviar el correo es aún mayor.

Una compañía farmacéutica grande (McKesson) ha empezado una nueva campaña para desarrollar una mejor identificación de medicinas y sistemas con la meta de reducir el grado de defectos a niveles muy bajos y reducir así el riesgo a pacientes en hospitales y farmacias. Se estima que hay miles de personas que mueren anualmente por haber tomado los medicamentos incorrectos.

***¿En que nivel queremos que se encuentre  
nuestra compañía?***

El costo dentro de una organización por trabajar en un nivel de 99% bueno es muy alto, sin embargo pocas compañías realmente se preocupan por tener un sistema de medición eficiente que les permita conocer de manera confiable dicho impacto en sus utilidades. De manera general una compañía que trabaja con niveles de calidad de 99% bueno se considera una compañía de nivel medio y seguramente algunas de sus características son:

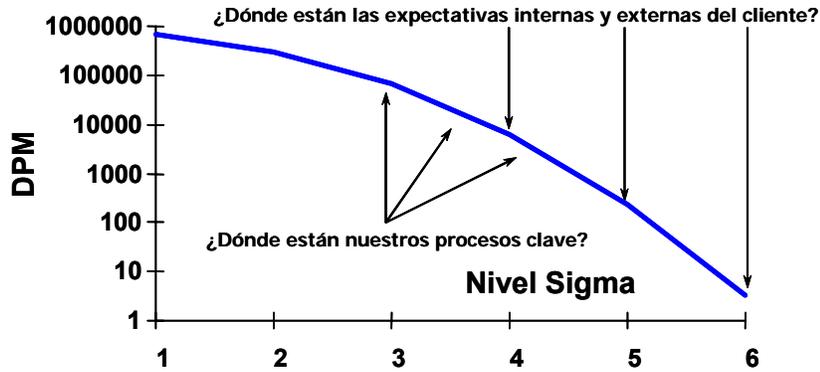
- Beneficios y crecimientos en, o por debajo de los estándares del mercado
- Aumento gradual del número de competidores
- Tiene un programa de calidad total
- Gastando el 10-25% de ventas reparando o retrabajando el producto antes de que salga listo
- Sin darse cuenta de que hay compañías mejores con procesos similares en donde cometen cien veces menos errores
- Creen que una meta donde no exista errores, no es realista ni mucho menos posible
- Tiene de cinco a diez veces el número de proveedores que se necesitan para hacer que el negocio funcione
- 5-10% de los clientes no quedan contentos con el producto, ventas o servicio y no recomendarían a otros esa compañía

Entonces, ¿esto significa que todo lo que hagamos debe ser Six Sigma?

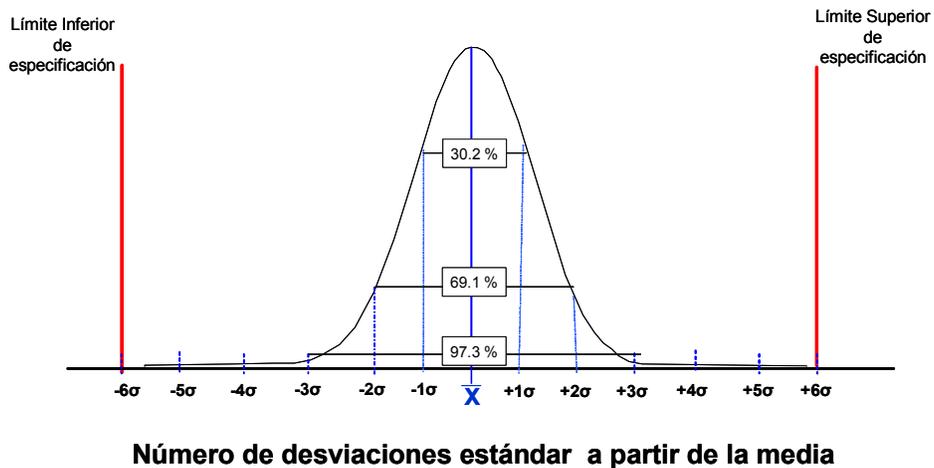
No necesariamente, lo más importante es entender el costo de los errores con el cliente, mientras más caros sean, mejor será la calidad que se espere. Necesitamos lograr o superar estas expectativas.

También es importante comprender dónde están nuestros competidores. Para la seguridad del trabajo, necesitamos quedarnos por el frente de nuestros competidores en los Estados Unidos, Europa, India y el resto del mundo.

Nuestro futuro dependerá de nuestra capacidad para cumplir y exceder las necesidades de los clientes, en la medida en que tengamos menos defectos, tendremos un nivel de sigma mayor y menores costos.



Un proceso que garantice las expectativas de los clientes, debe ser capaz de tener variaciones que no generen defectos en los productos.



### **2.1.2 Variación y su relación con defectos**

En todas las actividades y procesos vamos a encontrar variaciones, esto genera que los efectos o resultados que obtengamos cambien con respecto al tiempo. Las variaciones pueden ser pequeñas o altas, dependiendo del control que tengamos, lo importante es tener la capacidad para detectar las fuentes de variación y eliminarlas al máximo.

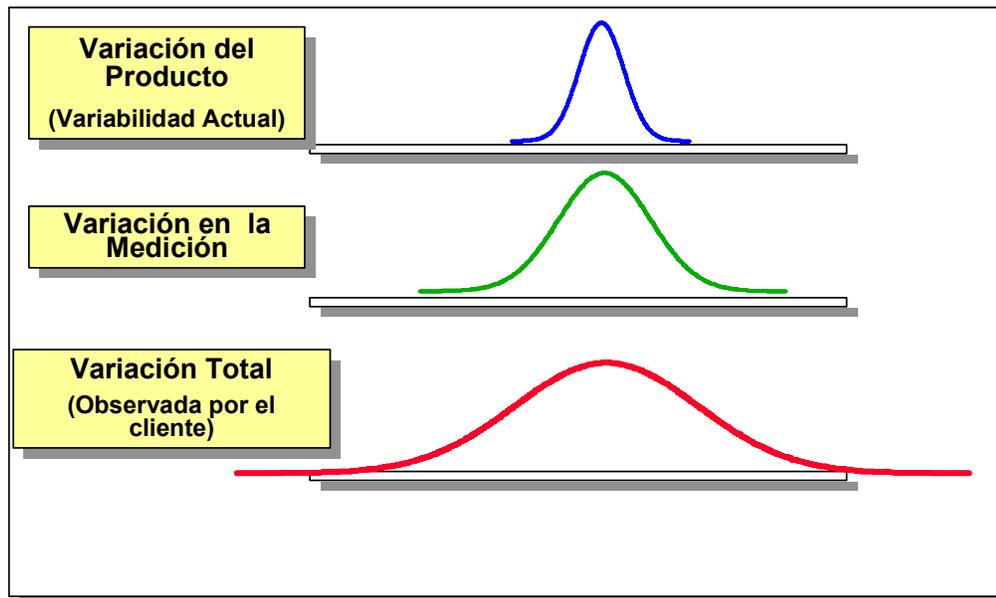
Clasificar la cantidad de variaciones en un proceso es un paso crucial hacia el mejoramiento, entender qué causa las variaciones nos ayuda a decidir qué acciones son las mejores para que los logros deseados se mantengan por más tiempo. La cantidad de variaciones en un proceso nos dice la capacidad del proceso actual.

Las variaciones en nuestros productos se reflejan en el nivel de defectos que generamos y en la gran mayoría de los casos provocan problemas a nuestros clientes tanto internos como externos.

Las variaciones en procesos internos pueden provocar desperdicios en tiempo y dinero porque nunca sabríamos que esperar y tendríamos que hacer pruebas extras, utilizar más cosas y dedicarle más tiempo. Mientras que en los procesos externos provocan devoluciones, reclamaciones, disminución de ventas, pérdidas de imagen, etc., lo que genera una disminución en la rentabilidad del negocio.

Las variaciones pueden venir desde el proceso o del mismo sistema de medición. Si uno no es capaz de separar los dos, uno no sabrá en que punto debe enfocar su esfuerzo por mejorar. El primer paso para reducir las variaciones está en entender de dónde vienen.

## Fuentes de Variación



En general vamos a encontrar muchas fuentes de variación dependiendo del tipo de de proceso, ya sea operativo, administrativo o de servicio, sin embargo, la gran mayoría se puede englobar en los siguientes rubros:

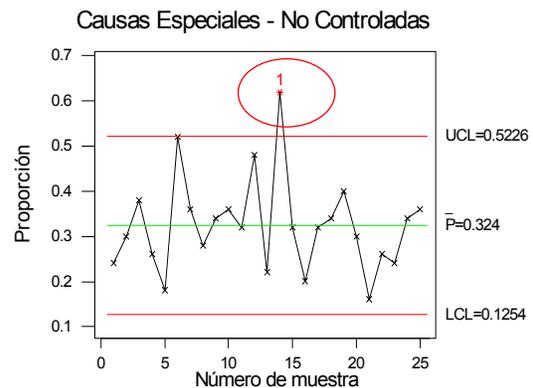
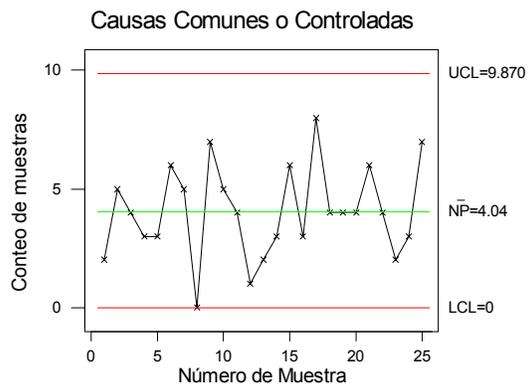
- Personal
- Métodos
- Materiales
- Máquinas
- Ambiente
- Mediciones

Cada una de estas categorías deben ser estudiadas para poder detectar las fuentes de variación que nos están generando la mayor cantidad de defectos en el proceso. Por lo general nos vamos a encontrar con dos tipos de variación: Variación por causas comunes y variación por causas especiales.

Causa común – Siempre está presente en algún lugar del proceso. En este caso el proceso puede ser estable pero no llegar a las necesidades del cliente si la variación es grande en relación con lo esperado. Regularmente este tipo de variación es debido a causas controlables como es la temperatura del reactor, la viscosidad del producto, el nivel de entrenamiento del personal, etc.

Causa especial – Algo diferente ocurrió y provocó esa variación. Inmediatamente se toman medidas para encontrar la causa y arreglar el daño, entonces se busca un medio para prevenir que no suceda de nuevo. Este tipo de variación es más fácil de detectar ya que no está presente todo el tiempo en el proceso, son situaciones que suceden de manera esporádica como puede ser una falla en el control de la temperatura, un accidente en la ruta hacía el trabajo, etc.

Una apreciación de este tipo de variaciones se puede ver en la siguiente gráfica (las líneas rojas de los extremos representan los límites de control del proceso).



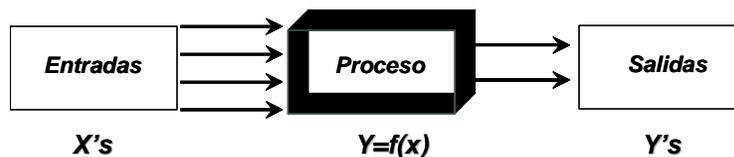
### 2.1.3 Variación y Requerimientos de los Clientes

Tradicionalmente, los negocios han descrito sus productos y servicios en términos de promedios: Costo promedio, tiempo promedio de entrega de un producto y más. Inclusive los hospitales tienen mediciones para el promedio de pacientes que toman una nueva infección durante su estancia.

El problema está, en que el promedio puede ocultar una serie de problemas en los productos o servicios. En la manera como operan hoy en día la mayoría de los procesos, si tu prometes a tus clientes entregar paquetes dentro de los dos días siguientes a su fecha de pedido y tu promedio de entrega es de “dos días”, muchos de los paquetes podrían entregarse en más de dos días. Teniendo un promedio de dos días, significa que algunos paquetes toman más tiempo y algunos menos. Si deseas que todos los paquetes sean liberados en dos días o menos, tendrás que eliminar de manera drástica todos los problemas y variaciones que hay en tu proceso.

Todos los procesos tienen entradas y salidas. Por ejemplo, el simple movimiento de un apagador produce que se encienda la luz. Una entrada de este proceso es el movimiento del apagador, internamente dentro del apagador hay un proceso en el cual se llevan a cabo las conexiones eléctricas y la salida es una luz encendida.

La siguiente figura nos ilustra de manera general como se comporta un proceso. Las X's representan las entradas que sufren una transformación en el proceso para generar las salidas o Y's.



Como usuarios de una pagador, un tostador, o un radio, regularmente no estamos interesados en los detalles de cómo el proceso es ejecutado. Típicamente vemos este proceso como una caja negra, sin embargo hay otra serie de procesos en los cuales estamos más involucrados, por ejemplo, el proceso de preparación y planeación de

nuestra ruta al trabajo/escuela. Para este proceso pueden existir múltiples entradas tales como, hora de salida, accidentes en el camino, lluvia, etc. y una salida principal que es llegar a tiempo a nuestro destino.

A las salidas más importantes del proceso se les conoce como “variables de salida claves del proceso” (KPOV’s), características críticas de la calidad (CTQ) o Y’s.

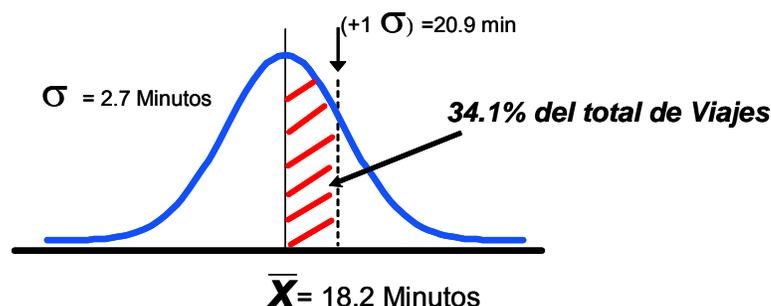
Por lo tanto si sabemos lo suficiente acerca de las X’s y logramos establecer controles para reducir la variación, podemos tener la capacidad para poder predecir las Y’s:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$$

Esta ecuación nos muestra la esencia de la filosofía de Six Sigma, nos dice que las salidas (Y’s) están en función de las entradas (X’s). A mayor control y conocimiento de las X’s, mayor será el control de las salidas y por lo tanto la variación será menor y mayor la satisfacción de los clientes.

Si no sabemos mucho de nuestras X’s entonces tendremos que recurrir a la inspección y prueba las cuales en esencia son operaciones sin valor agregado.

Siguiendo con el ejemplo del proceso de traslado al trabajo/escuela los defectos son llegadas tardías o demasiado tempranas, el ideal sería que tu proceso no produzca más de 3.4 viajes fuera de tiempo por cada millón de viajes que realizas. Tu objetivo es llegar al trabajo a las 8:30 am, pero te puedes dar una tolerancia de algunos minutos, es decir, puedes estar entre 8:28 y 8.32 am. El viaje normalmente te toma 18 minutos, esto significa que el objetivo de tus viajes diarios debe tomar entre 16 y 20 minutos. Empiezas a tomar datos durante un mes de tus tiempos actuales y generas un gráfico similar al de la siguiente figura.



Los resultados nos indican que en promedio te toma 18.2 min. cada viaje y que la desviación estándar es de 2.7 minutos.

Estadísticamente sabemos que  $1\sigma$  de cada lado del promedio van a estar el 34.1% del total de nuestras mediciones, si comparamos este dato contra el objetivo fijado de 6-20 minutos, solo el 34.1% de los viajes cumplirá con el objetivo, ¿Qué malo verdad?

Como resultado de estas mediciones podremos ver mucha variación en la salida del proceso. El punto principal aquí es que a pesar de que el promedio de la variación de sus productos o servicios cae dentro de las especificaciones del cliente nuestro proceso esta generando una gran cantidad de defectos. Este trayecto no puede considerarse Six Sigma debido a que el proceso produce una gran cantidad de defectos (llegadas tarde o temprano).

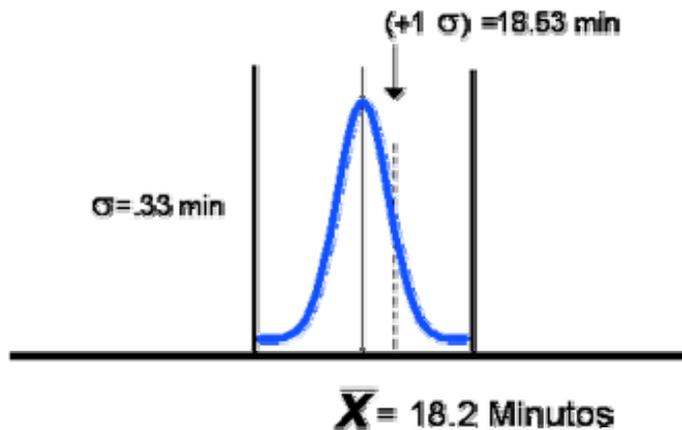
Si empezamos a revisar por que tenemos esta variabilidad, conciente o inconscientemente estaremos tratando de identificar cuales son las entradas del proceso que pueden estar afectando la salida (resultados). Para poder reducir la variabilidad del tiempo registrado, es necesario comenzar con enlistar las entradas del proceso, como son: salida a tiempo de casa, tiempo en que nos levantamos de cama, tráfico, accidentes, etc.

Las entradas a procesar pueden tomar la forma de entradas inherentes del proceso (p.e. materia prima), variables controlables (p.e. temperatura del proceso) y variables de ruido no-controlables (p.e. accidentes).

Para este proceso una variable de entrada controlable puede ser, establecer la alarma del reloj, mientras que una variable incontrolable, puede ser que haya un accidente en nuestra ruta y esto afecte el tiempo de viaje. Para este ejemplo, el tiempo de salida es una variable de entrada clave del proceso (KPIV) una X's importante por que afecta directamente nuestro tiempo de llegada y cuando esta entrada critica (KPIV) es controlada en nuestro proceso, nosotros podemos reducir notablemente la cantidad de variabilidad en nuestro tiempo de llegada al trabajo/escuela (KPOV).

Por lo anterior será necesario establecer algún tipo de mejoras en el proceso. Podrías buscar la ruta más segura (con menos tráfico y menos cantidad de semáforos), levantarte cuando suena la alarma del reloj, etc. Después de que todos estos cambios han sido implementados, vuelves a tomar nuevamente datos.

Y en hora buena descubres que ahora tu proceso tiene una desviación estándar de  $1/3$  de minuto, lo que significa que la variación en tu proceso prácticamente garantiza que tú siempre vas a llegar a tu trabajo entre 16 y 21 minutos después de haber salido de tu casa. Ver la siguiente figura.



Notemos que el promedio sigue siendo el mismo (18.2 min.) solo que disminuimos la variación en el proceso (desviación estándar).

Este ejemplo tiene un significado directo con el mundo de los negocios. Si no nosotros prometemos salidas a tiempo de las aerolíneas, pero actualmente las salidas tienen una variación entre 5 a 30 min. más tarde, los clientes estarán entendiblemente enojados y seguramente tomaran algún otra opción de vuelo. Un tostador eléctrico que dora el pan hoy y mañana lo quema, seguramente estará de regreso en la tienda junto con un comprador insatisfecho.

¿Que pasa cuando nosotros logramos un desempeño Six Sigma? Para un recorrido Six Sigma, esto significaría que podríamos predecir el tiempo preciso de llegada al trabajo cada día. Y un “defecto” (El viaje debe tomar entre 16 y 20 min.) podría suceder solo 3.4 veces por cada millón de viajes.

Vamos a considerar el siguiente ejemplo de KPVO's (Y's) que alguna compañía podría considerar, o tal vez muchas. También se enlistan las KPIV's (X's) correspondientes:

<b>Y's o KPOV's</b>	<b>X's o KPIV's</b>
1. Utilidad Operativa	Disminución de costos de desperdicio
2. Satisfacción del Cliente	Evaluaciones de la satisfacción del cliente
3. Metas estratégicas	Sistema de medición de metas
4. Gastos	Presupuesto de gastos
5. Tiempo de ciclo en Producción	Cantidad de retrabajos internos
6. % de defectos	Procedimientos de inspección

Estas Y's están en varios niveles dentro de todo el sistema de negocios. Con Six Sigma puede crearse un sistema de medición en cascada, el cual ayude a alinear los métricos con las necesidades principales de la organización. El seguimiento a estas mediciones puede ser llevado a cabo mediante la creación de proyectos Six Sigma, los cuales estarán enfocados a encontrar las causas de variación para mejorar las salidas de los procesos, a partir de esta metodología las organizaciones tendrán una manera sistemática de mejorar tanto la satisfacción del cliente y sus indicadores. Six Sigma es mucho más que una iniciativa de calidad, es una manera de hacer negocio.

## **2.2 Metodología DMAIC, Mejora de Procesos**

### **2.2.1 Introducción a la metodología**

La metodología DMAIC ha sido usada por muchas compañías para la mejora de sus procesos y como base de sus sistemas de calidad. Esta metodología aplica tanto para empresas de servicio como empresas de manufactura.

En la actualidad la mayoría de las empresas han adoptado esta metodología como la base para el desarrollo de sus proyectos Six Sigma.

Cada uno de los pasos de la metodología (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) nos acerca de manera disciplinada a las mejoras necesarias para el proceso y los productos, a través de una integración efectiva de proyectos ejecutivos, solución de problemas y herramientas estadísticas.

En las siguientes secciones ilustrare cada uno de los pasos en el proceso DMAIC por medio de ejemplos y herramientas que pueden ser utilizadas.

En la siguiente gráfica podemos ver de manera general, la finalidad de cada uno de los pasos del proceso DMAIC. El cumplimiento riguroso de cada uno de los pasos nos garantiza un acercamiento hacia la mejora sustentable del proceso y la obtención de resultados palpables.

Metodología DMAIC y el mapa del proceso de mejora



# Etapa de Definición

## 2.2.2 Objetivo

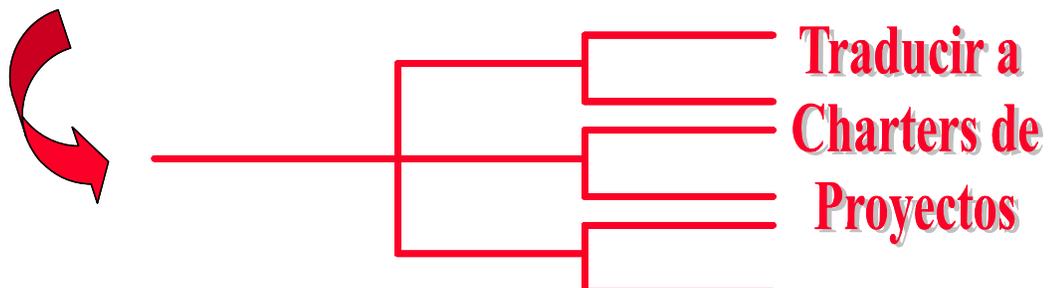
Identificar y validar las oportunidades de mejora que existen en el negocio, definir los requerimientos críticos de los clientes, seleccionar y definir el proyecto e integrar un equipo con las personas adecuadas para desarrollar un proyecto efectivo.

## 2.2.3 Identificar y validar las oportunidades del negocio

En la fase de definir debemos lograr identificar los proyectos potenciales que pueden tener un impacto mayor en el negocio. Las ideas o propuestas pueden venir de varios tipos de fuentes como pueden ser: Operadores de máquinas, técnicos, gerentes, directores, reportes de clientes, reportes de empelados, etc.

Las gerencias deben estar involucradas en la selección del proyecto más adecuado y el equipo de personas que van a trabajar, para poder acordar desde un principio el tiempo y recursos necesarios que serán invertidos en el proyecto.

Los proyectos de mayor impacto son aquellos que están relacionados con el plan estratégico de la empresa:



A manera de resumen, el gráfico anterior nos ilustra lo siguiente:

- Los objetivos de departamentos/Planta deberán apoyar los planes del Corporativo y sus Salidas (Y's Críticas). Estos planes son documentados usualmente a nivel de Corporativo o Negocio (ej. – Plan Anual del Negocio)
- Las oportunidades/problemas críticos del corporativo y de los departamentos / áreas proveen un segundo enfoque para encontrar los proyectos adecuados.
- Los métricos claves para el Negocio y sus divisiones son identificados junto con los objetivos y por lo general son establecidos anualmente. Identificar los métricos clave que deberán darse durante el siguiente año desde el punto de vista operacional
- Los proyectos serán seleccionados para apoyar las iniciativas globales de la empresa y deberán de ser medibles por medio de métricos claves e infalibles

Es importante tener cuidado de que las propuestas de los proyectos sean planteadas de manera objetiva de tal forma que cumplan con las siguientes características:

- Medible: Que establezca claramente la manera como se medirá el cumplimiento a la meta que se tenga establecida.
- Especifico: Mencionar de manera especifica el proceso bajo el cual estaremos enfocando los esfuerzos.
- Tiempo: Establecer un esquema de tiempo en el proyecto que pretendemos lograr.
- Alcanzable: Debemos tener la capacidad para alcanzar los resultados y mejoras que se están proponiendo.

Ejemplo:

1. Los niveles de inventarios de las materias primas se han mantenido en una rotación promedio de 3 meses durante los últimos dos años, siendo que la meta del corporativo es de 2.5 meses. Si logramos cumplir el objetivo del corporativo tendremos un beneficio de 1.5 millones de pesos en la disminución del capital de trabajo.

2. La fabricación del plástico RL-23A tiene un costo de 25 \$/kg de acuerdo a los reportes de contabilidad. Una reducción en el costo del 5% nos permitiría un ahorro de \$800,000 pesos al año los cuales impactarían directamente al estado de resultados de la empresa.
3. Nuestro principal cliente nos esta solicitando una disminución en los tiempos de entrega, si logramos reducir nuestro promedio de 5 a 3 días, tendremos altas posibilidades de aumentar nuestras ventas en un 30% y ser el proveedor principal de este cliente.

## Ejemplos de Proyectos de No-Manufactura

### **Ventas**

- Incrementar el uso de servicio de negocio "X"
- Incrementar la exactitud del estimado de horas para ventas de proyectos.

### **Servicio al Cliente**

- Reducir el tiempo del proceso de cotización.
- Reducir los tiempos muertos en el "call center".

### **Embarque**

- Reducir el embarque de refacciones dañadas
- Reducir la entrega de partes malas entregadas por error

### **Cadena de proveedores**

- Reducir errores de embarque para productos X
- Mejorar la entrega a tiempo de los proveedores
- Reducir los costos de fletes para los proveedores clave
- Cobranza
- Reducir la cantidad de cuentas que se pueden recibir.
- Disminuir días de venta retrasados en un 20%
- Disminuir tiempo de cobranza en un 50%

Como regla general siempre que empecemos a definir un problema debemos tener cuidado de: No insinuar la causa, No sugerir el remedio y No asignar culpas. De esta manera evitamos por un lado que el equipo se contamine con ideas de mejora que posiblemente no sean las apropiadas y por otro lado que algún miembro del equipo se sienta incomodo por la propuesta que se esta planteando.

Básicamente existen dos maneras de identificar proyectos.

### **De Arriba hacia Abajo**

Los proyectos son identificados por medio de la asociación con los Métricos usados en el Plan Estratégico de la Empresa (las salidas globales o las Y's).

### **De Abajo hacia Arriba**

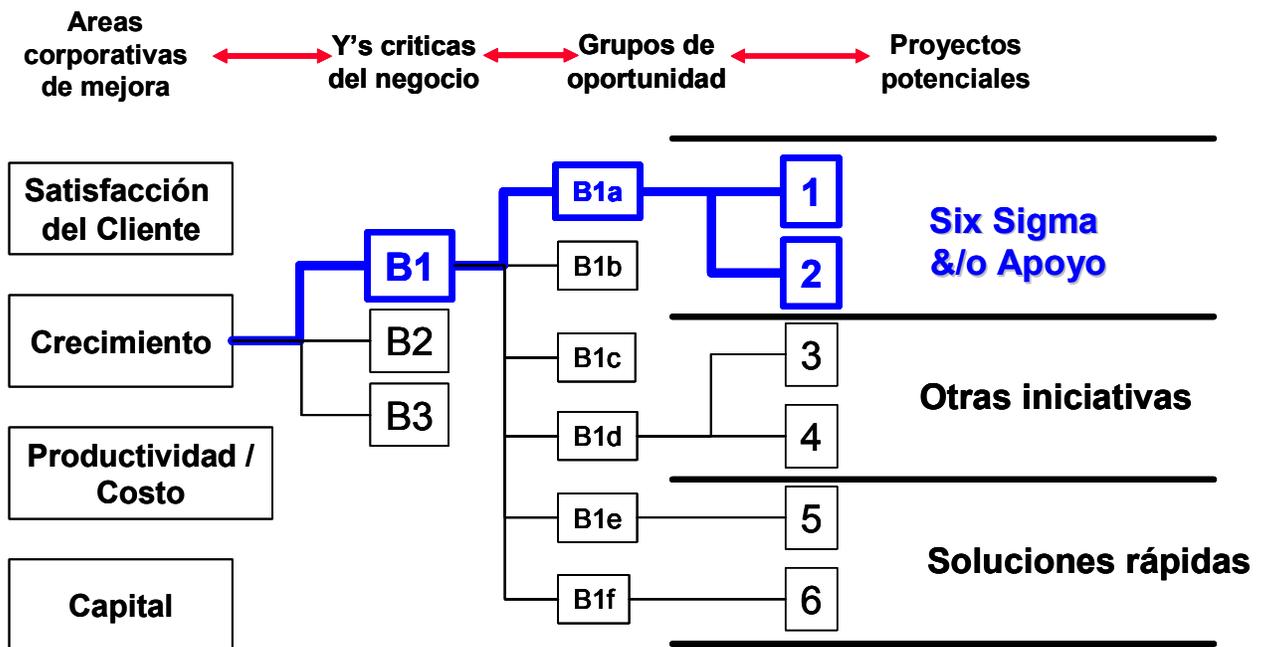
Los proyectos son identificados por medio de la asociación con los problemas y oportunidades del proceso.

En cualquier caso, debemos de asegurarnos que exista una relación con los Planes Estratégicos. Cualquiera de los métodos es correcto, los proyectos six sigma pueden y deberían provenir de ambas direcciones. Recordar que Six Sigma es un esfuerzo estratégico en ambos casos. Ver gráfico siguiente.

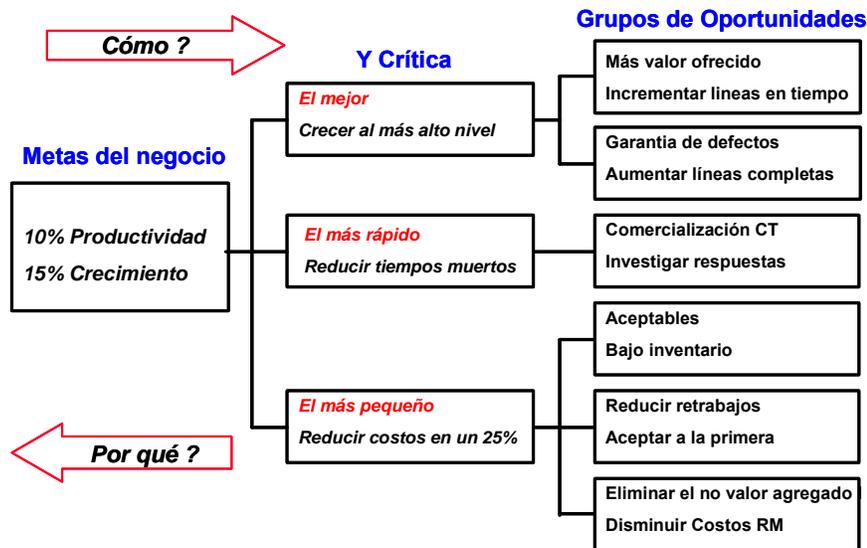


En general lo que estamos buscando es tener una conexión para cada uno de los proyectos potenciales a las áreas de mejora corporativas. Como se puede apreciar en el siguiente gráfico, no todos los proyectos potenciales requieren del uso de la metodología de six sigma ya que en algunos casos el conocimiento de la empresa permite tomar decisiones que nos darán soluciones rápidas sin la necesidad de conformar un equipo o llevar a cabo toda la secuencia de pasos de la metodología.

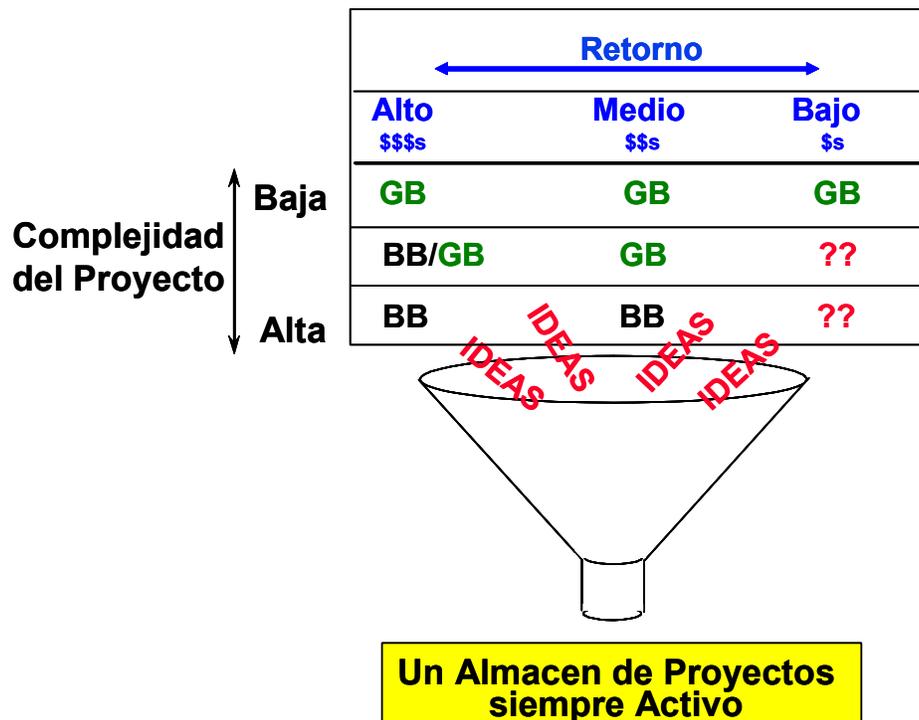
### Alineación Proyecto / Negocio



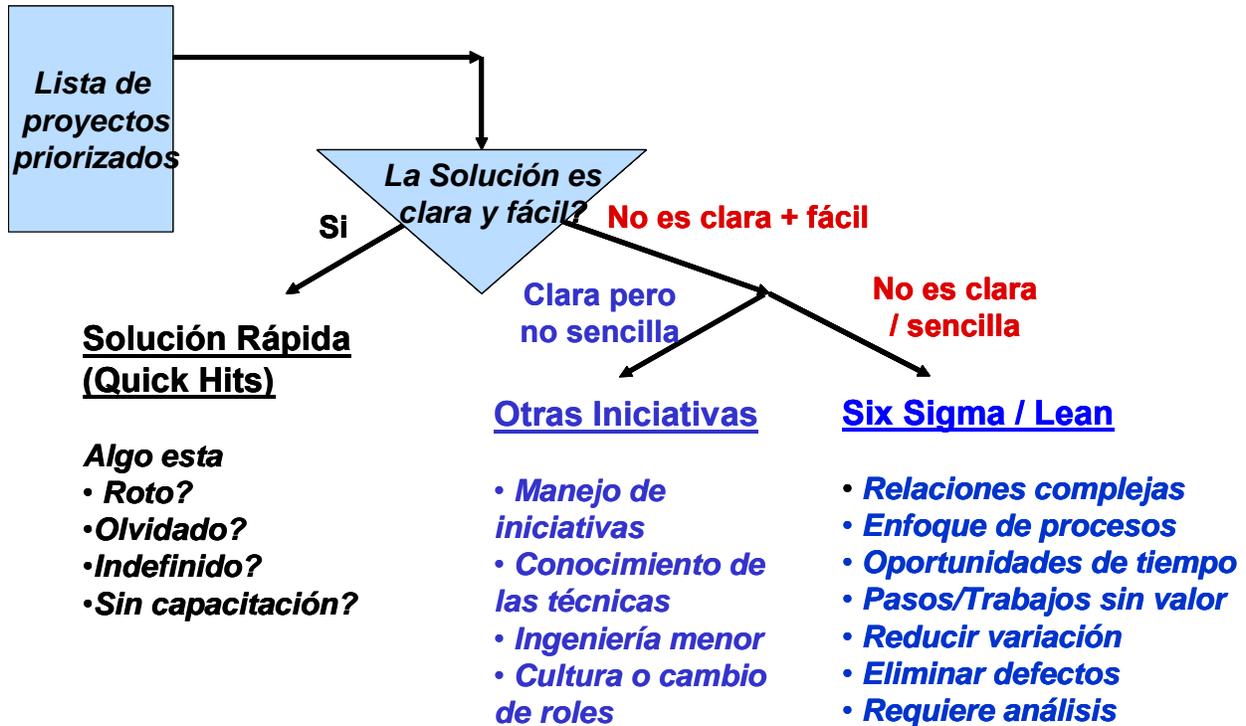
Lo importante es que cada uno de los proyectos seleccionados generen un impacto directo en algún indicador del negocio. Traducido a términos comunes lo veríamos de la siguiente manera:



Las ideas son muy importantes, debemos buscar la manera de poder captar todas las ideas posibles y plasmarlas en un documento que posteriormente nos servirá para poder filtrar y seleccionar.



## Otra manera de reconocer un proyecto para Six Sigma:



De manera general si buscamos un camino sencillo para reconocer un proyecto de Six Sigma, podemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Enfocar hacia la reducción de variación / eliminación de defectos / reducir ciclos de tiempo.
- Usualmente un problema cronológico o un proceso con serias limitaciones
- Al mejorar los tiempos de Proceso obtenemos capacidad, bajos costos e inventarios, efectividad, etc.
- Procesos con muchos pasos sin valor agregado y trabajo
- Causas complejas y soluciones no siempre claras; demandan análisis del proceso
- Requiere compromiso de recursos significativos
- Trae un retorno económico grande por algo o muy poco capital

## **2.2.4 Calculo de los Beneficios de Six Sigma.**

Una parte crucial en el desarrollo del proyecto es definir lo más exacto posible la forma como vamos a medir los beneficios que se obtendrán. Se entiende que esta debe ser una de las primeras actividades a desarrollar; la razón es muy sencilla, el principio de six sigma se basa en una mejora sustentable para el negocio, por lo que cada una de las mejoras deberá ser traducida a un valor monetario.

Es muy importante que al momento de buscar los métricos que nos van a permitir medir el desempeño del proyecto nos hagamos el siguiente cuestionamiento ¿Cuál es el objetivo del proyecto?, ¿Por qué estas haciendo el proyecto?, ¿Qué quieres lograr?

En general la clasificación de los beneficios se engloba en ahorros directos, ahorros indirectos y evitar costos (cost avoidance).

### **Ahorros Directos**

Son aquellos que impactan directamente en los estados de resultados (Utilidad Neta).

Ejemplos:

- Disminución del desperdicio de material en el área de producto terminado
- Disminución del % de adiciones a los lotes fabricados en la línea de costura
- Aumento del margen de utilidad de una determinada línea de productos
- Disminución de costos de logística para las entregas locales
- Aumento de ventas debido a un proyecto six sigma
- Reducción de merma de un determinado producto

### **Ahorros Indirectos**

Son aquellos ahorros que no impactan de manera directa el estado de resultados, pero su beneficio se refleja en la hoja de balance. Ejemplos:

- Si debido al proyecto se evito comprar una máquina nueva. El interés ahorrado en el préstamo es un ahorro indirecto.
- La reducción de inventarios o cuentas por cobrar permite un aumento en el capital de trabajo disponible. El interés ahorrado en un préstamo bancario es un ahorro indirecto.

## Prevención de Costos

En algunos casos tendremos proyectos que no van a dar un beneficio en un ahorro directo o indirecto, sin embargo nos van a permitir prevenir costos o gastos innecesarios. Ejemplo:

- Se desarrollo un proyecto para cambiar los filtros de las chimeneas de emisiones. De no hacerlo deberíamos haber gastado miles de dólares en cumplir las regulaciones ambientales.

Todos los cálculos para medir el desempeño del proyecto deben ser validados por el representante financiero de la empresa; con la finalidad de asegurarnos que los cálculos son razonables y apropiadamente explicados, asegurar que los ahorros no se duplican si dos proyectos tienen un impacto mutuo, completar y validar los reportes por mes, semestre o año.

Como ya hemos mencionado, un punto clave para obtener mejoras extraordinarias es identificar y mejorar los métricos de desempeño que se relacionen con los resultados financieros del negocio. En general podemos hablar de los siguientes métricos:

- **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 necesidad de ser reprocesado o ajustado.
- **Costo de la calidad pobre (COPQ); residuo & Retrabajo** - 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.

- **Inventario de Materias Primas o Producto en Proceso** – Valor en dólares del inventario de materias primas o materiales expresados como días de ventas o días de producción.
- **Tiempos muertos en 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 del inventario del producto final expresado en días de ventas o días de producción.
- **Cantidades aceptadas** – Valor en dólares del ingreso de cantidades aceptadas, en días de ventas.
- **Ventas perdidas** – Valor en dólares de las ventas perdidas debido a pronósticos de producción menores a la demanda del cliente.
- **Devoluciones de Clientes** – Porcentaje o valor en dólares de todas las devoluciones de los clientes o productos rechazados.

### 2.2.5 Definición de los métricos

Cada uno de los métricos deben estar perfectamente definidos con la finalidad de poder medir la mejora que vayamos obteniendo durante el desarrollo del proyecto y saber si ya cumplimos la meta propuesta, recomiendo que cada vez que definamos un métrico nos aseguremos de contar con las siguientes respuestas:

- ¿Qué tan bueno es (Base histórica)? Se refiere a donde nos encontramos actualmente con el métrico. ¿Cual es el punto de partida?

Generalmente no es difícil obtener la base histórica, lo más recomendable es iniciar tomando datos para **CADA** paso del proceso para los métricos de interés del negocio.

**NO** se debe permite imaginar los datos del sistema. Si los datos no están disponibles:

Estudios sencillos pueden generar suficientes datos para completar la matriz. Los Black/Green Belts deben generar/confirmar estos datos mediante el desarrollo y refinamiento de los Charters.

- ¿Qué tan bueno podría ser el (Entitlement)? Si el proceso fuera manejado por Díos, entonces, el proceso sería perfecto! ¿Cuál es ese valor perfecto en el cual el proceso tendría cero defectos?

Normalmente el valor de entitlement es un valor definido como perfecto; es decir, cero defectos, cero devoluciones, cero retrasos, etc. Suena un poco fuera de la realidad, sobre todo si decimos que siempre vamos a tener una variación implícita en los procesos, sin embargo es importante mencionarlo en el charter del proyecto para que podamos generar una visión más ambiciosa de nuestros métricos. En otras palabras un valor de entitlement, traducido a términos comunes: En un juego de béisbol de ligas mayores sería “81 strikes y 27 ponchados”, en un juego de golf de 18 hoyos sería “18 golpes”.

- ¿Cuánto debemos mejorar (Meta)? A donde queremos llegar con el proyecto. Definir un número que nos indique la mejora que hallamos logrado.

Si no sabemos a donde queremos llegar, estamos en un alto riesgo de perdernos y no lograr resultados. Por esta razón debemos definir un valor al cual queremos llegar y ese será nuestro objetivo de todo el proyecto.

**Six Sigma es el proceso de cerrar rápidamente los límites entre la Base Histórica y el Entitlement**

#### **2.2.6 Costo de la Pobre Calidad (COPQ).**

Seguramente nos vamos a encontrar con una cantidad enorme de criterios para la definición y selección de proyectos importantes para la empresa; sin embargo, existe un métrico muy importante que vamos a analizar un poco más a detalle con el cual podemos detectar un poco más cerca el costo de no hacer bien las cosas a la primera vez, se conoce como el **“Costo de la Pobre Calidad” (COPQ)**.

“Los costos de la pobre calidad son los costos que desaparecerían si las cosas salieran bien a la primera vez”.

Los costos de la pobre calidad, al igual que en aseguramiento de la calidad, se clasifican por:

- Fallas internas. Costo de falla incurrido previo a la entrega o embarque del producto o servicio al cliente. Estos costos podrían desaparecer si los productos, procesos y servicios tuvieran niveles de calidad Six Sigma. Algunos ejemplos son: Desperdicio, retrabajo, horas extras, análisis de fallas, costos administrativos, tiempo muerto de máquina, etc.

- Fallas externas. Se refiere al costo de fallas ocurridas durante o después de la entrega o embarque de los productos o servicios al cliente. Las fallas externas resultan de insatisfacción del cliente y son consideradas como las más costosas para la compañía. Algunos ejemplos son: Ventas perdidas, reclamaciones de los clientes, trabajo extra, devoluciones de material, reclamos de garantía, etc.
- Inspección. Se refiere a los costos asociados con la medición, evaluación o auditoria de productos o servicios para asegurar la calidad de conformancia de acuerdo a los estándares requeridos para satisfacer al cliente. Algunos ejemplos: Inspección de recibo y pruebas, inspección en proceso, inspección final, laboratorio de control de calidad, costo de equipos, pruebas externas, auditorias de producto, proceso o servicio.

El COPQ es el indicador más importante para la mejora de un proceso ya que nos da un valor monetario que afecta directamente a los estados de resultados de la empresa, por lo tanto debemos ser cuidadosos en el calculo del mismo, sin exagerar el tiempo y recursos necesarios para medirlo.

Por lo general se recomienda que se sigan los siguientes pasos para el cálculo del COPQ:

- Identificar todas las actividades con pobre calidad
- Decidir como estimar el costo de estas actividades (mano de obra, material, tiempo, costos escondidos, etc.)
- Colectar datos y estimar el **COPQ**.
- Revisar y validar información con el representante de finanzas
- Estimar el ahorro potencial en **COPQ**.
- En conjunto con el grupo directivo de la empresa, analizar resultados y estima que mejoras se pueden hacer si se selecciona como proyecto de six sigma.

## 2.2.7 Desarrollo del Equipo para el Proyecto



El objetivo principal de formar un equipo es básicamente con la intención de resolver problemas complejos, mejorar procesos y combinar múltiples habilidades, conocimientos y experiencias para obtener RESULTADOS.

El equipo se debe organizar en base a los elementos que se manejen en el charter. El detalle del charter lo veremos en el capítulo siguiente.

Criterios para seleccionar los integrantes del equipo.

No es necesario que el equipo este integrado por las personas más brillantes y más capaces de la organización; sin embargo, es muy importante que las personas que integren el equipo cuenten con las siguientes características:

- Creativas y de mente abierta
- Dispuestas a compartir conocimientos con los demás
- Respetadas por los mismos compañeros, la gerencia y otros líderes del negocio
- Se recomiendan equipos entre 4-6 personas
- Equipos de mayor número de personas, dificulta su manejo y el aterrizaje de idea

## **Grandes Proyectos con Personal Adecuado dan Resultados Grandiosos**

### **Código de Conducta para los Equipos**

Es muy importante que desde la primer junta se establezca un código de conducta a seguir en todas las demás juntas restantes del equipo. Dicho código deberá contener reglas específicas que controlan la manera en que opera el equipo.

Ejemplos de reglas que pueden ser incluidas en el Código de Conducta:

- Ser puntuales en juntas
- Si no es posible asistir, llamar al líder de equipo antes de la junta
- Sólo una persona habla a la vez
- No juntas con el “de a lado”
- No se permiten discursos (Un “discurso” es de 60 segundos ó más)
- Poner seguro a la puerta
- Ir preparado con respuesta a los seguimientos efectuados
- Sigue la agenda; mantente enfocado en el tema

A pesar de que todos los miembros deben tener una participación activa, los roles deben estar definidos de manera precisa. Se recomienda que para cada junta exista un monitreador de tiempo, un facilitador, alguien que tome la minuta y un monitreador del seguimiento.

**Forma**



**Tormenta**



**Actuación**



**Norma**



## 2.2.8 Charter del Proyecto (Desarrollo – Validación)

El charter del proyecto se puede considerar el documento más importante del proyecto, ya que engloba toda la información necesaria acerca del proyecto y los beneficios que se esperan con el desarrollo del mismo.

Es una representación visual de los puntos críticos principales del proyecto y las entidades correspondientes dentro de la organización que tienen participación.

El charter es el primer documento del proyecto y por lo general ningún proyecto podrá dar inicio formal si antes no tiene por lo menos una propuesta del charter. A continuación haré una descripción general de cada uno de los elementos que debe cubrir un charter. El formato podrá variar de acuerdo a las políticas de la empresa, pero la esencia de la información se recomienda que sea la misma.

### a) Información General del Proyecto

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Proyecto #: .....

Lider de Proyecto		Fecha / Revisión	
Champion		Fecha Terminación	
Ubicación			
Línea de Producto			

En esta sección se debe definir el nombre del proyecto y un número con el cual se le podrá dar una referencia correcta, además apoya el control de los registros de calidad y la documentación precisa.

#### Líder del proyecto

Esta es la persona que encabeza el proyecto de proceso de mejora. Es importante identificar al líder del proyecto para que la administración sepa quién está encabezando los esfuerzos, y otros puedan localizar al líder para recolectar conocimientos futuros en una fecha posterior. Generalmente se asigna una persona entrenada como Green Belt o Black Belt para ser líder del proyecto.

Fecha / Revisión.

Ningún proyecto puede mantener el impulso indefinidamente. Este campo es básicamente para propósitos de documentación. Es la fecha en la cual el proyecto o el líder del proyecto comenzaron formalmente a trabajar.

Fecha Terminación.

La fecha de fin de proyecto anticipada se establecerá por el Champion, black belt master o líder equivalente. La duración del proyecto proporcionará al líder y al equipo el tiempo adecuado para completar el proyecto, dadas las condiciones de negocio, carga de trabajo, fechas de vacaciones, etc. Muchos negocios establecen lineamientos generales acerca de cuánto deberían tardar los proyectos.

Línea de producto.

El nombre de la línea de producto relacionada con el proyecto (si aplica).

### **Champion (Campeón)**

Debe ser una persona con un nivel de liderazgo dentro de la organización, quien tendrá como responsabilidad principal facilitar la obtención de recursos y direccionar los esfuerzos del equipo.

### **b) Enunciado del problema**

**2- Enunciado de Problemas:** El problema o tema que promueve la necesidad para el proyecto. No debe asignar culpas, implicar causa o proponer un remedio.



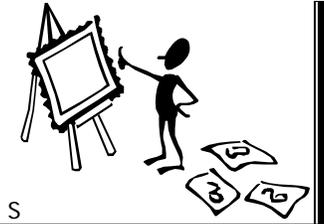
Se refiere a la descripción del problema que el proyecto tiene que resolver, o con frecuencia el caso de negocio para el proyecto. Nos va a permitir conocer de manera clara la razón por la cual se selecciono el proyecto, lo cual nos permitirá contestar la pregunta de ¿Por qué se selecciono este proyecto ahora?

Ejemplos claros de cómo describir el enunciado del problema, podrían ser:

- Los procedimientos para enviar repuestos de nuestra compañía toman diez días más que nuestra mayor competencia.
- Demasiados de nuestros lotes no tienen el 100% de composición (no específicos).

### c) Objetivo

**3- Objetivos:** Describe el objetivo del proyecto en formato SMART (Específico, Medible, Acordado, Realista y en Tiempo)



Es decir, la meta del proyecto. Nos va a servir para comunicar los objetivos específicos del proyecto. Se deberá hacer referencia a ellos en todas las juntas o cuando se sugiera una tarea. En todo momento durante el proyecto el equipo se deberá preguntar: “¿Esto nos llevará más cerca del objetivo?”. También es una buena herramienta para asistir a la gerencia en prevenir que la misión del proyecto coincida con las misiones de otros equipos. Y finalmente nos permite evaluar el valor del proyecto continuamente.

Escribir una declaración “SMART” es la manera más efectiva para definir la meta u objetivos de un proyecto. SMART significa:

- **Específico.** Bien definido. Le debe quedar claro a cualquier persona que tenga conocimiento básico del proyecto.
- **Medible.** Saber si la meta es alcanzable y qué tan lejos está de completarse. Saber cuanto se ha logrado.
- **Acordado.** Acuerdo con todas las partes interesadas: responsables de cuáles deberían ser las metas.
- **Realista.** Dentro de la disponibilidad de recursos, conocimiento y tiempo.
- **En Tiempo.** Tiempo suficiente para alcanzar la meta. Demasiado tiempo, podría afectar el desempeño del proyecto.

El objetivo deberá enfocarse en la causa de raíz de un problema, no en los síntomas (vea los ejemplos no aceptables abajo). Adicionalmente, esta declaración no deberá asignar culpas (indicar una posible causa o razón), implicar causa, o proponer un remedio (sugiere lo que se necesita hacer).

La declaración generalmente describe una acción: “remover”, “reducir”, “mejorar”...

Base el objetivo en lo que quiera lograr la organización, o sea, el aspecto del problema que es más importante para la organización.

Es mejor que los objetivos sean muy específicos, atacando solo aspectos parciales de un problema más grande. Esto se usa en ocasiones para hacer que los proyectos sean manejables, atacando únicamente una parte del problema y evitar proyectos de “terminar con el hambre del mundo”. Si se necesitan atacar múltiples facetas de un problema en el mismo proyecto, subdivida el enunciado del objetivo en objetivo 1, objetivo 2, etc.

Ejemplo aceptable.

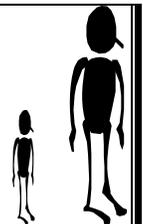
Reducir en un 25% el tiempo que toma calificar productos para los clientes, a través de mejorar la oportunidad de éxito en la primera prueba.

Ejemplo no-aceptable.

Reducir el valor del dólar de cuentas por recibir; resultado de errores de facturación. (No responde a la pregunta de “¿cuánto?”).

#### d) Alcance del Proyecto

**4- Alcance del Proyecto:** ¿Qué actividades conectadas al proceso o producto designado serán investigadas? ¿Qué partes no serán investigadas?



Se refiere a una lista de actividades dentro o conectadas al proceso o producto, que pueden ser modificadas por el proyecto, porque influyen factores claves del proceso o producto. Una lista adicional de actividades que muy probablemente quedarán sin tocarse por el proyecto.

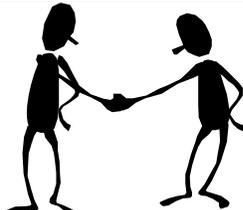
Nos sirve para poder asistir a los jugadores en comprender los límites del proyecto. Esto es un complemento obligado a la declaración objetiva del proyecto. Se puede incorporar en el enunciado de objetivos un sentido de alcance si está escrito como un conjunto de objetivos específicos.

- Para evitar "movimiento de alcance."
- Se utiliza por todos aquellos administrando el portafolio del proyecto para determinar los huecos y coincidencias entre los proyectos en el mismo proceso.
- En los proyectos de diseño, define con qué no va a lidiar el proyecto; qué parte del diseño de producto, manufactura, apoyo o uso.

Se recomienda comenzar con las áreas y aspectos con los que no lidiará el proyecto. La mejor aproximación es utilizar las herramientas descritas a continuación.

- Por cada paso del proceso principal que se está investigando, examine los factores clave e imagine qué tan lejos llegará el proyecto para resolver o controlar cada factor. Describa qué actividades conectadas a los factores clave afectarán al proyecto, y cuales no se tocarán.
- Otra fuente de buenas declaraciones de alcance es la lista de puntos críticos para el proyecto, descritas en la célula de programa. Para cada punto crítico, enumere lo que se necesitará para llegar allí (actividades, tareas principales...). Imagine cual de esas actividades o tareas se necesitará cambiar o se necesitará investigar por parte del equipo del proyecto para poder proceder. El mejor ejemplo es el Sistema de Medición de Análisis. Frecuentemente, se requiere en el proyecto la optimización del sistema de medición. Puede existir un pequeño proyecto DMAIC incrustado dentro del proyecto.

## e) Resultados

<p><b>5- Resultados:</b> El criterio que se utilizará para determinar que el proyecto ha terminado de manera correcta.</p>	
--	---

Como se indica en el texto es el criterio o los resultados que serán evaluados para determinar que el proyecto ha sido exitoso.

Nos sirve para obtener de la gerencia los resultados aceptables (y no aceptables) del proyecto. Cuando sea necesario, se puede hacer referencia a esto para recordar a los gerentes acerca de los resultados acordados y para recordar al equipo sus deberes asociados con el proyecto. Ayuda al equipo a planear durante el tiempo necesario y construir estos resultados.

Sirve para eliminar los riesgos de un malentendido acerca de resultados aceptables del proyecto. Esto es especialmente importante cuando el proyecto tiene partes interesadas en diversas áreas muy diferentes, con diferentes esperanzas acerca de cuáles serán los resultados del proyecto.

## f) Métricos clave

<p><b>Métricas Clave:</b> ¿Qué mejora se espera? Los valores que se utilizarán para evaluar el impacto del proyecto en los métricos clave.</p>	<b>MÉTRICOS</b>	<b>Baseline</b>	<b>Meta</b>	<b>Entitlement</b>	<b>Unidades</b>

Aquí vamos a establecer el corazón del proyecto a través de una serie de números que muestran el progreso del proyecto y el resultado logrado. Frecuentemente una mezcla de valores técnicos y de negocio.

Esta información es esencial para ayudar a todas las partes interesadas a identificar los parámetros base para cuantificar el éxito y valor del proyecto. Para proporcionar los medios para medir y comunicar el progreso del proyecto.

Algunos métricos financieros clave se incluyen en la declaración del problema. Se definen muy temprano. Otras métricas específicas serán identificadas en las fases de medición.

Los métricos seleccionados del proyecto deberán

- Reflejar las necesidades de las partes interesadas del proyecto, especialmente las de los clientes.
- Reflejar los métricos internos de la compañía.
- Las métricos (financieros) deben estar conectadas y relacionadas al negocio clave.
- Sencillo y al grano (fácil de actualizar)
- Ser significativos.

Los métricos positivos crean un lenguaje común entre diversos miembros del equipo, deberían basarse en qué, realmente, necesita ser medido para mejorar el proceso. Los métricos se necesitan analizar desde el punto de vista del valor que añaden comprendiendo un proceso y comunicando el progreso.

**Acerca de métricos.** En la mayoría de los casos, los métricos seleccionadas deberían caer bajo el siguiente esquema:

**Financiero**

Niveles de Inventario  
Costo Unitario  
Gastos Ocultos  
Costeo Basado en Actividad  
Costo de mala calidad  
Ahorros generales del proyecto

**Cliente**

Satisfacción del Cliente  
Entrega a tiempo  
Calidad final de producto  
Comunicación de seguridad

**Procesos Internos del Negocio**

Defectos, Datos de Inspección, DPMO,  
Nivel Sigma  
Capacidad-

**Aprendizaje y Crecimiento del Empleado**

Uso de herramientas Six Sigma  
Calidad de Capacitación  
Efectividad de juntas

Productividad	Lecciones aprendidas
Producción Resultante Continua	Total de Capacitación en Six Sigma
Calidad de Proveedor	Programa del Proyecto contra fecha actual
Tiempos de Ciclos	Número de proyectos completados
Volumen enviado	Ahorros totales a la fecha
Horas de repetición de trabajo	

**Acerca del baseline:** Baseline es el estado en el cual se encuentran las cosas antes de que las mejoras se hayan hecho al sistema, o a la hora que comience el proyecto. Generalmente no se puede determinar con precisión antes de la terminación de la fase de concepto o medición.

**Acerca de unidades.** Las unidades se dictan por la métrica utilizada. No es posible enlistar todos los parámetros específicos que se pudieran contar o medir para cada categoría de métricos descritos arriba, pero aquellos métricos deben de ser siempre una combinación de tiempo o recursos, cantidad y/o unidades de valor, o unidad menos fracción (%,...)

- **Tiempo:** horas, días...; horas-hombre, años-hombre,...; horas/hombre...
- **Valor:** \$, €, %EBIT, %GP, %ventas de productos nuevos, NPV, ROI...
- **Cantidad:** peso, superficie, volumen, cantidad,...
- **Fracciones:** OEE, Cpk, nivel Sigma, rendimiento, %...

**Acerca de valor perfecto.** Valor perfecto es el métrico más importante del proyecto. Aclara muchas cosas porque ayuda a fijar metas, porque ayuda a establecer metas no en referencia a donde están las cosas, pero con referencia a donde podrían estar. No siempre se conoce al principio de los proyectos, pero se puede calcular al final de la fase de medición o concepto. Un acercamiento para estimar el valor perfecto es el de extraerlo de los registros históricos (desempeño de proceso).

**Acerca de metas.** Están en algún lugar entre punto de partida y valor perfecto. Aunque es fácil y conveniente, es una mala costumbre hacer de las metas un porcentaje ya sea del punto de partida o valor perfecto, después calcular el valor correspondiente.

El valor perfecto realmente no se puede lograr, pero las metas si deben ser reales. Su valor se puede expresar como un porcentaje; pero no se puede convertir un porcentaje a un valor. En algunos casos, el porcentaje es una meta válida.

### g) Partes interesadas

<b>Partes interesadas:</b> ¿Quiénes son y qué tipo de interés tienen en el proyecto?	<b>Equipo Central:</b> Los 3-4 miembros que llevarán a cabo el proyecto a través de todas las etapas.	
	<b>Recursos Centrales:</b> Personas adicionales que asistirán en el trabajo de campo.	
	<b>Clientes:</b> Internos y/o externos beneficiándose de los resultados del proyecto.	

Esta parte la debemos interpretar como una lista de personas que tienen información clave, conocimiento, tiempo y recursos; además de autoridad, necesaria para asistir y llevar a cabo el proyecto. La gente que interferirá con o terminará con el proyecto se puede identificar en las secciones de barreras e impedimentos.

El análisis de las partes interesadas identifica a las personas, grupos u organizaciones que pudieran resultar afectadas por los cambios en las políticas. Identificar y desasociar a los primeros tipos de partes interesadas- y distinguir entre aquellos que son afectados de una manera positiva por el proyecto y aquellos que son afectados de una manera negativa-es una parte central del éxito del proyecto.

Analizar a las partes interesadas que pudieran afectar el proyecto también es crítico para la comprensión del apoyo u oposición de varios grupos al proyecto.

El **equipo central** está representado por las partes más afectadas de la organización identificadas anteriormente.

Evaluar a cada miembro del equipo y al equipo como unidad. Cada miembro del equipo deberá tener:

- Conocimiento personal de alguna parte del problema, directo y detallado.
- Tiempo para reuniones en equipo y tareas entre juntas (tiempo apartado, no “tiempo sobrante”)

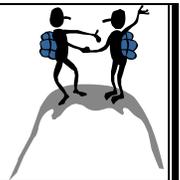
Como grupo, el equipo deberá ser capaz de describir los elementos más importantes de los procesos asociados con el problema de manera correcta, de explicar cómo las partes del proceso se relacionan los unos con los otros, trabajar con sus departamentos para implementar el remedio (los individuos con experiencia, con autoridad significativa y responsabilidad).

Recursos centrales es un grupo de individuos que estarán muy involucrados en llevar a cabo elementos del trabajo básico, pero no estarán presentes necesariamente en todas las etapas del proyecto o ir a todas las juntas de equipo o participarán en todas las decisiones

**Un cliente** es aquél que compra o evalúa nuestro proceso/producto (en términos de requisitos), y da el veredicto final sobre el mismo. Pueden ser internos o externos o ambos. Algunos targets del plan de comunicación se pueden considerar clientes.

## h) Beneficios

**10- Beneficios:** ¿Cuál será el beneficio percibido por los consumidores y cómo se relacionan con los beneficios para la empresa?



Es una lista clasificada de consecuencias del proyecto que benefician al cliente y a nosotros y son útiles para:

- Analizar la interrelación entre los beneficios del proyecto para el cliente y nosotros.
- Descubrir cualquier contradicción fundamental que incremente el riesgo de fracaso del proyecto.

Al final de la fase de medición intente responder la pregunta: ¿Por qué necesita esto el cliente? Sepárelo claramente de “¿Por qué necesitamos esto nosotros?” Señale los beneficios tan específicamente como sea posible.

Primero identifique quienes son los clientes (análisis de partes interesadas). Pueden existir clientes internos y externos para el proyecto. Señale primero los beneficios cuantificables.

Si el cliente obtendrá un incremento en ventas o una reducción en desperdicio, especifique cuánto, tan pronto como esté disponible.

Algunos beneficios no son cuantificables. Deberán de ser enlistados siempre que claramente, añadan valor, ya sea en la mente del cliente o en la nuestra. Cualquier proyecto deberá de tener varios beneficios. Los beneficios pueden estar ponderados de mayor a menor peso, para poder extraer los más importantes.

La siguiente lista (no exhaustiva) sugiere las áreas en las que el cliente y/o nosotros se puede beneficiar de un proyecto Six Sigma. Beneficios enlistados:

- Reducir costos en materia prima
- Mejorar la productividad
- Insatisfechos con el producto
- Consolidación de producto
- Evitar costos de capital
- Resolver temas crónicos
- Añadir proveedores adicionales
- Mejorar la calidad del producto
- Reducir desperdicios
- Reducir tiempo de ciclos
- Reducir gastos financieros
- Incrementar la rentabilidad
- Incrementar la lealtad del cliente
- Mejorar la cadena de suministros
- Incrementar la base de conocimientos
- Auxiliares de venta
- Propiedad intelectual segura
- Relaciones públicas
- Consolidar la posición de mercado
- Incrementar participación de Mercado
- Penetración en Nuevos Mercados
- Medio ambiente/ Sanidad / Regulador
- Mejorar la seguridad
- Desarrollo de las personas

### i) Programa

<b>11- Programa:</b> Introduzca los nombres de los departamentos clave/funciones involucradas. Posteriormente, realice una amplia lista de las etapas con las fechas deseadas. Utilice las claves provistas para establecer responsabilidades para cada depto/función	Fecha límite	Definición de Etapas

Un cronograma para evaluar el progreso del proyecto para:

- Proporcionar una “fotografía” de alta calidad sobre el monitoreo del proyecto Vs. el plan de trabajo del mismo.
- Para determinar rápidamente si el proyecto se va desarrollando según lo programado.
- Para identificar a los responsables de las tareas necesarias para alcanzar el hito, así como quien deberá de ser consultado o informado.

Especificar la fecha de finalización esperada y responsabilidad para cada fase del proyecto. Los acuerdos son esenciales al establecer las fechas. No deberán de ser determinados por el equipo o líder de proyecto sin previa consulta. **Los Charters son un contrato. Es aquí donde se firma el contrato.**

#### j) Barreras críticas e impedimentos

##### 15- Barreras críticas e

**impedimentos:** Los imprevistos potenciales (internos y externos) que pudieran eliminar el proyecto, o llevar a cambios significativos en las posibilidades u objetivos.



Una lista de problemas previsible que pudieran eliminar o redirigir el proyecto en caso de no poder ser resueltos, son útiles para:

- Proveer información al equipo y a los champions sobre las áreas donde los impedimentos deberán de ser eliminados.
- Identificar áreas del mercado que representen fuerzas de oposición al proyecto.
- Identificar aspectos de la cultura organizacional y del modus operandi que pudieran detener el proyecto.

Las barreras críticas deberán de ser específicas, siempre que sea posible. Los impedimentos y barreras críticas están relacionadas con las actividades. Revise la lista de actividades para identificar los impedimentos y barreras potenciales que pudieran ubicar al resultado fuera de nuestro alcance.

También revise la lista de suposiciones para asegurarse que no esconden impedimentos o barreras críticas. Reubique y replantee los supuestos como se sugiere, en caso de que sea aplicable.

Para obtener una lista lo más meticulosa posible de los impedimentos, se deberán considerar las siguientes categorías (tener en cuenta que las áreas, por lo general son subestimadas o inexploradas hasta que son reconocidas cuando ya es muy tarde):

- **Técnica:** Requisitos del cliente inalcanzables, los supuestos clave son falsos...
- **Gente:** Falta de capacitación o experiencia necesaria, objetivos que causan conflicto, aspectos culturales...
- **Seguridad:** La solución no se puede implementar de manera segura, el producto es peligroso...
- **Legal:** Regulaciones medio-ambientales, listas de las materias primas permitidas (TSCA, FDA, ENEICS...), la solución ya está patentada...
- **Equipo:** Los cambios necesarios no se pueden implementar con la capacidad instalada actualmente, la mejor solución requiere automatización...
- **Financiera:** La solución requiere una gran inversión en capital, o genera pocas utilidades, el cliente no desea compartir el valor generado...
- **Infraestructura:** La organización de la infraestructura actualmente no es la adecuada para soportar el proyecto o vender los resultados...
- **Socios:** Los socios clave desisten del proyecto o no ofrecen el apoyo adecuado...
- **Mercado:** A la competencia se le premia con trabajo, la erosión del precio reduce el valor del proyecto...
- **Cliente:** El cliente podría perder el enfoque, el que el proveedor de la tecnología sea sustituido podría resultar en contraatacar el esfuerzo. Los clientes necesitan amortizar el equipo actual antes de considerar cualquier cambio...
- **Tiempos:** El tiempo para llegar al mercado es demasiado largo, los recursos clave están dispersos y escasos...

## k) Revisión del Charter

<b>16- Revisión de Charter</b> 	Vale la pena? Lo podemos hacer? Podemos ganar?	<b>MBB:</b> <input type="checkbox"/> Charter Aprobado <b>Campeón:</b> <input type="checkbox"/> Proyecto Aprobado <b>Contralor:</b> <input type="checkbox"/> Suposiciones Validadas
---	--	--

Chequeo inicial para la solidez del proyecto. Para asegurar que se haya validado el proyecto inicial.

MBB o BB valida el Charter. Se asegura que la información recolectada ayudará al equipo en su labor de entregar los resultados acordados a las partes interesadas.

El champion aprueba el proyecto y acuerda los recursos que serán requeridos para llevarlo a cabo.

El contralor financiero aprueba las suposiciones echas acerca de los ahorros. Validará los retornos de inversión / números de crecimiento asociados con el proyecto.

# I) Propuesta General del Charter

NOMBRE DEL PROYECTO:

Proyecto #: .....

Lider de Proyecto		Fecha / Revisión			
Champion		Fecha Terminación			
Ubicación					
Línea de Producto					
<b>Enunciado del Problema:</b> Indicar claramente la razón por la cual fue planteado el proyecto. Pregunta clave ¿Por qué es necesario que este proyecto se lleve a cabo ahora?					
<b>Objetivos:</b> Describe el objetivo del proyecto en formato SMART. (Específico, Medible, Acordado, Realista y en Tiempo).					
<b>Alcance Proyecto:</b> ¿Qué actividades o áreas conectadas al proceso o producto designado serán investigadas? ¿Qué partes no serán investigadas?					
<b>Resultados:</b> ¿Cuál es el criterio que se utilizará para determinar que el proyecto ha finalizado de manera aceptable?					
<b>Métricas Clave:</b> ¿Qué mejora se espera? Los valores que se utilizarán para evaluar el impacto del proyecto en los métricos clave.	<b>METRICOS</b>	<b>Baseline</b>	<b>Meta</b>	<b>Entitlement</b>	<b>Unidades</b>
<b>Partes interesadas:</b> ¿Quiénes son y qué tipo de interés tienen en el proyecto?	<b>Equipo Central:</b> Los 3-4 miembros que llevarán a cabo el proyecto a través de todas las etapas.				
	<b>Recursos Centrales:</b> Personas adicionales que asistirán en el trabajo de campo.				
	<b>Clientes:</b> Internos y/o externos beneficiándose de los resultados del proyecto.				
<b>Beneficios:</b> ¿Qué beneficio verán los clientes y cómo se relacionan a los beneficios de nuestro lado?					
<b>11- Programa:</b> Introduzca los nombres de los departamentos clave/funciones involucradas. Posteriormente, realice una amplia lista de las etapas con las fechas deseadas. Utilice las claves provistas para establecer responsabilidades para cada depto/función	<b>Fecha límite</b>	<b>Definición de Etapas</b>			
<b>Barreras e Impedimentos:</b> Los riesgos potenciales (internos y externos) que podrían acabar con este proyecto o llevar a más cambios en alcance u objetivos.					
<b>Revisión de Charter:</b> Vale la pena el esfuerzo? Lo podemos hacer? Podemos ganar?	<b>Coordinador:</b> <input type="checkbox"/> Charter aprobado				
	<b>Champion:</b> <input type="checkbox"/> Proyecto Aprobado				
	<b>Contralor:</b> <input type="checkbox"/> Métricos aprobados				

## m) Ejemplo de charter

NOMBRE DEL PROYECTO: Yield Variance

Proyecto #: MEX-24

Lider de Proyecto	Nelly de los Reyes	Fecha / Revisión	Nov '05		
Champion	Ignacio González	Fecha Terminación	Jul '05		
Ubicación	Monterrey				
Línea de Producto	TBD				
<b>Enunciado del Problema:</b> Indicar claramente la razón por la cual fue planteado el proyecto. Pregunta clave ¿Por qué es necesario que este proyecto se lleve a cabo ahora?	Para disminuir los costos por yield variance, generados en la Sucursal de Monterrey. A través de la validación de los porcentajes de merma de los procesos de producción y de los porcentajes de merma para cada línea.				
<b>Objetivos:</b> Describe el objetivo del proyecto en formato SMART. (Específico, Medible, Acordado, Realista y en Tiempo).	Validación y disminución de \$300,000 pesos de los costos debido a Yield Variance, durante el ejercicio del 2006.				
<b>Alcance Proyecto:</b> ¿Qué actividades o áreas conectadas al proceso o producto designado serán investigadas? ¿Qué partes no serán investigadas?	Proceso de Producción Proceso de costeo Formulación				
<b>Resultados:</b> ¿Cuál es el criterio que se utilizará para determinar que el proyecto ha finalizado de manera aceptable?	De acuerdo a los resultados que muestre el reporte mensual de costo de producción de la sucursal Monterrey.				
<b>Métricas Clave:</b> ¿Qué mejora se espera? Los valores que se utilizarán para evaluar el impacto del proyecto en los métricos clave.	<b>METRICOS</b>	<b>Baseline</b>	<b>Meta</b>	<b>Entitlement</b>	<b>Unidades</b>
	Yield Variance Mty (409-140)	85 K	60 K	TBD	\$/mes
<b>Partes interesadas:</b> ¿Quiénes son y qué tipo de interés tienen en el proyecto?	<b>Equipo Central:</b> Los 3-4 miembros que llevarán a cabo el proyecto a través de todas las etapas.	Nelly de los Reyes, Ignacio González Ángel Hernandez, Carlos Carreño, Eduardo Vargas			
	<b>Recursos Centrales:</b> Personas adicionales que asistirán en el trabajo de campo.	Personal Administrativo, Producción y Técnico			
	<b>Clientes:</b> Internos y/o externos beneficiándose de los resultados del proyecto.	SunChemical cuenta corporativa 140 Yield Variance			
<b>Beneficios:</b> ¿Qué beneficio verán los clientes y cómo se relacionan a los beneficios de nuestro lado?	El beneficio está en la disminución de \$300,000 pesos del costo por yield variance.				
<b>11 - Programa:</b> Introduzca los nombres de los departamentos clave/funciones involucradas. Posteriormente, realice una amplia lista de las etapas con las fechas deseadas. Utilice las claves provistas para establecer responsabilidades para cada depto/función	<b>Fecha límite</b>	<b>Definición de Etapas</b>			
	Nov'05	Definición			
	Feb'05	Medición			
	Abril'05	Análisis			
	May'05	Mejora			
	Jun'05	Control			
	Jul'05	Validación			
<b>Barreras e Impedimentos:</b> Los riesgos potenciales (internos y externos) que podrían acabar con este proyecto o llevar a más cambios en alcance u objetivos.	La validación de los resultados (MSA) podría generar una redefinición del objetivo propuesto.				
<b>Revisión de Charter:</b> Vale la pena el esfuerzo? Lo podemos hacer? Podemos ganar?	<b>Eduardo Vargas:</b> <input type="checkbox"/> Charter aprobado <b>Ignacio González:</b> <input type="checkbox"/> Proyecto Aprobado <b>José Carlos Peña:</b> <input type="checkbox"/> Métricos aprobados				

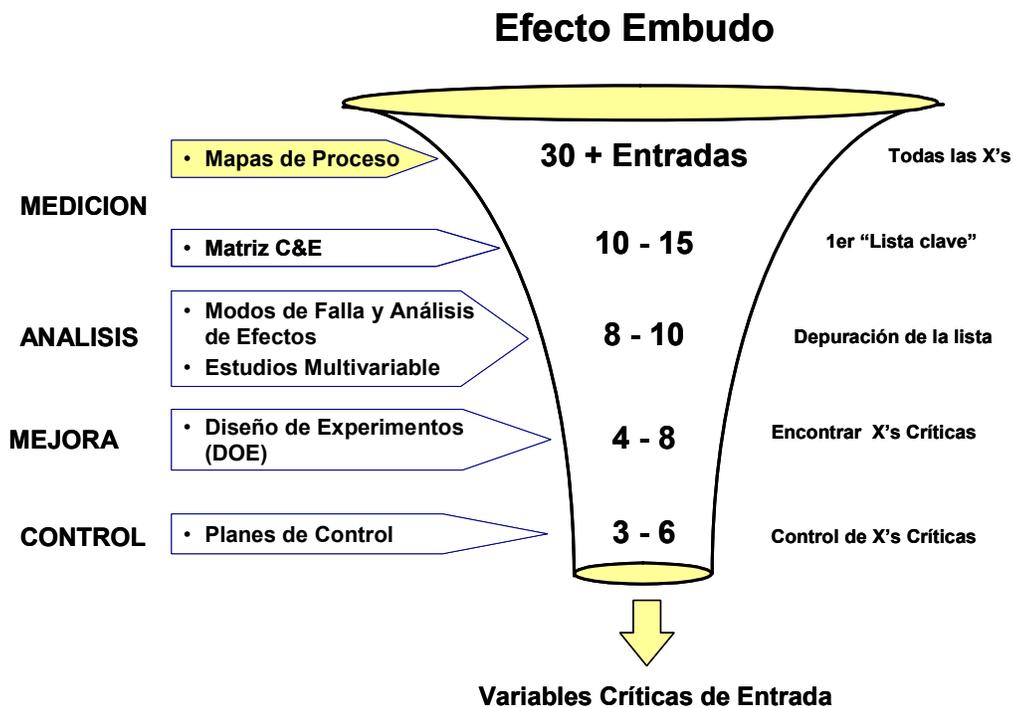
# Etapa de Medición

## 2.2.9 Objetivo

Identificar sistemas críticos de medición que son necesarios para evaluar el éxito del proyecto. Conocer los requerimientos críticos del cliente y comenzar a desarrollar una metodología para una recolección efectiva de datos que permita medir el desempeño del proceso.

Entender los elementos para el cálculo y desarrollo del baseline para los procesos que el equipo esta desarrollando.

## 2.2.10 Mapeo del Proceso

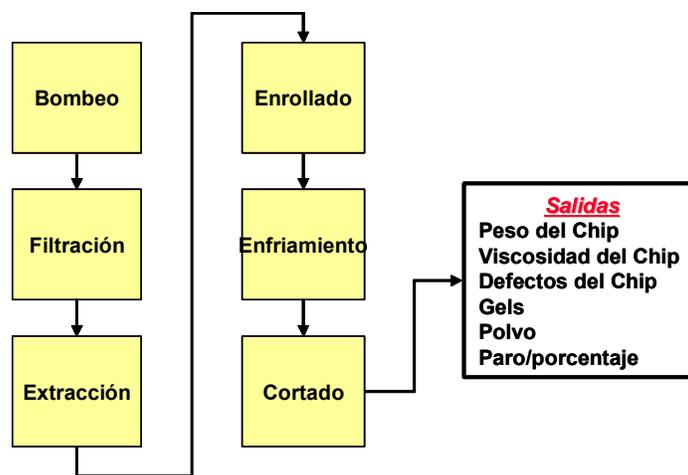


Como podemos ver en el gráfico anterior el mapeo del proceso es una de las primeras acciones que debemos llevar a cabo en el inicio de la etapa de medición.

Los mapas de proceso son una herramienta muy sencilla de gran utilidad que nos permite detectar todas las entradas que afectan a nuestro proceso.

Es el paso inicial del efecto embudo por medio del cual vamos a filtrar todas las entradas del proceso hasta llegar a las variables críticas (que tienen un efecto significativo en las salidas).

Por medio del mapeo de proceso tenemos la posibilidad de detectar pasos o etapas del proceso que no tienen valor agregado y que si pueden generar variación. Esta es una herramienta indispensable en los proyectos de reducción de tiempos de ciclo, además cuando tenemos muy bien definido el mapa de variables de proceso puede ser usado para desarrollar un mapa de “Como es / Puede ser”.



Los Mapas de proceso son una herramienta por medio de la cual podemos generar una ilustración gráfica del proceso de manufactura administración/servicio, lo que nos ayudara a identificar:

- Los pasos del proceso con valor y sin valor agregado
- Todas las entradas del proceso (X's)
- Todas las salidas del proceso (Y's)
- Puntos de recolección de datos
- Primeras variables de entrada del proceso a trabajar en el FMEA

Se recomienda que su uso sea en todos los proyectos ya que la información que obtendremos nos podrá dar un panorama general de las variables que involucra el proceso.

Básicamente los resultados que debemos obtener con el mapa son:

- Identificar sistemas que requieren estudios de medición
- Identificas las variables de salida que nos darán la capacidad del proceso
- Identificar posibles pasos “sin valor agregado”

No olvidemos la base de todo proceso de mejora, mediante la herramienta de Six Sigma

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

Por lo general vamos a encontrar tres niveles o tipos de mapas de proceso, los cuales son macro, local y micro.

Como su nombre lo indica, los mapas de proceso a nivel macro se refieren a una vista muy general del proceso, lo que comúnmente se dice vista a 50,000 pies de altura. Sería como dibujar una planta de polímeros en una sola caja con sus entradas y salidas principales.

A nivel local son básicamente mapas de procesos específicos de la planta, por ejemplo el proceso de extracción.

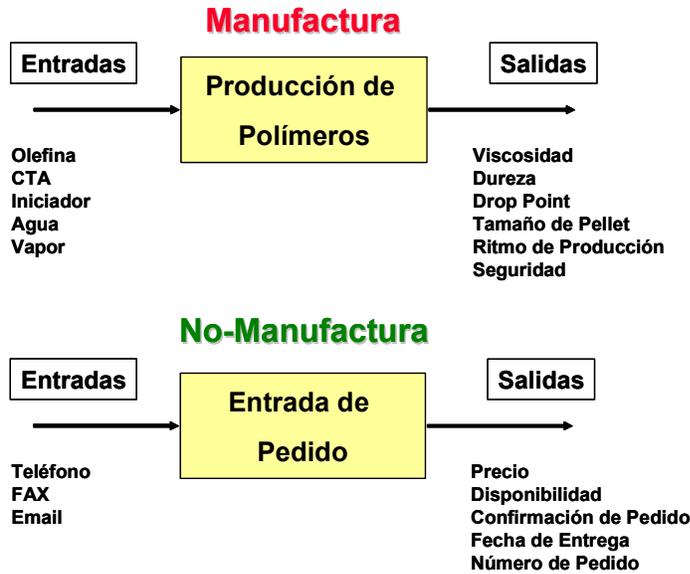
Un mapa de proceso llega a nivel micro cuando tenemos la necesidad de investigar un paso del proceso de manera más rigurosa

La recomendación siempre será que iniciemos a un nivel macro y de allí comencemos a trabajar hacia un nivel micro buscado enfocarnos en las áreas que tengan el mayor beneficio potencial.

Los pasos que podemos seguir para elaborar un mapa de proceso se resumen de la siguiente manera:

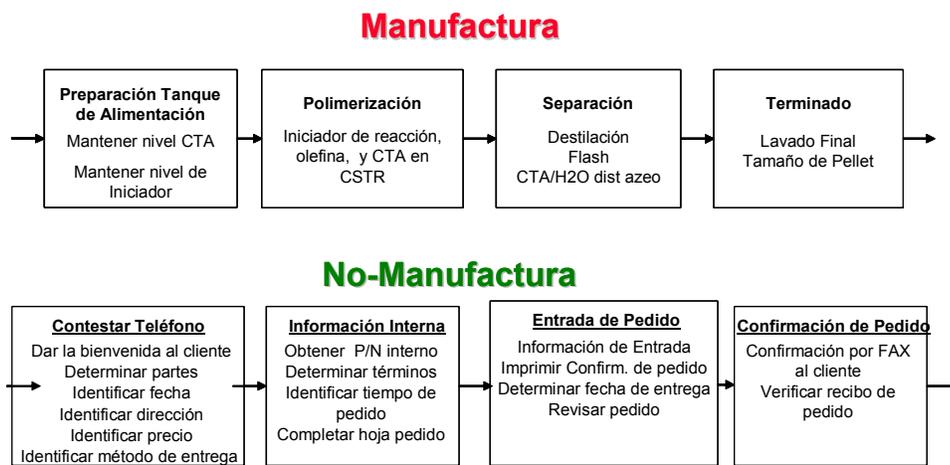
- Identificar el proceso, las entradas y salidas del cliente

El primer paso es obtener una vista “panorámica” del proceso (a 50,000 pies de altura). Identificamos las principales entradas externas como son: Materia prima, personal, información entrante, etc. Finalmente identificamos los requerimientos del cliente como pueden ser las especificaciones. Algunos ejemplos se muestran en el gráfico siguiente:



- Identificar gráficamente todos los pasos en el proceso

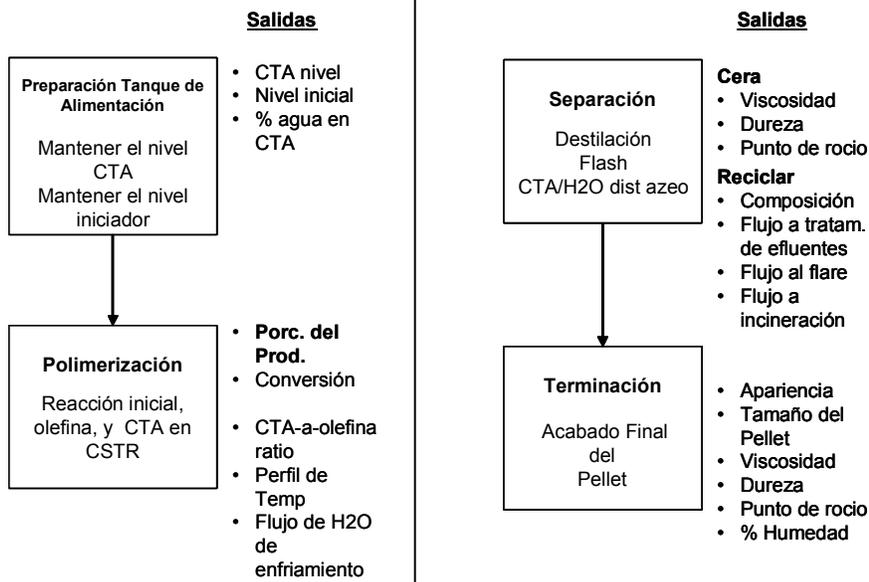
En esta etapa debemos incluir todos los pasos con o sin valor agregado; inspección, pruebas, re-procesos, puntos de desperdicio, etc. No debemos hacer alguna distinción, lo importante es plasmar el proceso de manera completa. Veamos algunos ejemplos



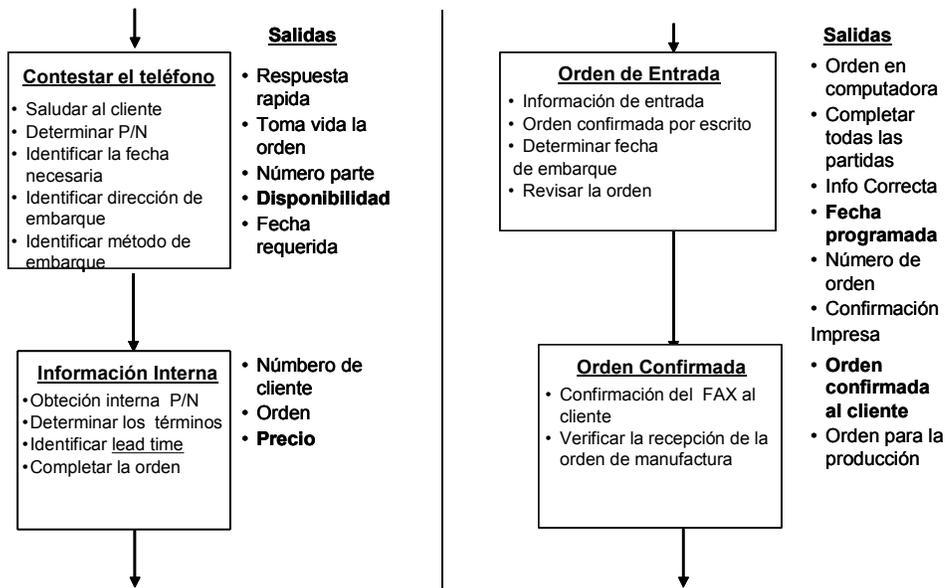
- Enlistar variables de salida clave en cada paso del proceso

Incluir todas las variables de salida de cada una de las etapas. Ver los siguientes ejemplos

## Manufactura



## No-Manufactura



- Enlistar variables de entrada clave e identificar entradas de proceso como controladas, no-controladas y críticas

En este paso vamos a enlistar y clasificar todas las variables clave de entrada del proceso.

La clasificación básicamente consiste en:

- Controladas y no-controladas
- Críticas y SOP's

**Controladas:** Variables de Entrada que pueden ser cambiadas a fin de observar efectos en las variables de salida. En ocasiones se conocen como variables “perilla”

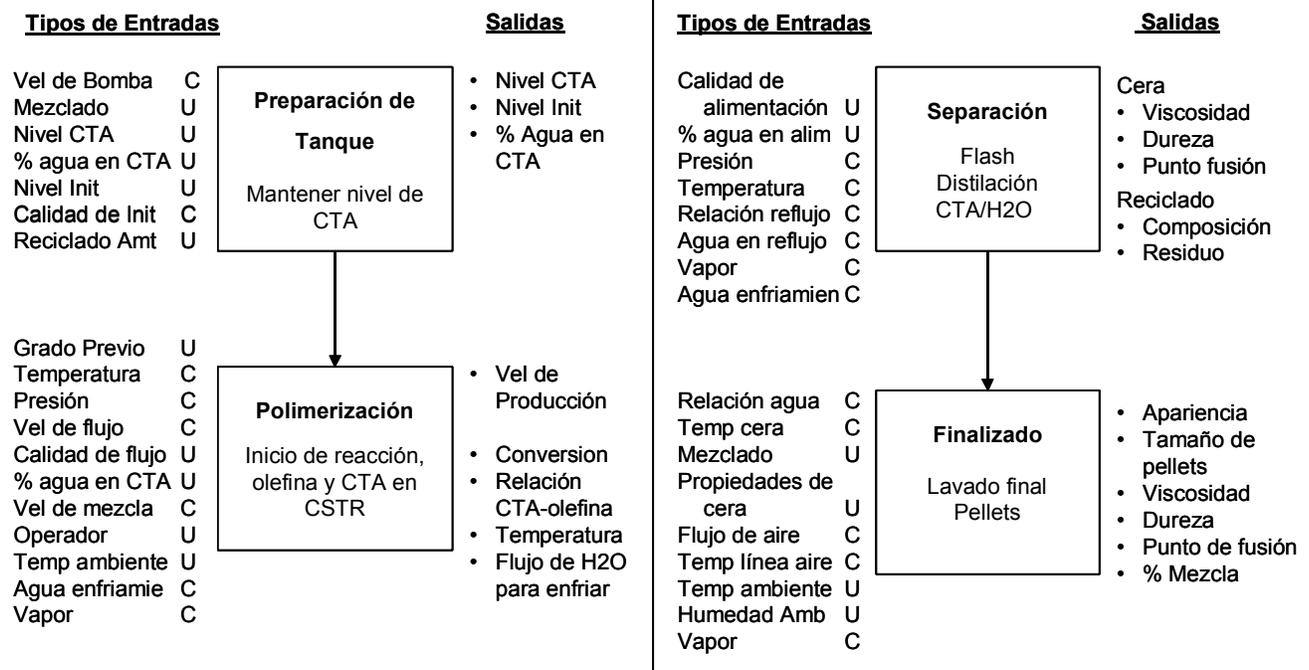
**No-controladas:** Variables de Entrada que impactan las variables de salida pero que son difíciles ó imposibles de controlar (pueden ser controladas, solo que actualmente no se encuentran así; Ejemplo: Variables ambientales como la humedad)

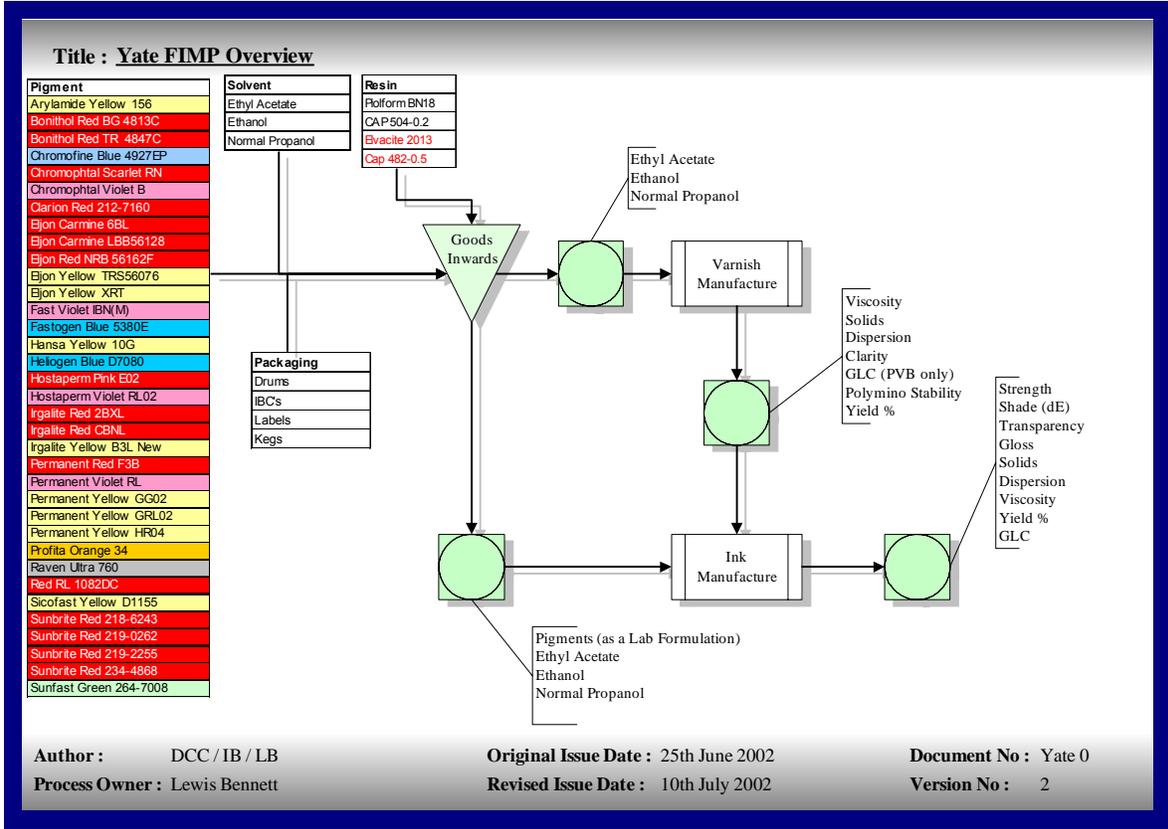
**SOP :** Procedimientos Estándares de Operación

**Críticas:** Variables de Entrada que se ha demostrado estadísticamente que tienen fuerte impacto en la variabilidad de las Variables de Salida

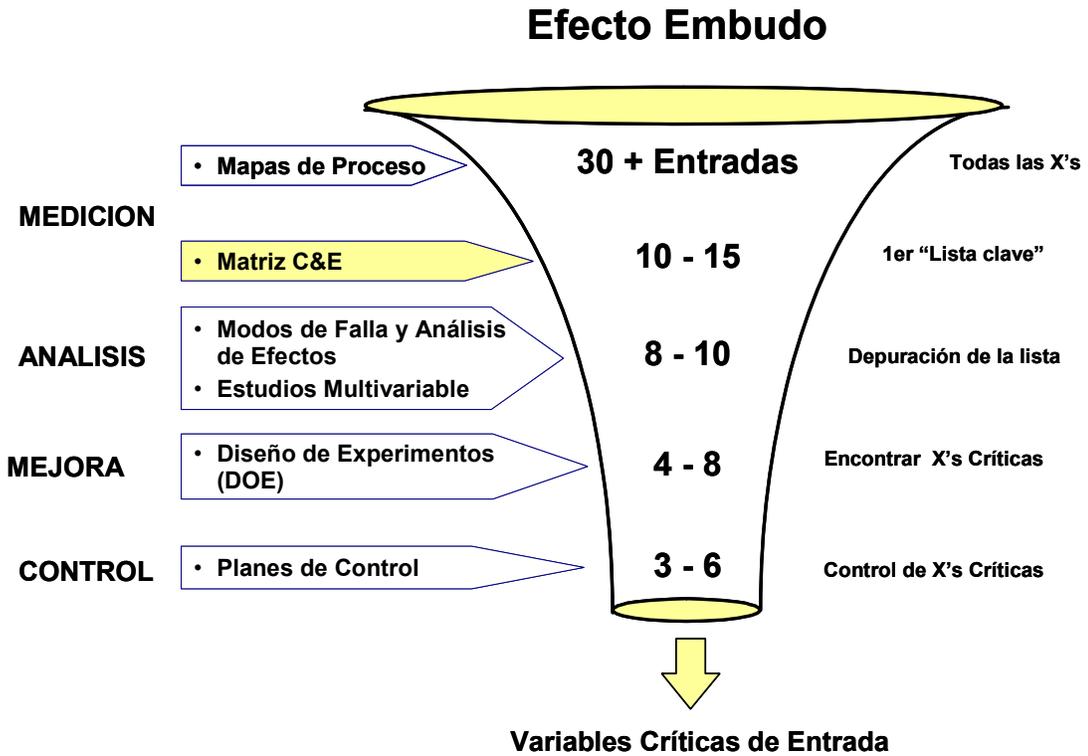
Finalmente tendremos una visión general del proceso con todas sus etapas y sus respectivas entradas, salidas y la clasificación de cada una de ellas. Veamos los siguientes ejemplos.

## Manufactura





**2.2.11 Matriz de causas y efectos (C&E Matrix)**



Es una matriz (basada en QFD) que enfatiza la importancia de la comprensión de los requerimientos del cliente, por medio de la cual podemos relacionar las variables de entrada con las variables de salida del Proceso (requerimientos del Cliente) haciendo uso del mapa del proceso como la principal fuente de información.

Las variables claves de salida del proceso son evaluadas en base a la importancia que tienen para el cliente y las variables de entrada del proceso son evaluadas en relación a la importancia con las variables claves de salida.

De esta manera nos vamos acercando a las variables clave de entrada del proceso (KPIV) y podemos empezar a desechar aquellas que no tienen mayor influencia en los las salidas. El resultado que buscamos básicamente consiste en un pareto de las variables de entrada del Proceso que serán evaluadas en el FMEA y los planes de control.

Además nos dará las entradas que vamos a estudiar en el estudio de Capacidad correspondiente a la fase de Medición. Los pasos generales que se deben seguir en el desarrollo de una matriz C&E son los siguientes:

1. Identificar los requerimientos clave del cliente (Salidas) del Mapa del Proceso.

		Rango de Importancia para el Cliente						
		1	2	3	4	5	6	7
		Viscosidad	Dureza	Drop point	Tam. Pellet	Produccion	Seguridad	Total
Paso del proceso	Entrada del proceso							
1								
8								
9								
10								

**1. Lista de las Variables de Salida del proceso**

Las salidas deben corresponder a las salidas definidas en el paso 1 del mapa de proceso.

2. Clasificar y asignar prioridad a cada Salida (generalmente se utiliza escala del 1 al 10)

		Importancia del Cliente	10	8	5	6	3	10	
			1	2	3	4	5	6	7
			Viscosidad	Dureza	Drop point	Tam.Pellet	Produccion	Seguridad	Total
Etapa del Proceso	Entradas								
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

Esta etapa debe incluir personal de otras áreas como son mercadotecnia, desarrollo del producto, manufactura, etc. De ser posible se recomienda que se incluyan representantes del cliente.

3. Identificar todos los pasos del proceso y materiales (entradas) del Mapa del Proceso

		Cause and Effect Matrix							
		10	8	5	6	3	10		
		1	2	3	4	5	6	7	
			Viscosidad	Dureza	Drop Point	Tam. Pellet	Produccion	Seguridad	Total
Etapa Proceso	Entrada Proceso								
1	Prep Alimen Tanq	Velocidad de Bombeo							
2	Prep Alimen Tanq	Mezclado							
3	Prep Alimen Tanq	Nivel CTA							
4	Prep Alimen Tanq	% de agua en CTA							
5	Prep Alimen Tanq	Nivel Init							
6	Prep Alimen Tanq	Calidad Init							
7	Prep Alimen Tanq	Reciclado Amt							
8	Polimerización	Grado Previo							
9	Polimerización	Temperatura							

Este paso utiliza directamente cada una de las entradas del proceso con sus respectivas etapas, se recomienda que se sigan las etapas del mapa paso a paso.

#### 4. Evaluar la correlación de cada entrada con cada salida

Ahora estás listo para relacionar los requerimientos del cliente con las variables de entrada del proceso. En general podemos encontrar varias formas de llevar a cabo dicha correlación, la siguiente propuesta puede aplicarse como ejemplo.

Primero hay que determinar los valores de correlación (no más de 4 valores)

0, 1, 3 y 5

0, 1, 3 y 9

Debido a que la asignación de los valores es lo que más toma tiempo, memoriza o elabora una tarjeta con el significado de cada valor.

0 = No existe Correlación

1 = La entrada del proceso solo afecta remotamente el requerimiento del cliente

3 = La entrada del proceso tiene un efecto moderado en el requerimiento del cliente

9 = La entrada del proceso tiene un efecto significativo y directo en el requerimiento del cliente

Finalmente debemos obtener una matriz similar a la similar a la siguiente tabla.

			Viscosidad	Dureza	Drop Point	Tam. Pellet	Produccion	Seguridad	Total
	Etapa Pr	Proceso	4. Relación de entradas y Salidas						
1	Prep Alimen Tanq	Velocidad de Bombeo	0	0	0	0	0	1	
2	Prep Alimen Tanq	Mezclado	0	1	1	1	0	0	
3	Prep Alimen Tanq	Nivel CTA	1	3	1	3	0	3	
4	Prep Alimen Tanq	% de agua en CTA	3	9	3	9	0	0	
5	Prep Alimen Tanq	Nivel Init	0	0	0	0	0	1	
6	Prep Alimen Tanq	Calidad Init	1	1	1	1	0	0	
7	Prep Alimen Tanq	Reciclado Amt	1	3	1	3	0	1	
8	Polimerización	Grado Previo	9	3	1	3	0	1	
9	Polimerización	Temperatura	9	9	9	9	0	9	
10	Polimerización	Presión	9	9	9	9	0	9	
11	Polimerización	Velocidad Alimentaci	9	9	3	9	0	9	
12	Polimerización	Calidad Alimentación	3	3	1	1	0	0	
13	Polimerización	% de agua en CTA	3	9	3	9	0	0	
14	Polimerización	Velocidad Mezclado	3	3	3	3	0	3	
15	Polimerización	Limpieza reactor	9	1	1	1	0	9	199
16	Polimerización	Operador	3	3	3	3	0	3	117

Este es un estimado subjetivo de la influencia de las Variables de Entrada del Proceso en las Variables de Salida, es por esto que se recomienda que la calificación sea dada por personal de diferentes áreas que conozcan el comportamiento del proceso, ya que los

resultados que obtengamos de esta matriz van a servir como punta de lanza para el proceso de mejora.

Obtener la suma de los productos del factor de prioridad, con los valores de correlación.

Donde;

- **Valor Bajo:** Cambios en la variable de entrada (cantidad, calidad, etc) tienen un mínimo efecto en la variable de salida
- **Valor Alto:** Cambios en la variable de entrada pueden afectar grandemente la variable de salida

Cause and Effect Matrix										
		Rango de importancia al cliente	10	8	5	6	3	10		
			1	2	3	4	5	6	7	
		5. Multiplicar en cruz y ver prioridad	Viscosidad	Dureza	Drop Point	Tam. Pellet	Produccion	Seguridad		Total
	Etapa Proceso	Entrada Proceso								
1	Prep Alimen Tanq	Velocidad de Bombeo	0	0	0	0	0	1		10
2	Prep Alimen Tanq	Mezclado	0	1	1	1	0	0		19
3	Prep Alimen Tanq	Nivel CTA	1	3	1	3	0	3		87
4	Prep Alimen Tanq	% de agua en CTA	3	9	3	9	0	0		171
5	Prep Alimen Tanq	Nivel Init	0	0	0	0	0	1		10
6	Prep Alimen Tanq	Calidad Init	1	1	1	1	0	0		29
7	Prep Alimen Tanq	Reciclado Amt	1	3	1	3	0	1		67
8	Polimerización	Grado Previo	9	3	1	3	0	1		147
9	Polimerización	Temperatura	9	9	9	9	0	9		351
10	Polimerización	Presión	9	9	9	9	0	9		351
11	Polimerización	Velocidad Alimentaci	9	9	3	9	0	9		321
12	Polimerización	Calidad Alimentación	3	3	1	1	0	0		65

Ahora comenzamos a visualizar cuales son las variables más importantes que contribuyen con la variación en las salidas, al ordenar los números de manera descendente obtenemos un pareto que nos va a permitir tomar decisiones concretas en la selección de variables de entrada críticas para el proceso y la evaluación de los planes de control para las mismas.

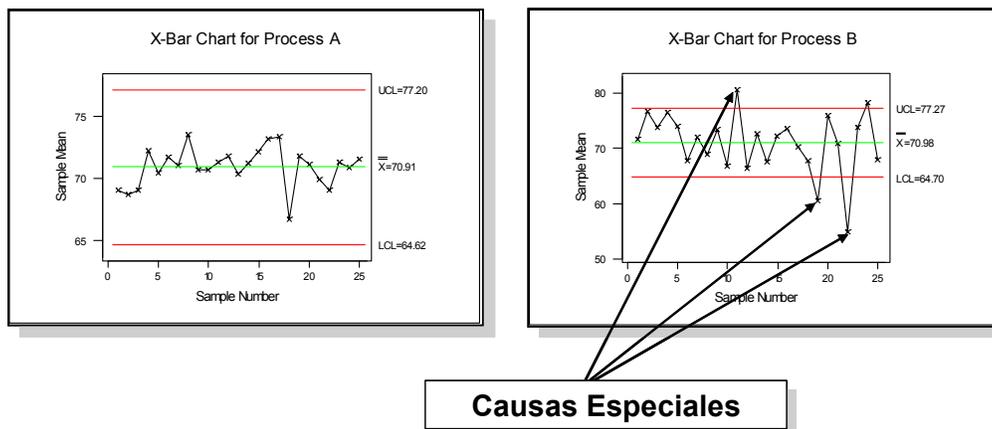
Una vez que hemos concretado la matriz de C&E estamos en posibilidades de comenzar a desarrollar el plan de control para las entradas de mayor rango de acuerdo al pareto.

La misma evaluación se debe desarrollar para las salidas de más alto rango (Requerimientos del cliente) esto ayuda a identificar “la fruta colgante” al comienzo de un Proyecto de Mejora de Procesos.



La Variación Controlada se caracteriza por un patrón de variación estable y consistente a lo largo del tiempo asociado con causas comunes. La variación No-Controlada se caracteriza por variaciones que presentan cambios a lo largo del tiempo asociado con causas especiales.

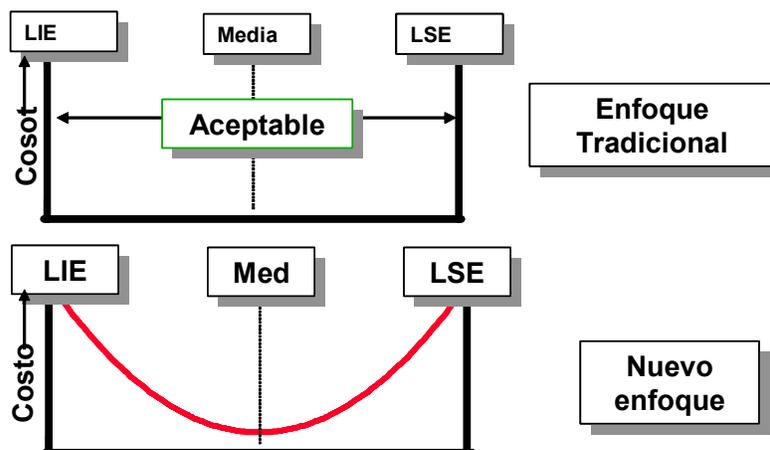
En el siguiente gráfico podemos ver que el proceso A muestra una variación controlada, mientras que el proceso B muestra una variación no-controlada.



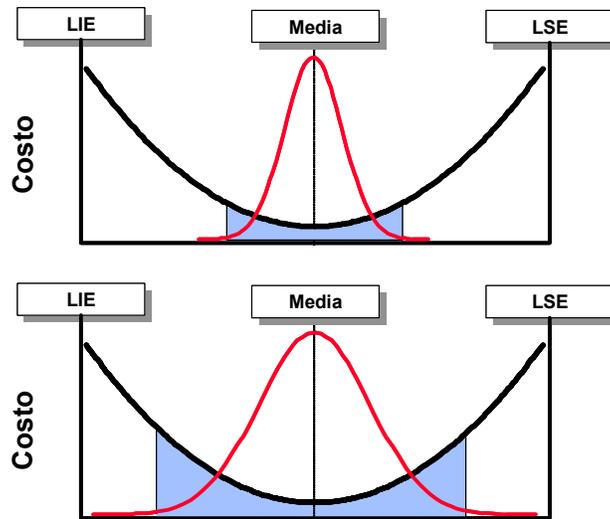
Si es un hecho que siempre vamos a ver variación en nuestros procesos, esto indica que debemos entender hasta que grado vamos a tolerar dicha variación.

Podemos tolerar dicha variación solo si:

- El proceso “se encuentra centrado en el objetivo”
- La variación total del proceso, es relativamente pequeña comparada con las especificaciones del proceso
- El proceso es estable a lo largo del tiempo

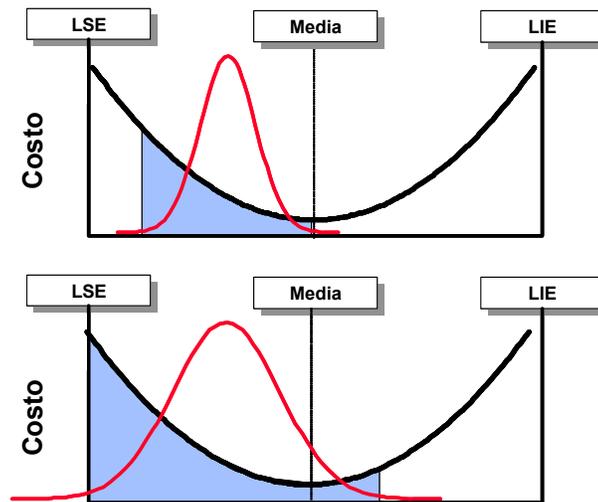


El nuevo enfoque donde estamos graficando el valor del costo, nos permite conocer el impacto que tiene la variación en el estado de resultados o utilidades de la empresa: Veamos el siguiente gráfico.



Si el proceso está trabajando centrado en el objetivo y la variación es pequeña con respecto a las especificaciones, los costos también descenden al máximo (área sombreada).

Sin embargo si tenemos el proceso centrado en el objetivo, pero la variación es alta, los costos se verán incrementados.



Como vemos en el gráfico anterior, a medida que nos alejamos del objetivo y la variación aumenta, los costos se verán incrementados.

Por lo anterior nuestra tarea consiste en:

- Determinar si el proceso es estable. Si el proceso no se encuentra estable, identificar y remover las causas de inestabilidad.
- Determinar la localización de la media del proceso ¿Se encuentra “en el objetivo”? Si no, identificar las variables que afectan la media y determinar los estados óptimos a fin de alcanzar el valor objetivo.
- Estimar la magnitud de la variabilidad total, ¿Es aceptable con respecto a los requerimientos del cliente (límites de especificación)? Si no, identificar las fuentes de variabilidad y eliminar ó reducir su influencia en el proceso.

Tomando en cuenta estas premisas ahora vamos a analizar la estadística básica que nos ayudara en este proceso.

### **a) Tipos de Datos**

Todos los procesos generan información que nos va a permitir medir el desempeño de dicho proceso, de manera general nos vamos a encontrar con dos tipos de datos, lo que se conoce como datos atributos (cualitativos) y datos continuos (cuantitativos).

Los datos por atributos son información cualitativa, de apreciación y generalmente NO nos dan un número con decimales, como pueden ser: bueno/malo, mezclador 1 / mezclador 2/ mezclador 3, turnos, categorías (ej. Grado de producto)

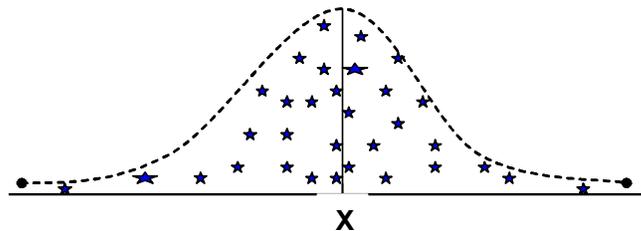
Los datos continuos son información cuantitativa que se presenta en un número con subdivisiones decimales como son: Tiempo (segundos), Presión (Psi), Velocidad (mt/min), flujo (gal/min), etc.

De acuerdo al tipo de datos con los que contemos será la herramienta estadística que utilizaremos en el análisis de los mismos, existen una gran variedad de técnicas para cubrir todas las combinaciones de datos.

		Salidas	
		Atributos	Continuos
Entradas	Atributos	Chi-cuadrada	Análisis de Varianza
	Continuos	Análisis Discriminante Regresión Logística	Correlación Regresión Múltiple

## b) Medidas de Tendencia Central de los Datos

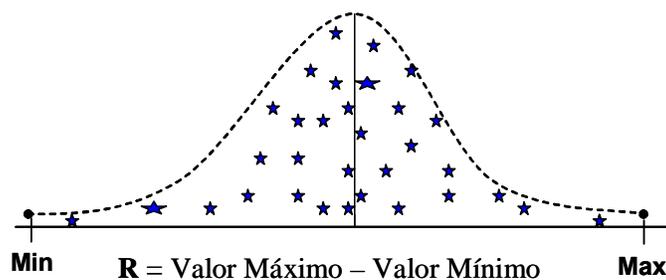
- **Media.** Se refiere al promedio aritmético de un grupo de valores. En general la media refleja la influencia de todos los valores, pero influenciada por lo valores extremos.



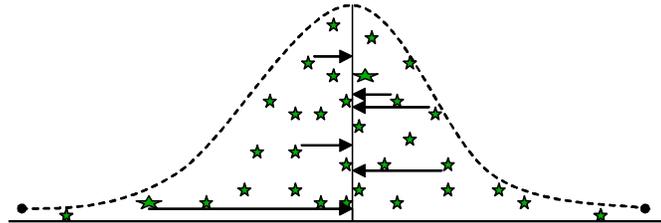
- **Mediana.** Refleja la clasificación del 50% - el número central de un grupo de números que han sido ordenados. No necesariamente incluye todos los valores en el cálculo y es robusta con los valores extremos, por esta razón en el desarrollo de los proceso de mejora siempre debemos utilizar la media como media de referencia.

## Medidas de Dispersión de Datos

**Rango.** Es la distancia entre los valores extremos de un grupo de datos (Mayor - Menor)



- **Varianza ( $\sigma^2$ ):** Es la desviación cuadrada promedio de cada punto con respecto a la media.
- **Desviación Estándar ( $\sigma$ ):** Raíz Cuadrada de la Varianza



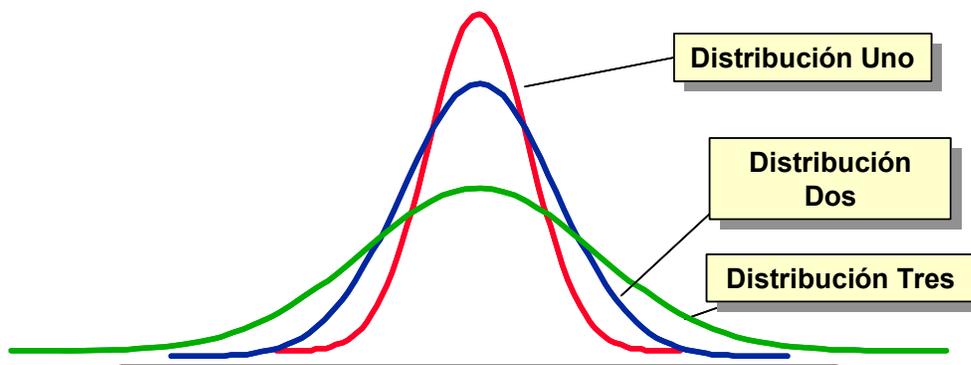
La desviación estándar es la medida de variación más común y útil que vamos a encontrar, debido a que nos indica como se está comportando el proceso con respecto a las especificaciones del cliente.

### c) La Distribución normal

La Distribución “Normal” es una distribución de datos que poseen ciertas propiedades consistentes. Estas propiedades son muy útiles en la comprensión de las características del proceso en cuestión del cual se obtuvieron los datos. Muchos fenómenos naturales y procesos artificiales poseen una distribución normal, ó pueden ser representados como distribuidos normalmente.

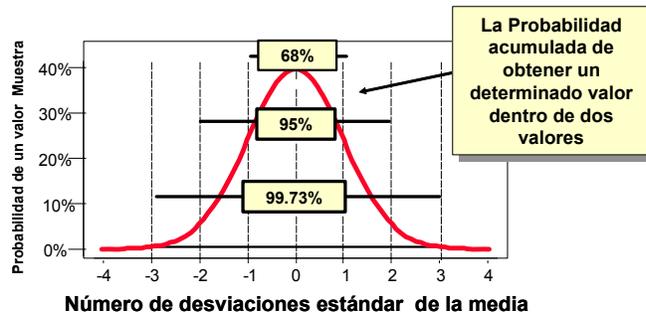
La distribución normal tiene dos propiedades con las cuales podemos interpretar la forma de la curva:

**Propiedad 1:** Una distribución normal puede ser descrita completamente conociendo solo la: Media y la desviación estándar.



En el gráfico anterior podemos ver tres curvas que representan diferentes procesos. A pesar de que los tres procesos tienen una media similar, la variabilidad que presentan es diferente en cada uno de ellos, la magnitud de esta diferencia la encontramos en la desviación estándar.

**Propiedad 2:** El área debajo de las secciones de la curva pueden ser utilizadas para estimar la probabilidad acumulada de que cierto “evento” ocurra. Ver gráfico siguiente.



De esta manera podemos ver que a tres desviaciones estándar de cada lado de la media vamos a tener la probabilidad de que el 99.73% de los eventos ocurran dentro de esta área.

Las reglas de probabilidad acumulada anteriores se aplican incluso cuando un set de datos no se encuentra distribuido normalmente

En el siguiente cuadro podemos comparar los valores para una distribución normal teórica (perfecta) con los de una distribución empírica (mundo real).

Número de Desviaciones Estándar	Normal Teórica	Normal Empírica
+/- 1 $\sigma$	68%	60-75%
+/- 2 $\sigma$	95%	90-98%
+/- 3 $\sigma$	99.7%	99-100%

### 2.2.13 Uso de los Gráficos

Una herramienta muy útil en el desarrollo de los proyectos es el uso de las gráficas, debido a que nos ayudan a entender la naturaleza de la variación, permiten el análisis de los datos de una manera accesible a la mente humana, nos ayudan a dar un despliegue del contexto de los datos

Los gráficos deben ser una herramienta principal en las presentaciones de análisis de datos, recuerda que “si no podemos mostrarlo gráficamente, probablemente no tenemos una buena conclusión”. Los gráficos nos ayudan a diferenciar el ruido del proceso con una señal del proceso

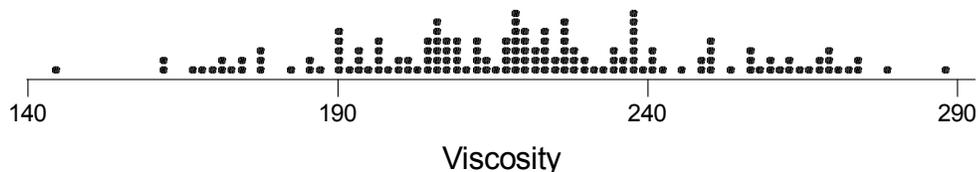
Podemos describir el comportamiento de cualquier característica medible graficando datos múltiples de alguna variable como puede ser tiempo extra, variación de los productos, etc. La acumulación de estos datos pueden ser visto como una distribución de valores

Los datos pueden ser representados por:

- Gráficos de puntos
- Histogramas
- Curva normal u otra distribución “suavizada”

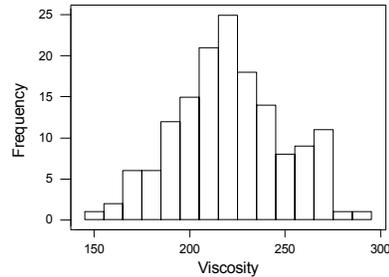
#### a) Gráfica de puntos

Imagina una planta de manufactura de resina que ha sido diseñada para producir resina con una viscosidad de 210. La viscosidad actual es medida 150 veces y graficada arriba. Cada punto representa la medida de un “Evento” para un valor dado de viscosidad. Conforme se acumulan los puntos el desempeño actual de la planta puede apreciarse como una “Distribución” de valores de viscosidad.



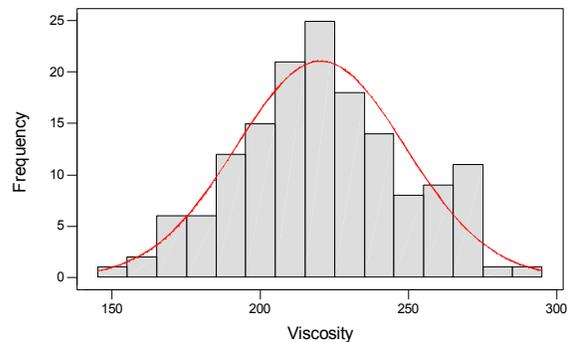
## b) Gráfica de Histograma

Ahora imagina los mismos datos, agrupados dentro de “intervalos” con el número de datos de tiempo que caen dentro de un intervalo determinado a la altura de la barra del intervalo.



## c) Distribución Suavizada

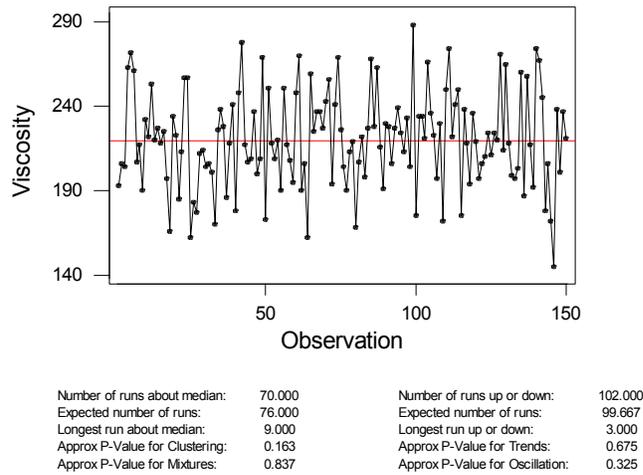
Finalmente, nosotros podemos ver los datos como una distribución suavizada (línea roja), en este ejemplo se asume “la distribución normal”. Proporciona una aproximación de cómo se verían los datos si nosotros coleccionamos un número infinito de puntos.



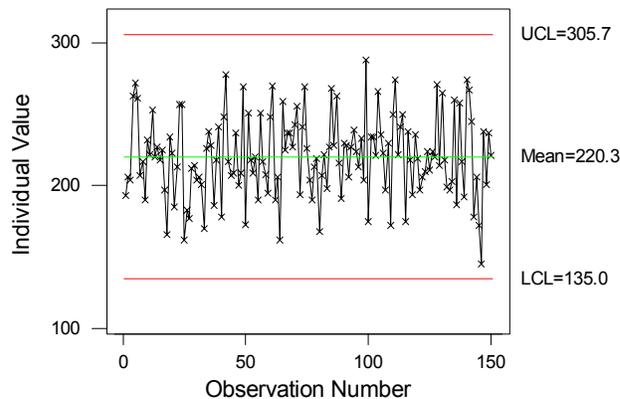
## d) Series de Datos

Hasta el momento hemos visto los datos abultados, sin embargo hay otros caminos para el análisis de los datos sobre el tiempo como son las gráficas de corrida y las gráficas de individuales.

La gráfica de corrida aplica una estadística inicial para el diagnóstico de la serie de datos



Una grafica de datos individuales parece a una gráfica de corrida pero ahora se aplican algunos límites de control a los datos del proceso.



Hemos visto hasta ahora todos los datos juntos, dándonos una visión de la forma y tendencias de los datos. Sin embargo, nosotros todavía no hemos buscado el por qué los datos pueden llegar a tener esa forma en la que aparecen

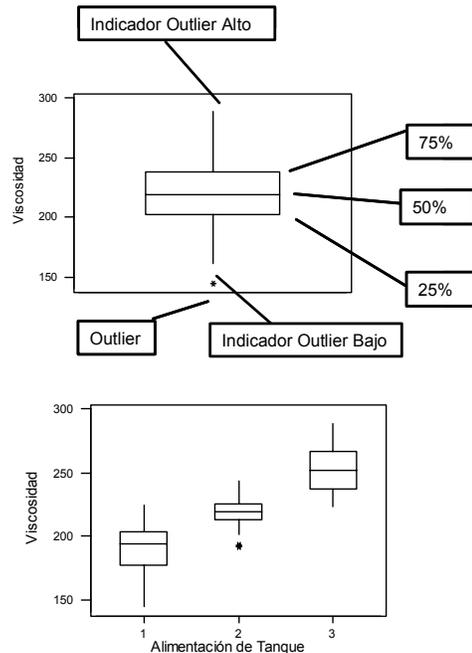
Podemos utilizar algunas otras técnicas gráficas para comenzar a buscar las razones del por qué.

### e) Diagramas de Bloque

Los diagramas de bloques nos permiten observar de manera más sencilla la diferencia en las distribuciones, muestran la distribución y centro de los datos.

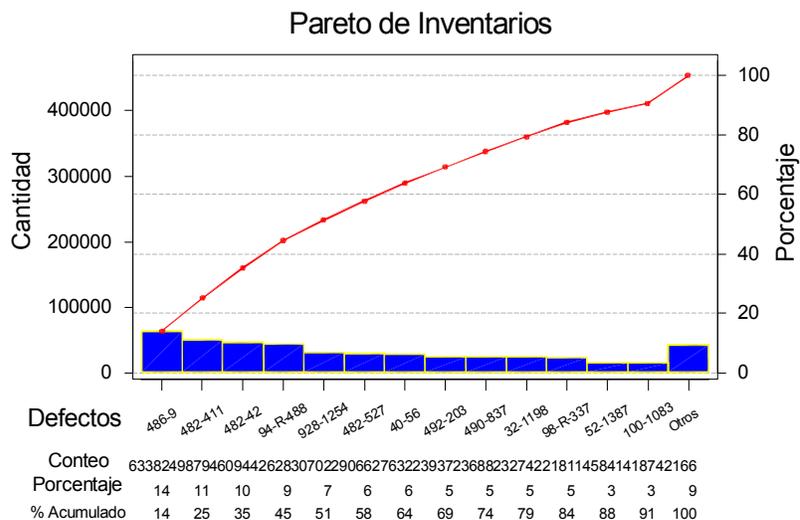
**¡TENGA CUIDADO!**

El centro del diagrama de bloques es la **MEDIANA**, no la **MEDIA**



### f) Diagramas de Pareto

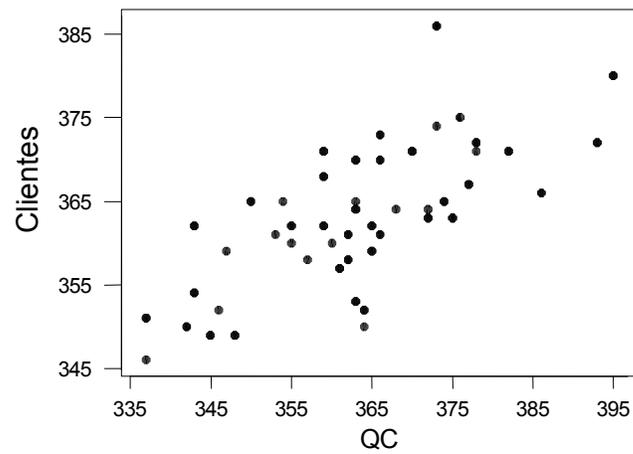
Los diagramas de Pareto son una herramienta esencial para asignar prioridad a los objetivos de mejora. Básicamente su esencia radica en que nos permite enfocar el 20% de los problemas que causan 80% de la actuación pobre.



### g) Diagramas de Dispersión

El diagrama de dispersión es para estudiar la relación entre dos variables

Miremos un ejemplo donde el Cliente y los técnicos de QC comparan sus medidas del nivel de la contaminación del Acetato en el producto



## 2.2.14 Análisis del Sistema de Medición (MSA)

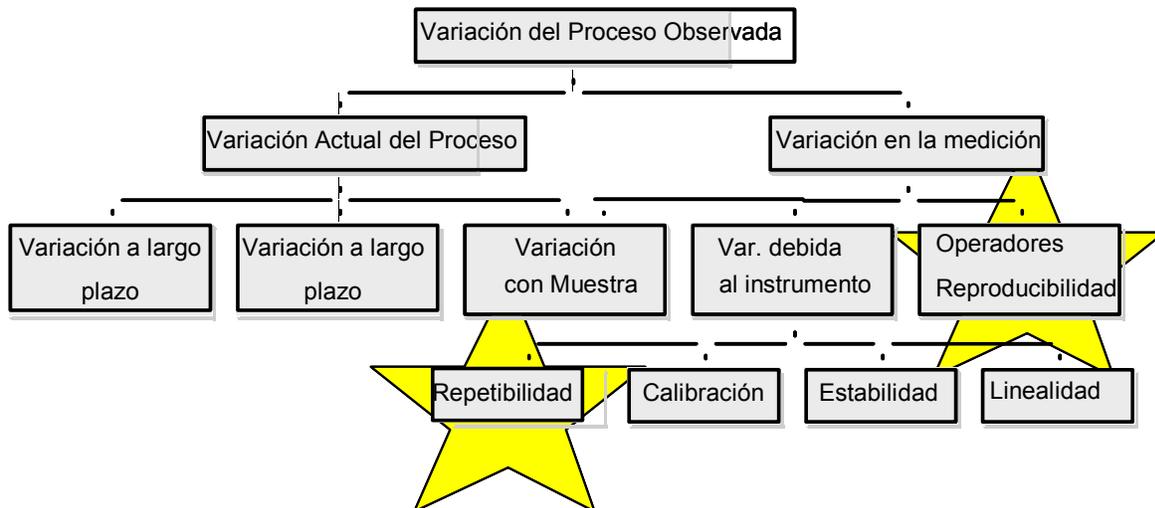
### a) Resumen

La finalidad de validar nuestro sistema de medición es para estar seguros que obtenemos mediciones “verdaderas” de nuestros dispositivos de medición.

La calidad de un sistema de medición se puede caracterizar por sus propiedades estadísticas como son:

- Estar bajo control estadístico
- Baja variabilidad
- La discriminación deberá ser un décimo de la especificación del producto.

Para poder tratar la variabilidad actual del proceso, primero la variación debida al sistema de medición debe de ser identificada y separada de la variación del proceso. Veamos el siguiente gráfico.



Vamos a ver la "repetibilidad" y la "reproducibilidad" como causas primarias del error en la medición.

La variación total en un proceso es igual a la variación del producto actual más la variación debida al sistema de medición. La siguiente ecuación básica especifica el concepto.

$$\sigma_{\text{Total}}^2 = \sigma_{\text{Producto}}^2 + \sigma_{\text{SistemaMedicion}}^2$$

Existen dos componentes claves en el proceso de medición:

**Herramientas de medición:**

- Hardware
- Software

**Todos los procedimientos para el uso de las Herramientas:**

- Los operadores
- Procedimiento de montaje y manejo
- Cálculos “fuera de línea”, procesos analíticos e inserción de datos
- Frecuencia y método de calibración

Las fuentes de variación de nuestro sistema de medición pueden venir básicamente de:

**Herramienta o dispositivo a utilizar.** La herramienta puede tener inestabilidad mecánica, uso indebido o exceso de uso, inestabilidad electrónica o inestabilidad del algoritmo.

**Métodos de trabajo.** Pueden estar relacionados con la facilidad de insertar los datos, adiestramiento del operador, frecuencia de calibración, normas de mantenimiento, técnicas del operador, etc.

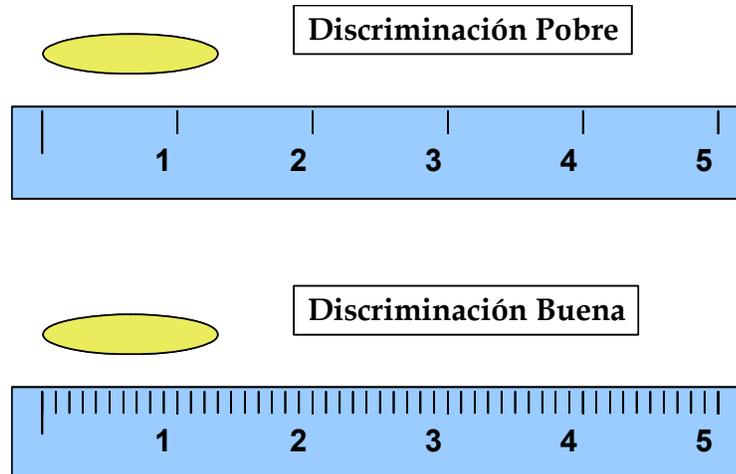
**Medio ambiente.** Como puede ser la temperatura, humedad, vibraciones, etc.

Básicamente la información que tratamos de obtener mediante un análisis de MSA es saber que tan grande es el error de medición, así como las fuentes que están causando este error en la medición y la manera como podemos mejorarlo. Por otro lado también nos interesa saber si la herramienta es estable a través del tiempo y si la herramienta es capaz de darnos mediciones confiables para el estudio que estamos realizando.

## b) Términos a evaluar en este capítulo

### Discriminación

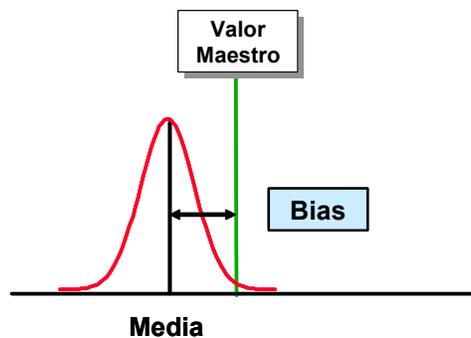
Se refiere al número de puntos decimales que pueden ser medidos por el sistema. Los incrementos de medición deben de ser aproximadamente un décimo del ancho de las especificaciones del producto o la variación del proceso. Veamos el siguiente gráfico.



## c) Términos Relacionados con la Exactitud

### Valor Real

La exactitud del instrumento es la diferencia entre la media del valor observado de las mediciones y el valor maestro o valor "real". El valor maestro es un estándar aceptado de referencia.



## Bias (Error o sesgo)

La diferencia entre el error maestro y la media del proceso se conoce como Bias y se refiere al error que presenta nuestro dispositivo con respecto al valor maestro.

## c) Términos Relacionados con la Precisión

### Repetibilidad

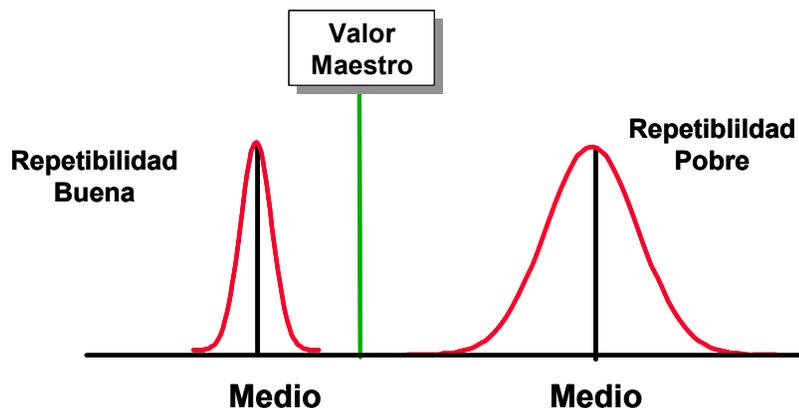
Se refiere a la *variabilidad intrínseca* del sistema de medición, es la variación que ocurre cuando las mediciones repetitivas son efectuadas en la misma característica bajo condiciones similares

- El mismo operador
- La misma preparación
- Las mismas unidades
- La misma condición ambiental
- A corto plazo

Estimado por la desviación estándar (ponderada) de la distribución de mediciones repetitivas

La repetibilidad es siempre menor que la variación total del sistema. *Es la variación debida al instrumento de medición.*

La variación entre mediciones sucesivas, de la misma pieza, con las mismas características, por la misma persona, usando el mismo instrumento. Es conocido también como test - retest error; usado como una estimación de variación a corto plazo.



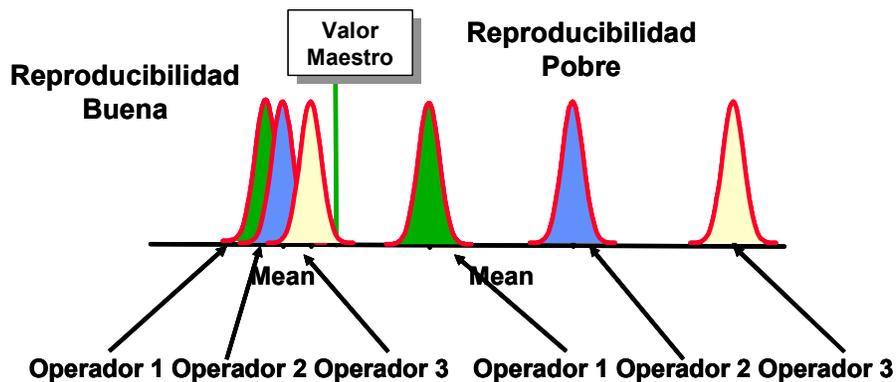
## Reproducibilidad

Es la variación que resulta cuando condiciones diferentes son usadas para tomar las mediciones:

- Operadores diferentes
- Preparación diferente (Set-ups)
- Diferente unidad de prueba
- Condiciones ambientales diferentes
- A largo plazo

Estimado por la desviación estándar de los promedios de las mediciones de diferentes condiciones de medición. *Es la variación debido a los operadores.*

La diferencia en la media de las mediciones tomadas por personas diferentes que usan el mismo instrumento o diferente cuando se mide una característica idéntica.



### d) Indicador %R&R

El %R&R es el mejor métrico para el líder del mejoramiento del proceso. Estima si el sistema de medición funciona bien con respecto a la variación total del proceso.

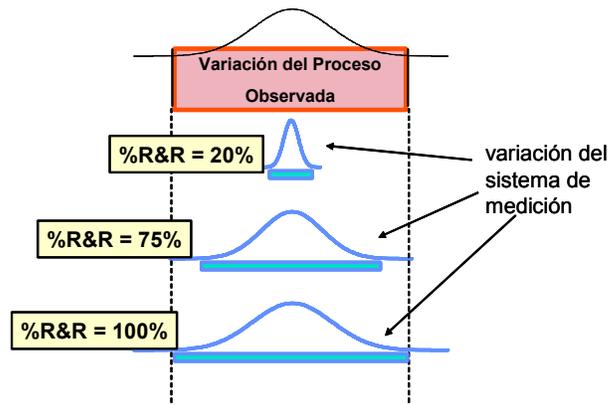
El %R&R les da la mejor estimación en la ejecución de los estudios de mejoramiento de proceso.

Se refiere a que porcentaje de la Variación Total está tomado por error de medición, incluye repetibilidad y reproducibilidad

## Operador x Unidad x Experimento de Prueba

$$\% R\&R = \frac{\sigma_{MS}}{\sigma_{Total}} \times 100$$

Como podemos ver en la siguiente ilustración el valor de %R&R nos indica en que grado esta contribuyendo la variación del sistema de medición en la variación total de proceso. A meta que se persigue es un valor menor a 30%.



### e) Índice de capacidad de medición – P/T

También se le conoce como relación de la precisión a la tolerancia

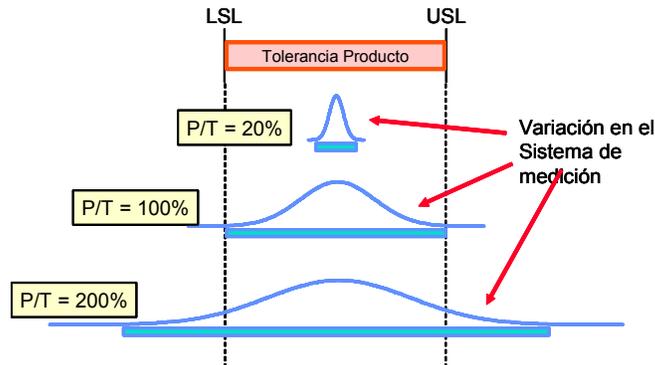
$$\% P/T = \frac{5.15 * \sigma_{MS}}{Tolerance} \times 100$$

Se refiere a que porcentaje de la tolerancia esta tomado por errores de medición. Incluye repetibilidad y reproducibilidad.

La relación P/T (% Tolerance en Minitab) es la estimación más común de la precisión del sistema de medición.

Esta estimación puede ser apropiada para evaluar como funciona el sistema de medición con respecto a las especificaciones. Las especificaciones, pueden ser muy apretadas o muy holgadas

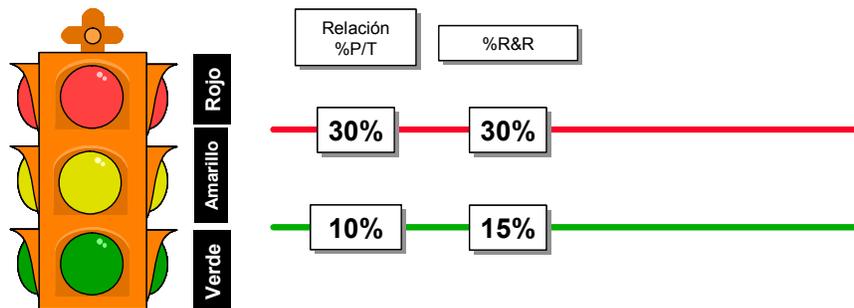
Generalmente la relación P/T es una buena estimación cuando se usa el sistema de medición solamente para clasificar las muestras de producción.



Lo que buscamos en Six Sigma es un valor menor a 30%.

Mientras más grande sea el error de la Medición más drástico será el impacto en la habilidad de entender la verdadera capacidad del proceso.

De manera general podemos tomar los siguientes valores como referencia al hacer nuestros estudios MSA.



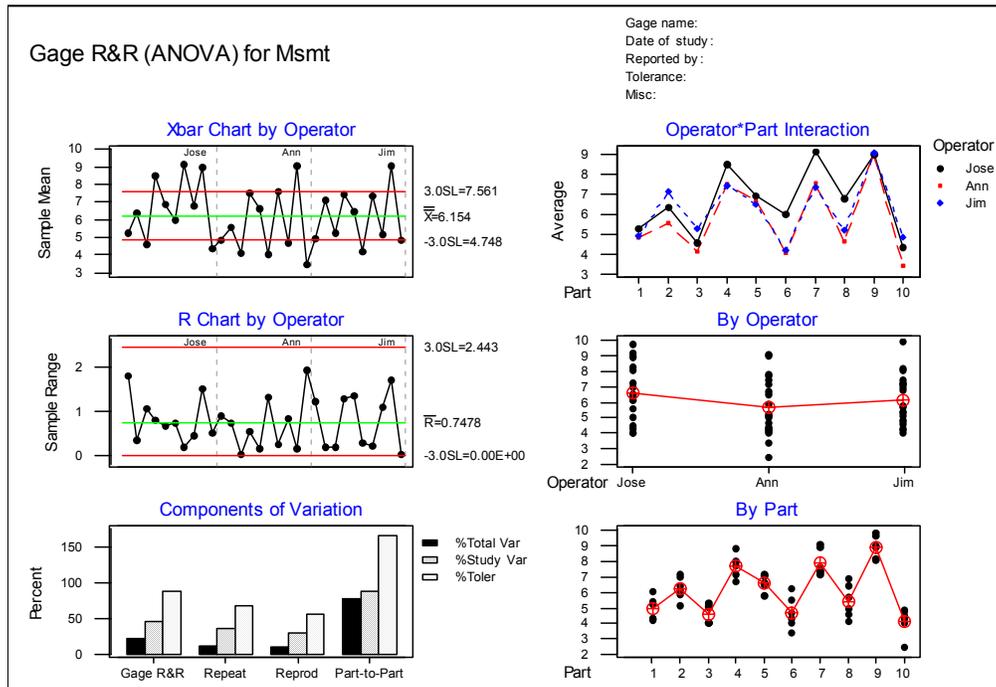
Una tabla de resultados típicos de algún software de estadística nos mostraría resultados similares a las siguientes tablas.

Source	%Contribution	%Study Var	%Tolerance
Total Gage R&R	21.92	46.82	88.61
Repeatability	12.83	35.81	67.78
Reproducibility	9.09	30.16	57.07
Operator	5.54	23.53	44.53
Operator*Part	3.56	18.86	35.69
Part-To-Part	78.08	88.36	167.23
Total Variation	100.00	100.00	189.26

Number of Distinct Categories = 3

MTB >

La tabla nos muestra los valores de %Study Var (%R&R) y el valor de %Tolerance (%P/T) ambos resultados están por encima de un 30%, lo que nos está indicando que la variación debida al sistema de medición es alta y debemos tomar acciones para disminuir dicha variación.



Por otro lado este gráfico de ANOVA nos indica como se comporta la variación un poco más a detalle de cada uno de los operadores. En el cuadro de “Operator\*Part Interaction” vemos la variación entre los diferentes operadores.

Los valores de repetibilidad y reproducibilidad están en el cuadro “Components of variation” los cuales son muy altos (mayor a 30%), esto indica que tanto el equipo como los operadores tienen una alta variación que está contribuyendo a la variación total del sistema de manera significativa.

## **f) Recomendaciones para un estudio MSA**

- Es importante analizar los Sistemas de medición ANTES de empezar cualquier actividad de Mejoramiento de Proceso
- Cuidado en seleccionar las muestras - verifiquen que estén correctamente clasificadas en subgrupos y que las muestras se midan según sean requeridas.
- Analizar el sistema de medición para los efectos de los operadores, Partes y Pruebas.
- Verificar que el sistema “gage” tenga suficiente discriminación para ser útil en el establecimiento de los diferentes niveles del atributo medido
- Siempre crear un Informe “GR&R Report” para anotar los resultados de los estudios, los métodos y las oportunidades de mejoramiento
- La Variación Total incluye error de medición - Tratar de minimizar el error controlable en el sistema de medición “gage”

# Etapa de Analizar

## 2.2.15 Objetivo

La etapa de analizar tiene gran importancia ya que en esta etapa analizamos las oportunidades para corregir los problemas.

Identificamos y validamos las causas raíz que aseguren la eliminación del problema en el cual se esta enfocando el equipo.

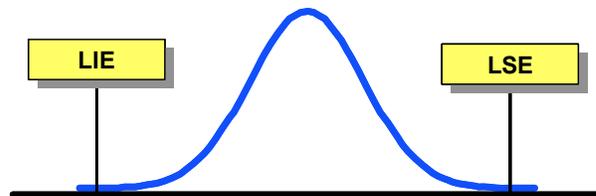
Para determinar fuentes de variación reales y modos de falla potenciales que pudieran llevarnos a una insatisfacción del cliente.

## 2.2.16 Análisis de Capacidad

Continuamente recolectamos datos de nuestro proceso y nos preguntamos:

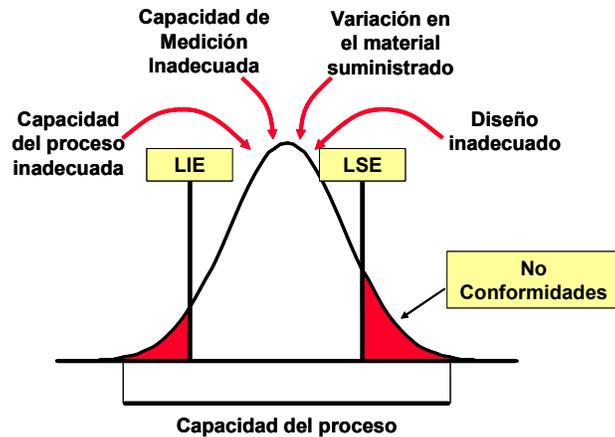
“¿Será capaz de tener una producción sin defectos?”

La recolección y análisis de datos son conocidos como “Un Estudio de Capacidad”.



Los análisis de capacidad aplican para todo tipo de proceso, lo importante es tomar en cuenta los tipos de datos con los que contamos ya que un proceso que genera datos continuos podrá ser analizado a través de indicadores como Cp, Cpk, Pp o Ppk. Por otro lado un proceso que genera datos por atributos deberá ser analizado con indicadores como DPU, PPM, etc.

Ya hemos analizado las causas por las cuales tenemos variación en los procesos, lo importante ahora es mencionar que esta variación provoca defectos que tendrán un impacto directo en la satisfacción del clientela sea interno o externo.

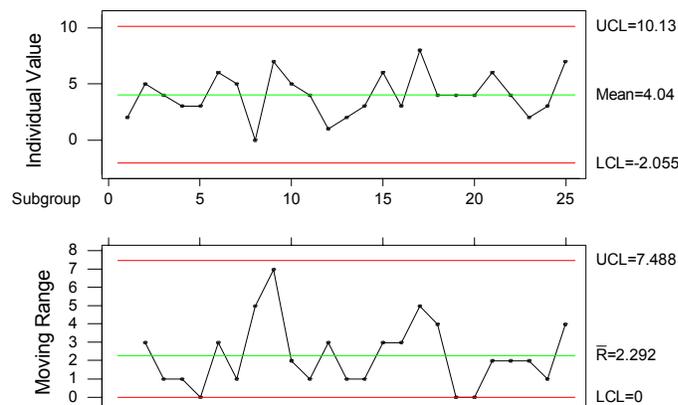


Para poder determinar cual es el estado inicial de nuestro proceso, debemos entender el desempeño actual de nuestro proceso, para esto seguiremos dos perspectivas:

- Estabilidad del Proceso
- Capacidad del Proceso

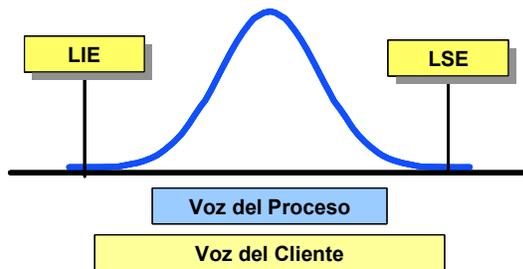
Para establecer estabilidad, mediremos el proceso a través del tiempo por medio de gráficos de control. Una herramienta estándar dentro de las gráficas de control es la de control por Individuales.

Lo que buscamos con estas gráficas es saber si el proceso se está comportando consistentemente a través del tiempo, lo que básicamente significa que el proceso se mantenga dentro de los límites de control estadísticos, permanezca centrado en el objetivo y los datos no presenten algún comportamiento extraño. Veamos el siguiente ejemplo.



## 2.2.17 Capacidad de Proceso

La capacidad del proceso nos va a permitir saber cuanto material esta fuera de especificaciones en el corto o largo plazo, a través de relacionar la voz del cliente con la voz del proceso. Consideremos el siguiente gráfico:

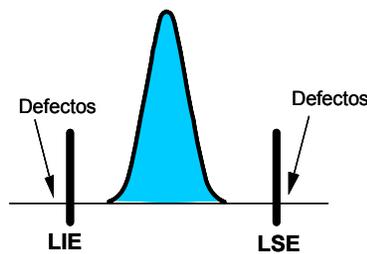


La voz del cliente se refiere a las especificaciones que define el cliente del proceso, el cual puede ser externo o interno. Son los límites dentro de los cuales el proceso puede dar resultados sin tener generar algún defecto o inconformidad.

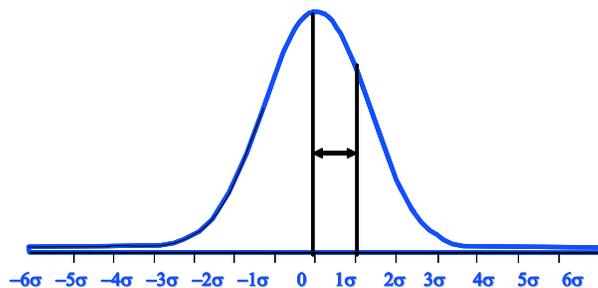
La voz del proceso es el resultado de la recolección de datos en un período de tiempo, que nos indica la variabilidad que existe en el proceso.

Por lo tanto la estrategia que debemos seguir en un estudio de capacidad es muy sencilla.

1. Centrar el proceso en el objetivo (especificaciones)
2. Reducir la variación que tiene el proceso a modo de disminuir el ancho de la curva.



Sabemos que a tres desviaciones estándar de cada lado de la media vamos a encontrar el 99.73 % de todas nuestras mediciones.



Por lo anterior la voz del proceso la podemos medir como el ancho de la curva, lo que se traduce en  $\pm 3$  veces la desviación estándar.

El ancho de la especificación se refiere al rango entre el límite de especificación superior y el límite de especificación inferior. Por lo tanto una formula sencilla para calcular el Cp de un proceso puede ser de la siguiente manera.

$$C_p = \frac{\text{ancho de la Spec. (cochera)}}{\text{ancho del proceso (coche)}} = \frac{USL - LSL}{\pm 3\sigma}$$

$$C_p = \frac{\text{Voz del Cliente}}{\text{Voz del Proceso}}$$

Por suerte los estadísticos ya han desarrollado métricos clave para medir la capacidad, dichos métricos se establecen de la siguiente manera.

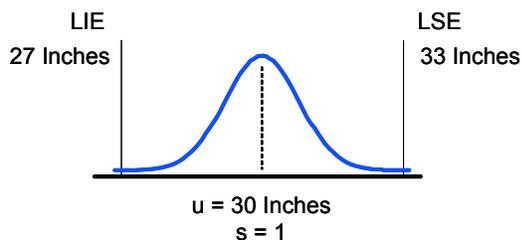
$$C_p = \frac{|\text{LSE} - \text{LIE}|}{6s}$$

$$C_{pk} = \text{Mín}\left(\frac{\bar{X} - \text{LIE}}{3s}, \frac{\text{LSE} - \bar{X}}{3s}\right)$$

Vamos a ver algunos ejemplos de cómo se representa la capacidad de un proceso:

**Caso 1:** Consideremos un proceso cuyos límites de especificación están entre 27 y 33 pulgadas, la media es de 30 pulgadas con una desviación estándar de 1.

Al hacer el estudio de capacidad los resultados son:



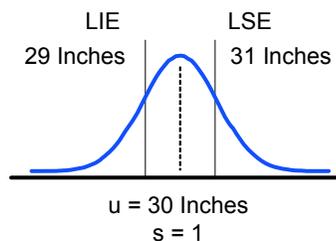
$C_p = 1$   
 Nivel de sigma = 3  
 Promedio = 30  
 Desviación estándar = 1

Gráficamente lo que nos están diciendo estos resultados es que el proceso tiene una capacidad justa para cumplir con los requerimientos de los clientes. Sin embargo es muy importante recordar que los procesos son dinámicos y se mantienen en constante moviendo, lo que podría generar una alta probabilidad de tener defectos en el proceso. Al tener un nivel de sigma de 3 nos esta indicando que el proceso esta generando aproximadamente 66,000 defectos por cada millón de productos.

No es conveniente trabajar un proceso en este nivel, sería bueno buscar la manera de aumentar el valor de Cp.

**Caso 2:** En este caso los límites de especificación se han cerrado con la intención de ilustrar la manera como un proceso que mantiene el mismo desempeño ( $\sigma=1$ ) puede generar defectos en base a los límites de especificación que marque el cliente. Este caso es común en la industria ya que algunos clientes por diferentes motivos solicitan cambios en sus especificaciones y en muchos casos estos cambios son especificaciones más cerradas que exigen más al desempeño del proceso.

Los resultados de los estudios de capacidad son:

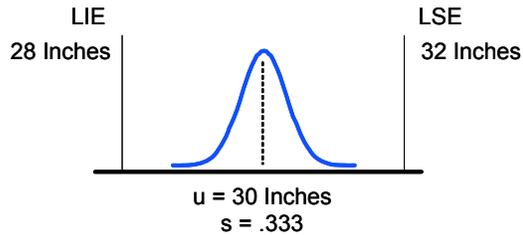


Cp = 0.3  
Nivel de sigma = 1  
Promedio = 30  
Desviación estándar = 1

Podemos ver como ahora el proceso está generando una gran cantidad de defectos que se reflejan por el nivel de sigma de 1 y el valor de Cp=0.33.

**Caso 3.** Este es el caso ideal que quisiéramos encontrar en todos nuestros procesos. Debido a que la variabilidad del proceso (Ancho de la campana) es mucho menor que el ancho de las especificaciones, lo cual nos permite tener cierto rango de movimiento en el proceso, sin que esto llegue a generar defectos.

Un proceso de este tipo tendría los siguientes resultados:



$C_p = 2.0$   
Nivel de sigma = 6  
Promedio = 30  
Desviación estándar = 1

Nivel de sigma igual a 6 significa 2.4 defectos por cada millón de productos manufacturados, lo que indica que el proceso esta siendo operado en niveles prácticamente de cero defectos.

## 2.2.18 Tipos de Índices de Capacidad

### Capacidad Instantánea:

Se refiere a la capacidad de un proceso en un período muy corto de tiempo. Esta capacidad debería representar el mejor desempeño del que un proceso es capaz en un período corto de tiempo y ser un estimado cercano al óptimo del proceso.

Puede estimarse usando la “mejor corrida” de un estudio a largo o a corto plazo.

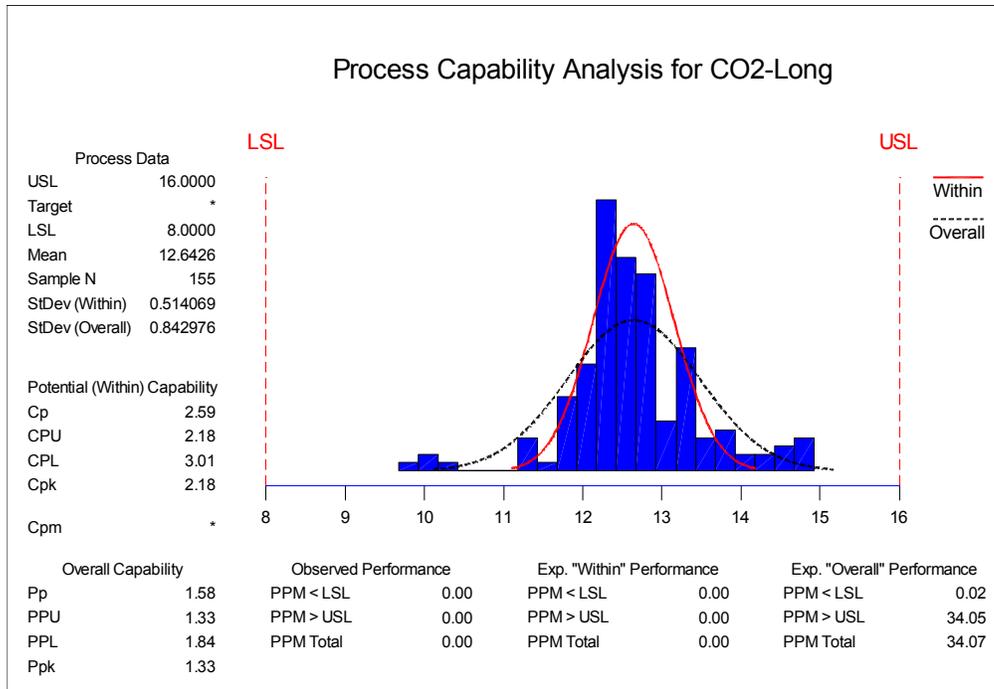
### Capacidad a corto plazo:

Estudio de capacidad basado en 30 a 50 datos

### Capacidad a largo plazo:

Estudio de capacidad basado en un número mayor de datos puntuales. Por mucho es la mejor estimación de la capacidad real del proceso ya que nos permite hacer un diagnóstico muy confiable a partir de estos datos.

Existen una gran variedad de programas con los cuales podemos llevar a cabo estudios de capacidad, en general la presentación de los resultados se vera de la siguiente manera:



## 2.2.19 Capacidad con datos por atributos

Sin embargo no siempre contamos con datos continuos para llevar a cabo los estudios de capacidad por medio de métricos como el Cp. En los casos en los que los datos son atributos (pasa/falla, turno, etc) las herramientas a utilizar para medir la capacidad son distintas y se basan en el conteo de los defectos encontrados contra la cantidad de productos inspeccionados.

Para estos casos en los que solo se cuenta con datos por atributos existe una regla de dedo para determinar el conteo por oportunidad:

- 1 oportunidad de obtener la parte correcta (conforme a los requisitos)
- 1 oportunidad para usarla correctamente en la manufactura del producto
- 1 oportunidad para su correcto funcionamiento en el producto final

De esta manera podemos determinar los defectos por unidad (DPU).

Los defectos por unidad son una medición para determinar que tipo de defecto está creando la pérdida más grande en el rendimiento real (RTY). Básicamente lo que hacemos es contar todos los defectos (errores) individuales de cada unidad.

$$DPU = \frac{\text{Numero de defectos encontrados}}{\text{Numero de Piezas inspeccionadas}}$$

Pero también contamos con un métrico importante llamado Defectos por Millón de Productos (DPMO) que se refiere a la medición de capacidad usada para calcular el nivel de Sigma del proceso, esta medición toma en cuenta la complejidad del proceso.

DPMO nos permite comparar procesos y productos de diferente naturaleza.

$$DPMO = \frac{DPU}{\# \text{ de } O} \times 1,000,000$$

**O = Oportunidades**

El término **Oportunidades** se refiere al número de veces que se pudiese ocasionar un defecto en un proceso o una transacción (El número de oportunidades es en ocasiones difícil de identificar con sólo contarlas).

Es necesario mantener estándares o algún tipo de convencionalismo para evitar inflar el valor de Sigma calculado

### **2.2.20 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)**

El nombre de FMEA viene de sus siglas en ingles traducido como análisis del modo de falla y efecto. La técnica del FMEA se enfoca en identificar las formas en que un producto o proceso puede fallar para poder estimar el riesgo asociado a las causas específicas.

De igual manera nos permite asignar prioridad a las acciones que deben ser tomadas a fin de reducir el riesgo y evaluar el plan de validación (Producto) o el plan de control actual (Proceso).

En resumen el FMEA es una herramienta que nos permite identificar las formas en que el producto ó proceso puede fallar y eliminar ó reducir el riesgo de falla.

Existen tres tipos generales de FMEA, enfocados en la misma estrategia, solo que son aplicados de manera diferente:

#### **FMEA para Sistema**

Usado para el análisis de sistemas y sub-sistemas en su concepto básico y en etapas de diseño. Se enfoca en los modos de falla potencial asociados a las funciones de un sistema, causado por el diseño

#### **FMEA para Diseño**

Usado para el análisis de diseños de producto antes de ser liberado a la producción. Enfocado en la Función del Producto

#### **FMEA para Proceso**

Usado para analizar procesos de manufactura y ensamblado. Se enfoca en Entradas de Proceso

El FMEA se considera una herramienta clave del equipo para la mejora del proceso de una manera preventiva (antes de que ocurran fallas). Normalmente es usado para asignar prioridad a recursos con el fin de asegurar que los esfuerzos de mejora del proceso sean benéficos al cliente.

Debe ser un documento dinámico, revisado continuamente, corregido y actualizado de acuerdo al avance del proyecto y a las mejoras que se implementen en el área, debe reflejar las prioridades de esfuerzos que esta realizando el equipo, así como los resultados obtenidos. En muchos casos puede ser usado para documentar la finalización de los proyectos.

El propósito del FMEA esta enfocado básicamente en analizar nuevos procesos, identificar las deficiencias en el plan de control de proceso, establecer acciones prioritarias y evaluar el riesgo de cambios en el proceso.

Además el FMEA nos permite identificar variables potenciales a considerar en estudios de Multi-vari y DOE.

Por todo lo anterior, podemos ver que las principales entradas para el desarrollo del FMEA están en el mapa del proceso, la matriz de C&E, los procedimientos técnicos del proceso y el historial que se tenga del proceso, para obtener como salidas una lista de acciones concretas para prevenir causas o detectar modos de falla.

## **Definición de algunos términos usados en el FMEA.**

### **Modo de falla**

Indica la forma en que la entrada de un proceso específico puede fallar, esta falla tendrá un efecto sobre la salida del proceso, si no es detectada, corregida o removida

Puede ser asociada con un defecto o con una variable de entrada al proceso que sale de la especificación. Cualquier aspecto que un operador vea mal en el Proceso es considerado un Modo de Falla, por ejemplo:

- Temperatura del reactor muy alta
- Número Orden de Compra incorrecto
- Contaminación de superficie
- Llamadas perdidas (servicio al Cliente)
- Pintura muy delgada

## **Efecto**

El efecto se refiere al impacto que tendrá la falla en los requerimientos del cliente. Generalmente posee un enfoque externo del cliente, pero puede también incluir a clientes internos o etapas subsecuentes del proceso, ejemplos:

- Temperatura del reactor muy alta: Material fuera de especificación
- Número de Orden de Compra incorrecto: Producto no surtido al Cliente
- Contaminación de Superficie: Adhesión pobre
- Llamadas perdidas: Cliente insatisfecho
- Pintura muy delgada: Mal recubrimiento

## **Causa**

Son las fuentes de variación del proceso que ocasionan que ocurra una falla (Modo de falla).

Una Identificación de Causas debe iniciar con los Modos de Falla asociados con las más altas clasificaciones de Severidad

Ejemplos:

- Temperatura del reactor muy alta: Termopar descalibrado
- Número Orden de Compra incorrecto: Error tipográfico
- Contaminación de Muestra: Técnica inapropiada de Muestreo
- Llamada perdida: Número insuficiente de operadoras
- Pintura muy delgada: Alto contenido de solvente

Se refiere a los métodos, dispositivos sistematizados, procedimientos, políticas, etc que han sido establecidos para prevenir ó detectar modos de falla o causas (antes de causar efectos).

La prevención consiste en “a prueba de error” (Poka Yoke), control automatizado y establecimiento de verificaciones

Algunos tipos de controles consisten en:

- Auditorias
- Listas de verificación
- Inspección
- Pruebas de laboratorio
- Entrenamiento
- Procedimientos de operación
- Programa de mantenimiento preventivo

### **Número de Prioridad de Riesgo (NPR)**

Como resultado (salida) de un FMEA obtenemos un valor de riesgo de que ocurra la falla, el cual se conoce como “Número de Prioridad de Riesgo”

El NPR es un valor numérico, calculado en base a la información que es proporcionada por los modos de falla potenciales, los efectos, y la habilidad actual del proceso de detectar las fallas antes de alcanzar al cliente (Controles).

Es calculado como el producto de tres categorías cuantitativas, cada uno relacionado a los efectos, causas y controles:

$$\text{NPR} = \text{Severidad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

Efectos	Causas	Controles
---------	--------	-----------

## **Severidad, Ocurrencia, Detección**

El Número de Prioridad de Riesgo no es intocable, puede y debe ser modificado conforme se van teniendo avances en el programa. La escala para la Severidad, Ocurrencia y Detección puede ser desarrollada localmente, veamos los siguientes ejemplos:

### **Severidad (del efecto)**

Importancia del efecto en los requerimientos del cliente, también puede estar relacionada con la seguridad y otros riesgos si ocurren fallas (1=No severo, 10=Muy Severo)

### **Ocurrencia (de la Causa)**

Frecuencia con la que ocurre una causa y crea un modo de falla. Algunas veces puede referirse a la frecuencia de un Modo de Falla (1= No frecuente, 10= Muy frecuente)

### **Detección (Capacidad de los Controles Actuales)**

Habilidad del esquema de control actual de detectar o prevenir las causas antes de generarse un modo de falla (1= Capaz de detectar, 10 = No capaz de detectar)

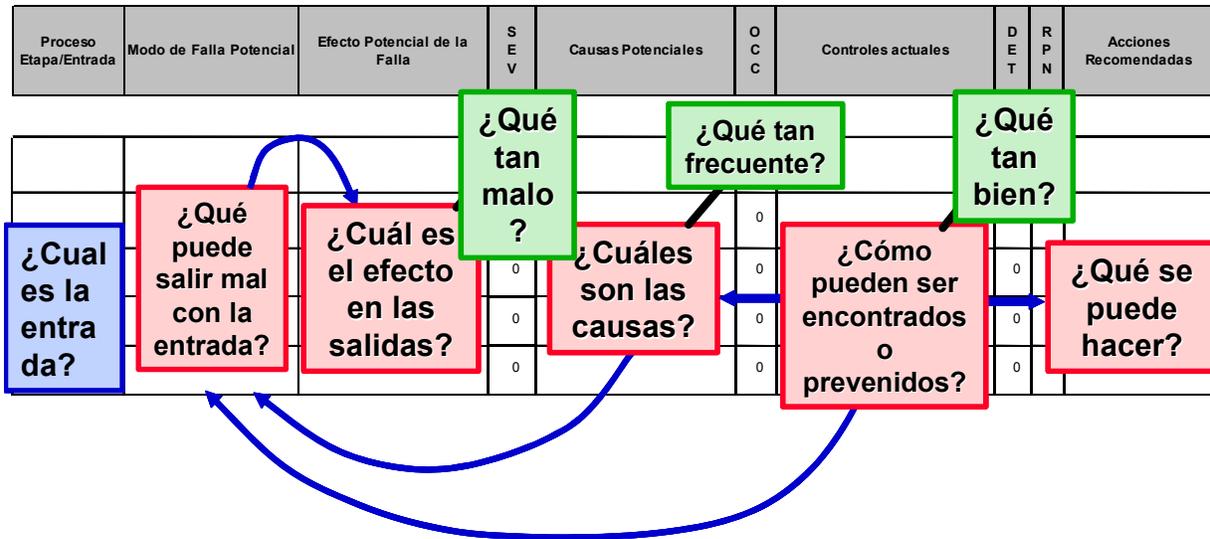
## **Puntajes del FMEA**

Existen una gran variedad de “puntajes”, ambos cuantitativos o cualitativos

Dos tipos comunes de escala son 1-5 ó 1-10. La escala de 1-5 facilita la tarea de los equipos en la decisión del puntaje

La escala 1-10 permite mayor precisión en los estimados y mayor variación en los puntajes, comúnmente considera la mejor opción.

De manera general un ejemplo típico de FMEA quedaría de la siguiente manera:



El desarrollo del FMEA puede ser en una hoja de excel, tomando como base el ejemplo anterior.

### 2.2.21 Introducción a las Pruebas de Hipótesis

Las pruebas de hipótesis son una herramienta muy importante para todas las personas que están desarrollando un proyecto de Six Sigma, normalmente cuando estamos iniciando la etapa de análisis del proyecto nos encontramos que existe una gran cantidad de X's que pueden estar afectando las salidas críticas del proceso y por diversas razones no vamos a tener los suficientes recursos (tiempo, dinero, equipo, etc) para evaluar hasta que grado cada una de las X's está afectando a las Y's.

Lo anterior hace necesario el contar con una herramienta que nos permita corroborar cuales de las X's tienen relación o están afectado los valores de las Y's principales.

Recuerda que en esta etapa debemos decidir cuales son las variables críticas para el proceso y demostrarlo estadísticamente. Es muy importante que no se deseché ninguna idea, suposición o sospecha hasta que no tengamos una evidencia estadística.

Este tipo de análisis se hace mediante una serie de herramientas muy sencillas pero muy poderosas que se conocen como PRUEBAS DE HIPÓTESIS.

Siempre que hagamos una hipótesis debemos iniciar con estos criterios:

- **Ho: Hipótesis nula.** Nos indica que **NO** hay relación, no afecta, no pasa nada, no hay cambios.
- **Ha: Hipótesis alterna.** Nos indica que **SI** existe una relación, si hay cambios, algo está pasando
- **p-value:** valor de probabilidad. Indica que tanta certeza tenemos de tomar una u otra decisión.

Veamos como traducimos lo anterior a hipótesis generales:

**Ho:** El proveedor de materia prima no afecta la viscosidad del producto

**Ha:** El proveedor de materia prima afecta la viscosidad del producto

**Ho:** Los datos son normales

**Ha:** Los datos no son normales

**Ho:** Análisis promedio del Reactor 1 = Análisis promedio del Reactor 2

**Ha:** Análisis promedio del Reactor 1  $\neq$  Análisis promedio del Reactor 2

Lo mismo podemos hacer en términos estadísticos.

**Ho:** Media del Grupo A = Media del Grupo B

**Ha:** Media del Grupo A  $\neq$  Media del Grupo B

**Ho:** Pendiente de la Línea es = 0

**Ha:** Pendiente de la Línea no es = 0

**Ho:** Varianza Grupo A = Varianza Grupo B

**Ha:** Varianza Grupo A  $\neq$  Varianza Grupo B

**Ho:** Variable X es independiente de la Variable Y

**Ha:** Variable X no es independiente de la Variable Y

Supongamos que tenemos los siguientes problemas que debemos convertir en hipótesis estadísticas (Ho vs. Ha) ¿Qué preguntas te gustaría contestar?

El tiempo de ciclo actual de nuestro proceso es de 30 segundos. Has desarrollado un camino para reducirlo a 15 segundos. ¿El espesor del producto es la característica clave de calidad?

**Ho:**  $\mu$  nueva =  $\mu$  anterior (media nueva = media anterior)

**Ha:**  $\mu$  nueva  $\neq$   $\mu$  anterior

Y

**Ho:**  $\sigma$  nueva =  $\sigma$  anterior (desviación estándar nueva = desviación estándar anterior)

**Ha:**  $\sigma$  nueva  $\neq$   $\sigma$  anterior

Un nuevo producto utiliza una nueva materia prima para la compañía. Existen 5 proveedores potenciales. El peso molecular es la característica clave de calidad. El objetivo es 50,000

**Ho:**  $\mu_a = \mu_b = \mu_c = \mu_d = \mu_e = 50000$

**Ha:** al menos una es diferente

### **a) Fundamentos de las pruebas de Hipótesis**

Basados en el conocimiento de nuestros procesos, desarrollamos una hipótesis a fin de explicar algo desconocido, frecuentemente esta hipótesis es lo contrario a lo que esperamos demostrar.

Iniciamos con la recolección de datos para evaluar la hipótesis nula, es decir la hipótesis con la cual no esperamos encontrar relación entre las variables, en otras palabras, asumimos que la hipótesis nula es verdadera.

El siguiente paso es buscar evidencia convincente en los datos para soportar o contradecir esta hipótesis. Si no se comprueba la hipótesis nula, la rechazamos y aceptamos la hipótesis alterna.

## b) Riesgo de Decisión

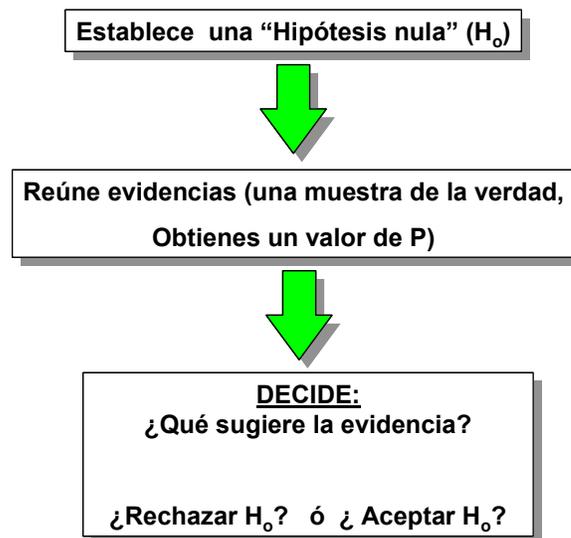
Cuando evaluamos una hipótesis lo hacemos con un grado de riesgo y confiabilidad conocidos

Para poderlo hacer, previamente hemos especificado:

- Magnitud del riesgo de decisión aceptable
- Prueba de sensibilidad

Esto provee la información necesaria para determinar un tamaño de muestra apropiado, pero no olvidemos el considerar limitaciones prácticas de tiempo, costo y recursos disponibles para llegar a un plan de muestreo aceptable.

Desde un punto de vista gráfico lo que estamos buscando es lo siguiente:



Al inicio siempre la Hipótesis nula ( $H_0$ ) se asume como verdadera es algo similar a un acusado que se presume "inocente".

No asumimos que nuestros esfuerzos han tenido efecto hasta que la probabilidad de "no efecto" es significativamente pequeña

Tú eres la parte acusadora y debes proporcionar una evidencia más allá de una "duda razonable"

### c) Errores de decisión

En la decisión de rechazar o no, podemos cometer UNO de DOS errores de decisión:

**Error Tipo I (error  $\alpha$ ):** Referencia principal para tomar conclusiones al realizar pruebas de hipótesis. Se relaciona con que tan probable (factible) es afirmar que existe una diferencia cuando en realidad no existe.

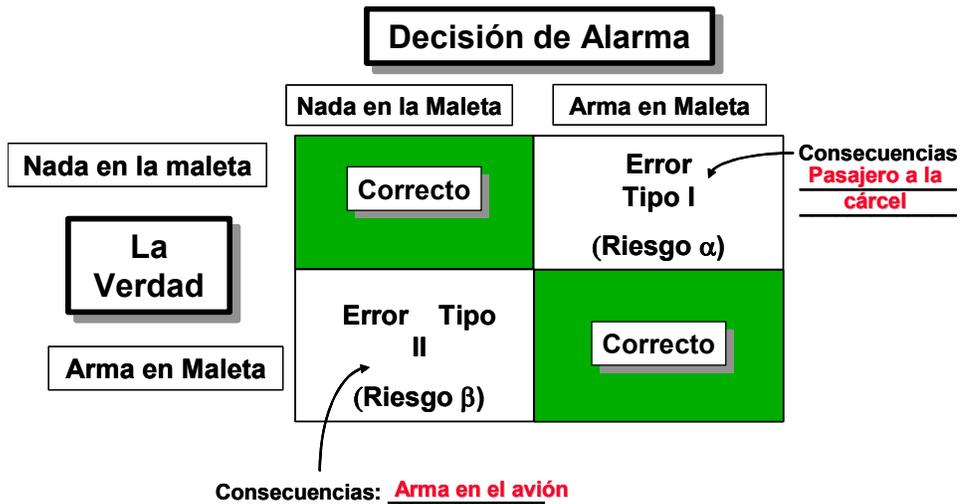
**Error tipo II (error  $\beta$ ):** Muy útil para determinar que tan capaz es una prueba estadística de detectar una diferencia no aleatoria de un grupo de datos. Se relaciona con que tan probable (factible) es negar una diferencia cuando en realidad existe. El número  $1-\beta$  se conoce como la potencia de las pruebas.

		<b>Tu Decisión</b>	
		Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
<b>La Verdad</b>	$H_0$ Verdadera	Correcto	Error Tipo I (Riesgo $\alpha$ )
	$H_0$ Falsa	Error Tipo II (Riesgo $\beta$ )	Correcto

Como traducimos estos errores en un juicio:

		<b>Decisión del Juez</b>		
		No-Culpable	Culpable	
<b>La Verdad</b>	Inocente	Correcto	Error Tipo I (Riesgo $\alpha$ )	<u>Consecuencia:</u> Persona inocente va a la cárcel
	Culpable	Error Tipo II (Riesgo $\beta$ )	Correcto	<u>Consecuencia:</u> El Criminal es liberado

En la seguridad de un aeropuerto:



#### d) Valor de P

El valor de p se relaciona con la probabilidad (que tanto riesgo) que se tiene en tomar una decisión equivocada. Sin importar la herramienta seleccionada esta regla siempre va a aplicar.

**Ho: Hipótesis nula.** Nos indica que **NO** hay relación, no afecta, no pasa nada, no hay cambios.

Valor de  $p > \alpha = 0.05$ . Existe mucho riesgo de tomar una decisión equivocada, no podemos afirmar que algo pasa. **ACEPTO Ho.**

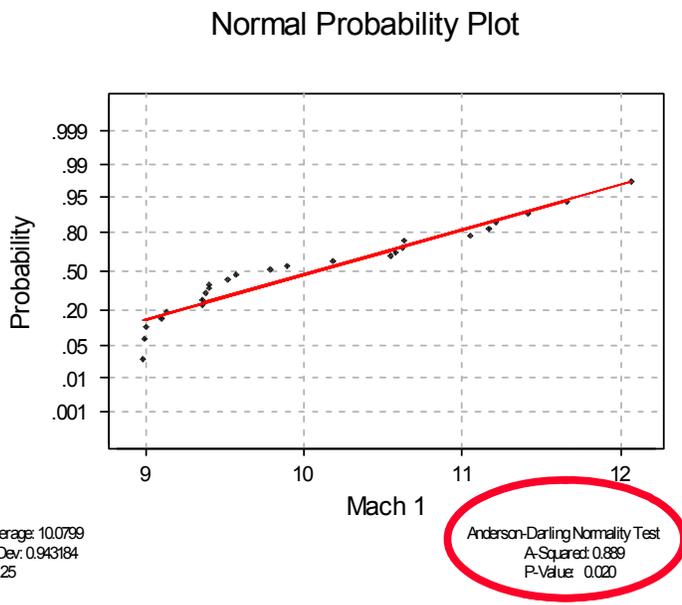
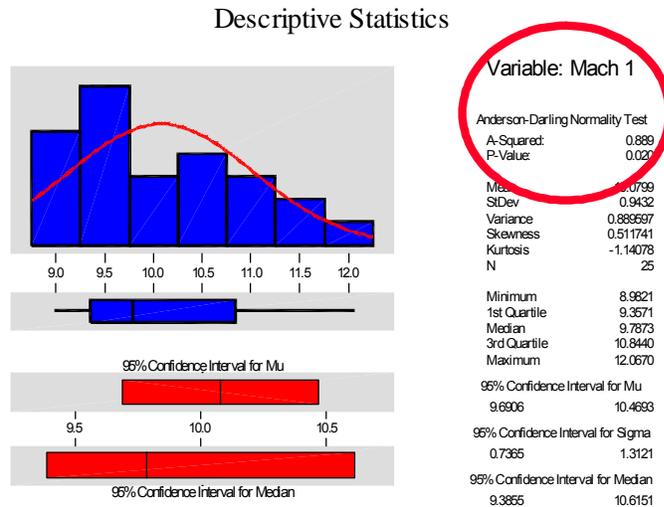
Valor de  $p \leq \alpha (0.05)$  Existe poco riesgo de error, podemos afirmar que algo realmente pasó. **RECHAZO Ho.**

La pregunta es ¿Qué tan bajo debe ser p?

Nos gustaría que fuera menor a un 10% de probabilidad de que esas observaciones pudieran haber ocurrido aleatoria mente ( $\alpha = 0.10$ ), sin embargo 5% es mucho más confiable ( $\alpha = 0.05$ ), pero 1% está muy bien ( $\alpha = 0.01$ )

Este nivel alfa está basado en nuestra suposición de “no diferencia” y en una distribución de referencia, pero esto siempre va a depender de los intereses y consecuencias. Para la mayoría de los casos vamos a utilizar un valor de 0.05.

Los valores de p los vamos a encontrar en todas partes, la gran mayoría de los softwares actuales para estadística nos dan el valor de p en los análisis que hacemos.



One-Way Analysis of Variance					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0.12	0.12	0.11	0.740
Error	48	53.71	1.12		
Total	49	53.83			
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev		
Mach 1	25	10.080	0.943	(-----*-----)	
Mach 2	25	9.980	1.161	(-----*-----)	
-----+-----+-----+-----+-----					
Pooled StDev =		1.058		9.60	9.90 10.20 10.50

**“El Valor-P es extremadamente importante”**

**Recuerda este dicho clave.... ¡Si P es bajo, Ho al carajo!**

### e) Tipos de Datos

La decisión de la herramienta a utilizar para el análisis depende del tipo de datos que tengamos tanto en la salida como en la entrada, por esta razón es muy importante recordar los dos tipos de datos que podemos tener en un proceso.

#### Discretos

Son el resultado de contar entidades discretas o características y los valores se pueden medir a través de diferentes niveles:

- Cuentas de Eventos Discretos (1, 2, 3, 4 paros)
- Descripciones Cualitativas
- Reactor 1 / Reactor 2
- Memo / Chico / Angel
- Bueno / Malo

#### Continuos

Por lo regular tiene una unidad física relacionada y los valores se miden en una escala continua

Las subdivisiones decimales son significativas

Tiempo, Presión, Viscosidad, etc.

## Matriz de herramientas

El propósito de crear una matriz de herramientas es proporcionar un esquema estructurado para seleccionar las herramientas estadísticas a usar de acuerdo con el tipo de datos que tengamos.

A continuación se muestra una propuesta con las herramientas básicas a utilizar.

		Datos de X	
		Discretos	Continuos
Datos de Y	Discretos	Chi-Cuadrada	Regresión logística
	Continuos	ANOVA Pruebas de Medias / Medianas	Regresión

### Ejemplo 1:

Un Supervisor quiere saber si dos operadores añaden cantidades significativamente diferentes de Material A durante la formulación.

Salida Y = *Cantidades de material*

Tipo de datos = *Continuos*

Entrada X = *Operadores*

Tipo de datos = *Discretos*

Herramienta a utilizar para hacer el análisis: **ANOVA**

## **Ejemplo 2**

El personal de mantenimiento desea saber si hay más boquillas obstruidas en la Torre 1 ó en la Torre 2 cuando efectúan el mantenimiento preventivo.

Salida Y = *Obstrucción de boquillas*

Tipo de datos = *Discretos*

Entrada X = *Torres*

Tipo de datos = *Discretos*

Herramienta a utilizar para hacer el análisis: **CHI-CUADRADA**

## **Ejemplo 3**

Un equipo desea conocer si existe relación entre la temperatura ambiente y la viscosidad de un material

Salida Y = *Viscosidad del material*

Tipo de datos = *Continuos*

Entrada X = *Temperatura ambiente*

Tipo de datos = *Continuos*

Herramienta a utilizar para hacer el análisis: **REGRESIÓN**

## **Ejemplo 4**

Para el análisis de accidentes, el área de Seguridad desea saber si existe relación entre el peso unitario por contenedor y las lesiones.

Salida Y = *Lesiones*

Tipo de datos = *Discretos*

Entrada X = *Peso unitario*

Tipo de datos = *Continuos*

Herramienta a utilizar para hacer el análisis: **REGRESIÓN LOGUÍSTICA**

**En resumen toma en cuenta lo siguiente:**

- Sin importar la herramienta, la regla de decisión siempre dependerá del nivel de alfa (consideramos 0.05)
- Si el valor de p es menor a 0.05, concluimos que algo “especial” ha ocurrido. En otras palabras, encontramos diferencia o relación entre las variables (Rechazamos la hipótesis nula  $H_0$ ).
- La correcta herramienta de análisis depende del tipo de datos que estamos midiendo.

## Etapa de Mejora

En la etapa de mejorar nos vamos a encontrar con las herramientas que nos van a permitir encontrar los niveles óptimos en los cuales debe trabajar nuestro proceso, hasta este punto ya sabemos cuales son las X's que están afectando de manera directa a la salida del proceso, hemos eliminado aquellas que no tienen una influencia importante, pero ahora tenemos la tarea de encontrar cuales son los valores de nuestras X's críticas en los cuales tenemos el mayor rendimiento de las Y's.

La etapa de mejora puede consistir en el establecimiento de procedimientos de control, capacitación continua, cambios de equipos, etc, cada proceso y cada proyecto nos dará la pauta a seguir para mejorar el proceso.

Sin embargo existe una herramienta básica de mejora que se conoce como "Diseño de Experimentos" por medio de la cual podemos optimizar nuestras salidas, aunque en algunos casos debido a la naturaleza del proyecto, no es posible utilizar dicha herramienta.

### 2.2.22 Objetivo

El objetivo principal del DOE es determinar las variables (factores) que tienen una mayor influencia en la respuesta (Y) y determinar el mejor valor de las X de modo que Y tenga un valor cercano al nominal o especificación con la variabilidad más pequeña posible.

En el presente trabajo revisaremos los conceptos básicos de la metodología de DOE y una secuencia de pasos para generar un diseño de experimentos.

### 2.2.23 Diseño de Experimentos (DOE)

Normalmente en el proceso de aprendizaje existen dos rutas que nos permiten entender los procesos y la relación que existe entre las diferentes variables que están interactuando en el mismo.

La primer ruta consiste en “Un aprendizaje pasivo”, por medio del cual observamos los eventos informativos de manera natural (estudios multivari). En estos casos si tienes un poco de suerte tal vez obtengas un evento informativo mientras estas observando.

La segunda ruta se llama “Diseños experimentales”, la cual consiste en manipular pro-activamente las variables de entrada para estudiar el efecto en las variables de salida, en otras palabras, la idea de los diseños experimentales es provocar que los eventos informativos ocurran. Si estos diseños son realizados correctamente tendremos una herramienta eficiente y poderosa para poder mejorar el proceso.

### **a) Diseño Experimental**

Consiste en una serie sistemática de pruebas en las cuales las variables de entradas (X's) son directamente manipuladas y los efectos son observados en las variables de salida (Y's).

Con el objetivo de determinar cuales X's afecta más a las Y's, tenemos tres opciones:

- Manipular la X para centrar en el objetivo la Y
- Manipular X's para minimizar la variabilidad de Y
- Manipular X's para minimizar los efectos de las variables de ruido

Los Experimentos bien diseñados eliminan todas las causas posibles excepto la que se esta probando. La idea es tratar de eliminar a lo máximo las variables que no son de interés. Por lo tanto si nos percatamos que un efecto ocurre en la Variable de Salida del Proceso, puede estar relacionado con la(s) variable(s) de entrada que se hayan manipulado.

La mayoría de las personas experimentan bajo el método de prueba y error o un factor a la vez (OFAT).

Quien ha recibido algún entrenamiento en six sigma utiliza técnicas como factoriales fraccionados, factoriales completos o métodos de superficie de respuesta para llevar a cabo la experimentación de ciertas variables del proceso.

***En el presente estudio nos vamos a enfocar en el diseño de experimentos a través del método de Factoriales completos.***

En el diseño de experimentos a través de la técnica de factoriales completos se estudia el efecto de dos o más variables (X's) sobre la variable de respuesta (Y), además de todas las combinaciones entre los niveles de los factores y la interacción entre ellos.

## **b) Prueba y Error**

Supongamos que tenemos un problema con el rendimiento de la gasolina en nuestro auto, ya que actualmente tenemos un rendimiento de 20 km/lt cuando esperaríamos obtener al menos 30 km/hr.

Después de un tiempo de observaciones, llegamos a la conclusión que existen ciertas variables que nos parece que son la que mayor afectan al consumo de la gasolina.

- Marca de la gasolina
- Grado de Octanaje
- Conducir más despacio
- Afinar el carro
- Lavar y encerar el carro
- Comprar llantas nuevas
- Cambiar la presión de la llanta

Comenzamos cambiando la marca de gasolina y tomamos datos en un período de tiempo, cuando creemos que hemos encontrado la marca que nos da el mejor rendimiento cambiamos el grado de octanaje y tomamos datos; de esta manera seguimos moviendo variables (una a la vez) y anotamos el resultado.

Seguramente terminaremos obteniendo una tabla de datos que nos dirán que el mejor rendimiento lo podemos obtener al conducir más despacio, cambiar la presión de las llantas y afinar el carro.

Estos resultados nos dirían que existe una relación entre ciertas variables y el rendimiento de la gasolina, sin embargo difícilmente podríamos encontrar el punto óptimo en el cual el rendimiento sería el más alto.

### c) Un Factor a la Vez (OFAT)

Siguiendo con el mismo ejemplo anterior lo que ahora podríamos hacer para obtener el mejor rendimiento de 30 km/lt sería tratar de cambiar cada variable de entrada a dos valores seleccionados que cambien drásticamente la economía del combustible.

Haciendo una tabla en la cual podamos hacer combinaciones de los valores de las tres variables que nos interesan “Moviendo solo una a la vez” veamos lo que sucede:

Velocidad	Octanaje	Presión de la llanta	km/lt
55	87	30	23
65	87	30	29
65	93	30	23
65	87	35	24

Los resultados anteriores nos llevarían a obtener un resultado interesante sin embargo, ¿Qué tal si hay una combinación específica de dos o más variables que dan el mejor kilometraje? (Es muy difícil entenderlo).

¿Qué pasaría si existieran más variables?, ¿Cuanto tardaría para obtener una buena solución? (Multiplicar por dos para cada factor).

¿Cuántas combinaciones necesitarás para tener la mejor combinación de estas variables? (3 Variables con dos niveles  $2 \times 2 \times 2 = 8$  combinaciones en total)

### d) Factorial Completo

En un experimento “Factorial Completo” necesitamos realizar todas las combinaciones posibles de acuerdo a la cantidad de variables y los factores que cada una de ellas tenga. Para este ejemplo tenemos tres variables con dos factores cada una, lo que nos da un

experimento de  $2 \times 2 \times 2 = 8$ . Es decir, requerimos de 8 corridas para poder probar todas las combinaciones posibles.

Veamos la tabla siguiente:

	Velocidad	Octanaje	Presión de la llanta	km/lt
✓	55	87	30	23
✓	65	87	30	29
	55	93	30	37
✓	65	93	30	23
	55	87	35	37
✓	65	87	35	24
	55	93	35	30
	65	93	35	36

✓ **Corridas OFAT** (Un factor a la vez)

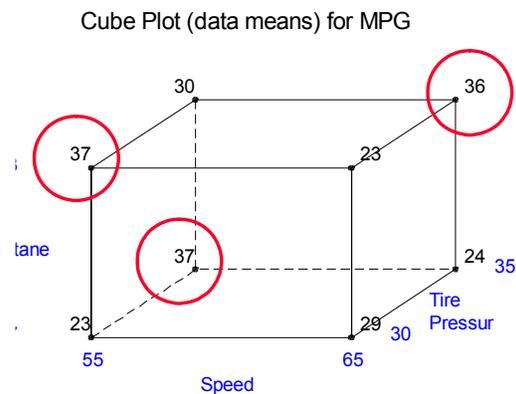
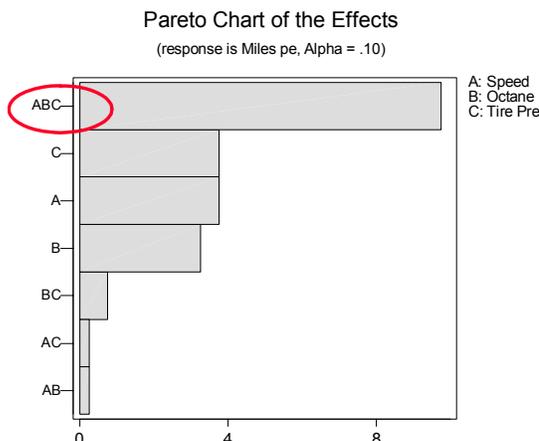
Como poder ver el mejor rendimiento no está en las corridas que realizamos bajo el método OFAT.

Al tener cubierto todo el espectro de posibilidades, obtenemos resultados muy confiables que nos podrán dar la mejor combinación para obtener el rendimiento óptimo, con la mínima cantidad de recursos.

Al realizar un experimento factorial completo podemos:

- Determinar si solamente una variable (Octanaje, Presión de llanta o Velocidad) hace el que el km/lt vaya a 37
- Determinar si una combinación de estas tres variables hacen que el consumo km/lt vaya a 37.

Si estos análisis los lleváramos cabo en algún software de estadística obtendríamos algunos gráficos parecidos a los siguientes:



Los gráficos nos darían una respuesta más científica de nuestros resultados, con los cuales podríamos tomar decisiones más concretas y seguras acerca de nuestro problema. Para este ejemplo el gráfico de Pareto nos indica que la interacción de las tres variables es la mayor influencia en el rendimiento. En el gráfico de cubo podríamos observar las mejores combinaciones para obtener el mayor rendimiento.

### **e) Puntos a Observar durante los Experimentos**

#### **Aleatoria mente**

Es decir correr de manera aleatoria cada una de las corridas del experimento, de manera tal que podamos evitar un valor que sea manipulado o contaminado por el valor de la corrida anterior.

#### **Repetición y Replica**

La Repetición y Replica proveen un estimado de la variabilidad natural en el sistema experimental

Repetición: Correr varias muestras durante una corrida Experimental

Replica: Repetir completamente el Experimento en una secuencia de tiempo

Puedes usar ambos en el mismo Experimento. Ambos están directamente relacionados al tamaño de muestra en el Experimento.

#### **Espacio de Inferencia**

Se refiere al área (rango de variables X) dentro de la cual puedes anotar tus conclusiones.

#### **Inferencia Estrecha**

El experimento se enfoca a una etapa de la operación total

Ejemplos: Un solo turno, una persona, una ubicación, un cliente, un lote, un turno, etc.

Estos estudios reducen la oportunidad de que las variables de ruido afecten a la variable Y

## **Inferencia extensa**

El Experimento se direcciona al proceso completo (todas las personas, todas las ubicaciones, todos los empleados, etc.)

Generalmente, más datos deben ser tomados sobre un mayor periodo de tiempo

Estos estudios son más susceptibles a las variables de ruido

Ejemplos: Varios lotes, varios meses, cinco maquinarias, varios operadores, varios proveedores, etc.

Nota: Generalmente, los estudios de Inferencia estrecha son realizados primero para controlar las variables de ruido. Los estudios de Inferencia extensa son usados para verificar los resultados de los estudios Inferencia estrecha

### **f) ¿Qué es Factorial $2^k$ ?**

El término factorial  $2^k$  se refiere a un diseño con K factores, cada factor regularmente tiene dos o más niveles. Aunque por lo regular más de dos niveles NO son necesarios.

Un factorial  $2^2$  está también representado como un factorial  $2 \times 2$ . Este diseño tiene dos factores con dos niveles y pueden ser realizados en  $2 \times 2$  (4 corridas en total).

Asimismo un  $2^3$  factorial tiene 3 factores, cada uno con dos niveles. Este experimento puede ser realizado en  $2 \times 2 \times 2$  (8 corridas en total).

El uso de factoriales  $2^k$  tiene varias ventajas ya que requiere relativamente de pocas corridas por factor estudiado, además que puede ser la base para diseños más complejos. También nos ayuda para investigaciones previas, ya que se pueden observar un gran número de factores relativamente con pocas corridas y existe una gran cantidad de software disponible en el mercado para realizar el análisis de manera sencilla y rápida.

La matriz de diseño para factoriales  $2^k$  es mostrada usualmente en orden estándar

El nivel bajo de un factor es designado con un “-” ó “-1” y el nivel alto es designado con un “+” o “1”.

-1 y 1 son conocidos como “unidades codificadas”

La matriz de diseño para un factorial  $2^2$  es:

<b>A</b>	<b>B</b>
-1	-1
1	-1
-1	1
1	1

Veamos un ejemplo:

En este ejemplo vamos a relacionar dos variables de entrada que son “valor de la orden” y “tamaño de la orden” con los errores detectados por el departamento de servicios al cliente.

Los factores y niveles son:

Valor de la Orden: \$5,000 (-1), \$25,000 (1)

Tamaño de la Orden: 30 (-1), 100 (1)

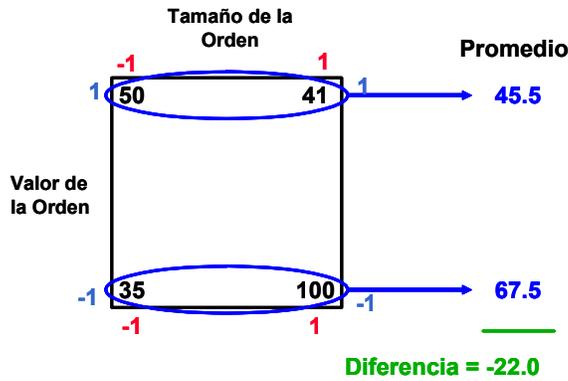
Tomamos lecturas de la cantidad de errores en cada una de las combinaciones para obtener una matriz de Diseño con los siguientes resultados:

<b>Valor Ord</b>	<b>Tamaño Ord</b>	<b>Errores</b>
-1	-1	35
1	-1	50
-1	1	100
1	1	41

Este es un ejemplo de un Experimento de Factorial Completo con una sola observación por combinación tratada (celda).

### g) Calculando Efectos

Ahora vamos a calcular los efectos en los errores cuando tenemos cambios en cada uno de los factores. Empezamos con el efecto del valor de la orden.

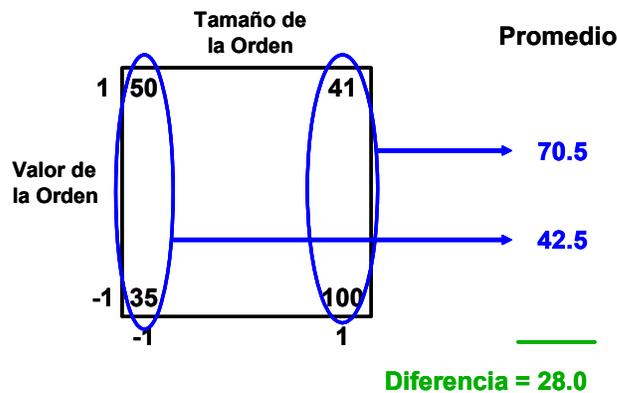


El gráfico anterior nos permite visualizar de manera fácil el cálculo del efecto del “valor de la orden”. Desde una perspectiva numérica, simplemente estamos promediando los errores asociados con el nivel (1) y restar el promedio de errores asociados con los niveles (-1).

$$\text{Order Value Effect} = \frac{(50+41)}{2} - \frac{(35+100)}{2} = -22$$

Esto indica que, cuando el “valor de la orden” cambia de \$5,000 a \$25,000, los errores disminuyen en un promedio de 22.

Hagamos lo mismo, pero para el efecto de “tamaño de la orden”.



$$(100 + 41) / 2 - (35 + 50) / 2 = 28 = \text{Efecto}$$

Esto indica que, cuando el Tamaño de Orden cambia 30 a 100, los errores se incrementan en un promedio de 28

### h) Efectos de Interacción (Main Effects)

Hasta este momento solo hemos calculado los Efectos Principales (Main Effects) para este experimento. En otras palabras, solamente hemos investigado los Efectos del Valor y Tamaño de la Orden de manera separada.

Sin embargo también estamos interesados en la combinación de los efectos de estos dos factores. La pregunta a responder es, “¿Hay una combinación en particular en los valores de entrada que reduzcan los errores obtenidos por los efectos individuales?”

Otra manera de decirlo ¿El Efecto del Tamaño de la Orden depende sobre el Valor de la Orden?

Veamos ahora como calculamos los efectos de la interacción de estos dos factores.

El efecto de Interacción está representado por la multiplicación de las columnas presentadas. Para el diseño de 2x2, la columna de interacción del valor de la orden x el tamaño de la orden se crea multiplicando la columna del Valor de la Orden y el Tamaño de la Orden.

**Diseño de Efectos Principales (Main Effects)**

Valor Ord	Tamaño Ord
-1	-1
1	-1
-1	1
1	1

**Diseño de Interacción de Efectos**

Valor Ord	Tamaño Ord	Val*Tam
-1	-1	1
1	-1	-1
-1	1	-1
1	1	1

**Val\*Tam = Valor Ord \* Tamaño Ord**

Los efectos de la interacción nos darían el siguiente resultado:

Valor Ord	Tamaño Ord	Val*Tam	Errores
-1	-1	1	35
1	-1	-1	50
-1	1	-1	100
1	1	1	41

Efecto:  
 Valor orden \* tamaño de orden  
 $(35+41)/2-(50+100/2) = -37$

Total +	45.5	70.5	38
Total -	-67.5	-42.5	-75
Mean Eff	-22	28	-37

Por lo que podemos ver, la interacción es el mayor de los efectos.

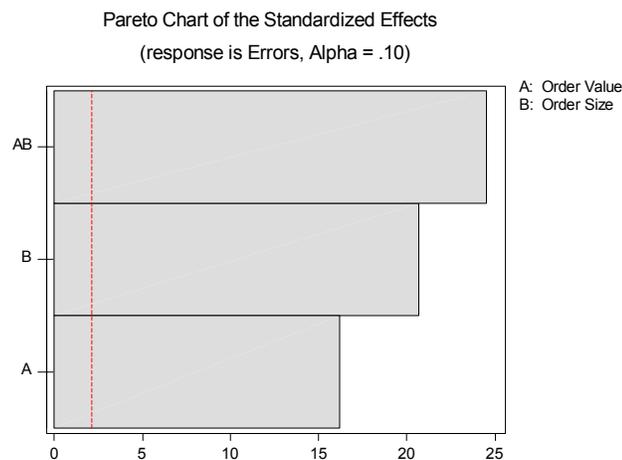
Hasta este momento hemos analizado un diseño de experimentos muy sencillo, en el cual vimos el cálculo del efecto que tiene cada uno de los factores y su interacción en el número de errores.

Si este mismo análisis lo realizamos en algún software de estadística adicionando una replica por medio de la cual podamos estimar el error en el diseño, veamos lo que sucede.

En la matriz de resultados ahora necesitaríamos 8 corridas (Una replica), por lo que tendríamos dos valores por cada uno de los puntos analizar.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Order Value	Order Size	Errors
2	1	1	1	25000	30	50
4	2	1	1	25000	100	44
3	3	1	1	5000	100	102
1	4	1	1	5000	30	35
6	5	1	1	25000	30	49
7	6	1	1	5000	100	100
8	7	1	1	25000	100	41
5	8	1	1	5000	30	37

Corriendo el DOE en el software podemos tener varias opciones de análisis, una de ellas es un diagrama de pareto.



La Gráfica de Pareto de los Efectos es un buen camino para evaluar la significancia de cada uno de los factores.

Analizando el gráfico, los efectos con barras más allá de la línea roja son considerados “estadísticamente significativos”.

**La línea roja es el corte de significancia, ya que si es importante el factor esta de lado derecho, si no es importante es hacia el lado izquierdo. Se rige por el valor de alfa. El valor de P es cero en todos los casos, por eso las barras se van a lado derecho. La línea roja es un límite de confianza. Conforme reducimos el número de variables que queremos investigar, la posición de la línea también cambiará.**

En este ejemplo, tanto los Efectos Principales y los términos de Interacción son identificados como significantes

### i) Efectos significantes

Los T-values evalúan la importancia de un efecto, en otras palabras ¿Es el efecto Significante? Sus valores son expresados en unidades de desviaciones estándar

Un T-value =2 significa que el Efecto es de 2 desviaciones estándar (Errores Estándar) arriba de 0. Cada T-value tiene una probabilidad asociada (p-value), si el efecto es 0, la probabilidad de obtener el T-value observado es “p”.

De la distribución Normal, cualquier puntuación de 2 desviaciones estándar alejadas del centro es un muy raro que ocurra.

En la siguiente tabla vemos una tabla de resultados típica de un análisis estadístico.

#### Fractional Factorial Fit: Errors versus Order Value, Order Size

##### Estimated Effects and Coefficients for Errors (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		57.25	0.5303	107.95	0.000
Order Va	-22.50	-11.25	0.5303	-21.21	0.000
Order Si	29.00	14.50	0.5303	27.34	0.000
Order Va*Order Si	-36.00	-18.00	0.5303	-33.94	0.000

##### Analysis of Variance for Errors (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	2694.50	2694.50	1347.25	598.78	0.000
2-Way Interactions	1	2592.00	2592.00	2592.00	1E+03	0.000
Residual Error	4	9.00	9.00	2.25		
Pure Error	4	9.00	9.00	2.25		
Total	7	5295.50				

##### Estimated Coefficients for Errors using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-36.2143
Order Va	44.3571
Order Si	1.95714
Order Va*Order Si	-1.02857

Observa el tamaño de los T-Value y los correspondientes p-value. Lo más recomendable es comenzar a investigar las interacciones significantes de más alto valor.

Por lo anterior se recomienda correr una gráfica de interacciones para analizar la interacción de valor de orden y tamaño de orden.



El análisis del gráfico es muy sencillo.

- Si las líneas son paralelas – No existen Interacciones
- Si las líneas están cruzadas o líneas sesgadas una hacia otra – Existen Interacciones

En conclusión, lo que el gráfico nos esta diciendo es:

- Si hay una interacción entre el tamaño de la orden y el valor de la orden.
- Cuando yo cambio el tamaño de la orden la cantidad de errores crece con un valor de orden de 5000.
- En valores de orden de 25000 puedo disminuir la cantidad de errores cuando el tamaño de orden es de 100.

## j) ANOVA. Análisis de Varianza

Método estadístico utilizado para analizar la variación total de un conjunto de datos. Dicha variación se divide en dos o más componentes y cada una de ellas se asocia con una fuente de variación específica.

Lo anterior nos permite calcular la magnitud con la que contribuye cada una de las fuentes de variación de los datos por medio del análisis.

El análisis de ANOVA se basa en comparar la variación que hay dentro del grupo y entre grupos.

Regularmente es una de las herramientas más utilizadas en el DOE, en el siguiente ejemplo veremos la manera como utilizar dicha herramienta.

### **k) Desarrollo de un ejemplo DOE**

Vamos a revisar la secuencia general del desarrollo de un análisis de DOE para solucionar un problema mediante esta técnica.

Enunciado del problema:

Un Ingeniero Químico del área producción tiene problemas con una línea en la que están fabricando piezas de cobre, él piensa que la densidad de defectos (puntos/cm<sup>2</sup>) de cada una de las piezas que se están generando depende de la velocidad de la banda y de la profundidad de la pieza de corte. Para tratar de encontrar la relación entre y la densidad de defectos, selecciona dos niveles de velocidad y dos niveles de profundidad del corte y a continuación toma tres datos para cada una de las combinaciones.

Obteniendo la siguiente información:

Velocidad de la banda	Profundidad de la pieza de corte (ml)	
	0.15	0.20
0.20	74	82
	64	88
	60	92
0.25	92	99
	86	108
	88	95

En base a esta información se dispone a realizar un análisis de DOE para poder detectar si existe una relación entre las variables y cual es el efecto con la salida (densidad de defectos).

Actividades a realizar:

1. Plantear las hipótesis estadísticas correspondientes
2. Realizar el análisis de datos con MINITAB e interpretarlo
3. Generar las conclusiones correspondientes

### I. Desarrollo del DOE:

De acuerdo con la información tenemos un diseño de experimentos factorial de 2 x 2 con tres replicas.

El primer paso es diseñar el experimento en algún software para estadística (MINITAB versión 13). Obteniendo la siguiente matriz de resultados:

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Profundidad de la pieza	Velocidad de la banda
5	1	1	1	0.15	0.2
7	2	1	1	0.15	0.25
10	3	1	1	0.2	0.2
12	4	1	1	0.2	0.25
6	5	1	1	0.2	0.2
11	6	1	1	0.15	0.25
4	7	1	1	0.2	0.25
8	8	1	1	0.2	0.25
2	9	1	1	0.2	0.2
3	10	1	1	0.15	0.25
1	11	1	1	0.15	0.2
9	12	1	1	0.15	0.2

Una vez que se tiene desarrollada la matriz DOE, el siguiente paso consiste en obtener datos de densidad de defectos para cada una de las combinaciones. Se recomienda seguir el orden propuesto para la matriz.

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Profundidad de la pieza	Velocidad de la banda	Densidad de Defectos
5	1	1	1	0.15	0.2	74
7	2	1	1	0.15	0.25	92
10	3	1	1	0.2	0.2	82
12	4	1	1	0.2	0.25	99
6	5	1	1	0.2	0.2	88
11	6	1	1	0.15	0.25	86
4	7	1	1	0.2	0.25	108
8	8	1	1	0.2	0.25	95
2	9	1	1	0.2	0.2	92
3	10	1	1	0.15	0.25	88
1	11	1	1	0.15	0.2	64
9	12	1	1	0.15	0.2	60

## II. Planteamiento de Hipótesis:

Las hipótesis con las cuales vamos a trabajar el DOE son las siguientes:

Factor A: Profundidad de la pieza

**Ho:** La profundidad de la pieza de corte NO afecta la densidad de defectos

**Ha:** La profundidad de la pieza de corte SI afecta la densidad de defectos

Factor B: Velocidad de Banda

**Ho:** La Velocidad de la Banda NO afecta la densidad de defectos

**Ha:** La Velocidad de la Banda SI afecta la densidad de defectos

Interacción de ambos factores: Profundidad / Velocidad

**Ho:** La Interacción Profundidad/Velocidad NO afecta la densidad de defectos

**Ha:** La Interacción Profundidad/Velocidad SI afecta la densidad de defectos

Lo anterior nos lleva a que tenemos que probar 6 hipótesis durante el experimento.

Ahora vamos a analizar el diseño experimental mediante la siguiente ruta:  
Stat/DOE/Factorial/Analyze factorial Design.

El análisis nos arroja los siguientes resultados:

**Fractional Factorial Fit: Densidad versus Profundidad, Velocidad de**

*Estimated Effects and Coefficients for Densidad (coded units)*

<i>Term</i>	<i>Effect</i>	<i>Coef</i>	<i>SE Coef</i>	<i>T</i>	<i>P</i>
<i>Constant</i>		85.667	1.652	51.86	0.000
<i>Profundi</i>	16.667	8.333	1.652	5.04	0.001
<i>Velocida</i>	18.000	9.000	1.652	5.45	0.001
<i>Profundi*Velocida</i>	-4.667	-2.333	1.652	-1.41	0.196

Lo que nos interesa de esta tabla es el valor de p, el cual es menor a 0.05 tanto para la profundidad como la velocidad, lo que indica que para estas dos variables acepto la hipótesis alterna (Ha) que me dice que la variable si afecta la densidad de los defectos. Para el caso de la interacción Profundidad\*Velocidad el valor de p es de 0.196 el cual es mayor a 0.05 por lo que acepto la hipótesis nula (Ho) que me dice que la interacción no afecta la densidad de defectos.

Para el caso de la constante el valor de p me dice si la dejo o no en el modelo. En este caso al ser menor a 0.05 si es importante para el modelo.

El análisis de varianza (ANOVA) nos da los valores de la ecuación en términos no-codificados.

*Analysis of Variance for Densidad (coded units)*

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Seq SS</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
<i>Main Effects</i>	2	1805.33	1805.33	902.67	27.56	0.000
<i>2-Way Interactions</i>	1	65.33	65.33	65.33	1.99	0.196
<i>Residual Error</i>	8	262.00	262.00	32.75		
<i>Pure Error</i>	8	262.00	262.00	32.75		
<i>Total</i>	11	2132.67				

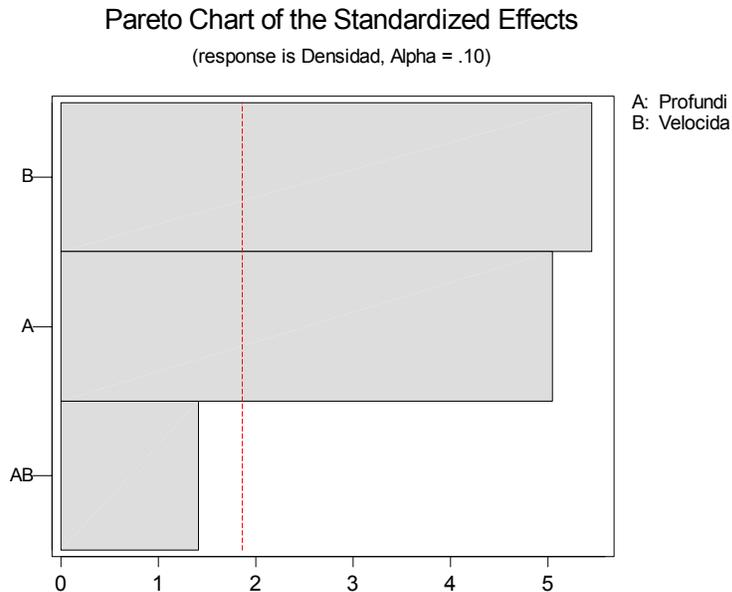
*Estimated Coefficients for Densidad using data in uncoded units*

<i>Term</i>	<i>Coef</i>
<i>Constant</i>	<i>-200.667</i>
<i>Profundi</i>	<i>1173.33</i>
<i>Velocida</i>	<i>1013.33</i>
<i>Profundi*Velocida</i>	<i>-3733.33</i>

Por lo tanto mi ecuación podría quedar de la siguiente manera:

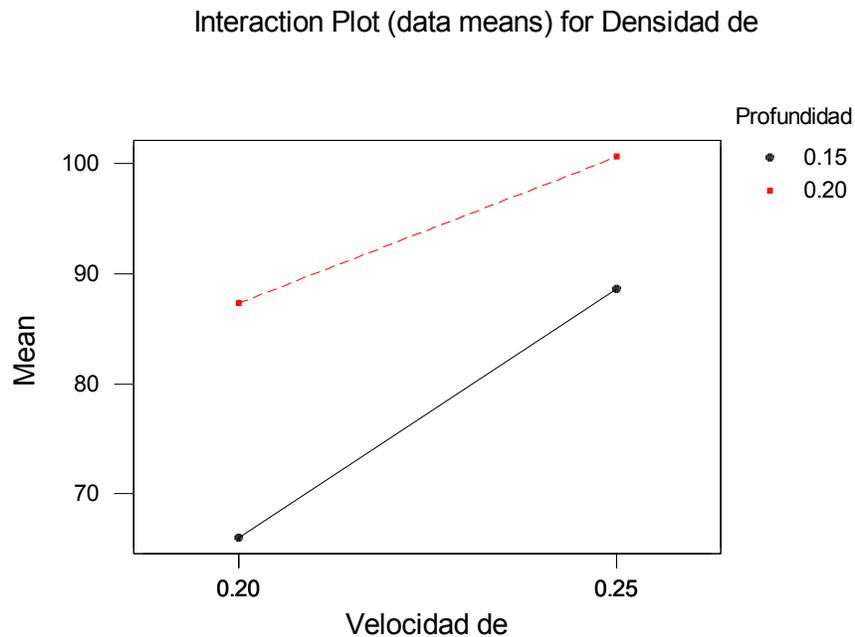
$$Y (\text{Densidad de defectos}) = 1173.33 (\text{Profundidad}) + 1013.33 (\text{Velocidad}) - 200.667$$

El análisis también nos da un gráfico de pareto en el cual vemos que todos los factores que están de lado derecho de la línea roja, son los que tienen un efecto directo en la salida. Para esta caso volvemos a corroborar que tanto la profundidad como la velocidad si afectan a la densidad de defectos.



Un gráfico de interacciones nos permite seguir comprobando la hipótesis de que las dos variables si afectan, sin embargo la interacción no es un efecto significativo.

Como vemos en el siguiente gráfico al no tener líneas cruzadas, significa que no hay interacción. La pendiente de las líneas nos da una idea de que tanto afecta cada una de las variables a la salida.



Conclusiones:

Las dos variables si están afectando la densidad de defectos, sin embargo la interacción de ambas no afecta de manera importante.

De acuerdo a la ecuación la menor cantidad de defectos la podemos obtener en la medida en que disminuamos la profundidad y la velocidad, sin embargo esto tendrá algunas repercusiones operativas ya que al disminuir la velocidad la productividad disminuye. ¿Hasta que punto puedo optimizar el nivel de defectos?, es una decisión que solo el Ingeniero que conoce el proceso podrá tomar de acuerdo a la experiencia y al conocimiento del proceso.

# Etapa de Control

## 2.2.24 Objetivo

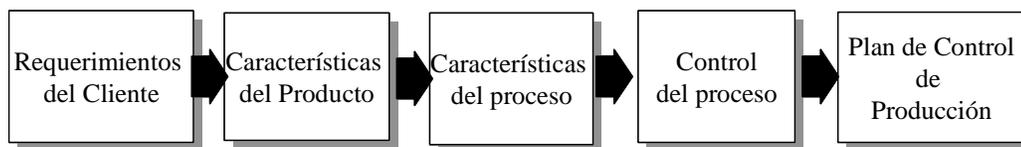
Implementar una estrategia efectiva de control es con el fin de asegurar que las mejoras del proceso que fueron identificadas e implementadas se mantengan y minimizar futuros ajustes o sobre controles del proceso.

¿Por qué debemos controlar? Recordemos que en la fase de Mejora determinamos la función “f” que es la relación  $Y = f(x)$ . También obtuvimos los rangos operativos de las X’s necesarios para alcanzar los niveles óptimos de desempeño para las Y’s

Ahora en la fase de control vamos a asegurarnos que los rangos establecidos para las X’s se mantienen operacionales durante el tiempo para poder entregar el proceso a los usuarios y dueños del mismo. En otras palabras la función principal de la fase de control es **MANTENER LAS GANACIAS.**

## 2.2.25 Planes de Control

La única razón de que el plan de control exista es para asegurar que constantemente operamos nuestros procesos con el fin de que el producto tenga los requerimientos que pide el cliente ¡Todo el tiempo!

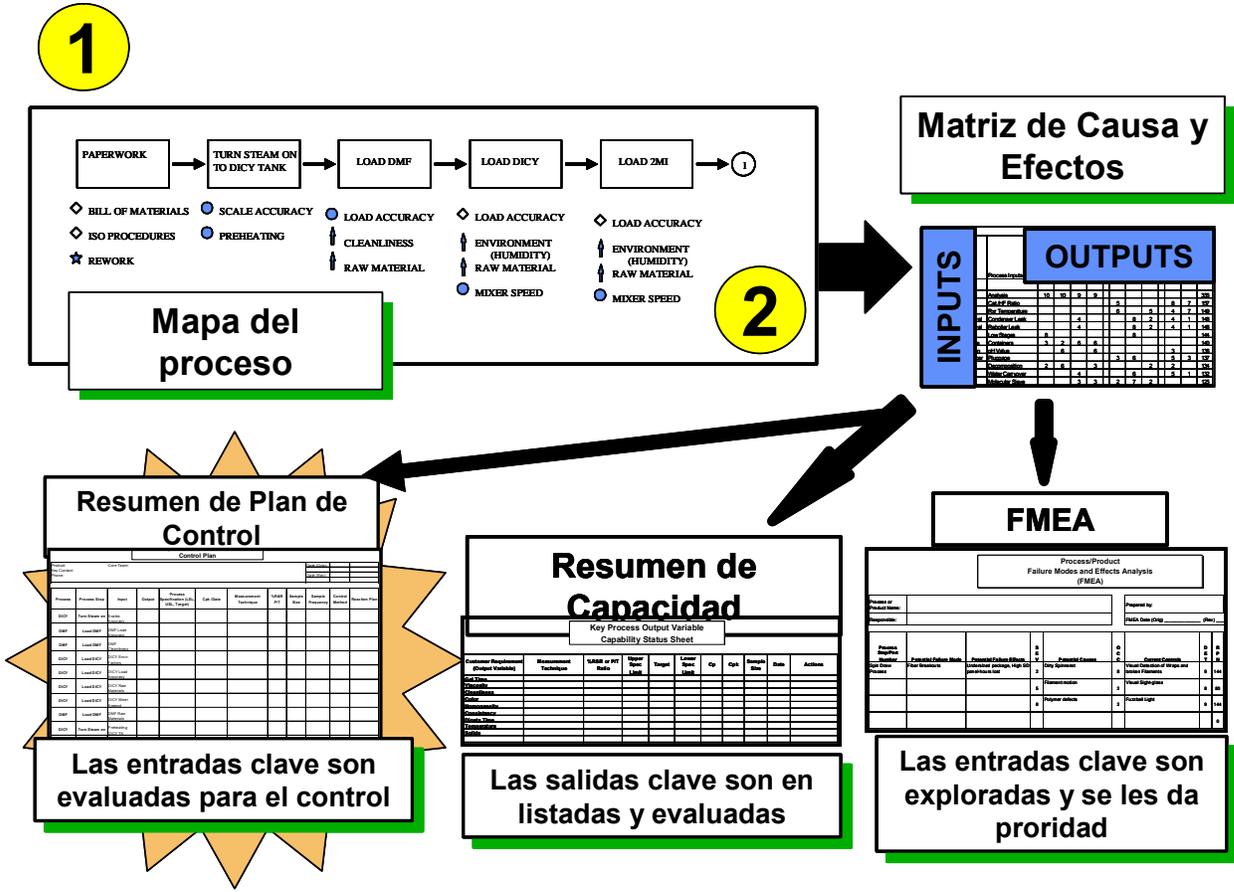


La secuencia de pasos que se recomienda para la elaboración del plan de control, puede variar de acuerdo al proceso y las decisiones que tome el equipo, por lo general se recomienda una secuencia similar a la siguiente:

1. Recolectar la documentación existente del proceso
2. Determinar el alcance del proceso para el plan de control actual
3. Formar equipos a fin de actualizar la documentación mas vieja
4. Estudios de capacidad a corto plazo serán remplazados con resultados de capacidad a largo plazo

5. Llenar el Resumen de Plan de Control
6. Identificar componentes inadecuados ó faltantes
7. Prestar especial atención a los planes de entrenamiento, mantenimiento, operación y reacción
8. Asignar tareas a los miembros del equipo a fin de completar los elementos faltantes del plan
9. Verificar la conformidad con los requerimientos de documentación de la planta
10. (Re)entrenar al personal de operaciones y mantenimiento
11. Recolectar firmas de EHS, mantenimiento, operaciones e Ingeniería de Procesos
12. Verificar la efectividad del plan de control en seis meses con un estudio de capacidad de largo plazo

De acuerdo con la secuencia de pasos, la información que debe ser la materia prima para los planes de control, debe partir del mapa de proceso y la matriz de C&E, por medio de esta información podemos empezar a evaluar las entradas clave en la cuales vamos a enfocarnos para establecer planes de control.





### a) Documentación del Plan de Control

Proceso	Etapa del Proceso	Entrada	Salida	Especificación del Proceso (LSE, LIE, Objetivo)	Cpk /Fecha (Tamaño de muestra)	Sistema de medición	%R&R %P/T	Método de Control Vigente	Tamaño de muestra	Frecuencia de Muestreo	Plan de Reacción

Para entradas clave del proceso y salidas clave del proceso, el sistema de medición y la capacidad del sistema de medición deben estar identificadas

No debemos olvidar registrar los objetivos y límites de especificación para las variables de entradas clave del proceso y las de salida.

Para entradas y salidas continuas, los índices de Cp/Cpk deben ser calculados. Registrar datos a corto y largo plazo cuando se encuentre disponible.

Deben ser enlistadas las especificaciones del plan de muestreo con el plan de reacción correspondiente para las situaciones fuera-de-especificación.

Este documento es una extensión de la columna de Controles actuales del FMEA.

### b) Métodos de Control

Cambios en el proceso requieren cambios en el Método de Control. El Método de control ayuda a la persona responsable del control de cada variable crítica y detalla como reaccionar ante condiciones fuera-de-control, debe incluir un plan de entrenamiento y un sistema de auditoría del proceso, e.j. QS-9000

Los Métodos Complicados pueden ser referidos con un número de documento y localización.

## **Plan de reacción y Procedimientos**

Las acciones deben ser responsabilidad de la gente más cercana al proceso. El Plan de Reacción simplemente puede referirse a un SOP e identificar a la persona responsable para el procedimiento de reacción

En todos los casos, la sospecha ó el producto con defecto ó no-conformidades debe ser claramente identificado y puesto en cuarentena.

## Validación de la mejora

Una vez terminados los esfuerzos de la fase de la mejora, necesitamos validar los resultados, para lograr ésta tarea, necesitamos replicar los estudios de capacidad para confirmar los resultados

Como resultados de la fase de validación nos gustaría observar lo siguiente:

- Un cambio en el desempeño comparado contra la base inicial
- Un desempeño predecible
- Reducir variabilidad
- Límites de control ajustados con menos puntos fuera de control y
- Por supuesto : Beneficios tangibles \$\$

Aplicamos estadística para validar si el cambio es real o no. Durante el desarrollo del proyecto los BB's y GB' aprenden un buen número de métodos para validar resultados dependiendo de un criterio en base a los datos

Algunos métodos potenciales son:

- Pruebas T
- Análisis de Varianza (ANOVA)
- Prueba de Chi-Cuadrada
- Análisis de Regresión

Algunas compañías encuentran la auditoria regular como un método muy efectivo, se recomienda validar a los tres meses de concluida la fase de mejora. Obviamente es muy importante la participación de la comunidad financiera.

## Capitulo 3



### **“Desarrollo de Proyecto de Inventarios”**

### **3.1 Objetivo del Proyecto**

El objetivo principal del proyecto es la reducción del capital de trabajo inactivo (\$\$) en inventarios de materias primas y como consecuencia una disminución en la rotación general de inventarios de materias primas.

Los beneficios que tendremos están en la reducción de capital de trabajo inactivo, mejora en los procedimientos de trabajo para la revisión de inventarios, establecimiento de una metodología para la revisión e identificación de materias primas inactivas, metodología para el control de los materiales activos en base a la variación del consumo vs volumen.

También ayudará al área de almacén a mejorar la presentación del reporte consolidado mensual de materias primas para un análisis más efectivo y rápido de los materiales.

El equipo que se formó para el desarrollo del proyecto estuvo conformado por las siguientes personas:

- Director General (Champion del Proyecto)
- Director de Operaciones
- Gerente de Inventarios
- Gerentes Técnicos
- Personal operativo en el manejo de los inventarios

### **3.2 Alcance del Proyecto**

El alcance de este proyecto está enfocado a la reducción de las materias primas que tengan una rotación mayor a 9 meses de acuerdo al consolidado que envía el área de inventarios de la Planta Matriz Naucalpan,

### **3.3 Métricos del Negocio**

El negocio de este proyecto radica en la reducción de capital de trabajo inactivo, debido a materias primas que no son utilizadas y que tienen una rotación mayor a 9 meses. La meta establecida es la reducción de \$6.4 millones de pesos en materiales inactivos a nivel nacional.

Por otro lado la rotación de inventarios también será beneficiada ya que tendremos una disminución de 3.2 meses a 2.8 meses; la meta establecida por el corporativo es de 2.5 meses.

### **3.4 Fase de Definición / medición**

#### **3.4.1 Resumen de Desarrollo del Proyecto**

Durante la etapa de definición desarrollamos un mapa con las actividades que llevaríamos a cabo durante el proyecto. Naturalmente el mapa tuvo algunos cambios durante el trayecto, el mapa que se muestra a continuación fue el resultado final del proyecto.

Utilizando las herramientas de Mapa de proceso, Matriz de C&E, diagramas de pareto y análisis de regresión, logramos determinar los principales materiales que tenían el mayor valor (\$) de cada área técnica y de esta manera enfocar esfuerzos en únicamente 5-8 materiales de cada área que representaban el 80% del total de materiales inactivos.

Por medio del FMEA logramos determinar las razones por las cuales los materiales pasaban a ser materias primas inactivas, siendo las principales:

- Falta de comunicación almacén-laboratorio-Ventas
- Materias primas que no cumplen con algún requisito
- Pedidos de alto volumen sin venta
- Perdida de mercado

En base a los análisis anteriores creamos equipos departamentales, generamos un formato para dar seguimiento a la reducción de las materias primas inactivas y

establecimos un programa de reuniones mensuales para revisar los planes a seguir con las materias primas de más alto valor que resultaran del diagrama de pareto.

Se propuso una metodología para el control de las materias primas activas mediante el “**Coefficiente de variación**” para identificar los planes de acción a tomar en cada materia prima dependiendo del volumen y de la variación en los consumos.

Finalmente creamos un plan de control para seguir monitoreando la disminución de las materias primas inactivas hasta llegar a la meta, el plan incluyó revisiones mensuales de las materias primas inactivas entre las áreas técnica y de operaciones, seguimiento mensual a la disminución de las materias primas inactivas, control de las materias primas activas.



### 3.4.2 Charter del Proyecto

El primer paso llevado a cabo por el equipo fue desarrollar un charter donde incluimos la base histórica para los métricos, la meta de cada uno de ellos y el valor de entitlement.

Un segmento del charter del proyecto se muestra a continuación.

**Nombre del proyecto: Inventarios de materias primas**

**Proyecto No. MEX-1**

Cinturon negro	Eduardo Vargas	Champion	Enrique Pérez-Cirera			
BB Teléfono	(001-52-55) 5333-2298	Localidad	Naucalpan, México			
Producto(s) impactados	Inventarios de materias primas	Ventas anuales proyectadas del producto impactado	N/A			
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Carta del equipo</b>				
<b>1. Proceso:</b>	El proceso en el cual hay areas de mejora.	Manejo de inventarios de materias primas en Naucalpan, México.				
<b>2. Descripción del proyecto:</b>	Describe el alcance y el propósito del proyecto.	Reducir el promedio de nivel de rotación de inventarios de materias primas de 3.2 a 2.8 meses.				
<b>3. Objetivos:</b>	Cuánto podemos mejorar?		<b>Base actual</b>	<b>Meta</b>	<b>Valor perfecto</b>	<b>Unidades</b>
	Datos anualizados al 2002	<b>Inactivos</b>	750 K	154 K	0	<b>USMD</b> 10.9 peso/USD
	<i>Metricos de balance</i>	<b>Nivel de rotación (Contable)</b>	3.2	2.8	0	<b>Meses</b>
		<b>Faltantes de Materia prima</b>	8	8	0	<b>Faltantes/día</b>
		<b>Costos de loguística (Externo)</b>	12,600	12,600	0	<b>USD/mes</b> 10.2 peso/USD
<b>4. Resultados del negocio:</b> (en 2002 Dollars)	Cual es la mejora anticipada en el funcionamiento del negocio (e.j. ventas/ingresos), incluir datos anualizados y el impacto en el año.	Reducir los niveles de inventarios de 3.2 a 2.8 meses de rotación lo cual equivale a tener un ahorro aproximado de \$750,000 USD en capital.				

Mediante el desarrollo del charter logramos que todo el personal involucrado en el desarrollo del proyecto tuviera una idea clara de lo que se pretendía lograr con el esfuerzo de mejora.

Los métricos fueron muy claros al establecer el valor actual en el que nos encontrábamos en ese momento, la meta que queríamos lograr y cual sería el valor perfecto si en un momento dado pudiéramos aspirar a este valor.

Finalmente el resultado de todos nuestros esfuerzos debería reflejarse en un beneficio para la empresa de \$590,000 USD aproximadamente en el aumento de capital de trabajo.

**3.4.3 Mapa de proceso**

Con la finalidad de poder identificar todas las etapas del proceso, así como las entradas y salidas en cada una de ellas, se elaboró un mapa del proceso de inventarios de materias primas.

A continuación se muestra una parte del mapa de proceso desarrollado.

Entradas		Etapa del proceso	Salidas
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estimado de consumos del área comercial y técnica</li> <li>2. Pronostico de consumos de las Sucursales</li> <li>3. Análisis del consumo promedio en los últimos tres meses</li> <li>4. Información del consumo de código de barras</li> </ol>	<p style="text-align: center;">C U C C</p>	<p style="text-align: center;">Pronostico de consumos del área comercial y sucursales por línea 1</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consolidado semanal de materias primas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incrementos en consumo</li> <li>- Decrementos en consumo</li> </ul> </li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiempos de entrega de cada proveedor</li> <li>2. Política de 2.5 meses max. de inventario.</li> </ol>	<p style="text-align: center;">C C</p>	<p style="text-align: center;">Definición de máximos, mínimos y punto de reorden 2</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consolidado semanal de materias primas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Activos</li> <li>- Inactivos</li> <li>- Obsoletos</li> <li>- Excedentes de inventarios</li> </ul> </li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Análisis de requerimientos</li> </ol>	<p style="text-align: center;">C</p>	<p style="text-align: center;">Comparación de existencias contra punto de reorden 3</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requisición de compra</li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requisición de compra</li> <li>2. Revisión de faltantes de Materia Prima</li> </ol>	<p style="text-align: center;">C C</p>	<p style="text-align: center;">Generación de ordenes de compra 4</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documento. Orden de compra</li> <li>2. Negociación y concertación de compra (Condiciones)</li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Orden de compra</li> </ol>	<p style="text-align: center;">C</p>	<p style="text-align: center;">Seguimiento de orden de compra 5</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reportes de seguimiento (comunicados de ajuste de tiempos y cantidades).</li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Entrada de almacén</li> <li>2. Orden de compra</li> </ol>	<p style="text-align: center;">C C</p>	<p style="text-align: center;">Recepción y almacenamiento de materias primas 6</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Registro de entradas de almacén</li> <li>2. Registro en CBS</li> <li>3. Registro en código de barras</li> </ol>

El siguiente paso fue llevar a cabo una selección de las salidas y las entradas más importantes del proceso, para utilizarlas como materia prima para la matriz de C&E.

#### Entradas del proceso

Estimado de consumos del área comercial y técnica  
Pronostico de consumos de las Sucursales  
Análisis de los consumos promedio, últimos tres meses  
Información del consumo de código de barras  
Tiempos de entrega de cada proveedor  
Política de 2.5 máx. de inventario  
Requisición de compra  
Revisión de faltantes de materia prima  
Orden de compra  
Entrada de almacén  
Requisición de materiales de producción  
Requisición de materiales de embarques  
Reporte de consolidado de materias primas

#### Salidas del Proceso

Incrementos de consumo  
Decrementos de consumo  
Materiales activos  
Materiales inactivos  
Niveles de rotación de c/MP  
Información en CBS  
Información en CB

### **3.4.4 Matriz de Causa & Efecto**

El siguiente paso que llevó a cabo el equipo fue elaborar la matriz de C&E con el objetivo de encontrar la relación entre las variables de entrada del proceso con las variables de salida del proceso (requerimientos del cliente) haciendo uso del mapa de proceso como principal fuente de información.

Donde las variables clave de salida del proceso fueron evaluadas en base a la importancia que tienen para el cliente y las variables de entrada del proceso son evaluadas en relación a la importancia con las variables clave de salida.

El criterio que tomamos para encontrar la relación de las salidas con las entradas fue de 0, 1, 3 y 9 de acuerdo al valor de importancia que le da el cliente. A continuación enlisto las 5 principales entradas que resultaron de la matriz de C&E:

- Requisición de compra de materiales
- Información de consumos de código de barras
- Estimados de consumo del área comercial y técnica
- Análisis de requerimientos
- Estimados de consumo de Sucursales

El equipo decidió dar prioridad a la información referente al código de barras, a los estimados del área comercial y al análisis de requerimientos (consolidado de materias primas), el primer paso es asegurarnos que la información que nos proporciona el reporte consolidado de materias primas por parte del área de inventarios es confiable y nos permitirá tomar decisiones relevantes para el desarrollo del proyecto, por lo que proseguimos con el desarrollo del análisis del sistema de medición (MSA) mediante una auditoria interna de calidad bajo los lineamientos y formatos de ISO-9000.

Una parte de la matriz C&E se muestra a continuación. Las áreas sombreadas corresponden a las entradas y salidas más importantes.

										6	5
										7	5
										Reportes de seguimiento	
										Negociación y concertación de compra	
										3	3
										0	0
										3	1
										1	0
										0	1
										3	1
1	1										
4	Generación de ordenes de compra	Revisión de faltantes de materia prima	3	3	3	3	3	5	3	0	
2	Definición de máximos y mínimos	Política de 2.5 meses máx de inventarios	3	0	5	3	1	3	0	3	
6	Recepción y almacenamiento de materias primas	Documento de entrada al almacén	5	0	5	5	0	0	3	0	
5	Seguimiento a las ordenes de compra	Orden de compra	1	5	1	1	0	3	5	5	
6	Recepción y almacenamiento de materias primas	Orden de compra	1	5	1	1	0	3	5	5	
8	Verificación de los niveles de rotación de los inventarios	Consolidado semanal de materias primas: ( Consumo de materias primas	0	5	0	0	1	5	5	1	
Total			440	430	400	420	240	210	192	105	

### **3.4.5 Análisis de los sistemas de medición (MSA)**

El siguiente paso fue investigar si la información que proporciona el reporte “*consolidado de materias primas*” es confiable y puede ser usada para la toma de decisiones y como referencia básica para el desarrollo del proyecto.

Lo anterior se realizó mediante una auditoria interna de calidad, en la cual verifique la confiabilidad de los siguientes puntos considerados relevantes para la información del consolidado:

#### **1. Precios de materias primas**

- a) ¿Cómo se lleva a cabo la actualización de los precios de las materias primas?
- b) ¿Quién proporciona la información?
- c) ¿Son confiables los precios del consolidado?

#### **2. Entradas y salidas del almacén**

- a) ¿Se cumple el procedimiento para la actualización de inventarios de Suc y frontera?
- b) ¿Cómo se actualiza la información de entradas al almacén?
- c) ¿Se cuenta con un procedimiento de entradas al almacén?
- d) Las cantidades que hay físicamente coinciden con las que marca el CBS y el CB
- e) Las salidas se descargan correctamente del CB. Los materiales que están en producción fueron descargados del CB.
- f) Son confiables las cantidades que se reportan en el CBS, CB y consolidado.

#### **3. Facilidad en el manejo de la información**

- a) ¿El consolidado permite visualizar fácilmente los materiales considerados inactivos?
- b) ¿Existe algún procedimiento o metodología para controlar los materiales de alta rotación y alto volumen?
- c) ¿Cómo se asegura que en los materiales inactivos no se coloquen pedidos?

#### **4. Altas y bajas de materias primas del consolidado**

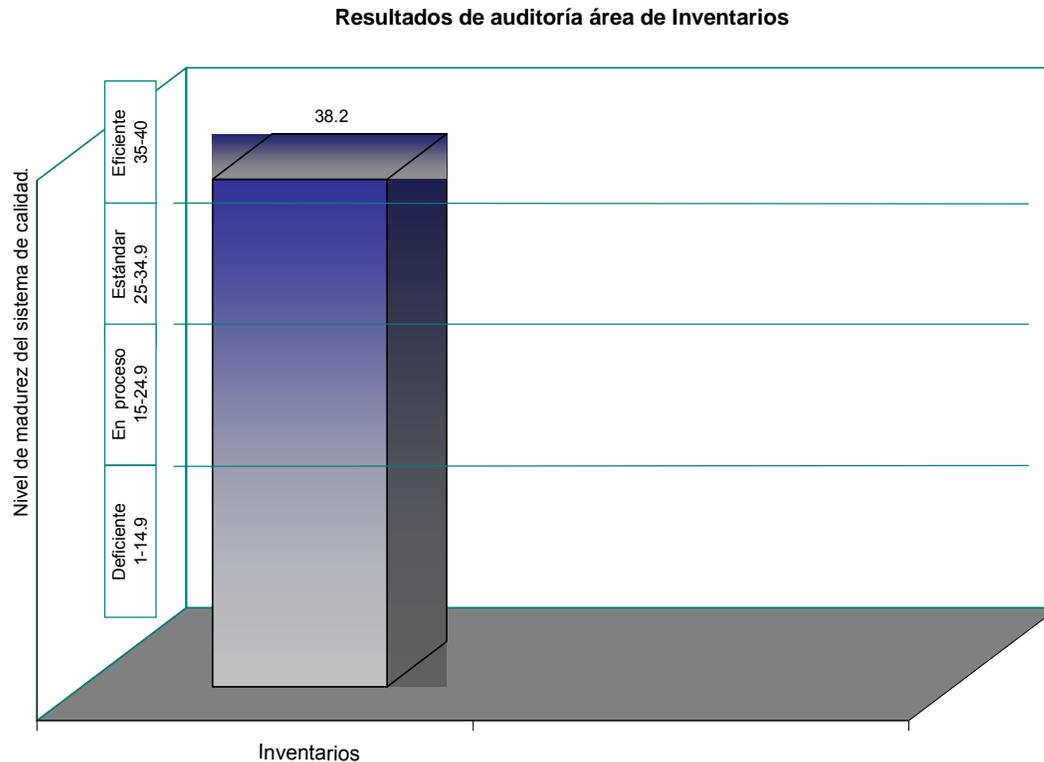
- a) ¿Se cuenta con un procedimiento para dar de baja una MP del consolidado?
- b) ¿Las bajas del consolidado tienen autorización escrita del área técnica?
- c) ¿Cómo se asegura que no hay existencias en los materiales que se dan de baja del consolidado?

Una muestra del formato desarrollado se muestra a continuación. Por medio de este formato teníamos la posibilidad de darle un peso a cada uno de los puntos verificados, ponderar una calificación para este punto y generar las recomendaciones necesarias.

Auditoría Núm.:		Planta: Naucalpan		Hoja 1 de 2	
Área: Consolidado de Materias Primas			Responsable: Antonio Audifred		
Referencia	Requisitos a evaluar	Valor al Sistema	Calificación	Resultado	Observaciones
<b>1. PRECIOS DE MATERIAS PRIMAS</b>					
	1. Como se lleva a cabo la actualización de los precios de las MP	40			
	2. Quien proporciona la información, ( se obtiene de sistema, reporte escrito, etc)	30			
	3. Los precios del último consolidado son confiables.	40			
<b>2. ENTRADAS Y SALIDAS DE MATERIAS PRIMAS AL ALMACÉN</b>					
	1. Procedimiento para la actualización de los inventarios de Sucursales y Frontera.	30			
	a) Como se actualiza la información de las MP que están en frontera				
	b) Como se actualiza la información de los inventarios que están en Sucursales.				
	c) Cada cuando se lleva a cabo dicha actualización				
	2. Entradas al almacén de MP	40			
	a) Como se actualizan las cantidades de MP que entran al almacén				
	b) Quienes son los responsables de hacer dicha actualización				
	c) Hay procedimientos?, el personal los conoce y los sigue?				
	d) Las cantidades que hay físicamente coinciden con las que marca el CBS y/o el código de barras.				
	3. Salidas de MP del almacén	40			
	a) Se descargan correctamente las salidas del almacén de MP, las MP que están en producción fueron descargadas del código de barras. El sistema asegura que las descargas tanto de día como de noche fueron ingresadas al sistema CBS.				
	b) Como se actualizan las existencias en el CBS, código de barras y consolidado, cuando se tienen salidas del almacén. Las cantidades que se reportan en cada documento son confiables.				

## Resultados finales de MSA

Tomando en cuenta el sistema de ponderación, el área de inventarios obtuvo un calificación de 38.2 de un total de 40 posible, lo cual la sitúa en un nivel efectivo



## Hallazgos y Recomendaciones

### I. Entradas y salidas del almacén

Las entradas de MP las podemos validar con los reportes que elabora almacén todos los días.

Para las salidas no podemos validar que los almacenistas lleven a cabo bien su trabajo, debido a que las salidas de almacén no es un documento confiable. Al llevar a cabo una verificación en planta detectamos un tambor de 200 kg de Ac. Isopropilo, de jul/25 el cual no estaba descargado del código de barras.

Se detectó que una de las causas principales por las cuales el material no es descargado del sistema de CB al ser surtido es debido a descuido de los almacenistas ya que se les ha brindado la capacitación necesaria. Por otro lado el área de producción tiende a tomar material del almacén sin previo aviso, principalmente por las noches.

### **Acciones tomadas**

Antonio Audiffred implementó un nuevo formato para el control de salidas, para poder monitorear a los responsables de dar de baja los materiales del código de barras.

- (Junta) Proporcionar radio a montacargistas del turno de la noche para evitar que el área de producción tomé materiales del almacén sin avisar.
- (Junta) Para evitar que los materiales que ingresan al almacén no sean dados de alta en el CB, se volvió a recordar a los almacenistas que deben seguir rigurosamente la secuencia de recibir, etiquetar y almacenar. No importa que haya proveedores esperando turno de descarga.
- (Junta) Manejar un solo tipo de vales de salida del almacén para producción y servicios al cliente.

### **II. Facilidad en el manejo de la información**

Se detectó que la formula para determinar la rotación de los inventarios no permite visualizar cuando un material está en proceso de rezago; es decir, para los materiales con alta rotación del inventario la formula tiene a cero en lugar de dar un valor real de rotación. Para los materiales activos el criterio para la solicitud de material solo se lleva a cabo mediante el histórico de los 3 meses anteriores y el pronóstico del área de ventas.

### **Acciones**

- Cambiar la formula para el calculo de la rotación para que los materiales que tiendan a ser inactivos sean identificados fácilmente y puedan ser atacados por las áreas técnicas.
- En el caso de los materiales activos E Vargas propuso un método para manejar de acuerdo a coeficiente de varianza vs volumen.

### III. Altas y bajas de materias primas del consolidado

A pesar de que hay una tendencia a dar de baja del consolidado los materiales que no tienen movimiento, hay un gran número de materiales que son dados de alta en el consolidado, lo que provoca que no se note una disminución en el total de las materias primas registradas en el consolidado.

#### Acciones

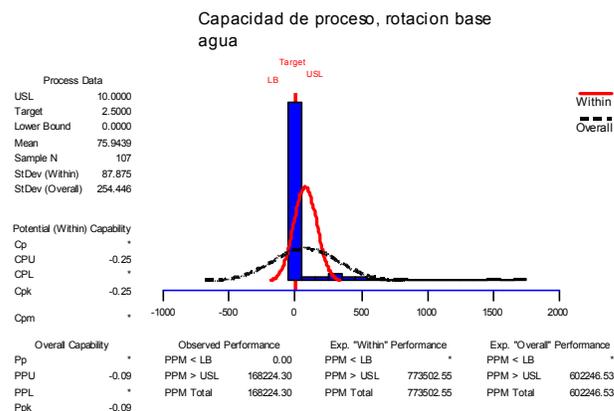
- Antonio Audiffred esta llevando a cabo una campaña para dar de baja materiales con consumo cero.
- Antes de dar de baja un material del consolidado, A Audifred se asegura que este dado de baja del sistema CBS con la autorización escrita del área técnica.

#### 3.4.6 Capacidad del proceso

Una vez concluido el análisis de MSA lleve a cabo un análisis de capacidad, con la finalidad de obtener un valor que me permitiera medir el performance de cada una de las áreas técnicas involucradas en el control de los inventarios.

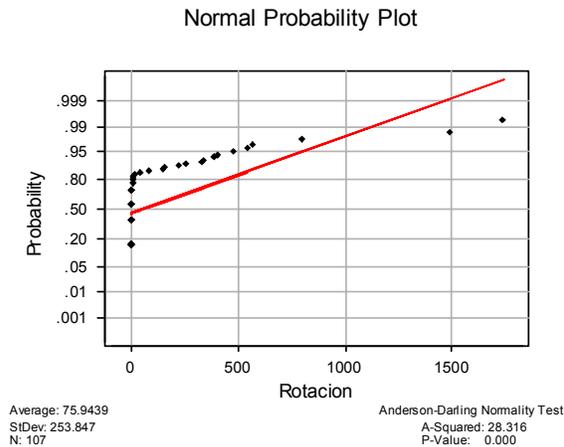
El análisis lo lleve a cabo tomando en cuenta el nivel de rotación de cada uno de las materias primas. La política corporativa de máximo 2.5 meses de rotación en cada materia prima la utilice como “target”, como límite superior 4 meses y límite inferior 0 meses.

Como ejemplo se anexa el análisis de capacidad para el área de base agua.



Los resultados principales de esta gráfica son el Cp y el Cpk, indicadores que nos permiten conocer el desempeño del proceso y que deben reflejar las mejoras que hagamos.

Sin embargo al hacer el estudio de normalidad de los datos, resulto que los datos no son normales, por lo que los resultados obtenidos en el estudio de capacidad no podían ser confiables para medir el desempeño del proceso. Por lo que se desechó la idea de utilizar esta herramienta.



### 3.4.7 Nivel de Sigma

Al no obtener resultados confiables con “capacidad del proceso”, tomé como opción calcular el “nivel de sigma” para medir el desempeño de cada una de las áreas técnicas (áreas de inventarios).

El nivel de sigma es un indicador claro de la cantidad de productos defectuosos que esta teniendo cada proceso, para este caso los productos defectuosos son aquellos cuya rotación de materias primas es mayor a 9 meses (inactivos), en la medida que disminuyéramos los productos inactivos, nuestro proceso tendería aumentar su nivel de sigma. Naturalmente un valor de 6 sigma significaría que hemos eliminado casi por completo los inventarios inactivos.

En Excel se programa una hoja, donde;

# de unidades = # total de materias primas por cada área técnica

# Oportunidades por cada defecto = 1, debido a que un material se encuentra dentro o fuera de la especificación de nivel de rotación.

# Defectos = # de materias primas que tienen una rotación igual o mayor a 9 meses.

La tabla siguiente muestra los niveles de sigma de cada una de las áreas técnicas durante el desarrollo del proyecto.

Área técnica	Nivel sigma Enero	Nivel sigma Mayo	Nivel sigma Agosto	Nivel sigma Diciembre
Agua	2.53	2.68	2.60	3.25
Offset	2.44	2.44	2.70	3.77
UV/ EB	2.31	2.23	2.01	3.14
Solvente	2.49	2.37	2.35	3.29
General	2.46	2.6	2.65	3.53

### **3.5 Fase de análisis**

#### **3.5.1 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)**

Una vez terminada la fase de medición el siguiente paso fue elaborar el análisis de FMEA para identificar fallas potenciales. Se establecieron las entradas principales que resultaron de la matriz de C&E dentro del formato de FMEA. En donde le dimos a cada una de las entradas un valor de severidad, ocurrencia y detección. Esto nos permitió encontrar las mayores fallas potenciales.

De acuerdo al análisis realizado en el FMEA las principales acciones en las que el equipo enfocó sus esfuerzos fueron:

- Disminuir los volúmenes de compra de los materiales con mayor rotación.
- Asignar a un técnico en cada una de las áreas técnicas que este revisando continuamente la sustitución de materiales inactivos.
- Rediseñar el formato del consolidado de materias primas para que permita una visualización más rápida de los materiales inactivos.
- Llevar a cabo revisiones periódicas para asegurar que los almacenistas están descargando del código de barras los materiales conforme salen del almacén.

En base a estas acciones comenzamos con la medición de los materiales inactivos a través de análisis de Pareto de cada una de las áreas técnicas. Se establecieron reuniones mensuales con el área técnica y de operaciones para llevar a cabo las acciones necesarias para la disminución de tales materiales. Se revisó el procedimiento de manejo de inventarios para asegurar su cumplimiento.

Anexo una sección del reporte de FMEA desarrollado:

**Process/Product**  
**Análisis de Modo de Falla y Efecto**  
**(FMEA)**

Nombre del Producto o Proceso	<b>Control de niveles de inventarios</b>	Preparado por : <b>Eduardo Vargas</b>
Responsable	<b>Eduardo Vargas</b>	FMEA Fecha (Orig) __Septiembre 2004__

Paso/Entrada del Proceso	Modo de Falla Potencial	Efecto Potencial de la Falla	S E V	Causas Potenciales	O C	Controles Vigentes	D E	R P	N
Estimados de consumo del área comercial y técnica y/o Sucursales	Estimado erroneo	a) Generación de Excedentes que posteriormente se convierten en Inactivos b) Generación de faltantes de materia prima c) Espacio ocupado	10	a) Falta de conocimiento de las tendencias del mercado b) Revisión no adecuada del consumo histórico	10	a) Reuniones mensuales con el área técnica y comercial para revisar inventarios de M P. b) Envío de consolidado de M P cada semana, vía correo a Gerencias involucradas.	7		700
Información de consumo de código de barras	No ingresar las salidas de almacén en el código de barras	Faltantes de material	10	a) Distracción del operador b) No seguir el procedimiento al pie de la letra	4	Procedimiento para almacenaje de materiales	7		280
Estimados de consumo del área comercial y técnica y/o Sucursales	Venta no concluida	a) Material procesado con alto riesgo de ir a work-off b) Materiales para stock	7	Falta de seguimiento por parte del vendedor	7	No hay controles	5		245
Requisición de materiales por parte de producción	Surtir materiales diferentes debido a faltantes de MP	a) Alterar O F b) Posible impacto en la varianza de sustitución	6	Producción sugiere el uso de un material sustituto	9	a) Política de no entregar materiales a producción que no sean los indicados en las O F b) Política de: Únicamente desarrollos tiene autoridad para modificar una fórmula	4		216
Estimados de consumo del área comercial y técnica y/o Sucursales	El cliente no lleve a cabo la producción planeada	a) Material procesado con alto riesgo de ir a work-off b) Materiales para stock	7	a) Planeación no adecuada b) Ventas no de asesoría al cliente en las cantidades necesarias para su producción	5	a) Capacitación técnica al área de ventas b) Concientizar al área de ventas en brindar visitas continuas a los clientes	6		210
Análisis de requerimientos	Errores de análisis debido a la gran cantidad de materiales	a) Colocar pedidos fuera de tiempo b) Posible desabasto	7	Gran número de materiales a analizar	6	Rediseño del formato del consolidado de M P para que se separen las MP dependiendo de su clasificación	5		210
Requisición de materiales por parte de producción	Entregar material sin requisición. Solo de palabra	a) No registrar salida en código de barras b) Información errónea en código de barras	7	Básicamente en las noches no encuentran al almacenista, por lo que producción toma el material	3	No hay controles	10		210
Requisición de materiales por parte de producción	No ingresar la salida al código de barras	Información errónea en el código de barras	7	Básicamente en las noches no encuentran al almacenista, por lo que producción toma el material	3	No hay controles	10		210

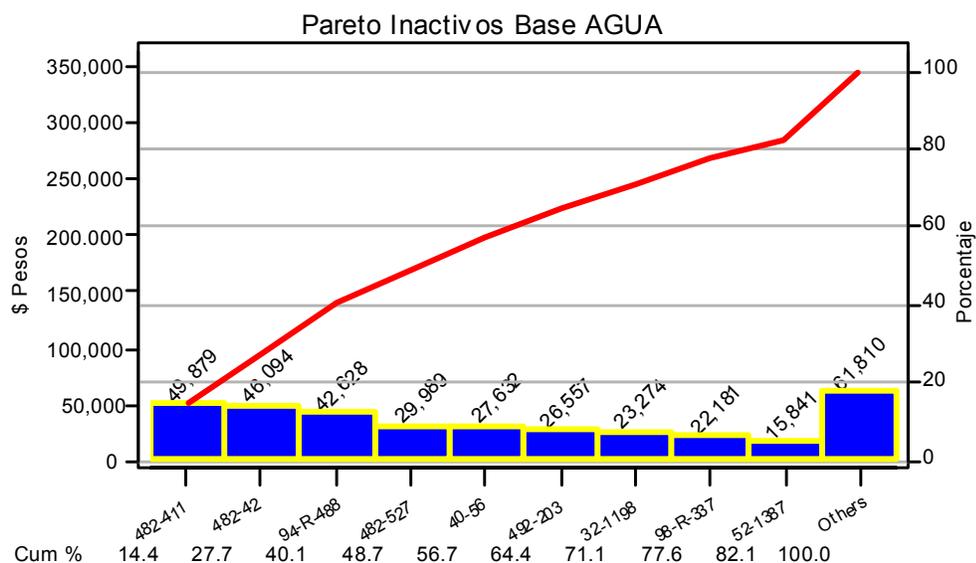
### 3.5.2 Diagramas de Pareto

Con el propósito de tener una herramienta que nos permita identificar de manera rápida y eficiente la frecuencia y el impacto económico de los materiales inactivos de mayor peso, para poder tomar decisiones concretas en cada uno de los materiales y poder enfocarnos en el 80/20, generamos Diagramas de Pareto para cada una de las áreas técnicas.

El diagrama que se muestra a continuación es un ejemplo de las gráficas que mes tras mes se han presentado a cada una de las áreas técnicas y que básicamente nos han llevado a:

- Enfocarnos en los materiales inactivos de mayor impacto económico
- Establecer acciones concretas a corto tiempo en estos materiales
- Concienciar a las áreas técnicas en el impacto de los materiales que no tienen movimiento
- Evitar la acumulación de materiales sin movimiento.
- Lograr la disminución del capital de trabajo inactivo debido a estos materiales
- Apoyar la disminución de la rotación de inventarios de materia prima

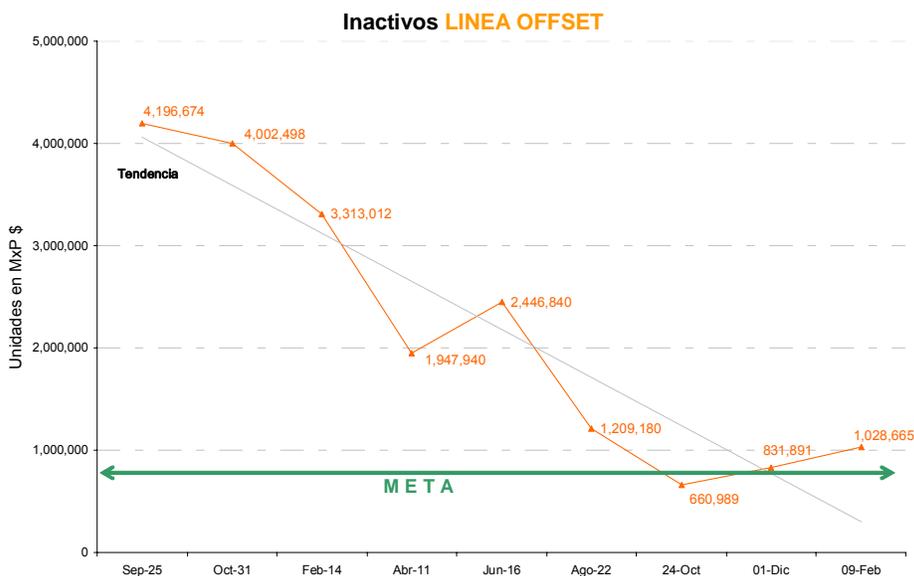
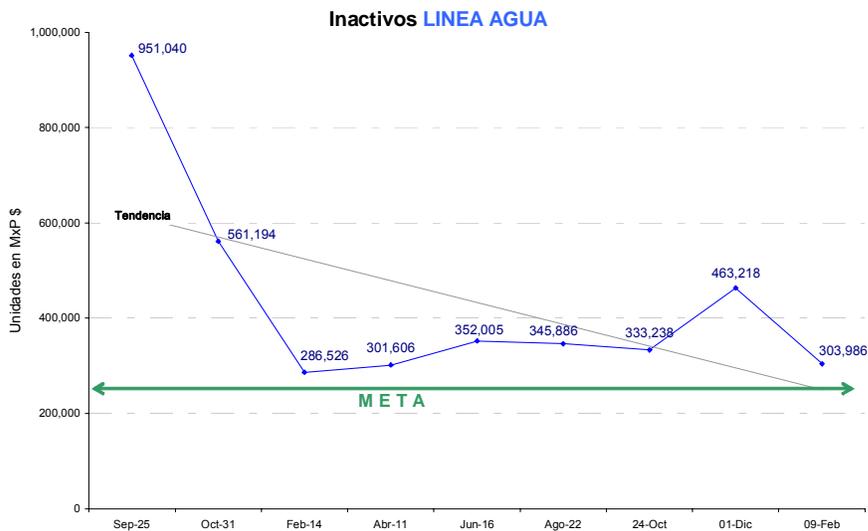
Inventarios y Consumos M.P. al 22 de Octubre 2004		TOTAL		EXISTENCIA EN CONSOLIDADO		INV. MAXIMO PERMITIDO 2.5 MESES	ROTACION DEL INV.	COSTO UNITARIO	
		LIBRES EXISTENCIAS	EXISTENCIAS	NAUCALPAN	TOTAL				
CLAVE	DESCRIPCION	A	KILOS	PESOS					
482-411	DEPO PI-35	*	328	49,878.80	328	328	0	328.2	152
482-42	ANTIESPUMANTE	*	388	46,094.40	369	388	0	388.0	118.8
94-R-488	RCD-9210	*	760	42,628.40	760	760	0	760.0	56.09
482-527	SURFYNOL 420	*	197	29,988.88	160	197	45	10.9	152.46
40-56	ROJO RL 267	*	255	27,631.80	255	255	0	255.0	108.36
492-203	BACOTE 20	*	608	26,557.44	448	548	90	16.9	43.68
32-1198	NARANJA FLEX.	*	200	23,274.00	200	200	0	200.0	116.37
98-R-337	EXTENDER PMA026	*	1499	22,181.06	1499	1499	0	1498.7	14.8
52-1387	AZUL (BCD6105)	*	299	15,841.02	138	299	0	299.0	52.98
100-1083	ROJO VERMILLON AQ-IN	*	26	14,187.16	26	26	5	13.0	545.66
482-150	LAMBENT IC-1000	*	143	11,897.60	0	143	0	143.0	83.2
90-1193	CDI DISPERSION BLAK	*	236	9,544.90	236	236	0	236.3	40.4
22-1269	AMARILLO	*	60	7,401.60	60	60	0	60.0	123.36
928-1349	A-112 ALGLOSS INK V.	*	213	6,787.97	213	213	0	213.2	31.84
928-1806	SEICRYL S-1701	*	400	4,284.00	400	400	0	400.0	10.71
58-1083	HORIZON BLUE SPL-19-N	*	32	3,672.24	32	32	0	32.1	114.4



### 3.5.3 Análisis de Regresión

Con la finalidad de conocer la tendencia de los materiales inactivos en cada una de las áreas técnicas, elabore diagramas de gráfico de series de tiempo vs meta, adicione en cada diagrama una línea de tendencia mediante una regresión lineal de los datos disponibles. Esto nos permite visualizar rápidamente si las acciones que estamos tomando nos están llevando a la disminución de los materiales inactivos.

A manera de ejemplo estoy adicionando las gráficas utilizadas para el área de base agua y offset.



## **3.6 Fase de mejora**

### **3.6.1 Resumen**

Las siguientes acciones fueron establecidas durante la fase de mejora.

1. Establecer un sistema de medición de los materiales con rotación mayor a 9 meses, los cuales son considerados inactivos.
2. Disminución de los volúmenes de compra de los materiales con alta rotación
3. Establecer un proceso de revisión de los materiales inactivos en cada una de las áreas técnicas, para establecer acciones concretas que permitan darle salida a dichos materiales.
4. Modificación del formato de vales del almacén. Vales únicos para producción y servicios al cliente, con el propósito de asegurar que los materiales que salen del almacén son dados de alta en el sistema de código de barras y CBS
5. Modificar la formula para el calculo de la rotación de inventarios, ya que la antigua formula indicaba que cuando un material dejaba de consumirse el valor de rotación debía ser cero.
6. Establecer como política que producción no podría recibir ningún material que no tuviese etiqueta de código de barras.
7. Establecer como procedimiento de almacén la secuencia de recibir, etiquetar y almacenar para evitar que ingresen materiales al almacén sin ser dados de alta en el sistema de código de barras.
8. Planes de acción en cada área técnica, con acciones concretas para cada uno de los materiales inactivos de mayor importancia en el pareto.

### 3.6.2 Control de inactivos

Al llevar a cabo la medición de los materiales inactivos logramos identificar la causa raíz de gran parte del problema del control de inventarios, debido a que al inicio del proyecto estos representaban MxP\$8, 175,000 del total de inventarios. La identificación y establecimiento de acciones concretas para estos materiales de bajo movimiento nos han permitido lograr una reducción considerable del inventario de materiales inactivos

### 3.6.3 Control de Materiales activos. Coeficiente de variación

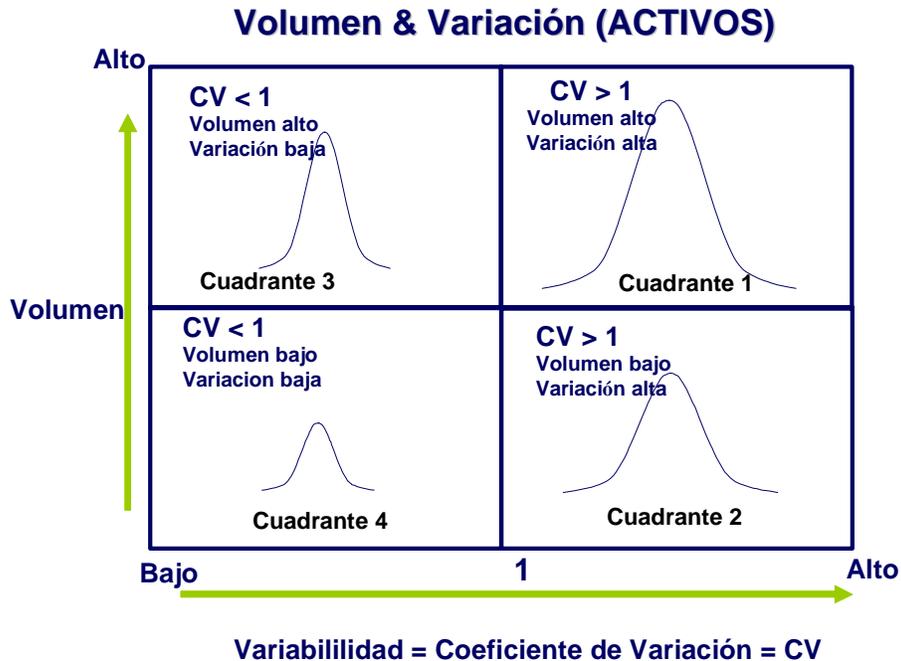
Una vez establecidos los controles para los materiales inactivos el siguiente paso fue implantar una herramienta para mejorar el control de los materiales activos.

La herramienta implementada se conoce como “Coeficiente de Variación”, por medio de la cual podemos medir y controlar la volatilidad de los consumos de los materiales activos (Rotación menor a 9).

El coeficiente de variación de cada material se calcula por medio de la desviación estándar de los consumos de un período de tiempo entre el promedio de los mismos consumos.

$$\text{Coeficiente de Variación (CV)} = \text{Desviación estándar} / \text{promedio las mediciones}$$

El resultado se gráfica contra el volumen promedio del material para obtener una gráfica similar a la siguiente:



De la gráfica anterior podemos ver que;

- Materiales con un CV mayor a 1 se consideran de alta variación en el consumo
- Materiales con un CV menor a 1 se consideran de baja variación en el consumo
- Materiales con un volumen mayor a la mediana del grupo se consideran de alto volumen
- Materiales con un volumen menor a la mediana del grupo se consideran de bajo volumen.

Los cuadrantes fueron numerados en orden de importancia para poder identificar los materiales que se encuentran en cada uno de ellos.

Esto nos permite agrupar los materiales activos de acuerdo a la variación de su consumo y el volumen que se maneja. Posteriormente en conjunto con el área de inventarios establecimos las acciones a tomar en los materiales de cada uno de los cuadrantes. Ver gráfica siguiente.

## Acciones



Se entrega un reporte de los materiales que corresponden a cada cuadrante al área de operaciones para que en base a estos resultados tomen las medidas en cada material de acuerdo al cuadrante en que se ubica.

### 3.6.4 Actualización del FMEA

Durante la fase de mejora se llevo a cabo una actualización al FMEA, con la finalidad de revisar el cumplimiento de las acciones recomendadas y para asegurarnos de establecer controles en las entradas críticas del proceso.

De la actualización del FMEA las entradas críticas del proceso resultaron ser:

- Inactivos del área de base agua
- Inactivos del área de offset
- Inactivos del área de UV/UB
- Inactivos del área de solvente
- Materias primas activas

### **3.7 Fase de Control**

#### **3.7.1 Plan de control**

Durante la fase de control se elaboró el plan de control con la finalidad de asegurarnos que las mejoras del proceso de inventarios están institucionalizadas y el proceso estará operando de manera consistente con un mínimo de variación.

Para los inactivos de cada una de las áreas se establecieron revisiones mensuales de las tendencias mediante diagramas de Pareto para identificar los materiales inactivos que tienen una mayor relevancia económica en el proceso. También se crearon los planes de reacción para cada una de las áreas cuando las tendencias no sean las adecuadas.

Para los materiales activos se estableció un reporte mensual de “coeficiente de variación” para todos los materiales. Por medio de este reporte el área de almacén está en posibilidades de tomar decisiones más certeras acerca del pronóstico de los consumos de cada material. También se crearon acciones concretas para cada uno de los cuadrantes.

A pesar de que el proyecto será cerrado, se continuará con el monitoreo de los materiales inactivos de cada área mes con mes, además cada dos meses se elaborará el reporte de coeficiente de variación de los materiales activos. El proyecto seguirá dando beneficios durante los siguientes años en la medida que se reduzcan las materias primas inactivas de cada una de las áreas técnicas.

El plan de control se muestra a continuación:

# Plan de Control

Producto: Rotación de inventarios de Materias Primas			Equipo Central: Armando Castillejos, Antonio Audifred, Francisco González, Jorge González					
Contacto clave: Eduardo Vargas			David Juárez					
Teléfono: (55) 5333-2298								
Localidad: Naucalpan, México								
Proceso	Etapa del Proceso	Entrada	Salida	Espec Proceso (LSL, USL, Objetivo)	Cpk / Fecha (Tamaño de muestra)	Sistema de Medición	%R&R o P/T	Método de Control Vigente (del FMEA)
inventarios	Análisis de inventarios de Materias Primas		Reporte de materias primas (Diagramas de series de tiempo, análisis de pareto)	Cada 15 días	N A	Sistema CBS & Código de barras	Auditorias internas	Reuniones del equipo cada 15 días
inventarios	Análisis de inventarios de Materias Primas		Rotación de inventarios	Meta =Max 2.8 meses	Nivel actual vs Especifica	Reporte del área de contabilidad	Auditorias Administrativas	a) Distribución mensual del reporte de contabilidad a las áreas de operaciones, técnicas y comercial, para revisión. Monthly report b) Revisión mensual por Director de Operaciones
inventarios	Análisis de inventarios de Materias Primas		Capital inactivo en materias primas	Max \$750,000 pesos	Nivel actual vs Especifica	Reporte de materias primas del almacén	Auditorias Internas	Reporte mensual con estadísticas de inactivos (diagrama de series de tiempo en cada área)

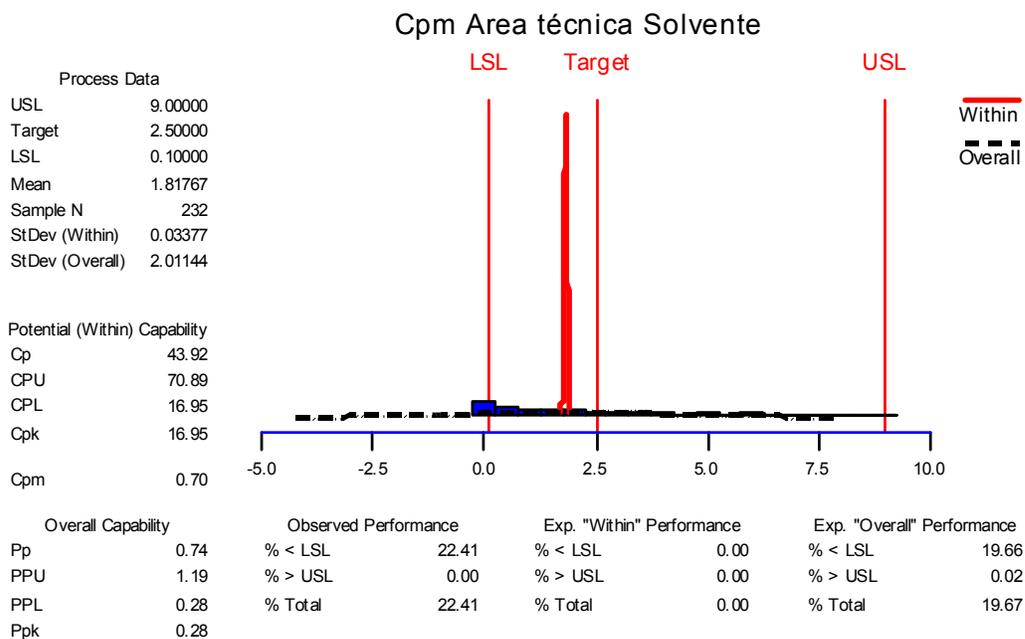
# Plan de Control

Producto: Rotación de inventarios de Materias Primas				Equipo Central: Armando Castillejos, Antonio Audifred, Francisco González, Jorge González						Fecha (Orig):		Abr-05	
Contacto clave: Eduardo Vargas				David Juárez						Fecha (Rev):		N/A	
Teléfono: (55) 5333-2298										No. (Rev):		0	
Localidad: Naucalpan, México										Plan de Control Vigente			
Proceso	Etapa del Proceso	Entrada	Salida	Espec Proceso (LSL, USL, Objetivo)	Cpk / Fecha (Tamaño de muestra)	Sistema de Medición	%RAR o P/T	Método de Control Vigente (del FMEA)	Quien	Donde	Cuando	Plan de reacción	
Inventarios	Análisis de inventarios de Materias Primas		Reporte de materias primas (Diagramas de series de tiempo, análisis de pareto)	Cada 15 días	N/A	Sistema CBS & Código de barras	Auditorías internas	Reuniones del equipo cada 15 días	A Audifred ( Supervisor almacén)	Oficina del almacén	Cada 15 días	El equipo es responsable de dar seguimiento al reporte. Si el reporte no esta listo en la quincena, se debe dar aviso al Director de Operaciones.	
Inventarios	Análisis de inventarios de Materias Primas		Rotación de inventarios	Meta =Max 2.8 meses	Nivel actual vs Especifica	Reporte del área de contabilidad	Auditorías Administrativas	a) Distribución mensual del reporte de contabilidad a las áreas de operaciones, técnicas y comercial, para revisión.Monthly report b) Revisión mensual por Director de Operaciones	Armando Castillejos (Director de Operaciones)	Oficina de opeaciones	Mensual	Si el inventario excede de 2.8 meses, el equipo debera programar reuniones con el área de compras, comercial y técnica para revisar causas.	
Inventarios	Análisis de inventarios de Materias Primas		Capital inactivo en materias primas	Max \$750,000 pesos	Nivel actual vs Especifica	Reporte de materias primas del almacén	Auditorías Internas	Reporte mensual con estadísticas de inactivos (diagrama de series de tiempo en cada área)	Eduardo Vargas. Hasta el momento de completar la meta	Oficina Six Sigma	Mensual	Si la cantidad en peso excede la meta, cada área técnica debera revisar las causas raíz del problema.	
Inventarios	Análisis de inactivos	Inactivos base agua		LSE = 200,000 pesos Rotación 9	Nivel sigma=2.22	Gráfico de series de tiempo vs meta	% de cumplimiento, a través de auditorías internas	Reuniones para revisar diagramas de Pareto e identificar inactivos (materiales con rotación mayor a 9 meses) y cumplimiento de meta	A Audifred (Supervisor de almacén) David Juarez (Gte Técnico base agua) Guillermo Diaz (Gte Ventas)	Oficina de ventas	Cada 15 días	If dollar amount exceed \$200,000 pesos, then the team must review a Pareto analysis and time series plot to ID bad actors and implement corrective actions.	
Inventarios	Análisis de inactivos	Inactivos base Offset		LSE = 900,000 pesos Rotación 9	Nivel Sigma =2.51	Gráfico de series de tiempo vs meta	% de cumplimiento, a través de auditorías internas	Reuniones para revisar diagramas de Pareto e identificar inactivos (materiales con rotación mayor a 9 meses) y cumplimiento de meta	A Audifred ( Supervisor almacén) Jorge González (Gte Técnico agua) Stefan Gohr (Gte Ventas)	Oficina de ventas	Cada 15 días	If dollar amount exceed \$500,000 pesos, then the team must review a Pareto analysis and time series plot to ID bad actors and implement corrective actions.	
Inventarios	Análisis de inactivos	Inactivos base UV		LSE = 200,000 pesos Rotación 9	Nivel sigma =2.44	Gráfico de series de tiempo vs meta	% de cumplimiento, a través de auditorías internas	Reuniones para revisar diagramas de Pareto e identificar inactivos (materiales con rotación mayor a 9 meses) y cumplimiento de meta	A Audifred (Supervisor almacén) Jorge González (Gte técnico agua) Stefan Gohr (Gte ventas)	Oficina de ventas	Cada 15 días	Si la cantidad excede \$200,000 pesos, el equipo debera revisar el análisis de pareto y los diagmas de series e implementar acciones correctivas.	
Inventarios	Análisis de inactivos	Inactivos base solvente		LSE = 200,000 pesos Rotación 9	Sigma Level =2.22	Gráfico de series de tiempo vs meta	% de cumplimiento, a través de auditorías internas	Reuniones para revisar diagramas de Pareto e identificar inactivos (materiales con rotación mayor a 9 meses) y cumplimiento de meta	A Audifred ( Warehouse Sup) Francisco Glez(Tech Water Mgr) Juan Carlos Flores (Sales Mgr)	Oficina de ventas	Cada 15 días	Si la cantidad excede \$200,000 pesos, el equipo debera revisar el análisis de pareto y los diagmas de series e implementar acciones correctivas.	
Inventarios	Análisis de inactivos	Inactivos generales		LSE = 50,000 pesos Rotación 9	Nivel Sigma =2.36	Gráfico de series de tiempo vs meta	% de cumplimiento, a través de auditorías internas	Reuniones para revisar diagramas de Pareto e identificar inactivos (materiales con rotación mayor a 9 meses) y cumplimiento de meta	A Audifred ( Supervisor almacén)	Oficina de ventas	Cada 15 días	Si la cantidad excede \$50,000 pesos, el equipo debera revisar el análisis de pareto y los diagmas de series e implementar acciones correctivas.	
Inventarios	Análisis de inactivos	Materia Prima activa		Meta =Inventarios Rotación ≤ 2.5 meses	Nivel actual vs Especificación	Reporte de área del almacén. Reporte de rotación del área de contabilidad	Auditorías Administrativas	a) Reporte mensual de coeficiente de variación vs volumen para el área de almacén. b) Análisis de materiales activos in Cuadrantes CV	a) Envío de reporte mensual, Eduardo Vargas b) Análisis y acciones, Antonio Audifred. c) Análisis de reporte del área de contabilidad, Armando Castillejos	Oficina Six Sigma Oficina del almacén Oficina de Operaciones	Reporte mensual Frecuencia de reporte dependera del cuadrante Análisis de rotación mensual	a) Si la rotación excede 2.8 meses el Director de Operaciones junto con el equipo revisara las acciones para eliminar la causa raíz.	
Inventarios	Análisis de inactivos	Materia Prima activa		Meta Cpm= 2.0	N.A.	Capacidad de procesos	N.A.	a) Revisión de repoerte mensual de inventarios b) Calculo de Cpm en cada área c) Entrega de resultados	Eduardo Vargas	Oficina Six Sigma	Mensual	Si Cpm < 0.9 Investigar razón: Si Cpm esta cerca del lado izquierdo=Inventario bajo Si Cpm esta cerca del lado derecho= Inventarios altos Ambas situaciones requieren atención	

### 3.7.2 Cpm

Finalmente durante la fase de control establecimos como métrico para medir el desempeño de los inventarios de materias primas activas (rotación menor a 9) el valor de Cpm. Por medio del Cpm podemos saber si la rotación de los materias primas esta tendiendo al target de 2.5 meses o tiene desviaciones, un valor perfecto de Cpm sería de 2. Anexo ejemplo de cálculo de Cpm y tabla con tendencias de resultados durante los meses de Julio 2005, Agosto 2005 y Noviembre 2005.

En el plan de control establecemos el monitoreo mensual que se llevará a cabo a cada una de las áreas técnicas para conocer el valor de Cpm que se tenga en cada área.



La tabla anexa muestra los resultados de Cpm de tres meses durante el período que duro el proyecto, además muestra el porcentaje de materias primas que se encuentran cargadas de lado izquierdo de la gráfica lo cual nos indica que son materias primas que tienden a estar fuera de uso y son posibles candidatos a dar de baja del consolidado de materias primas.

Área técnica	Cpm Julio	Cpm Agosto	Cpm Noviembre
Agua	0.72, 24%	0.79, 19%	0.91, 13%
Offset	0.65, 24%	0.70, 23%	0.67, 24%
UV/ EB	0.70, 22%	0.72, 22%	0.72, 24%
Solvente	0.70, 23%	0.70, 19%	0.71, 21%
General	0.71, 26%	0.68, 24%	0.69, 26%

## 4. Resultados

### 4.1 Resumen de Resultados

El desarrollo del proyecto tuvo una duración de un año, inicio en Mayo 2004 con el siguiente baseline (base):

**Rotación de inventarios: 3.2**

**Materiales inactivos a nivel nacional: US\$ 750,000**

Al momento de cerrar el proyecto (Mayo 2005) los beneficios que se habían obtenido en los métricos son los siguientes, de acuerdo al reporte de inventarios del área de contabilidad y al consolidado de materias primas del área de operaciones:

**Rotación de inventarios promedio del 2003: 2.8**

**Materiales inactivos a nivel nacional: US\$ 450,687**

Lo que representa una disminución de 0.5 meses en la rotación promedio de los inventarios y una reducción del capital de trabajo inactivo de US\$ 299,136.

El gráfico "Raw material turns". Muestra la disminución de la rotación en las materias primas durante el proyecto (línea azul) tomando como referencia (baseline) el año 2003 (línea roja). Información tomada del reporte "**Saldo de Inventarios de Materias Primas**" del área de contabilidad.

## Raw materials Turns

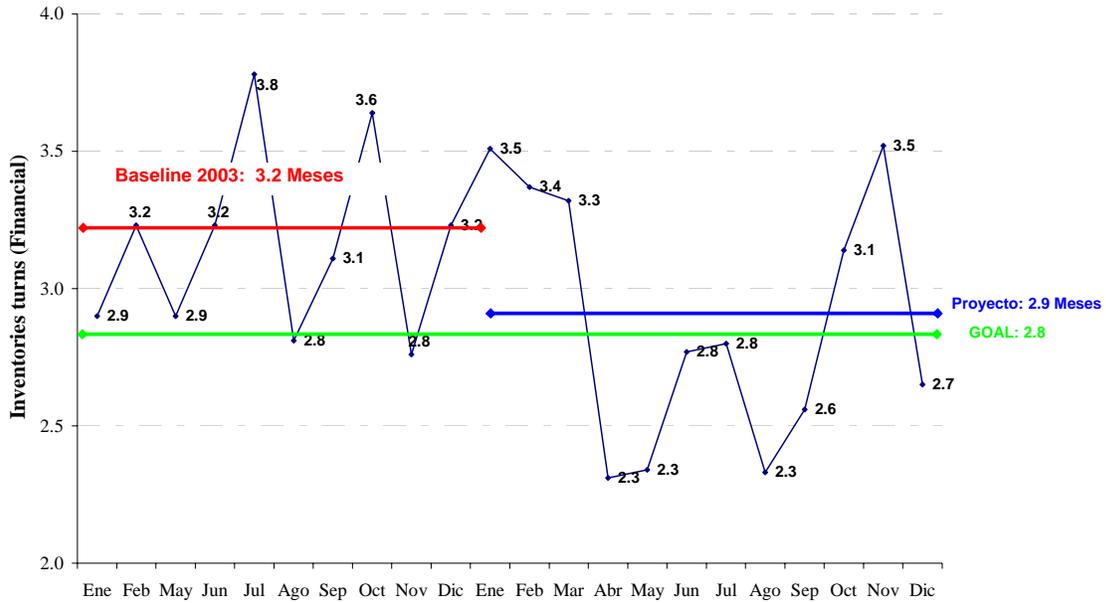
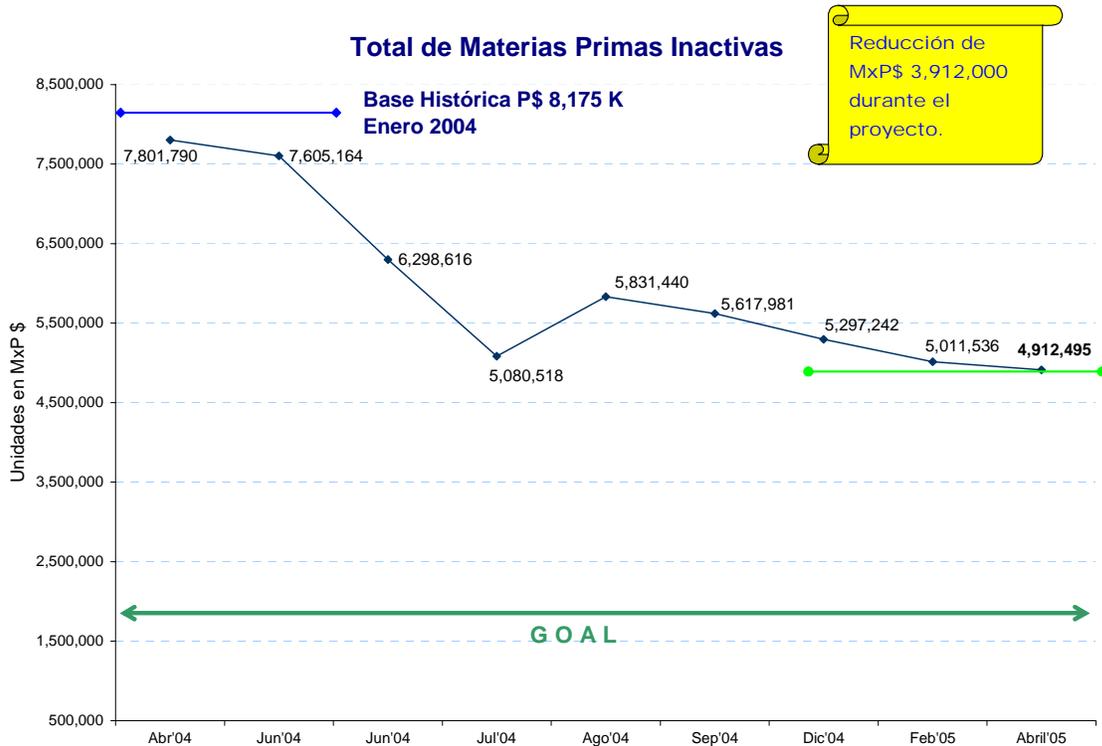


Gráfico “Raw Materials Inactives”. En esta gráfica podemos ver la disminución de las materias primas inactivas a nivel nacional durante el período que duro el proyecto, lo cual representa un beneficio al disminuir el capital de trabajo inactivo. Información tomada del reporte “Consolidado de materias primas” del área de operaciones.



## **4.2 Fase Validación del proyecto**

El proceso de validación para este proyecto se llevo a cabo conforme fue avanzando el desarrollo del proyecto, en conjunto con el Contralor de la empresa se fue monitoreando de manera continua (mensual) la reducción de los inventarios, lo que permitió que al final del proyecto la validación final fuera un proceso sencillo, únicamente se revisaron los resultados reportados en la hoja de balance de los estados financieros y se firmo una hoja de validación del proyecto con las siguientes personas:

- Área financiera (Contraloría)
- Dirección General (Champion)
- Dirección de Operaciones (Dueño del Proceso)
- SBTI (Consultor de metodología Six Sigma)
- Responsable del proyecto (Eduardo Vargas)

El formato utilizado para la validación del proyecto se muestra a continuación:

**Reducción de Inventarios  
de Materias Primas**  
MEX-01  
SunChemical México, NAI

Validación de Proyecto Six Sigma

Los datos contenidos en el reporte final del proyecto [**Reducción de inventarios de materias primas**] han sido revisados y son verdaderos. Los métricos establecidos para medir el éxito del proyecto fueron revisados. Se confirmó que estos métricos fueron medidos adecuadamente. El desempeño de estos métricos fue auditado y el impacto financiero de este proyecto esta fielmente documentado en los resultados y conclusiones del reporte final.

---

(Black Belt del Proyecto)

---

Fecha

---

(Champion del Proyecto)

---

Fecha

---

(Dueño del Proceso)

---

Fecha

---

(Contralor)

---

Fecha

---

(SBTI. Consultor)

---

Fecha

---

(Director General)

---

Fecha

## **5 Conclusiones y Recomendaciones**

El uso de la metodología de Six Sigma nos permite llevar a cabo proyectos sustentables que generen beneficios netos para la empresa, en el caso particular del proyecto “Reducción de Inventarios” que se presento en este trabajo los beneficios obtenidos y validados por el área financiera al momento de cerrar el proyecto fueron de \$3,912,000 pesos. Debido a que se estableció una metodología de control que permitirá seguir obteniendo beneficios durante los meses subsiguientes, la meta se podrá alcanzar durante el siguiente año.

Con estos resultados podemos apreciar de manera real el potencial y los beneficios que cualquier empresa puede obtener al utilizar la metodología de Six Sigma dentro de la estrategia del negocio. En el caso de la empresa SunChemical, durante los tres años que tenemos desarrollando proyectos de Six Sigma hemos logrado beneficios en más de \$950,000 USD apoyando estrategias de reducción de costos, retrabajos, mermas, tiempos muertos, aumento de productividad, reducción de inventarios, etc. tanto en áreas de manufactura como administrativas.

Los beneficios anteriores han permitido que el proceso de implementación en SunChemical, sea un proceso sustentable; ya que a pesar de los altos costos de entrenamiento y asesoría de personal, los beneficios que se logran con cada uno de los proyectos son mayores que los costos en que se incurren.

Por medio de la metodología de Six Sigma tenemos la capacidad de detectar de manera cuantitativa las perdidas que esta teniendo el proceso o la empresa debido a costos por reproceso, mermas, tiempos muertos, etc. y desarrollar planes que nos permitan enlazar la función de la calidad con la estrategia del negocio.

Six Sigma es una metodología moderna que fue creada a través de la recopilación de herramientas tanto estadísticas como de mejora de procesos, por medio de la cual identificamos las causas de variación que existen en los procesos.

Una parte medular para un desarrollo exitoso de la metodología es el liderazgo que debe surgir de la alta gerencia. Los directores de la empresa deben estar convencidos de los beneficios que pueden obtener en el negocio para que brinden todo el soporte necesario para desarrollar los proyectos de manera exitosa.

## **Recomendaciones**

Es muy importante que al inicio del proyecto se tenga una dimensión exacta de los beneficios que se pueden lograr durante el desarrollo del proyecto y los que se lograrán posteriormente, de esta manera evitamos el cerrar un proyecto sin haber llegado a la meta.

Es muy recomendable que los proyectos se cierren a los 6-8 meses de haber iniciado, para evitar una disminución en los esfuerzos del equipo y el compromiso del personal.

Establecer las bases para que los beneficios se sigan dando con el paso del tiempo y posterior al cierre del proyecto, solo se tenga que dedicar un mínimo tiempo en el monitoreo de resultados.

No debemos olvidar que la metodología de Six Sigma esta casi siempre relacionada con beneficios financieros los cuales deben apoyar la rentabilidad del negocio. Por lo anterior es muy recomendable que no se inicie ningún proyecto que no haya sido aprobado por el área financiera (Dirección General, Contraloría, Contador General, etc), de esta manera aseguramos un juez que nos estará retroalimentando de los beneficios que se obtienen con el proyecto y que dichos beneficios se están reflejando en los estados financieros de la empresa, ya sea en el estado de resultados o en la hoja de balance.

La selección de los proyectos deberá hacerse en base a los resultados que muestren los estados financieros de la empresa y a las estrategias del negocio.

Evitemos manejar Six Sigma como una “varita mágica” que nos ayudará a resolver nuestros problemas de manera instantánea, como toda herramienta de mejora, requiere del compromiso y apoyo de un equipo de trabajo en pos de lograr un objetivo común.

## **6. Glosario de términos**

### **Green Belt**

Persona dentro de la organización que ha sido entrenada en las herramientas básicas de Six Sigma, (normalmente en curso de 2 semanas continuas) y que es capaz de ser guía/líder en los esfuerzos de mejora con el personal operativo que trabajará en el desarrollo del proyecto.

### **Black Belt**

Persona dentro de la organización que tiene un conocimiento más profundo de las herramientas, la metodología y términos financieros que se manejan dentro del desarrollo de un proyecto de Six Sigma. Normalmente el entrenamiento de un Black Belt tarda 4 semanas al término de las cuales es capaz de ser líder de los proyectos, de dar asesoría a los Green Belts y de establecer junto con la Alta Dirección los proyectos en los cuales se enfocará los esfuerzos.

### **Champion**

Se refiere a una persona de la organización con un alto nivel de liderazgo, quien tendrá como responsabilidad principal facilitar la obtención de recursos y direccionar los esfuerzos del equipo

### **White Belt**

Son personas que normalmente tienen un entrenamiento básico de las herramientas de Six Sigma (4-5 hrs), regularmente son aquellas personas que van a estar involucradas en el proyecto y cuya función estará básicamente en la recolección de datos, control de procesos, etc.

### **Inventarios Inactivos**

Inventarios de materiales que no tiene un movimiento constante, normalmente las empresas define de manera interna el período de tiempo en el cual si un material no ha tenido movimiento pasa a considerarse un material inactivo.

## **Hoja de Balance de los Estados Financieros**

Es el estado de la posición financiera de un negocio o empresa en un punto dado de tiempo y se basa en el modelo contable:  $\text{Activos} = \text{Pasivos} - \text{Capital contable}$ .

## **Inventarios Activos**

Materiales que tiene un movimiento constante dentro del esquema de producción de la organización. Cada empresa define su propia política de movimientos de materiales y los períodos en los cuales se puede considerar un material activo.

## **Áreas Técnicas**

Debido al giro de la empresa el área técnica esta dividida en áreas técnicas de mercado como son: Offset, Solvente, Agua y UV. Las cuales se enfocan en la fabricación de tintas para el mercado determinado.

## **Consolidado de Materias Primas**

En la organización de SunChemical es un reporte que genera el área de inventarios de manera mensual y en el cual podemos ver a detalle los inventarios que tenemos dentro de la organización.

## 7. Referencias bibliográficas

Peter S. Pande, Robert P. Neuman, Roland R. Cavanagh; The Six Sigma Way (Team Field Book); McGraw Hill, 2002.

Forrest W. Breyfogle III; Implementing Six Sigma (Smarter Solutions Using Statistical Methods), Second Edition, Edit. Wiley, 2003

Peter S. Pande, Larry Holpp; ¿Qué es Six Sigma?; Mc Graw-Hill, 2002.

Jim Collins; Good to Great; Harper Collins Publishers; First edition; 2001.

Proyecto “Reducción de inventarios de materias primas”, Eduardo Vargas; SunChemical México, Enero 2004.

Robin E. McDermott, Raymond J. Mikulak, Michael R. Beauregard; The Basics of FMEA; Productivity Inc; 1996.

Robert Damelio; The Basics of Process Mapping; Productivity Inc, 1996.

Memorias de curso “Entrenamiento como Champions”, SBTI, St. Charles, Illinois, Julio 2001.

Memorias de curso “Six Sigma® Executive Briefing”, Motorola Univ., UNITEC, Campus Edo. De México, 2002

Memorias de curso “Entrenamiento como Green Belt”, SBTI, Cincinnati Ohio, Septiembre 2002.

Memorias de curso “Entrenamiento como Black Belt”, SBTI, Sao Pulo Brasil, Julio 2003.

Memorias de Diplomado “Preparación para la certificación BB en Six Sigma”, Tec de Monterrey, Campus Cd. de México, 2005.

Resumen Ejecutivo de proyecto de reducción de inventarios, Eduardo Vargas, SunChemical, 2005.

Minutas de reuniones y acuerdos desarrolladas durante el proyecto Six sigma, Eduardo Vargas, SunChemical, 2004-2005.

Minutas de juntas de revisión de avance del proyecto con empresa consultora (SBTI), Eduardo Vargas, SunChemical, 2004-2005.

Autor:

Eduardo Vargas Orihuela

Gte de Proyectos Six Sigma

SunChemical, México

[eduardovargas12@yahoo.com](mailto:eduardovargas12@yahoo.com)

[vargase@sunchemical.com.mx](mailto:vargase@sunchemical.com.mx)

(+55)5333-2298