

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA *SEIS SIGMA*

En este capítulo se tratará sobre la métrica de Seis Sigma, la forma de obtener y revisar las mediciones de un proyecto, el cálculo de la habilidad de un proceso mediante sigmas (habilidad para hacer bien el proceso), se tratarán los pasos de Motorola para la mejora de los procesos y por último se mencionaran las fases de la metodología.

1.1 La métrica de *Seis Sigma*

El nivel sigma, es utilizado comúnmente como medida dentro de la Técnica *Seis Sigma*, incluyendo los cambios o movimientos "típicos" de $\pm 1.5\sigma$ de la media (concepto que será explicado más adelante). Las relaciones de los diferentes niveles de calidad sigma no son lineales, ya que para pasar de un nivel de calidad a otro, el porcentaje de mejora del nivel de calidad que se tiene que realizar no es el mismo, cuando avanzamos a un nivel mayor el porcentaje de mejora será más grande.

La tabla 1.1, muestra el factor de mejora requerido para cambiar de un nivel sigma a otro de mayor nivel.

Tabla 1.1 Factores de Mejora

Nivel actual	Cambio	Factor de mejora requerido
3σ	4σ	10x
4σ	5σ	30x
5σ	6σ	40x

Realizando un comparativo del nivel de calidad sigma de varias empresas se determinó que el promedio de éstas se encuentra en el nivel 4σ , Las empresas con nivel 6σ son denominadas de "Clase

Mundial". El objetivo de la implementación *Seis Sigma* es precisamente convertirse en una empresa de Clase Mundial.

En la figura 1.1, se muestra el concepto básico de la métrica de *Seis Sigma*, en donde las partes deben de ser manufacturadas consistentemente y estar dentro del rango de especificaciones. La figura muestra los parámetros de los niveles tres y seis sigma.

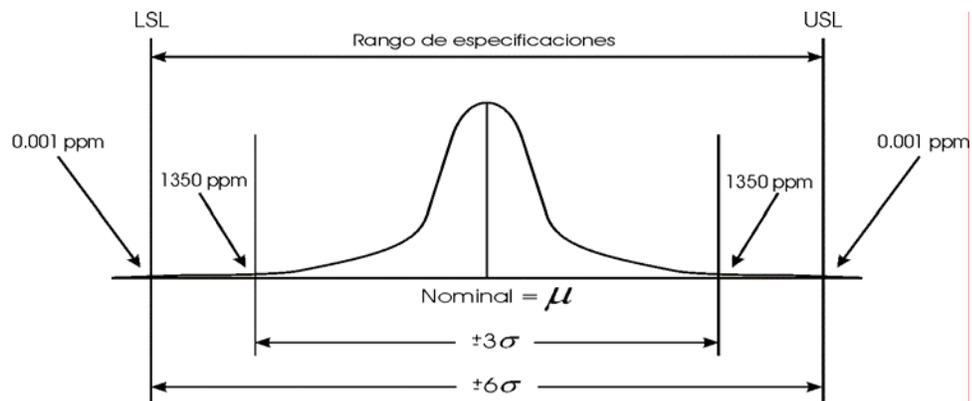
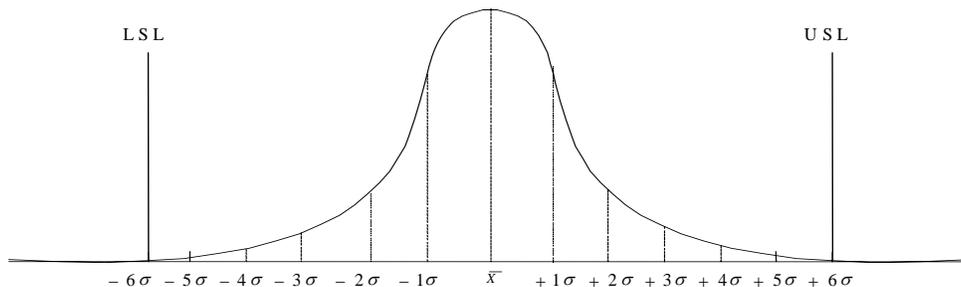


Figura 1.1. Se indica el número de partes por millón (ppm) que estarán fuera de los límites de especificación usando como límite el valor de cada desviación estándar.¹⁶



Límite de especificación	Porcentaje	Defectos ppm
$\pm 1\sigma$	68.27	317,300
$\pm 2\sigma$	95.45	45,500
$\pm 3\sigma$	99.73	2,700
$\pm 4\sigma$	99.9937	63
$\pm 5\sigma$	99.999943	0.57
$\pm 6\sigma$	99.9999998	0.002

Figura 1.2. Distribución normal centrada.

¹⁶ Forrest W. Breyfogle III, Implementing Six Sigma, p 9 USA John Wiley & Sons Inc., 2001

En la Figura 1.2, muestra una distribución normal centrada dentro de los *límites de especificación*, se tendrá solo una porción de 0.002 ppm.

La variación a lo largo del tiempo en el centrado del proceso provoca que la media de la distribución tenga un desplazamiento $\pm 1.5\sigma$ para Motorola, (esto no aplica para todas las empresas), ver la Figura 1.3.

Esto proporciona una idea real de la capacidad del proceso a través de varios ciclos de manufactura en el tiempo, el desplazamiento puede ser en dirección positiva o negativa, pero nunca en ambas direcciones¹⁷

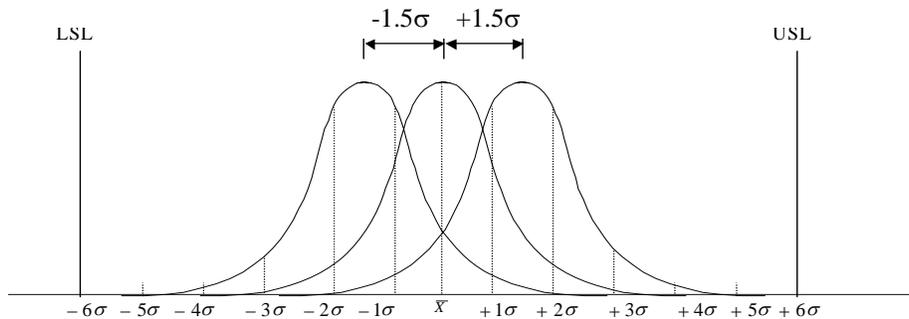


Figura 1.3 Distribución normal descentrada 1.5σ

En la Tabla 1.2, se muestra una medida que describe el grado en el cual el proceso cumple con los requerimientos es la **Capacidad del Proceso**. Los índices utilizados son C_p y C_{pk} .

Un nivel *Seis Sigma* tiene la habilidad de lograr índices de 2.0 y 1.5 respectivamente. Para lograr esta capacidad la meta a alcanzar es, el producir al menos 99.99966% piezas o productos con calidad, no más de 3.4 defectos en un millón de piezas o productos producidos en el largo plazo.

¹⁷ Juran, J. M. Análisis y planeación de la calidad. Mc. Graw Hill, 1995 pp. 397

Límite de especificación	Porcentaje	Defectos ppm
$\pm 1\sigma$	30.23	697,700
$\pm 2\sigma$	69.13	308,700
$\pm 3\sigma$	93.32	66,810
$\pm 4\sigma$	99.379	6,210
$\pm 5\sigma$	99.9767	233
$\pm 6\sigma$	99.99966	3.4

Tabla 1.2 Porcentajes y cantidad de defectos a los que corresponden los diferentes niveles "Sigma"

1.2 Mediciones para *Seis Sigma*

La mejora de las métricas tiene un impacto muy significativo en los resultados del negocio, al reducir la oportunidad de tener defectos. Es de suma importancia medir la capacidad del proceso en términos cuantificables y monitorear las mejoras a través del tiempo.

La letra griega Sigma (σ), representa la desviación estándar poblacional de un proceso de manufactura o de servicio, siendo la dispersión de cada uno de los datos poblacionales alrededor de la media poblacional.

Seis Sigma *es una metodología*, enfocada a la mejora de los procesos, reduciendo primeramente su variación y después, manteniéndolos en el valor objetivo o lo más cerca posible de él.

Definiciones básicas¹⁸:

- Unidad (U): Es un lote de artículos producidos o procesados, que esta sujeto a una auditoria de calidad.
- Defecto (D): Cualquier evento que no cumpla la especificación de una CTQ (la cual es definida por el cliente).
- Defectuoso: Es una unidad producida que tiene uno o más defectos.

¹⁸ Forrest W. Breyfogle III. Implementing Six Sigma, p11, U S A, Ed. John Wiley & Sons, Inc., p11, 1999

- Defectos por unidad (DPU): Es la cantidad de defectos en un producto, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$DPU = \frac{D}{U} \quad (1.1)$$

- Oportunidad de defectos (O): Es cualquier atributo o especificación que pueda apreciarse o medirse y que ofrezca una *oportunidad* de no satisfacer un requisito del cliente (CTQ).

- Defectos por oportunidad (DPO):

$$DPO = \frac{D}{U \times O} \quad (1.2)$$

- Defectos por millón de oportunidades (DPMO's): Es el número de defectos encontrados en un lote de inspección, afectado por el número de oportunidades para ofrecer un defecto, en un millón de unidades.

$$DPMO's = \frac{D}{U \times O} \times 1000000 \quad (1.3)$$

- Capacidad del proceso: Es el nivel de actuación de un proceso para cumplir especificaciones o requerimientos del cliente.
- Rendimiento estándar o de primera pasada Y_{FT} : Es el porcentaje de producto y / o servicios, sin defectos.
- Rendimiento al final o de última pasada: Y_{LT} : Es el porcentaje de producto sin defectos después de realizar la revisión del trabajo.

1.3 Cálculo de los Sigmas del proceso.

Ejemplo 1.1

En la tabla 1.2, se muestra un proceso de manufactura de mesas tiene cuatro subprocesos: fabricación de patas, bastidor, cubierta y pintura. Se toman los datos de 1510 mesas fabricadas y se observa la siguiente información. Calcule el Sigma del proceso.

Subproceso	Defectos	Oportunidades/ Unidad
Patas	212	17
Bastidor	545	5
Cubierta	71	9
Pintura	54	1
Totales:	882	32

Tabla 1.3 Proceso de manufactura

Número de unidades procesadas = 1510

Número total de defectos = 882

$$\text{Defectos por oportunidad (DPO)} = \frac{D}{N \times O} = \frac{882}{1510 \times 32} = 0.0182$$

$$\text{DPMO} = 0.0182 \times 1,000,000 = 18,253$$

De la tabla de conversión de sigma determinamos el valor que más se acerque a 18,253 siendo este: **sigma (σ) = 3.6**

Rendimiento de primera pasada (Y_{FT}) y última pasada (Y_{LP})

El número de defectos puede medirse antes o después de que se detecten o corrijan éstos. Los resultados se miden en porcentaje (%) y el número de efectos en defectos por oportunidad (DPO) o defectos por millón de oportunidades (DPMO's). Observemos la figura 1.4:

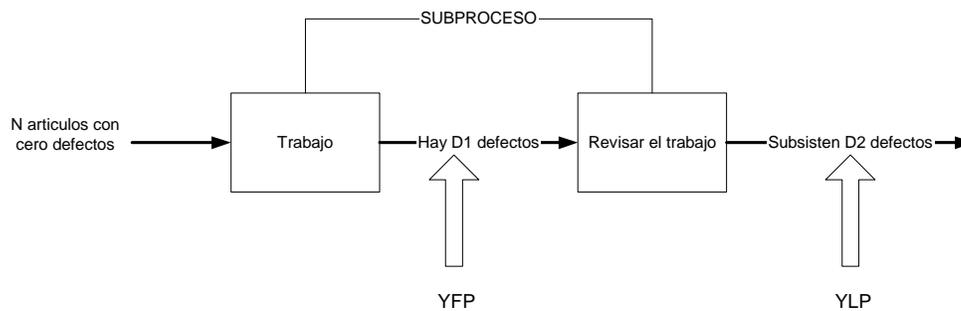


Figura 1.4 Subproceso de producción

Aquí se puede observar la entrada de N artículos con cero defectos, se realiza un trabajo donde hay D_1 defectos, este es el rendimiento a la primera (Y_{FP}), después se revisa el trabajo y al final subsisten D_2 defectos, siendo este el rendimiento en la inspección final (Y_{LP}).

Ejemplo 1.2

Una planta de productos empaqueta en una de sus líneas un cierto artículo. La producción en un turno es de 5,000 unidades. Existen 3 oportunidades de defecto en cada unidad:

- Mal sellado del empaque
- Producto maltratado
- Empaque roto

Se encontraron 64 defectos, de los cuales 14 se encontraron antes de ser enviados a la línea de empaque final, después de esto, 50 defectos todavía subsisten. Se pide calcular Y_{FP} y Y_{LP} .

Rendimiento a la primera Y_{FP}

$$DPO = \frac{64}{5000 \times 3} = 0.0042$$

$$DPMO's = 0.0042 \times 1,000,000 = 4,266.66$$

$$Y_{FP} = 1 - 0.0042 = 0.9958 = 99.58\%$$

Rendimiento en la inspección final Y_{LP}

$$DPO = \frac{50}{5000 \times 3} = 0.0033$$

$$DPMO = 3,333.33$$

$$Y_{LP} = 1 - 0.0033 = 0.9967 = 99.67\%$$

Observamos que el rendimiento en la inspección final es mayor que el rendimiento a la primera.

Rendimiento real o estándar (Y_{RT})

Con esta herramienta se mide la probabilidad de pasar por todos los subprocesos sin un defecto, se determina con el producto del resultado de cada uno de los pasos del proceso:

$$Y_{FP_1} \times Y_{FP_2} \times Y_{FP_3} \times \dots \times Y_{FP_n}$$

Es un rendimiento sensible a pasos y defectos en los pasos.

Ejemplo 1.3

Un proceso con cinco subprocesos tienen los siguientes rendimientos de salida (throughput por su denominación en inglés): 0.98, 0.93, 0.95, 0.98 y 0.94. El Rendimiento Estándar $Y_{RT} = 0.98 \times 0.93 \times 0.95 \times 0.98 \times 0.94 = 0.7976$, es la probabilidad de que el producto pase sin error.

Rendimiento Normal (Y_N)

Es el promedio **exponencial** basado en el número de pasos del proceso, no es un promedio aritmético.

$Y_N = \sqrt[n]{Y_{RT}}$, donde n es igual al número de pasos en el proceso.

Ejemplo 1.4

En un proceso con 3 pasos tenemos los siguientes Y_{FT} :

Paso 1: 80%

Paso 2: 70%

Paso 3: 90%

Calcular Y_N

Primero calculamos $Y_{RT} = 0.504$

$$Y_N = \sqrt[n]{Y_{RT}} = \sqrt[3]{0.504} = 79.6\%$$

Variación a largo plazo vs. Variación a corto plazo (Z_{shift})

Largo plazo: son los datos tomados durante un periodo de tiempo suficientemente largo y en condiciones suficientemente diversas para que sea probable que el proceso haya experimentado todos los cambios y otras causas especiales.

Corto plazo: son datos tomados durante un periodo de tiempo suficientemente corto para que sea improbable que haya cambios y otras causas especiales.

Para el cálculo de datos a largo plazo a partir de datos a corto plazo restamos 1.5σ 's, debido a los desplazamientos que sufre la media provocados por el cambio natural en los procesos.

$$Z_{ST} = Z_{LT} + 1.5 \quad \text{Donde: } Z_{ST} = Z \text{ a corto plazo.}$$
$$Z_{Bench} = Z_{YN} + 1.5 \quad Z_{LT} = Z \text{ a largo plazo.}$$

$Y_N = \text{Rendimiento Normal}$

Ejemplo 1.5

Si tenemos un $Y_{RT} = 0.38057$ con 10 operaciones. Determine Y_N y Z_{bench}

$$Y_N = \sqrt[10]{0.38057} = 0.9079$$

$$Z_{bench} = 0.9079 + 1.5 = 2.4079$$

Cálculo de Sigma en Excel

La sigma del proceso que es la sigma a corto plazo Z_{st} se determina:

MÉTODO 1:

1. El rendimiento es igual a $Y_{rt} = 1 - DPU$ o $Y_{rt} = 1 - D / DPO$
2. La Z sigma a largo plazo $Z_{lt} = \text{distr. norm. estand. inv}(Y_{rt})$
3. La Z sigma a corto plazo o Sigma del proceso = $Z_{st} = Z_{lt} + 1.5$

MÉTODO 2:

1. Se determina Z_{lie} y Z_{lse} en base a las especificaciones
2. Se determina la fracción defectiva $P(Z_{lie})$ y $P(Z_{lse})$
3. Con $P(Z_{lie}) = \text{distr. norm. estand. inv}(Z_{lie})$ y $P(Z_{lse}) = \text{distr. norm. estand. inv}(-Z_{lse})$
4. La fracción defectiva total es $P(Z_t) = P(Z_{lie}) + P(Z_{lse})$
5. El rendimiento se determina con $Y_{rt} = 1 - P(Z_t)$
6. La Z sigma a largo plazo $Z_{lt} = \text{distr. norm. estand. inv}(Y_{rt})$
7. La Z sigma a corto plazo o Sigma del proceso = $Z_{st} = Z_{lt} + 1.5$

Cálculo de Sigma con MINITAB

1. La Z sigmas del proceso a largo plazo en base al rendimiento se determina como:

Calc > Probability Distributions > Normal

Seleccionar Inverse Cumulative probability Mean 0.0 Estándar deviation 1.0

Input constant valor de Yrt OK, se obtiene la Z_{lt} de largo plazo.

2. La Z del proceso se determina con $Z_{st} = Z_{lt} + 1.5$

Sigma	DPMO	YIELD	Sigma	DPMO	YIELD
6	3.4	99.99966%	2.9	80,757	91.9%
5.9	5.4	99.99946%	2.8	96,801	90.3%
5.8	8.5	99.99915%	2.7	115,070	88.5%
5.7	13	99.99866%	2.6	135,666	86.4%
5.6	21	99.9979%	2.5	158,655	84.1%
5.5	32	99.9968%	2.4	184,060	81.6%
5.4	48	99.9952%	2.3	211,855	78.8%
5.3	72	99.9928%	2.2	241,964	75.8%
5.2	108	99.9892%	2.1	274,253	72.6%
5.1	159	99.984%	2	308,538	69.1%
5	233	99.977%	1.9	344,578	65.5%
4.9	337	99.966%	1.8	382,089	61.8%
4.8	483	99.952%	1.7	420,740	57.9%
4.7	687	99.931%	1.6	460,172	54.0%
4.6	968	99.90%	1.5	500,000	50.0%
4.5	1,350	99.87%	1.4	539,828	46.0%
4.4	1,866	99.81%	1.3	579,260	42.1%
4.3	2,555	99.74%	1.2	617,911	38.2%
4.2	3,467	99.65%	1.1	655,422	34.5%
4.1	4,661	99.53%	1	691,462	30.9%
4	6,210	99.38%	0.9	725,747	27.4%
3.9	8,198	99.18%	0.8	758,036	24.2%
3.8	10,724	98.9%	0.7	788,145	21.2%
3.7	13,903	98.6%	0.6	815,940	18.4%
3.6	17,864	98.2%	0.5	841,345	15.9%
3.5	22,750	97.7%	0.4	864,334	13.6%
3.4	28,716	97.1%	0.3	884,930	11.5%
3.3	35,930	96.4%	0.2	903,199	9.7%
3.2	44,565	95.5%	0.1	919,243	8.1%
3.1	54,799	94.5%			
3	66,807	93.3%			

Tabla 1.4 Conversión de la Capacidad del Proceso en Sigmas

1.4 Diez pasos de Motorola para la mejora de procesos

Motorola sugiere una serie de pasos para mejorar el desempeño de los procesos usando la metodología Seis Sigma, como se muestra:

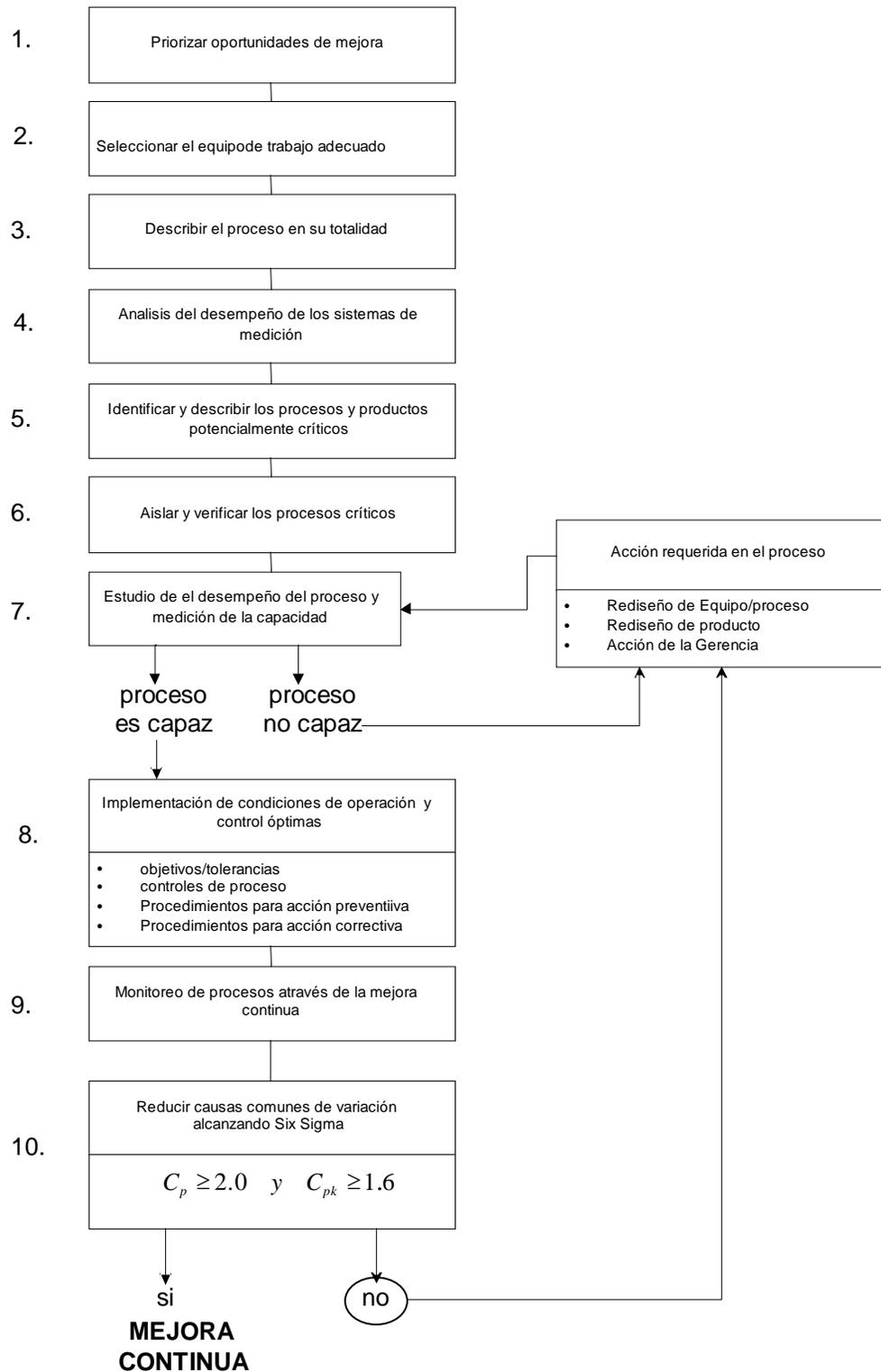
1. **Priorizar oportunidades de mejora:** Conocer y especificar los problemas haciendo las siguientes preguntas: cómo, cuando, donde, por qué y quién. Indicar cual es el impacto al cliente, confiabilidad, calidad del producto, costos de calidad.
2. **Seleccionar el equipo de trabajo adecuado:** Seleccionar un pequeño grupo de gente que conozca el producto / proceso, con la experiencia, disciplina y conocimiento en el área. Establecer el rol de cada miembro, Seleccionar un *Champion* que será el encargado de proporcionar los recursos, conducir y asesorar al grupo.
3. **Describir el proceso totalmente:** Mediante el uso de diagramas de flujo mostrar las variaciones del proceso. Incluyendo a la gente, los métodos, herramientas, instrumentos de medición y equipos.
4. **Análisis del desempeño de los sistemas de medición:** Evaluar: exactitud, repetitibilidad y reproducibilidad, linealidad y estabilidad del instrumento o indicador usado, para asegurar que la capacidad del mismo sea la adecuada, más del 10% de variación no se permite para características críticas o 30% máximo para características no críticas. La resolución del instrumento sea al menos 20 veces mayor que la magnitud que se va a comparar. Por ejemplo si la tolerancia es de 10 mm. el medidor debe tener una resolución o distancia entre marcas de al menos 0.5 mm.
5. **Identificar y describir los procesos y productos potencialmente críticos:** Enumerar todos los procesos críticos

potenciales, mediante el uso de tormentas de ideas, datos históricos, reportes de rendimiento, análisis de falla etc.

6. **Aislar y verificar los procesos críticos:** Reducir la lista enfocándonos en los pocos vitales, identificar las relaciones de entrada y salida que provocan problemas específicos. Verificar las causas potenciales de variación en los procesos, usando diseño de experimentos, diagramas de dispersión, y diagramas multivariados.
7. **Estudio de el desempeño del proceso y medición de la capacidad:** Identificar y definir las limitaciones de los procesos. Asegurar que los procesos sean capaces de alcanzar su máximo potencial. Determinar las especificaciones "reales". Se considera que un proceso es capaz cuando $C_p \geq C_{pk} \geq 1.6$, si el proceso es capaz se continúa con el paso 8. , de lo contrario se requiere tomar acciones de rediseño del proceso o del producto.
8. **Implementación de condiciones de operación y control óptimas:** Llevar a cabo un plan permanente de acciones correctivas para prevenir causas especiales de variación. Es necesario tener un proceso estable y predecible, por lo cual se deberá tener continuamente controles de proceso.
9. **Monitoreo de procesos a través de la mejora continua:** Los sistemas, métodos, procedimientos deberán de ser modificados cuando sea necesario para evitar las causas especiales de variación. También será necesario identificar las acciones futuras requeridas para mejorar el proceso.
10. **Reducir causas comunes de variación para alcanzar *Seis Sigma*:** Se deben reconocer las limitantes del proceso. Solamente a

través de la reducción o eliminación de las causas comunes de variación, será posible alcanzar el nivel **Seis Sigma**.

Figura 1-5 10 pasos de Motorola para la mejora de procesos.



1.5 Las fases DMAIC de la Metodología *Seis Sigma*

La metodología Seis Sigma es un método disciplinado de mejora de los procesos conformado por las fases siguientes: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control (DMAIC), como se explican a continuación:

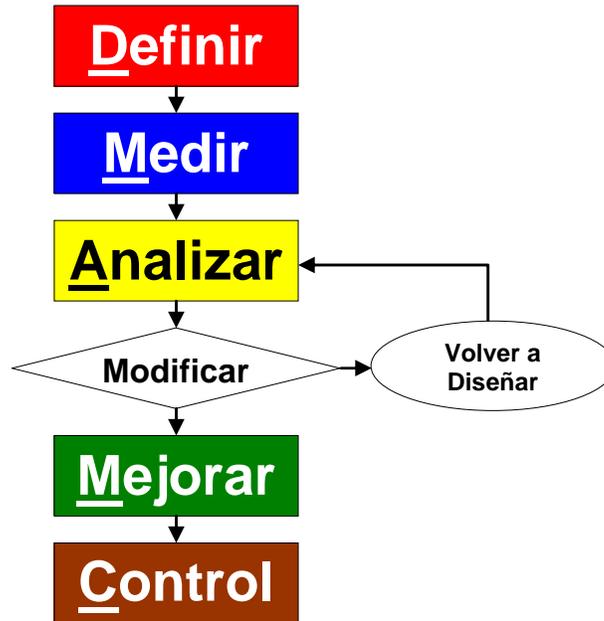


Figura 1.6 Proceso DMAIC

Resumen

En este capítulo se presentaron a grandes rasgos los pasos a seguir para la aplicación de la Metodología Seis Sigma, se ejemplificó el cálculo de la habilidad de los procesos en función de las sigmas del proceso y por último se determinó la capacidad del proceso a la primera pasada.

Contenido del Estudio de caso

En el primer capítulo se presenta, la métrica de Seis Sigma, las Mediciones de Seis Sigma, el cálculo del rendimiento del proceso, los 10 pasos de la mejora de Motorola y las fases DMAIC de la Metodología Seis Sigma.

En el segundo capítulo se tiene, el propósito y las etapas de la fase de Definición

En el tercer capítulo se presenta: las etapas de la fase de medición, la estadística básica, las herramientas para la solución de problemas, el análisis del sistema de medición, la distribución Normal y la capacidad de los procesos normales y No-normales.

El cuarto capítulo propone, las etapas de la fase de análisis, la regresión lineal, cartas Multi Vari, pruebas de una o dos poblaciones y el análisis de varianza de una vía.

En el capítulo quinto se incluyen, las etapas de la fase de mejora, el diseño de experimentos factoriales y el experimento factorial 2^k .

Las etapas de la fase de control, las cartas de control y una descripción de los dispositivos a prueba de error, se presentan en el sexto capítulo.

En el capítulo séptimo, se presenta el caso práctico de la aplicación de la Metodología Seis Sigma en la Mejora del Desempeño en el Consumo de Combustible de un Vehículo, pasando por todas y cada una de las fases.

Por último se termina este trabajo con algunas conclusiones, recomendaciones y la bibliografía que se uso en la elaboración de este proyecto.