



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

DESARROLLO EMPRESARIAL

DIPLOMADO EN SEIS SIGMA

MÓDULO IV METODOLOGÍA DMAIC

Del 05 al 26 de Agosto al de 2006

APUNTES GENERALES

DE-37

Instructor: Lic. Servando R. Martínez García

Palacio De Minería
Agosto del 2006

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
División de Educación Continua.

DIPLOMADO EN SEIS SIGMA

MODULO IV.-
METODOLOGIA DMAIC

INSTRUCTOR:
Lic. Servando Rafael Martínez García.
5-12-19-26 de agosto del 2006.

OBJETIVO

DESARROLLAR Y APLICAR METODOS AVANZADOS Y TECNICAS CUANTICAS QUE PERMITAN DEFINIR, MEDIR, ANALIZAR, INNOVAR Y CONTROLAR LOS PROCESOS ESTRATEGICOS Y/O ELEGIDOS COMO PROYECTOS SEIS SIGMA.

TEMARIO.

1.- METODOLOGIA DMAIC.

- 1.1.- Definir.**
- 1.2.- Medir.**
- 1.3.- Analizar.**
- 1.4.- Innovar.**
- 1.5.- Controlar.**

2.- METODOS CUANTICOS Y HERRAMIENTAS DURAS.

- 2.1.- Distribución de Probabilidades.**
- 2.2.- Muestreo.**
- 2.3.- Diagramas y Mapas.**
- 2.4.- Intervalos de Confianza.**
- 2.5.- Prueba de Hipótesis.**
- 2.6.- Análisis de Correlación.**
- 2.7.- Análisis de Regresión.**
- 2.8.- Diseño de Experimentos.**
- 2.9.- Análisis de Varianza.**

BIBLIOGRAFIA.

1.- METODOLOGIA DMAIC.

METODOLOGÍA DMAIC - SEIS SIGMA.

La Metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) puede ser plasmada como un camino para resolver problemas y para la mejora de productos o procesos. Muchas compañías empezaron implementando Seis Sigma usando la metodología DMAIC, y después añadieron el DFSS (Diseño para Seis Sigma, conocido también como DMADV o IDDOV) una vez que la cultura organizacional y los niveles de experiencia los permitieron.

Mientras que la metodología DMAIC puede aparecer lineal y explícitamente definida, debemos tomar en cuenta que un acercamiento pudiera ser necesario especialmente para Green/Black Belts que tienen sus primeros acercamientos con las herramientas y las técnicas que se utilizan en DMAIC. Por ejemplo, es posible que en el momento de analizar los datos (Analizar) no encontremos suficientes datos para aislar la causa raíz del problema. En este punto, necesitaremos regresar a la fase de Medir. Adicionalmente, el conocimiento previo de las herramientas y las técnicas es necesario para determinar qué herramientas son útiles en cada fase. Recuerda, la aplicación apropiada de las herramientas se vuelve más crítica para la efectividad y no la corrección y no siempre es necesario utilizar todas las herramientas.

Pasos de la metodología DMAIC	Herramientas usadas.
D – Definir: Define las metas del proyecto y los productos para el cliente (Interno y Externo) <ul style="list-style-type: none"> ○ Define a los clientes y sus requerimientos (CTQ's) ○ Desarrolla la declaración del problema, metas y beneficios. ○ Identifica al Campeón, Dueño de Proceso y Equipo. ○ Define Recursos: ○ Evalúa el soporte de la organización. ○ Desarrolla el plan de proyecto y los milestones. ○ Desarrolla un mapa del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Project Charter ○ Diagrama de proceso ○ Diagrama SIPOC ○ Analisis de involucrados ○ Estructura de trabajo DMAIC. ○ Definiciones de CTQ ○ Voz del usuario
M – Medir: Mide el proceso para determinar su desempeño actual; cuantifica el problema. <ul style="list-style-type: none"> ○ Define defectos, oportunidades, unidades y métricas. ○ Mapa detallado del proceso en áreas apropiadas. ○ Desarrolla el plan de colección de datos. ○ Valida el sistema de medición. ○ Colecta los datos. ○ Inicia el desarrollo de la relación $Y=f(x)$. ○ Determina la capacidad del proceso y la línea base Sigma. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diagramas de proceso. ○ Plan de Colección de datos. ○ Benchmarking ○ Análisis de sistema de medición / Gauge R&R. ○ Voz del usuario. ○ Cálculo de nivel Sigma.

Pasos de la metodología DMAIC	Herramientas usadas
A – Analizar: Analiza y determina las causas raíz de los defectos.	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Define los objetivos de desempeño ○ Identifica actividades de valor agregado y desperdicio en el proceso. ○ Identifica fuentes de variación ○ Determina causa(s) raíz. ○ Determina los pocos vitales, relación $Y=f(X)$. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Histograma ○ Gráfico de Pareto ○ Series de tiempo, corridas ○ Diagramas de dispersión ○ Regresión ○ Causa – efecto ○ 5 Why's ○ Revisión y análisis del mapa de proceso. ○ Análisis estadístico ○ Prueba de hipótesis ○ Análisis de datos no normales.
I – Mejora: Mejora el proceso eliminando defectos.	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Desarrolla el diseño de experimentos. ○ Desarrolla soluciones potenciales. ○ Define las tolerancias operativas del sistema potencial. ○ Valida la mejora potencial con estudios piloto. ○ Corrige/Re-evalúa las soluciones potenciales. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Lluvia de ideas. ○ Prueba de errores. ○ Diseño de experimentos. ○ Matriz Pugh. ○ Casa de la calidad. ○ AMEF. ○ Software de simulación.
C – Control: Controla el desempeño futuro del proceso.	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Define y valida el sistema de monitoreo y control. ○ Desarrolla estándares y procedimientos. ○ Implementa el control estadístico del proceso. ○ Determina la capacidad del proceso. ○ Desarrolla el plan de transferencia al dueño del proceso. ○ Verifica los beneficios, ahorros, utilidades. ○ Cierra el proyecto, finaliza la documentación. ○ Comunica a la organización. ¡Celebra! 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cálculo del nivel Sigma. ○ Gráficos de control (variables y atributos) ○ Cálculo de ahorros. ○ Plan de control.

**GUÍA DE REFERENCIA.
METODOLOGÍA DMAIC.****Fase I. Definir.****Productos a entregar en la fase:**

- El equipo está formado, capacitado, soportado y comprometido a trabajar en el proyecto de mejora.
- Los dientes son identificados y las características de alto impacto (CTQ's) definidas, el proceso está mapeado.

Puntos de chequeo:

- **Equipo.**
 - o El equipo es patrocinado por un campeón o líder del negocio.
 - o El equipo está formado y los líderes (GB, BB) asignados.
 - o Los miembros del equipo están capacitados en Seis Sigma y DMAIC.
 - o Los miembros del equipo han ejecutado el trabajo asignado en tiempo y forma.
 - o Los miembros del equipo documentan su trabajo, o El equipo está equipado con recursos disponibles y confiables.
- **Clientes y CTQ's.**
 - o Clientes identificados y segmentados de acuerdo a sus diferentes necesidades y requerimientos, o Los datos colectados y desplegados para un mejor entendimiento de sus necesidades y requerimientos.
- **Charter.**
 - o El charter está completo y comunicado al equipo.
- **Mapeo del proceso.**
 - o Completado, verificado y validado al nivel "as is".
 - o SIPOC completado incluyendo la descripción de Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes.

Fase II. Medir.**Productos a entregar en la fase:**

Mediciones clave identificadas, la colección de datos planeada y ejecutada, la variación del proceso desplegada y comunicada, el desempeño detallado en línea base, el nivel sigma calculado.

Puntos de chequeo:

Medidas clave identificadas.

Medidas clave identificadas y concensuadas.

Defectos de alto impacto definidos e identificados en el proceso.

Colección de datos planeada y ejecutada.

Plan de colección de datos sólidamente establecido incluyendo el análisis del sistema de medición.

Datos colectados en las medidas clave que fueron identificadas.

Variación del proceso desplegada y comunicada.

Los componentes de la variación del proceso desplegados/comunicados usando gráficos.

Variación de largo y corto plazo contabilizada.

Desempeño de línea base. Cálculo Sigma

Medidas de desempeño del proceso en línea base (capacidad, rendimiento, nivel sigma).

Fase III. Analizar.

Productos a entregar en la fase:

Análisis de datos y proceso, análisis de causa raíz, cuantificar la brecha/oportunidad.

Puntos de chequeo:

Análisis de dato y proceso.

Identificar brechas entre el desempeño actual y el desempeño esperado.

Análisis de causa raíz.

Generar lista de posibles causas (fuentes de variación). Segmentar y estratificar posibles causas (fuentes de variación). Priorizar la lista de causas principales (causas de variación clave). Verificar y cuantificar las causas raíz de variación.

Cuantificar la brecha/oportunidad.

Determinar la brecha de desempeño.

Desplegar y comunicar la brecha/oportunidad en términos financieros.

Fase IV. Mejorar

Productos a entregar en la fase:

Generar (y probar) posibles soluciones, seleccionar las mejores soluciones, diseñar el plan de implementación

Puntos de chequeo:

Generar (y probar) posibles soluciones.

Posibles soluciones generadas y probadas.

Seleccionar las mejores soluciones.

Solución óptima seleccionada basada en pruebas y análisis.

Mapas del nuevo proceso desarrollado.

Análisis costo/beneficio de la solución óptima.

Piloto en pequeña escala para la mejora propuesta.

Datos del piloto colectados y analizados.

Mapas de proceso mejorado basados en las pruebas piloto.

Proceso mejorado.

Impacto del proyecto utilizando la mejor solución.

Diseño del plan de Implementación.

Plan de implementación de la solución, incluyendo programa, recursos, riesgos, costo/presupuesto y plan de control. Plan de Contingencias establecido.

Herramientas: Fase V.**Controlar.**

Productos a entregar en la fase:

Plan de monitoreo documentado e implementado, procesos estandarizados, procedimientos documentados, plan de respuesta establecido y desarrollado, transferencia al dueño de proceso.

Puntos de chequeo:

Plan de monitoreo.

Plan de control para mantener la mejora (corto y largo plazo).

Estandarización de procesos.

Nuevos pasos, estándares y documentos están integrados a las operaciones normales.

Procesos documentados.

Los procedimientos operativos son consistentes.

El conocimiento ganado en los procesos es compartido e institucionalizado.

Plan de respuesta.

Plan de respuesta establecido, entendido y desarrollado.

Transferencia al dueño.

Transferir la pertenencia y conocimientos al dueño de proceso y equipo de operaciones junto con sus responsabilidades.

Los fundamentos de la Metodología DMAIC.

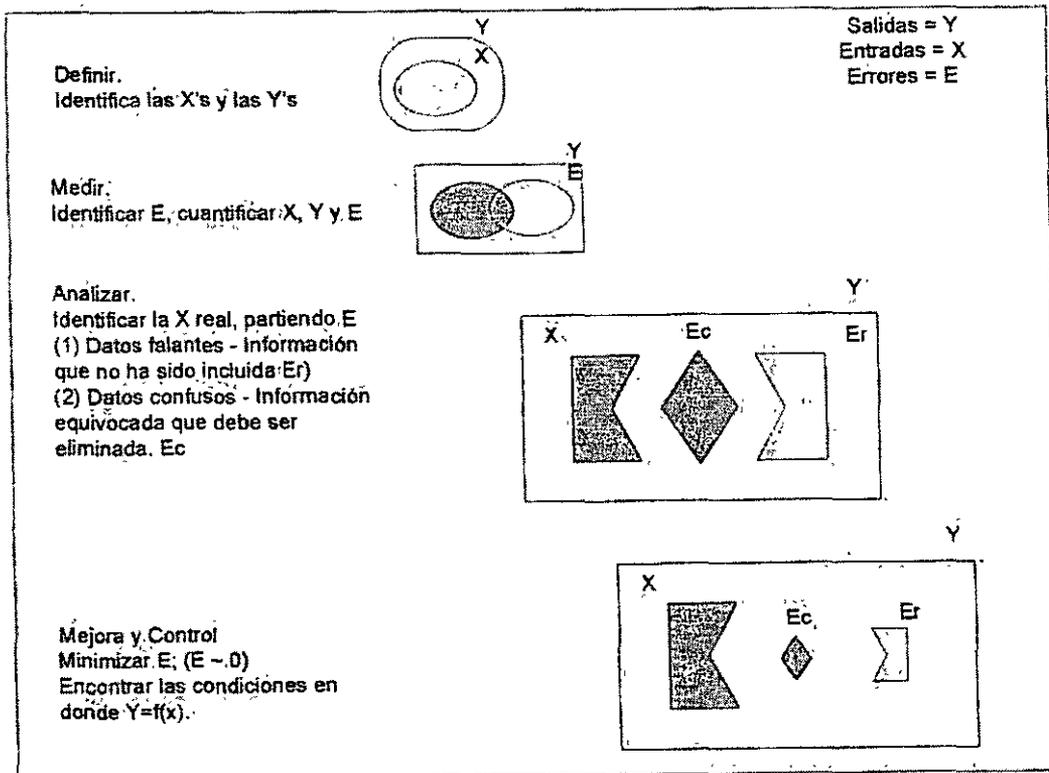
Cuando aprendemos la metodología Seis Sigma, es común que quedemos capturados en las reglas y el correcto uso de las herramientas. En un proyecto Seis Sigma real, la metodología provee un importante marco de referencia, puedes sentirte libre para usar y modificar las herramientas como sea necesario para el logro de los objetivos. Adicionalmente, las herramientas pueden ser de gran utilidad en forma aislada para la solución de problemas.

El uso adecuado de las herramientas tiene más que ver con su efectividad que con el uso "correcto". Haz que las herramientas trabajen para ti. Como un Green/Black Belt, tu habilidad de adaptar las herramientas para resolver de inmediato las necesidades de tu proyecto te ayudarán a demostrar que las herramientas de calidad pueden ser utilizadas para resolver problemas de todos los días. Cuidado! Existen algunas reglas estrictas en las herramientas que no pueden ser rotas y estoy seguro no intentarás romper.

El poder de Seis Sigma y su metodología DMAIC recae en su estructura y el rigor de la misma. Una ventaja mayor de la implementación de Seis Sigma es cambiar la mejora del proceso de prueba-error a entender que el proceso responde a la función $Y=f(x)$.

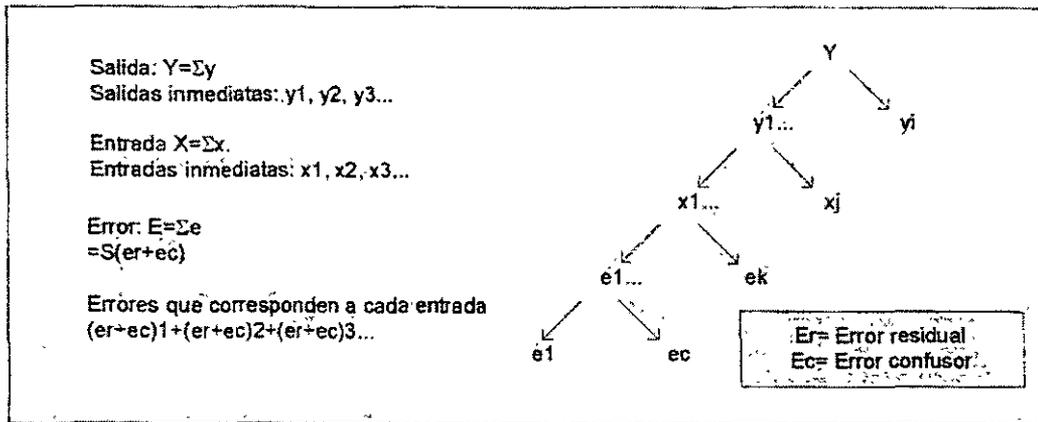
La capacitación Seis Sigma no debe enfocarse en - las herramientas únicamente, sino también en desarrollar el pensamiento científico para la solución de problemas para la mejora de procesos - ahí es donde el verdadero cambio surge -.

Las metodologías Seis Sigma son usadas para traducir problemas ocultos en $Y=f(x)$ usando análisis estadístico. Un equipo Seis Sigma puede resolver un problema encontrado la verdadera causa raíz y aplicando una solución que reduzca el impacto de esa causa. El punto clave del proyecto es cuando la solución se vuelve transparente, y el resultado (Y) puede ser consistentemente predicho usando la relación $Y=f(x)$.

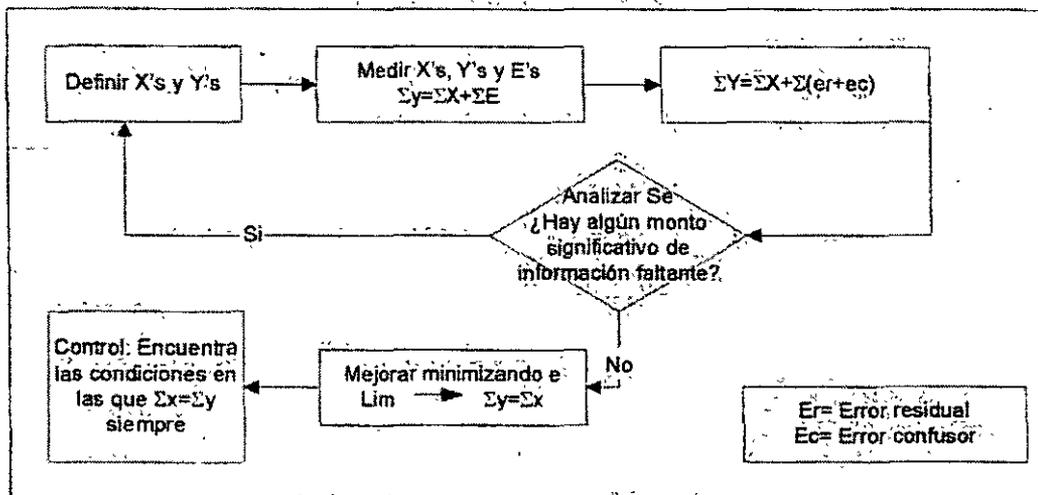


Un proyecto Seis Sigma es exitoso cuando el equipo es capaz de resolver $Y=f(x)$. Esto es, encontrar todas las entradas clave para cada salida esperada con una muy pequeña magnitud de error:

$$Y = \sum X = \sum X + \sum e$$



El camino para la metodología DMAIC muestra la relación entre las Y's y las X's. En la fase de definición, el proceso es descrito cualitativamente en relación al negocio, usando herramientas como el diagrama SIPOC. Las expectativas del proceso son especificadas cuantitativamente a través de la captura de la voz del cliente. Las salidas clave (Y) y los elementos críticos para la satisfacción son revelados. Un mapeo detallado del proceso enfocado en las salidas clave nos dará una lista de entradas. La fase de definición identifica las salidas clave y todas las entradas conocidas.



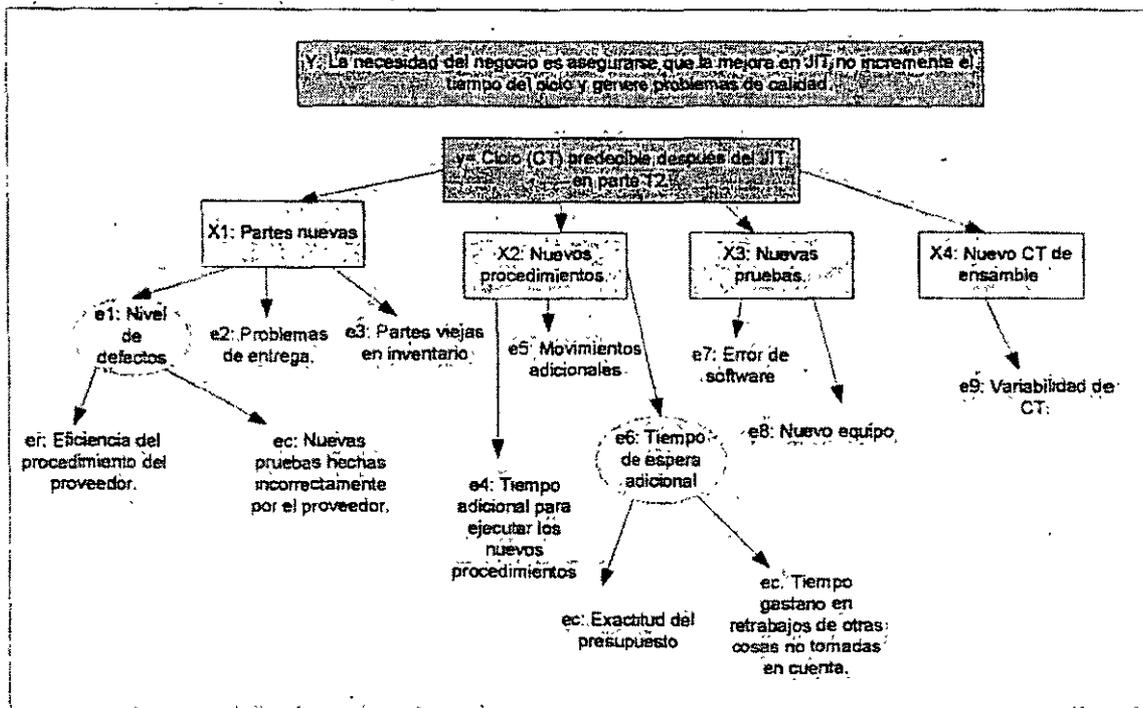
En la fase Medir, la lista de variables "x" y "y" son medidas, incluyendo todos los componentes de errores posibles (E). Mapeos más profundos del proceso nos revelarán los errores por desperdicio así como causas de variación del proceso. Cuando los componentes de los errores son medidos y acomodados en la forma de $Y=f(x)$, el problema es replanteado como una hipótesis, $H_0: Y=f(x)$ contra $H_a: Y \neq f(x)$. Ahora el problema se presenta en una forma que permite el análisis estadístico.

Después de analizar los componentes del error, si hace falta una cantidad importante de información (error residual) entonces las fases de Definir y Medir deben ser revisitadas. Esto es, si H_a no puede ser refutada, entonces H_0 debe ser reformulada. Si H_a puede ser refutada, entonces los componentes del error inherentes al proceso están listo para el análisis en preparación a la fase de mejora.

Para mejorar el proceso, concentra todos los esfuerzos en encontrar las fuentes de variación del desperdicio involucrado en el proceso. Un mapa de proceso y la información obtenida durante la fase de Medir nos ayudarán en este punto. Utilizando principios Lean, la teoría de restricciones, Diseño de Experimentos y otras herramientas de mejora, una reducción en incluso la eliminación de los errores del proceso es alcanzable.

La mejora radical sucede cuando el equipo de proyecto es capaz de llevar el índice de errores a cero y puede simular la salida basada en las entradas. En la medida en que la salida es predicha es una de las formas de determinar el éxito de Seis Sigma.

Una vez que la fase de mejora ha establecido como predecir las Y's, la fase de Control empieza. Durante la fase de control, las condiciones son determinadas en donde la relación $Y=f(x)$ sea siempre aplicable. Esto es logrado utilizando el Diseño de Experimentos para validar la relación. Es necesario entender el impacto de los riesgos a través del desarrollo de un análisis AMEF del nuevo proceso. El paso final es asimilar el conocimiento ganado a través del proceso de mejora implementando cualquier cambio necesario o gráficos de control.



La metodología DMAIC debe ser usada cuando tenemos productos o procesos existentes que no cumplen con las especificaciones del cliente o no se desempeñan adecuadamente. Para la metodología DMAIC existen ciertos hitos, que son entregas, puntos de control, preguntas y asuntos que un Black Belt y su equipo deben de mantener pendiente en todo momento. La siguiente guía rápida nos da una referencia de los puntos críticos que como Black Belt debemos tomar en cuenta en un proyecto Seis Sigma.

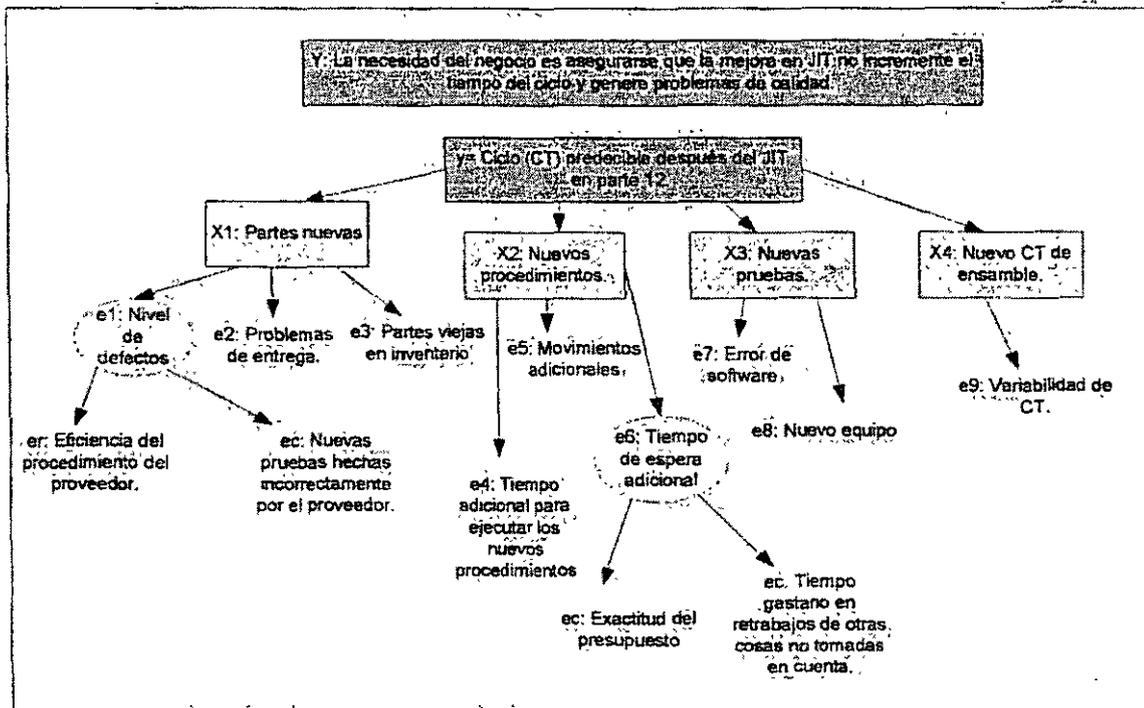
Para los profesionales Seis Sigma el uso de las herramientas estadísticas se ha vuelto cuestión de todos los días basados en los siguientes principios fundamentales:

- o Todo el trabajo ocurre en un sistema con procesos interconectados.

Para mejorar el proceso, concentra todos los esfuerzos en encontrar las fuentes de variación del desperdicio involucrado en el proceso. Un mapa de proceso y la información obtenida durante la fase de Medir nos ayudarán en este punto. Utilizando principios Lean, la teoría de restricciones, Diseño de Experimentos y otras herramientas de mejora, una reducción en incluso la eliminación de los errores del proceso es alcanzable.

La mejora radicar sucede cuanto el equipo de proyecto es capaz de llevar el índice de errores a cero y puede simular la salida basada en las entradas. En la medida en que la salida es predicha es una de las formas de determinar el éxito de Seis Sigma.

Una vez que la fase de mejora ha establecido como predecir las Y's, la fase de Control empieza. Durante la fase de control, las condiciones son determinadas en donde la relación $Y=f(x)$ sea siempre aplicable. Esto es logrado utilizando el Diseño de Experimentos para validar la relación. Es necesario entender el impacto de los riesgos a través del desarrollo de un análisis AMEF del nuevo proceso. El paso final es asimilar el conocimiento ganado a través del proceso de mejora implementando cualquier cambio necesario o gráficos de control.



La metodología DMAIC debe ser usada cuando tenemos productos o procesos existentes que no cumplen con las especificaciones del cliente o no se desempeñan adecuadamente. Para la metodología DMAIC existen ciertos hitos, que son entregas, puntos de control, preguntas y asuntos que un Black Belt y su equipo deben de mantener pendiente en todo momento. La siguiente guía rápida nos da una referencia de los puntos críticos que como Black Belt debemos tomar en cuenta en un proyecto Seis Sigma.

Para los profesionales Seis Sigma el uso de las herramientas estadísticas se ha vuelto cuestión de todos los días basados en los siguientes principios fundamentales:

- o Todo el trabajo ocurren en un sistema con procesos interconectados.

- o La variación en los procesos es un fenómeno natural
- o Entender y reducir la variación es la clave para el éxito.

El pensamiento estadístico provee a los profesionales Seis Sigma de herramientas para ver el proceso holísticamente. La siguiente tabla refleja las herramientas Seis Sigma que se acercan a estos principios.

Herramientas y principio	
Principio	Herramientas
Todo el trabajo ocurre en procesos interrelacionados.	Mapas de proceso, SIPOC, matriz causa – efecto, AMED, QFD.
La variación en los procesos existe.	Estadística descriptiva, Análisis del Sistema de Medición, Estadística enumerativa, Análisis multivariado, Diagramas causa efecto, gráficos de cajón, análisis de capacidad de proceso.
Entender y reducir la variación es la clave del éxito.	Estadística analítica, gráficos de control, Diseño de Experimentos, prueba de hipótesis, correlación y regresión, Pareto.

Muchos Black Belts se sienten obligados a aplicar las herramientas Seis Sigma en el orden en que las aprendieron. Por ejemplo, utilizar gráficos de control en la fase de medición antes de utilizar el Diseño de Experimentos los cuales se utilizan en la fase de mejora. Los Black Belts pueden en ocasiones completar los proyectos más rápido y obtener mejores resultados usando el pensamiento estadístico junto con la metodología DMAIC.

Caso 1.

Una máquina construía ejes con una tolerancia de 5 micrones, representando una capacidad de proceso menor de 1.0. El objetivo del proyecto era incrementar el Cpk a 1.5. Usando la tecnología DMAIC como una guía convencional, el equipo creó el mapeo detallado. El mapa fue creado después de realizar un estudio comprensivo del manual del equipo, el cual también permitió la identificación de las X's críticas. Al completar el AMEF para identificar los riesgos asociados con cada X crítica y se condujo un Diseño de Experimentos para optimizar la velocidad, alimentación, enfriamiento y otros parámetros controlables. Como resultado del esfuerzo del equipo, el proceso resultante fue optimizado y se logró un Cpk de 1.68. Los gráficos de control fueron usados para documentar la efectividad de los ejes y se estableció un Plan de Control para las X's críticas.

¿Cómo se empleó aquí el pensamiento estadístico?

Caso 2.

En una organización que procesa tarjetas de crédito el tiempo de respuesta entre el momento en que se solicita una tarjeta de crédito y se aprueba o declina es crítico. El objetivo del proyecto era mejorar el proceso para que la respuesta no tardara más de 14 segundos del momento de marcar hasta la respuesta. El equipo primero mapeó el proceso para entender el flujo y después usó la metodología DMAIC convencional. Los datos se colectaron y analizaron utilizando análisis multi-varial. En este punto del proyecto, el equipo sintió que no entendían mucho la variación y continuaron usando herramientas de la metodología DMAIC, eligiendo implementar el Diseño de Experimentos. Al final del experimento, 92% de los factores de control de la variación que impactaban en el tiempo de respuesta fueron identificados. El resultado movió rápidamente al equipo de la fase de medición a la de control en sólo 2 días.

¿Cómo se utilizó el pensamiento estadístico en este caso?

2.- MÉTODOS CUANTICOS Y HERRAMIENTAS DURAS.

HERRAMIENTAS PARA LA FASE II. MEDIR.

AMEF. Análisis de Modo de Falla y Efecto.

Es usado para identificar formas específicas en las cuales un producto, proceso o servicio puede fallar en el cumplimiento de las especificaciones.

Procedimiento:

- 1) Lista los pasos del proceso en la primera columna de una tabla.
- 2) Para cada paso del proceso, agrega causas potenciales de falla - formas en las cuales un producto, servicio o proceso puede fallar.
- 3) Desarrolla las escalas para calificar severidad, ocurrencia y detección.
- 4) Identifica las consecuencias potenciales de los efectos.
- 5) Identifica las causas de los efectos y ordénalas de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia.
- 6) Califica tu habilidad para detectar cada modo de falla.
- 7) Multiplica los 3 números (severidad, ocurrencia y detección) para determinar el riesgo de cada falla. Esto se representa en la gráfica por un número de prioridad del riesgo (RPN).
- 8) Identifica formas para reducir o eliminar el riesgo asociado con los RPN's.

Captura de voz del cliente.

Si la calidad es definida como el cumplir con las necesidades del cliente y proveerle de un valor superior, debemos iniciar por entender las necesidades de los clientes. La voz del cliente es el término que describe este proceso. La voz del cliente puede ser capturada de diversas formas: discusiones, entrevistas, focus groups, especificaciones del cliente, observación, datos garantizados, reportes de campo, etc.

El proceso incluye determinar cómo identificar el mercado objetivo, qué clientes contactar en vías de capturar sus necesidades, qué mecanismos usar para recolectar sus necesidades, un programa y presupuesto estimado para estas actividades.

En la medida en que las oportunidades son definidas, se utilizan las técnicas apropiadas para capturar la voz del cliente. Las técnicas usadas dependen de la naturaleza de la relación del cliente tal como se ilustra a continuación:

RELACIÓN DIRECTA.	RELACIÓN INDIRECTA.
<p>Relativamente pocos clientes. Relación directa con la compañía *Métodos para captura de requerimientos: -Documento de especificaciones. -Contrato u orden. -Juntas con clientes.</p> <p>-Datos de reparaciones y garantías. -Representantes de ventas.</p>	<p>Relativamente muchos clientes. Distribuidores & detallistas intermediarios con el cliente. Métodos para captura de requerimientos: -Encuestas -Focus groups -Investigación de mercado</p> <p>documental -Entrevistas -Retroalimentación de servicio a clientes.</p>

No existe una voz del cliente única. Los clientes son diversos. En mercados de consumo, hay una enorme variedad de necesidades diferente. Aún con sólo una unidad compradora, existen múltiples voces del cliente. Esto aplica a los mercados industriales y gubernamentales también. Existen incluso múltiples opiniones del clientes en una sola organización: la voz del comprador, la voz del usuario, la voz del que paga, la voz del que da mantenimiento o soporte, etc. Estas diversas voces deben ser consideradas, conciliadas y balanceadas para desarrollar un verdadero proceso de captura exitoso.

Tradicionalmente, Marketing ha sido responsable de definir las necesidades de usuarios y los requerimientos de los clientes. Esto ha tendido a aislar a Ingeniería y a otro personal de desarrollo de los clientes y de tener información de primera mano para entender las necesidades de los clientes. Como resultado de esto, las necesidades reales de los clientes pueden convertirse algo lejano y abstracto para ellos. La visión de Seis Sigma consiste en que dentro del mismo proyecto, el equipo esté directamente involucrado en el entendimiento de las necesidades del cliente. Esto puede incluir visitarlo o tener reuniones con ellos, observarlos, usar los productos o darles mantenimiento, participar en foros de usuarios o rotar al personal de desarrollo en marketing, ventas o funciones de soporte al cliente. Este involucramiento directo provee un mejor entendimiento de sus necesidades, su ambiente y el uso de los productos; desarrolla una mejor empatía, minimiza el conocimiento oculto y provee una mejor perspectiva de las decisiones de diseño y desarrollo. Es recomendable también que al menos en esta etapa del proyecto Seis Sigma se involucre a representantes de ventas o marketing que puede ser útil en el proyecto. El número de clientes involucrados en la consulta depende de la complejidad del producto y el mercado, el uso y la sofisticación del cliente.

El objetivo es obtener el 90-95% de confiabilidad en la captura de las necesidades del cliente. Los clientes actuales son la principal fuente de información, aunque no debemos descartar tratar con clientes potenciales. Ellos serán la principal fuente de información si el producto es nuevo o se prepara para nuevos mercados. Es conveniente también hablar con clientes de la competencia quienes nos pueden dar información valiosa de requerimientos que no podemos cubrir.

Existen clientes especiales que pueden darnos información específica acerca de los productos, estos son aquellos que usan el producto hasta sus límites, o clientes que han adaptado los productos para nuevos usos.

La clave al final es encontrar las necesidades básicas de los clientes. Frecuentemente, los clientes tratarán de expresar sus necesidades en términos de CÓMO la necesidad puede ser satisfecha y no en términos de CUÁL es su necesidad. Esto limita la consideración de alternativas de desarrollo. Nuestra labor será preguntar ¿POR QUÉ? Hasta entender la. necesidad raíz. Desafía, cuestiona y clarifica los requerimientos hasta que estos hagan sentido para nosotros. Documenta las situaciones y circunstancias para ilustrar la necesidad de un cliente. Direcciona las prioridades relacionadas con cada necesidad. No todas las necesidades tienen la misma importancia. Utiliza comparaciones priorizadas o pareadas para facilitar la

decisión del cliente. Fundamentalmente, el objetivo es entender cómo el satisfacer una necesidad en particular influye en el proceso de compra.

Por último es importante obtener la perspectiva del cliente acerca de la competencia. La pregunta que nos interesa es ¿Cómo ubican a los productos de la competencia _comparados con el/los nuestros?

Una vez que las necesidades son obtenidas, tienen que ser organizadas. Las notas de entrevista, documentos de requerimientos, investigación de mercado y datos de los clientes deben ser traducidos en enunciados que expresen las necesidades del cliente. Un diagrama de afinidad es una herramienta útil que nos puede ayudar en este esfuerzo. Adicionalmente, debemos dividir las necesidades en "enunciadas" y "no enunciadas". Existen necesidades que son asumidas por el cliente y por lo tanto no las mencionan pueden ser identificadas preparando árboles de funciones (FT's). Oportunidades importantes no expresadas son identificadas por ingeniería, marketing o los representantes de ventas. Estas también pueden ser identificadas observando a los clientes.

Los negocios proveen una indivisible combinación de productos y servicios a sus clientes. El valor de la compañía visto por el cliente está basado en la calidad combinada de los productos y servicios. Entonces ¿Cómo el profesional Seis Sigma puede dar a la gerencia una herramienta para unir el desempeño de las operaciones y monitorear el punto de vista de los clientes acerca de la habilidad para satisfacer sus necesidades?

Un método usado en Seis Sigma es el Customer View Score (CVS). La base son los conceptos de los CTQ's. Para crear el CVS, usamos las definiciones de los CTQs y se ponderan con base en la experiencia de los miembros del proyecto en compañía con el Sponsor, Campeón, Dueño de Proceso o el mismo cliente. Después determinamos la función dependiendo de las actividades de la organización, los CTQ's, el peso asignado y el conteo para obtener un score por función.

Función	Crítico para la Calidad (CTQ)	Peso	Conteo	Resultado
Servicio al cliente				
Llamadas no contestadas	Cero llamadas no contestadas	Conteo X 2	56	112
Retraso en llamadas	Menor de 20 segundos	Conteo	144	144
Preguntas no contestadas, necesidad de llamar de nuevo	Cero callbacks	Conteo	23	23
Envío				
Envíos tardíos	Sin envíos tardíos	Conteo X 2	56	112
Producto/Cantidad incorrectos	Cero incorrecciones	Conteo X 2	4	8
Dirección incorrecta	Cero direcciones incorrectas	Conteo X 2	6	12
Error de captura	Cero errores	Conteo X 2	20	40
Producción / Control de Calidad				
Defectos reportados en producto	Cero defectos	Conteo X 2	112	224
Planeación/Inventario				
Backorders <2 días	Sin backorders	Conteo X 2	61	122
Backorders >2 days	Sin backorders	Conteo X 4	18	72
Customer View Score Mensual				869

Esto nos ayuda a tener un entendimiento mejor del proceso en términos de CTQ y nos ayudará más adelante a entender su comportamiento con vías a la mejora. En contraste al nivel Sigma, el CVS provee al equipo de proyecto una rápida indicación del desempeño de la organización.

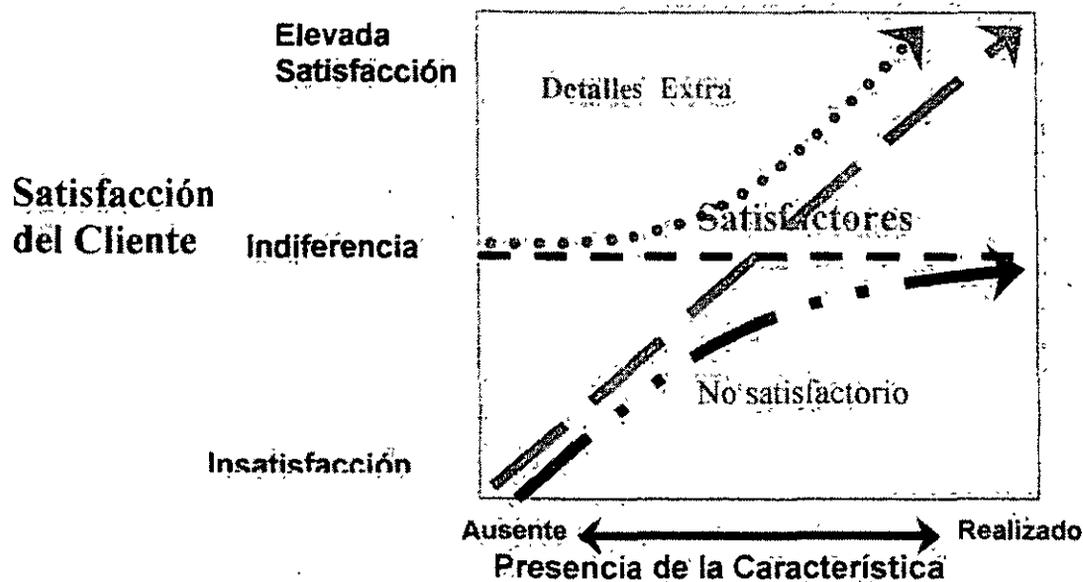
Diez tips para desarrollar un focus group.

1. Nunca puedes hacer demasiado para planear un focus group.
2. Asegurate de tener a la gente correcta participando.
3. No prejuzgues a los participantes basado en su apariencia física.
4. Los mejores moderadores traen objetividad y experiencia en el proceso para el proyecto.
5. Alcanzar los objetivos de la investigación no garantiza el éxito del proyecto.

6. El moderador y el equipo de mejora deben coordinar sus esfuerzos en todo momento para lograr los objetivos de la investigación.
7. No hostigues a los clientes con el tiempo, utilízalo sabiamente y no realices focus grupos sin una necesidad real.
8. Asegúrate de obtener un reporte rápido de los resultados.
9. Los observadores tienen que ser seriamente informados acerca de los objetivos de la investigación antes del inicio de la sesión.
10. Olvidate de lo que quieres oír, busca siempre interpretaciones y conclusiones serias y objetivas:

Modelo KANO

El modelo propuesto por Kano nos ayuda a encontrar y priorizar los factores que causan satisfacción a los clientes.



- *Deben ser.* Características que si están ausentes provocarán disatisfacción.
- *Más es mejor.* Características que si se proveen generan satisfacción permanente y fuerte.
- *Satisfactores.* Son características que si se entregan generarán dramáticos cambios en la satisfacción.

Toma en cuenta que las características pueden moverse de los grupos durante el tiempo.

Procedimiento:

1. Ordena las necesidades de los clientes en un diagrama de afinidad.
2. Agrupa las necesidades en 3 categorías de acuerdo al modelo de Kano (deben ser, más es mejor, satisfactores).
3. Si existe poca información para alguna de las categorías colecta más datos. Toma en cuenta que los clientes generalmente nos dirán únicamente los factores relacionados con "más es mejor".

4. Después de coleccionar información adicional, regresa a las categorías de Kano y completa la categorización.
5. Prioriza las necesidades de los clientes.

Tipos de datos.

- o Datos de atributos. Los datos de atributos pueden ser contados y graficados como eventos discretos. Incluyen el conteo por números o porcentajes.
- o Datos variables. Datos variables que son medidos y graficados en una escala continua.

Lo mejor para el equipo Seis Sigma siempre será tener información y datos de la población, sin embargo, esto es económicamente inviable y el tiempo sería siempre poco. Para esto es necesario establecer muestreos que nos permitan tener información representativa del comportamiento del proceso. Los métodos básicos de muestreo son:

- 1) Al azar.
- 2) Secuencial.
- 3) Estratificado.

Plan de colección de datos.

Los Black Belts y practicantes de Seis Sigma deben desarrollar un plan de colección de datos para obtener información en la etapa de Medir. Existen varios pasos cruciales que deben ser completados para asegurarnos que el proceso de colección de datos y la medición de los sistemas es estable y confiable.

El proceso se divide en tres fases - 5 pasos en total - tal como se describe a continuación:

Pasos preparatorios para la Colección de datos.

1. Define claramente las metas y objetivos de la colección de datos.
2. Busca el entendimiento y acuerdo en las definiciones operativas y la metodología para el plan de colección de datos.
3. Asegura y mide la repetibilidad, reproductibilidad, estabilidad y confiabilidad de la colección de datos.

Pasos durante la colección de datos.

4. Da seguimiento al proceso de colección de datos.

Pasos después de la colección de datos.

5. Observa los resultados.

Paso 1. Define Metas y Objetivos.

Un buen plan de colección de datos debe incluir: o Una breve descripción del proyecto. o Los datos específicos que son necesarios.

- o La razón por la cual recolectamos los datos.
- o Qué buscamos de los datos y cómo nos ayudará en la mejora o Qué haremos con los datos una vez que sean colectados.

Ser claros en estos elementos nos facilitará la acertada y eficiente recolección de los datos.

Paso 2. Definir la metodología y operaciones.

El equipo de mejora deberá definir claramente qué datos se coleccionarán y cómo. Debe decidir qué es lo que se va a evaluar y determinar cómo un valor numérico será asignado para facilitar la medición. El equipo debe considerar consultar con los clientes para ver si ellos han recolectado los mismos datos o algunos similares. De ser así, las comparaciones deben hacerse y las mejores prácticas compartidas. El equipo debe formular el alcance de la colección de datos:

- o ¿Cuántas observaciones son necesarias?
- o ¿Qué intervalo de tiempo debe ser parte del estudio?
- o ¿Es necesario tener datos pasados, presentes o futuros?
- o ¿Qué metodología se usará para obtener los datos?

Omitir este paso puede significar en resultados no acertados.

Paso 3. Asegurar la repetibilidad, reproducibilidad, acierto y estabilidad.

Los datos serán repetibles si el mismo operador es capaz de alcanzar esencialmente el mismo resultado en múltiples ocasiones en una unidad particular con el mismo equipo.

Los datos serán reproducibles si todos los operadores quienes están midiendo los mismos productos, con el mismo equipo, están alcanzando esencialmente los mismos productos.

El grado en el cual el sistema de medición es acertado generalmente será la diferencia entre el promedio observado de la medida y el valor estándar asociado.

El grado en que el sistema de medición es estable es generalmente expresado por la variación resultante del mismo operador midiendo el mismo producto, con el mismo equipo en un periodo extendido.

Los equipos de mejora necesitan estar concientes de todos los posibles factores que pueden causar reducciones en repetibilidad, reproductibilidad, acierto y estabilidad que pueden redundar en datos no confiables. Es conveniente practicar una prueba, posiblemente en una menor escala.

Paso 4. El proceso de colección de datos.

Una vez que la colección de datos ha sido planeada y definida, es necesario que el Black Belt comunique a todo el equipo los procedimientos, definiciones, guías y el plan y sobre todo debe asegurarse que todos han entendido el contenido del plan.

Es recomendable que el Black Belt esté presente en el inicio de la colección de los datos para tener contacto directo con lo que se hace y pueda tomar medidas correctivas de ser necesario.

Paso 5. Después de la colección de datos.

El Black Belt debe checar que los resultados cumplen razonablemente con los criterios. Si los resultados no cumplen con los criterios, entonces el Black Belt debe determinar dónde están las inconsistencias y definir qué hacer con los datos o mediciones sospechosas. Revisando las definiciones operativas y la metodología con el equipo podemos ayudarnos a clarificar cualquier mal entendido o mal interpretado que pueda causar la inconsistencia.

Ejemplo de Plan de Colección de Datos.

Objetivos y Metas.

Descripción del Proyecto:

Los resultados de la reciente elección en nuestro municipio ha causado preocupaciones acerca de la validez del proceso de conteo de votos. La legislación estatal dice que un conteo manual es requerido cuando la diferencia en los resultados de la elección es: menor al 0.5%. Sin embargo, ni el conteo manual de votos ni la máquina contadora han sido analizadas para determinar su confiabilidad. Dicha información será benéfica para la legislatura cuando ellos convoquen a la discusión del estado del proceso de elección. El equipo de mejora ha decidido coleccionar algunos datos relacionados al proceso de conteo de votos. Empezarán la fase de medición con un experimento para determinar si las perforaciones en las boletas tienen alguna tendencia en ser alterados o materialmente destruidos - como que el resultado (o voto) pudiera cambiar si la misma boleta fuera sujeta de un recuento manual - como resultado de ser procesada por la máquina de conteo. Este experimento de un solo factor a la vez explicará la posibilidad de que el conteo manual, aun si es probada su confiabilidad, pudiera dar información errónea si las boletas que recibe (como entradas del proceso de conteo manual) de la máquina contadora han sido alteradas de alguna manera. Experimentos subsecuentes examinarán si el almacenado y fleje de las boletas después de que han sido procesadas; puede contribuir a que sean alteradas.

Datos a ser coleccionados:

Precisión del conteo de votos.

Nombre de la medición (Etiqueta o identificador):

Total de conteo de votos de boletas premarcadas después de haber sido procesadas por la máquina contadora.

Descripción de la medición (Precisión, Ciclo, Etc.):

Precisión - Comparación de boletas y votos totales antes y después de la máquina, dándonos una brecha. Propósito de la colección de datos:

La meta es determinar si la confiabilidad del proceso de conteo manual y la máquina contadora en nuestro municipio serán consistentes con las leyes requiriendo un recuento con un 0.5% de umbral. Qué información obtendremos:

Los datos, cuando sean contados y comparados con las boletas premarcadas antes del proceso, deben decirnos si las boletas son dañadas de alguna forma que afecte el resultado del conteo.

Tipo de medición (Entrada, proceso, salida):

Medición de proceso.

Tipo de datos (Discretos-Atributos, Discretos-Conteo, Continuos):

Discretos-Conteo

¿Cómo ayudará esto al equipo de mejora?:

El equipo será capaz de tomar una decisión en qué eliminar para considerar los posibles efectos de que las boletas sean procesadas a través de la máquina contadora como un factor dentro de la confiabilidad total en el sistema de conteo de votos.

¿Qué haremos con los datos después de la recolección?:

El equipo usará los datos para lograr una medición de la precisión del proceso, la cual puede ser incluida en el cálculo del rendimiento total del proceso. El equipo puede usar también los datos para realizar un diagrama de concentración si las inconsistencias del conteo de votos se congregan en un área en particular de la boleta que pudiera indicar una obstrucción o fuerza en la máquina que pudiera causar conteo inexacto de votos.

Definiciones operativas y metodología¿Quién? (Roles y responsabilidades):

El Black Belt y el líder de proceso supervisarán; cada miembro del equipo participará en la colección de datos.

¿Qué? (Define la medición):

Precisión después de la máquina: No-preciso = El agujero en la boleta no coincide con el resultado de la boleta premarcada.

¿Dónde? (Fuente, ubicación):

La colección de datos se hará en las oficinas del distrito electoral 9. El análisis de los datos se hará en las oficinas electorales centrales.

Alcance:Plan de muestreo (Número de observaciones):

1,000 observaciones totales son deseadas. 250 de ellas en cada intervalo.

¿Cuándo? (Tiempo, intervalos, frecuencias):

La colección de datos se hará cada jueves, iniciando el 8 de octubre de 9 a 10 AM. La colección de datos terminará el 30 de octubre.

Datos del pasado:

No disponibles

Datos actuales:

A iniciar el 9 de octubre.

Datos futuros:

A ser determinados.

¿Cómo? (Metodología):

Precisión post-máquina: Una boleta premarcada contiene 5 nombre escritos servirán como la intención de voto actual e indicarán al participante por quién votarán, por ejemplo, qué hoyo ponchar. El participante tomará la boleta premarcada para votar en la casilla A y ponchar la casilla adecuada. El ponchado será observado por el Black Belt o el Dueño de Proceso. Cuando todos los hoyos son ponchados, el BB o DP registrarán los resultados en la forma en que ellos interpretan los hoyos. El participante tomará entonces la boleta y la depositará en la máquina contadora. Una vez que la boleta ha sido alimentada en la máquina y el voto ha sido registrado, el participante la recogerá y comparará con la original. El BB o DP registrará el resultado de nuevo de acuerdo a la forma en que interpreta el ponchado después de que fue alimentada. El proceso se repetirá hasta que se hagan el número de observaciones deseadas.

¿Cómo? (Registro de datos):

Utiliza las sábanas de captura que el BB entregará. Un voto inadecuado recibirá el número cero y un voto acertado será registrado con el número uno.

Colección de datos, R&R, Precisión y estabilidad.

Plan de Colección de datos. Repetibilidad.

No aplicable.

Plan de Colección de datos. Reproductibilidad:

No aplicable.

Plan de medición de la precisión:

No aplicable

Plan de medición de la estabilidad:

No aplicable

Determinación de la muestra

Un problema común para los miembros de equipo Seis Sigma es determinar ¿Cuántos datos son necesarios para realizar la medición? No existe un cálculo estadístico válido para determinar la muestra en esta situación. Es posible aplicar el sentido común y juzgar si las muestras tomadas son suficientes para determinar las características del proceso.

Algunas guías a seguir son las siguientes:

- 1) Despliega los datos del proceso en periodos tan largos como sea práctico (tanto tiempo como te permita estar satisfecho con la confiabilidad de los datos). Esto te permitirá tomar en cuenta cualquier variación que exista con el largo plazo.
- 2) Toma en cuenta cualquier patrón en el desempeño del proceso - si existen en forma mensual, trimestral, anual, etc. - De ser así, asegúrate de que el muestreo pueda tomar datos de estas circunstancias.
- 3) ¿El proceso sufre problemas ocasionales, severos? De ser así, necesitarás entender su frecuencia y severidad lo suficiente para evaluar si las muestras tomadas representan todos los problemas en el desempeño del proceso. Asegúrate que capturas una muestra representativa de estos problemas en los niveles de desempeño del día a día.
- 4) Sé realista: Si tu proceso tiene causas especiales de variación, debes de tener una muestra mucho más grande. La fórmula de muestreo usada normalmente está basada en muestras de población. El muestreo de procesos es mucho más susceptible a causas especiales de variación.

¿Cuántos datos son suficientes?

La mejor forma de evaluar esto es graficar la forma en el promedio varía en cuanto colectamos más datos - promedio acumulativa- . Esto permite obtener al menos una orientación intuitiva de que los datos son suficientes, en la medida en que el promedio acumulativo se vuelve plano, empezamos a construir bases de confianza en el sentido de que tenemos suficientes datos. Si la gráfica se mantiene inestable o continua con su tendencia, esto indica que las muestras más recientes están por debajo o encima de los niveles observados anteriormente, y necesitamos continuar con la colecta de datos.

¿Cuánto tiempo debemos esperar? Necesitamos usar nuestro propio juicio y conocimiento del proceso para decidir. La mejor guía es la siguiente: Si el promedio acumulativo parece ser estable en un periodo en que las causas especiales son significativas, debemos concluir nuestro estudio de línea base.

Procedimiento:

- 1) Si estamos midiendo defectos en lotes, ingresa el número de muestras en cada lote en la Celda D-2 - de otra forma, ingresa el valor 1.
- 2) Para cada lote o unidad, ingresa la fecha en la que fue tomada en la columna B y el número de defectos o defectivos en la columna C. La gráfica continuará actualizándose de acuerdo a como avanzamos en los datos.
- 3) Examina la línea azul den la gráfica (promedio de porcentaje acumulativo) y pregúntate:
 - a. ¿Se ha nivelado?
 - b. ¿Desde qué momento la línea azul se ha nivelado?
 - c. ¿Las causas especiales que afectan el proceso son representativas del patrón que observamos?
 - d. Si estás satisfecho con el comportamiento de la línea azul, puedes usar el valor que se presenta en la celda D4, la cual es el promedio de defectos en porcentaje para toda la muestra.
 - e. Ingresa los datos de donde crees que el promedio acumulativo ha estado nivelado en la celda E6.
 - i. La gráfica se actualizará para el periodo de verificación con líneas verdes que indican el rango en el cual la capacidad real recae.
 - ii. Estas líneas no son rangos de confianza estadístico, entonces nos referiremos a ellos como el rango estimado.
 - iii. Si la dispersión entre las líneas verdes es muy grande para nuestras necesidades, entonces no tenemos suficientes datos. La diferencia entre las líneas se reduce en aproximadamente la raíz cuadrada del tamaño de la muestra. Debemos entonces esperar a tomar más muestras.
 - iv. El rango estimado es calculado agregando el rango de confianza convencional al rango de estimados de porcentajes defectivos observados durante el periodo de verificación.

Nota:

La formula usada para calcular el tamaño de la muestra requerida para el muestreo de la población es $n = 4p(1-p)/d^2$

Donde: p es la proporción defectiva, y de es el máximo error a un nivel de confianza del 95%

Análisis del Sistema de Medición

El análisis del sistema de medición (MSA) es usado para evaluar las propiedades estadísticas de los sistemas de medición de los procesos. Los sistemas de medición pueden incluir procedimientos de colección, indicadores y equipos de medición usados para coleccionar datos para analizar problemas en los procesos y su comportamiento.

El propósito del análisis del sistema de medición es asegurar y demostrar que tus sistemas y procedimientos de medición proveen:

1. Resolución adecuada.
2. Resultados que no son injustamente tendenciosos.
3. Poca variabilidad ;n comparación con las tolerancias especificadas.

Establecer sistemas adecuados de medición es fundamental para el éxito del proyecto Seis Sigma y en alcanzar las especificaciones de los clientes. Toma, por ejemplo, medidas de ciclo de tiempo, pueden ser medidos en segundos, minutos, horas, días, meses, años, etc. Hay una apropiada escala de medición para cada necesidad/especificación, y es el trabajo del profesional Seis Sigma seleccionar la escala más apropiada.

El concepto puede ser fácilmente mostrado con un ejemplo. Examinemos el caso de un cliente esperando la instalación de cable en su casa. Al cliente le han dicho que la instalación se hará en un día entre la 1 y las 4 de la tarde, y la duración de la instalación tomará media hora. Desde el punto de vista del cliente, la compañía de cable estará a tiempo si llegan entre la 1 y las 4 de la tarde, cualquier llegada fuera de esa hora será considerada con un defecto en el servicio. Para la compañía de cable presentarse fuera de esos horarios porque el cliente llegará del trabajo hasta la 1 p.m. y tiene otra cita a las 4:30pm.

Por años, la compañía de cable ha medido su desempeño tomando en cuenta si se han presentado en el tiempo anotando la hora en la que llegan. Si llegan a la 1:34 se registra como un '1' estando dentro del tiempo planeado; si ellos llegan a las 3:59 se registra como un '3', de nuevo, dentro del tiempo planeado. Esto funcionó bien porque reflejaba se llegaban más temprano (registrando un 12 o antes) o tarde (registrando un 4 o más tarde) en cada instalación. El problema con este sistema de medición se presenta cuando un técnico de servicio llega después de la hora especificada por el cliente, entre 1 y 4, para este caso. En ese caso la compañía de cable no tiene forma de determinar qué tanto se produce el defecto - su sistema de medición no despliega una adecuada resolución. La apropiada resolución debería medir minutos, no horas, lo cual permitiría a la compañía de cable cuantificar si el técnico de servicio de presentó a las 4:01 o a las 4:59. Esto ayudaría a la compañía de cable a determinar la causa raíz del defecto y reestructurar su programa de forma más efectiva.

Escala	Concepto de análisis del sistema de medición
Día	Resolución no suficientemente fina
Hora	Resolución no suficientemente fina
Minuto	Resolución apropiada para el sistema de medición

El análisis del sistema de medición puede ser muy divertido y darnos algunas sorpresas interesantes acerca de nuestros sistemas de medición.

Medición de la precisión.

La precisión es lograda cuando el valor medido tiene poca desviación en comparación con el valor actual. La precisión se mide comparando el promedio de repetidas mediciones contra un estándar para esa unidad de medición.

Repetibilidad.

La repetibilidad es lograda cuando una persona toma múltiples mediciones del mismo tipo o característica y obtiene el mismo resultado cada vez.

Reproductibilidad

La reproductibilidad es lograda cuando otras personas (o instrumentos o laboratorios) obtienen el mismo resultado que obtienes cuando mides el mismo elemento o característica.

Estabilidad.

La estabilidad es lograda cuando las mediciones que son tomadas por una persona varían poco en el tiempo.

Resolución.

La resolución adecuada significa que el instrumento de medición puede darte al menos 5 distintos valores en el rango que necesitamos medir.

Procedimiento:

1. Realiza un número de mediciones que te permita tener la suficiente cantidad de elementos que cubran todas las posibilidades de variación.
2. Gráfica los datos en una gráfica de corrida (Run Chart).
3. Analiza los datos usando el Análisis de Variación (ANOVA).
4. Mejora el proceso de medición si es necesario.

OJO: Algunas notas prácticas.

- o Para análisis de datos continuos, la desviación estándar del operador y el instrumento de medición combinadas no deben ser mayores a $1/3$ de la desviación estándar total del producto; así mismo, no deberá ser mayor de $1/18$ de la desviación esperada para el desempeño del producto.

Posibles causas de variación:

Variación en partes: pieza a pieza, lote a lote en materia prima, área a área en pieza, etc. **Variación humana:** operador a operador, supervisor a supervisor, puesta en marcha a lead, otras tareas ejecutadas al mismo tiempo, condiciones ergonómicas, etc.

Variación en tiempo: Tiempo de la muestra a tiempo de operación, hora a hora, turno a turno, día a día, semana a semana, mes a mes, temporada a temporada, año a año, alimento y otros tiempos muertos, etc.

Variación en lugar: Máquina a máquina, edificio a edificio, planta a planta, estado a estado, país a país, etc.

Run Chart - Corridas.

Una gráfica de tiempo, run chart o corrida es una línea que nos muestra puntos de datos en el orden en que ocurren. Son usadas para mostrar tendencias y desplazamientos (shifts) a través del tiempo. Pueden ser usados para evaluar variables de datos y atributos.

Procedimiento:

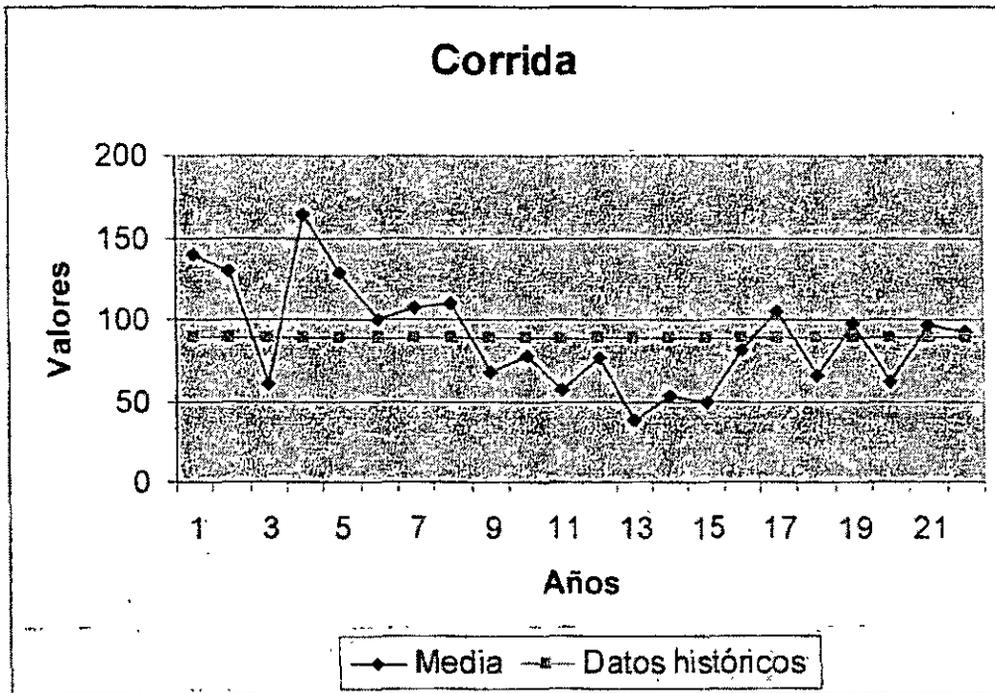
1. Dibuja y etiqueta el eje vertical (y) usando las unidades de medida que estás evaluando (número de defectos, promedio de diámetro, número de graduados, porcentaje de defectos, etc)
2. Dibuja y etiqueta el eje horizontal (x) para reflejar la secuencia en la cual los datos son colectados (semanas, horas, días, meses, etc)
3. Dibuja los puntos en la gráfica en el orden en que se presentan y conéctalos.
4. Calcula la media de los datos y dibuja una línea horizontal a través de la gráfica en el nivel de la media.
5. Interpreta la gráfica y decide qué acción tomar ¿Se presentan tendencias? ¿La gráfica se vería diferente si todo fuera perfecto? La clave es ver tendencias y no enfocarse en los puntos individuales.

Ejemplo:

Demanda de productos entregados en forma mensual por año.

AÑO	PROMEDIO MENSUAL
1975	39
1976	130
1977	61
1978	164
1979	129
1980	100
1981	108
1982	110
1983	68
1984	78
1985	57
1986	77
1987	38
1988	53
1989	50
1990	81

1991	105
1992	65
1993	97
1994	62
1995	96
1996	93



Gráficos de Control.

Los gráficos de control son útiles para:

1. Determinar la ocurrencia de situaciones relacionadas con causas especiales.
2. Utilizar las oportunidades presentadas como situaciones de causa especial para identificar y corregir la ocurrencia de causas especiales.

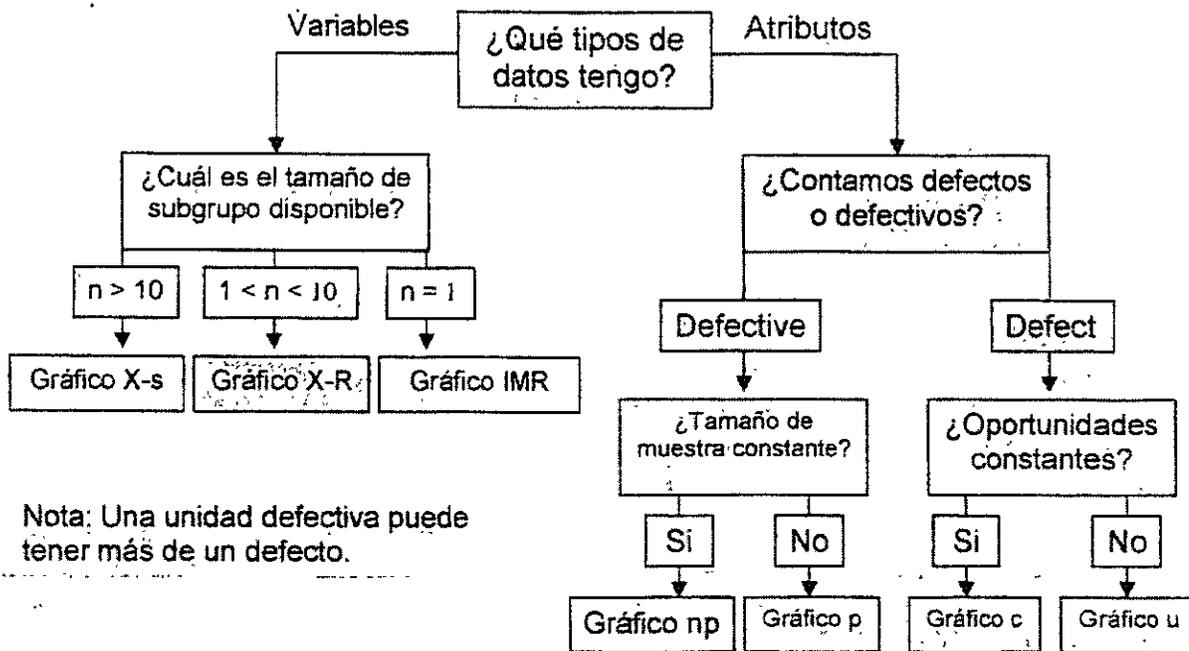
Los gráficos de control pueden ser usados efectivamente para determinar "causas especiales" en las fases de Medición y Análisis.

CAUSA ESPECIAL. Cualquier ocurrencia que cae afuera del intervalo de confianza tiene una baja probabilidad de presentarse y por lo tanto es significativamente diferente. Si podemos identificar y corregir la causa, tenemos la oportunidad de mejorar significativamente la estabilidad del proceso. Dada la cantidad de datos involucrados, los gráficos de control han usado históricamente el 99% de confianza para determinar la ocurrencia de estas causas especiales.

Un gráfico de control es un gráfico de corridas con intervalos de confianza calculados y dibujados. Estos "Límites estadísticos de control" nos permiten determinar cuando las características de un proceso están operando bajo la influencia de causas especiales.

Procedimiento:

- 1) Selecciona la métrica que será evaluada.
- 2) Selecciona la gráfica adecuada para la métrica.



- 3) Recopila suficiente información para calcular los límites de control.

Es necesario tomar en cuenta algunos asuntos importantes cuando seleccionamos la muestra para los gráficos de control. Estos asuntos incluyen:

- Consideraciones para el tamaño de la muestra (subgrupos).
- Frecuencia del muestreo
- Colecta de muestras

Un reto mayor al seleccionar la muestra de un proceso es seleccionar la muestra (subgrupo) en la cual la variación sea atribuible sólo a la variación inherente al proceso. La idea es que la muestra se seleccione de tal forma en la que las oportunidades sean maximizadas para que cada elemento en la muestra sea equiparable y sujeto sólo a causas comunes de variación. El espacio de las muestras (subgrupos) es arreglado de tal forma que si se presenta una causa especial de variación, el gráfico de control pueda identificar su presencia.

Consideraciones para determinar el tamaño de los subgrupos (Muestra).

- o Los subgrupos deben ser lo suficientemente pequeños para ser económicamente viables y factibles. El tiempo y el esfuerzo que toma colectar y medir las muestras toma un peso importante aquí.
- o Los subgrupos deben ser lo suficientemente grandes para permitir que el Teorema del Límite Central provoque una distribución normal. En muchos casos las medidas del proceso son normales o cercanas a la normalidad. En pocos casos pueden no ser normales. Sabemos por el Teorema del Límite Central que entre más grande sea la muestra, existe más probabilidad de que la distribución de la muestra siga una distribución normal. Desde una perspectiva práctica, esto es cierto para casi todos los subgrupos de tamaño 4 o más.
- o Subgrupos más grandes son necesarios para proveernos una mejor sensibilidad en detectar condiciones fuera de control. Entre más grande es el tamaño del subgrupo, es más probable que sea detectado un shift en el proceso.
- o Los subgrupos deben ser seleccionados de tal forma que sean sujetos ÚNICAMENTE de causas comunes de variación. Si se nos permite que los subgrupos sean muy grandes, es posible que causas especiales de variación puedan ser mezcladas con causas comunes. Este efecto reducirá la sensibilidad del gráfico de control para detectar shifts en las características de nuestro interés.

Cuando todas las consideraciones anteriores se toman en cuenta, típicamente se selecciona un grupo entre 4 y 6. Cinco es el tamaño de subgrupo más usado (esto se debe al hecho de que 5 es la mitad de 10 y los cálculos se facilitan en forma mental).

Consideraciones en la recolección de muestras.

Típicamente, buscamos que las mediciones dentro de un subgrupo sean tomadas tan cercanas como sea posible para reducir el cambio que las causas especiales de variación presentes en el subgrupo afecten el resultado. Por eso, es común que muestras consecutivas sean tomadas de un proceso. Un periodo de tiempo pasa y otro subgrupo es colectado consecutivamente. El espacio entre los subgrupos no debe ser exactamente uniforme. No es una buena idea tomar muestras exactamente cada hora o exactamente al mismo tiempo cada día. Un cierto número de tomas al azar es bueno porque esto tiende a minimizar el efecto de cambios shift, uso de herramienta, cambios de herramienta, etc. Si la regla es tomar muestras cada hora, un mejor plan podría ser tomarlas cada hora, pero variando el tiempo al azar en minutos del intervalo de la hora.

La frecuencia de la colección de muestras.

Las muestras deben tomarse con la frecuencia suficiente para que sean útiles en la identificación de los problemas. En muchos casos, las muestras son tomadas de manera poco frecuente. Debemos tener las siguientes consideraciones:

- o Estabilidad del proceso. Si un proceso no ha sido analizado utilizando gráficos de control y exhibe comportamiento errático, el muestreo debe ser más frecuente. En este caso, frecuentemente todas las partes son muestreadas, medidas y agrupadas en forma serial en grupos de 5, por ejemplo, y después graficadas. La frecuencia entre estas muestras es reducida en medida en que el proceso se vuelve más estable.

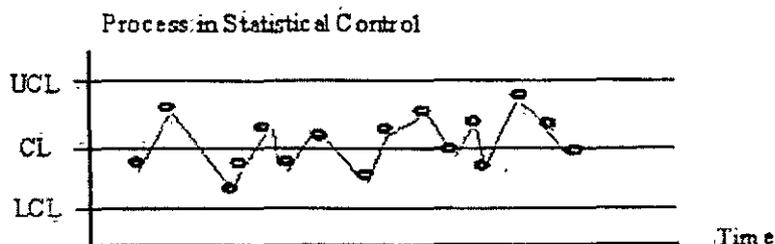
- Frecuencia de los eventos. Si un proceso muestra un comportamiento afectado por ajustes, cambios de herramienta, cambios de materiales, etc., el muestreo debe tomar lugar después de que estas potenciales causas ocurran para que puedan ser detectadas. Cuando muchos eventos especiales toman lugar en el proceso, es una buena idea tomar dos muestras por cambio.
- Costo de muestreo. Podemos tener dos consideraciones. El tiempo involucrado en tomar la muestra es un factor y si las características pueden ser observadas únicamente por muestreo destructivo, la pérdida de los productos puede ser un costo significativo. Este costo debe ser tomado en cuenta cuando se determina la frecuencia del muestreo. Una condición más común es que el costo del muestreo es estimado muy alto y la frecuencia del muestreo es reducida al nivel que el resultado del análisis no tiene valor. En este caso, es conveniente tomar las muestras necesarias para evitar retrabajos o condenar el análisis al olvido.

Problemas de estratificación y mezcla de estratificación.

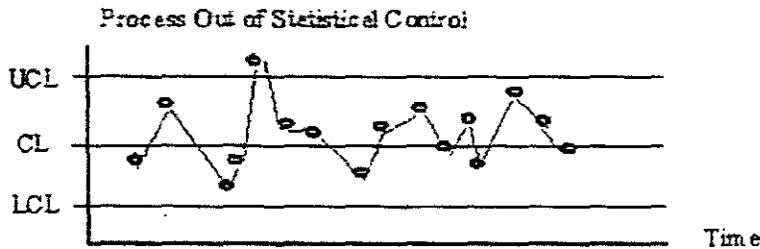
La estratificación se presenta cuando el producto de varios procesos paralelos y asumidos idénticos) se procesan juntos en una misma muestra para graficar o analizar los procesos combinados. Típicamente una muestra simple es tomada por cada proceso y se incluye en el subgrupo. Si un problema se desarrolla en uno de los procesos es muy difícil detectarlo porque la muestra del problema está agrupada con otras muestras de procesos sin problemas. Lo que es tomado como una causa común de variación es realmente una causa común de variación más las diferencias generadas por el proceso con el problema. Normalmente, la estratificación es detectada cuando un gran número de puntos caen en la zona C de una gráfica \bar{x} . Aparentemente el proceso está en control, cuando de hecho, los límites de control están calculados en forma muy abierta. La solución para la estratificación, obviamente, es graficar cada proceso en forma separada. Los gráficos de control son aplicables a uno y sólo un proceso al mismo tiempo.

La mezcla es similar a la estratificación, a excepción que el producto de diferentes procesos es mezclado y la mezcla periódica es hecha de la mezcla. En forma similar a la estratificación, la mezcla enmascara los problemas. La tendencia de mezclar provoca que los gráficos de control mientan con regularidad acerca del resultado particular de cada proceso. Entre más diferentes sean los procesos, el fenómeno será más pronunciado. La solución al mezclado es obviamente, graficar cada proceso por separado.

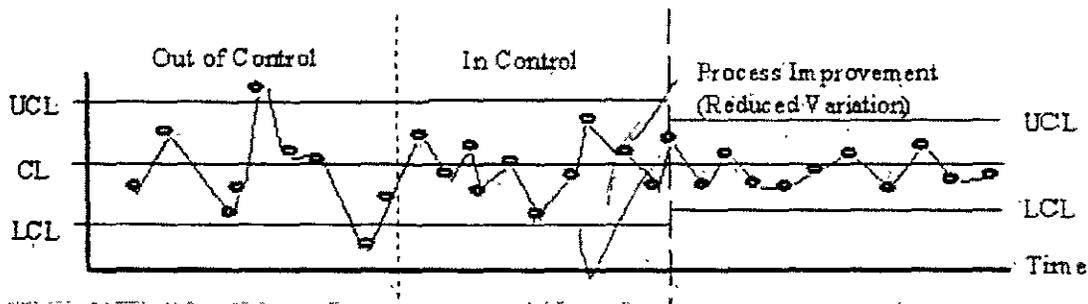
- 4) Dibuja los datos en la gráfica.
- 5) Dibuja los límites de control (LSC & LIE) en la gráfica.



El proceso anterior aparentemente se encuentra en control estadístico. Noten que todos los puntos caen dentro de los límites de control. El proceso exhibe sólo causas comunes de variación.



El proceso anterior está fuera de control estadístico. Noten que un punto puede ser encontrado fuera de los límites. Esto significa que una fuente de causas especiales de variación está presente. La posibilidad de que esto suceda de nuevo es de sólo 1 en 1,000. Esta pequeña probabilidad significa que cuando un punto es encontrado fuera de los límites de control es muy probable que una fuente especial de variación está presente y debe ser aislada y tratada. Tener un punto afuera de los límites de control es la forma más fácil de encontrar una condición fuera de control.



Tipo de condiciones fuera de control.

Existen diferentes tipos de condiciones que indican que un proceso está fuera de control. El primero es encontrar uno o más puntos afuera de los límites de control tal como se muestra:

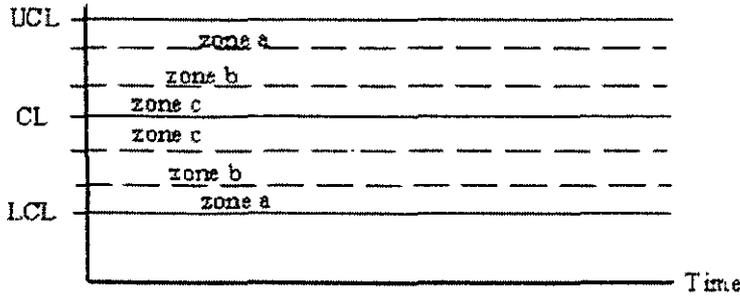
Condición extrema.

El proceso está fuera de control porque un punto está encima del LSC o debajo del LIC. Esta es la más frecuente y obvia condición fuera de control.

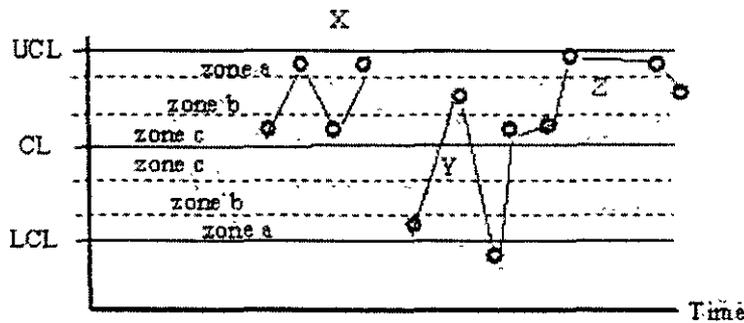
Zonas de control.

Los gráficos de control se rompen en 3 zonas -a,b,c,- en cada área del proceso alrededor de la línea central.

Existen una serie de reglas que son usadas para detectar condiciones en las cuales el comportamiento del proceso está fuera de los normal hasta que una condición fuera de control es declarada.



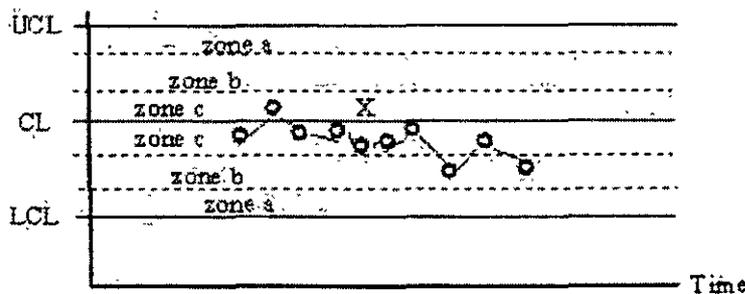
La probabilidad de tener dos ó 3 puntos consecutivos dentro de la zona A es una ocurrencia extremadamente rara, cuando la media del proceso sigue una distribución normal. Entonces, este criterio aplica sólo en gráficas \bar{x} . Los puntos X, Y y Z son ejemplos de este fenómeno.



La probabilidad de tener cuatro o cinco puntos consecutivos dentro o por debajo de la zona B también es una ocurrencia poco probable cuando la media del proceso sigue una distribución normal. De nuevo, este criterio solo puede usarse cuando usamos una gráfica \bar{x} .

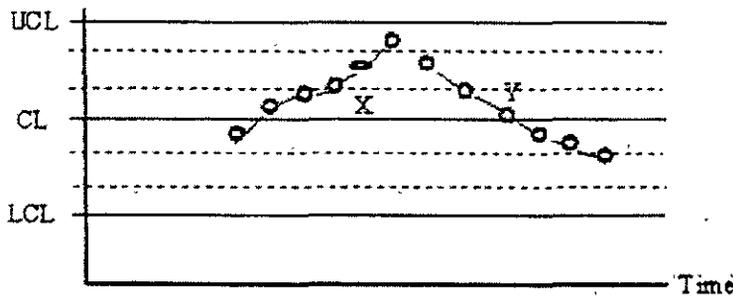
X, Y y Z son todos ejemplos de este fenómeno.

La probabilidad de tener largas corridas (8 puntos o más) debajo de la línea del centro es también una condición poco probable cuando el proceso sigue una distribución normal. Este criterio puede ser sólo usado en gráficos \bar{x} y r .



Tendencia Lineal

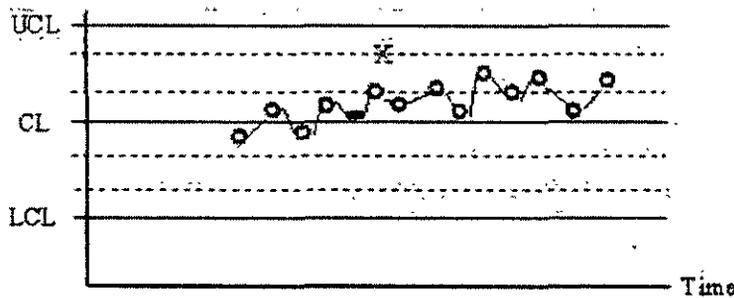
La probabilidad de tener 6 o más puntos consecutivos mostrando un incremento o decremento continuo es también una condición poco probable para un proceso que corre con una distribución normal. Este criterio sólo puede aplicarse en gráficos \bar{x} y r .



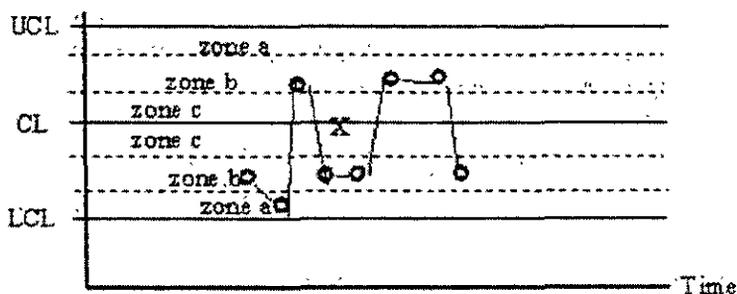
X y Y son ejemplos de tendencias. Observa que para las zonas no toman parte en la interpretación de esta condición de control.

Tendencia oscilatoria.

La probabilidad de tener 14 o más puntos consecutivos oscilando hacia arriba y abajo es otra poco probable ocurrencia cuando el proceso sigue una distribución normal. También es una señal de que el proceso está en una condición fuera de control. Este criterio se aplica en gráficas \bar{x} y r .



X es un ejemplo de esta condición fuera de control. Observa que las zonas no juegan ningún papel en la interpretación de esta situación fuera de control.



Salto de la Zona C.

La probabilidad de tener 8 o más puntos consecutivos en cualquier lado de la línea central que no tocan la Zona C es también una ocurrencia poco probable cuando el proceso sigue una distribución normal. Este criterio se aplica sólo en gráficos \bar{x} . Este fenómeno ocurre cuando más de un proceso es mezclado y graficado en la misma hoja (probablemente por accidente), el uso de técnicas inapropiadas de muestreo, o posiblemente el proceso está sobre controlado o los datos están siendo falseados por alguien dentro del sistema.

Corre en la Zona C.

La probabilidad de tener 15 o más puntos consecutivos en la Zona C es también una ocurrencia poco probable cuando el proceso sigue una distribución normal. Este criterio se aplica sólo para gráficos \bar{x} . Esta condición puede significar muestreo incorrecto, falsificación de datos o un decremento en la variabilidad del proceso que no ha sido contabilizado en el momento en que se calcularon los límites de control.

Gráficos de control con datos variables.

Gráficos XBAR y R.

Límites de control teóricos.

$$UCL = \mu + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$LCL = \mu - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

A pesar de que es teóricamente posible, dado que no conocemos la media de la población o la desviación estándar, estas fórmulas no pueden ser usadas directamente y ambas deben ser estimadas del mismo proceso. Primero se construye la gráfica R. Si el gráfico R valida que el proceso está en control estadístico, el gráfico XBAR se construye:

Procedimiento:

- 1) Selecciona subgrupos k sucesivos, donde k es al menos 20, dentro de los cuales existen n mediciones en cada subgrupo. Típicamente n está entre 1 y 9. 3, 4 o 5 mediciones por subgrupo es muy común.
- 2) Encuentra el rango para cada subgrupo R(i) donde R(i)=el mayor valor – el valor menor para cada subgrupo i.
- 3) Encuentra la línea central para el gráfico R, de la siguiente forma:

$$R\bar{B}AR = \frac{1}{k} \sum R(i)$$

- 4) Encuentra el LSC y el LIC con las siguientes fórmulas:

$$LSC = D(4)R\bar{B}AR$$

$$LIC = D(3)R\bar{B}AR$$

Donde D(3) y D(4) pueden ser encontrados en la siguiente tabla:

n	D(3)	D(4)	n	D(3)	D(4)
2	0	3.267	6	0	2.004
3	0	2.574	7	.076	1.924
4	0	2.282	8	.136	1.864
5	0	2.114	9	.184	1.816

- 5) Grafica los datos del subgrupo y determina si el proceso está en control estadístico. Si no, determina la razón de la causa asignable, elimínala y los subgrupos y repite los últimos 3 pasos. NO elimines subgrupos con puntos fuera del rango para los cuales las causas asignables no son encontradas.
- 6) Una vez que el gráfico R está en control estadístico y la línea central RBAR puede ser considerada un estimado confiable del rango, la desviación estándar del proceso puede ser estimada usando:

$$\hat{\sigma} = \frac{RBAR}{d(2)}$$

d(2) puede ser encontrada en la siguiente tabla:

N	d(2)	N	d(2)
2	1.128	6	2.534
3	1.693	7	2.704
4	2.059	8	2.847
5	2.326	9	2.970

Para construir la gráfica XBAR:

- 1) Encuentra la media para cada subgrupo XBAR(1), XBAR(2), XBAR(3)... XBAR(k) y luego la media de todos los subgrupos usando la fórmula:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum XBAR(i)$$

- 2) Encuentra los límites de control utilizando las siguientes ecuaciones:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A(2)RBAR$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A(2)RBAR$$

A(2) puede ser encontrado en la siguiente tabla:

N	A(2)	N	d(2)
2	1.880	6	.483
3	1.023	7	.419
4	.729	8	.373
5	.577	9	.337

- 3) Grafica los límites de control, la línea central y la media de los subgrupos.
- 4) Interpreta los datos usando las siguientes líneas para determinar si el proceso está en control:
 - a. Un punto fuera de los 3 sigmas del límite de control.
 - b. Ocho puntos sucesivos en el mismo lado de la línea central.

- c. Seis puntos sucesivos en tendencia.
- d. Dos de tres puntos que están del mismo lado de la línea central, ambos a una distancia que excede 2 sigmas de la línea central.
- e. Cuatro de cinco puntos que están en el mismo lado de la línea central, cuatro excediendo a una distancia de 1 sigma de la línea central.

Ejemplo:

Los siguientes datos contienen 20 sets de 3 mediciones del diámetro del eje de un motor.

n	medición#1	medición#2	medición#3	Range	XBAR
1	2.0000	1.9998	2.0002	0.0004	2.0000
2	1.9998	2.0003	2.0002	0.0005	2.0001
3	1.9998	2.0001	2.0005	0.0007	2.0001
4	1.9997	2.0000	2.0004	0.0007	2.0000
5	2.0003	2.0003	2.0002	0.0001	2.0003
6	2.0004	2.0003	2.0000	0.0004	2.0002
7	1.9998	1.9998	1.9998	0.0000	1.9998
8	2.0000	2.0001	2.0001	0.0001	2.0001
9	2.0005	2.0000	1.9999	0.0006	2.0001
10	1.9995	1.9998	2.0001	0.0006	1.9998
11	2.0002	1.9999	2.0001	0.0003	2.0001
12	2.0002	1.9998	2.0005	0.0007	2.0002
13	2.0000	2.0001	1.9998	0.0003	2.0000
14	2.0000	2.0002	2.0004	0.0004	2.0002
15	1.9994	2.0001	1.9996	0.0007	1.9997
16	1.9999	2.0003	1.9993	0.0010	1.9998
17	2.0002	1.9998	2.0004	0.0006	2.0001
18	2.0000	2.0001	2.0001	0.0001	2.0001
19	1.9997	1.9994	1.9998	0.0004	1.9996
20	2.0003	2.0007	1.9999	0.0008	2.0003

LÍMITES DEL GRÁFICO RBAR:

$$R\bar{B}AR = 0.0005$$

$$LSC = D(4) * R\bar{B}AR = 2.574 * 0.0005 = 0.001287$$

$$LIC = D(3) * R\bar{B}AR = 0.000 * 0.0005 = 0.000$$

LÍMITES DEL GRÁFICO XBAR:

$$X\bar{D}B\bar{L}B\bar{A}R = 2.0000$$

$$UCL = X\bar{D}B\bar{L}B\bar{A}R + A(2) * R\bar{B}AR = 2.000 + 1.023 * 0.0005 = 2.0005115$$

$$LCL = X\bar{D}B\bar{L}B\bar{A}R - A(2) * R\bar{B}AR = 2.000 - 1.023 * 0.0005 = 1.9994885$$

Gráfico R:

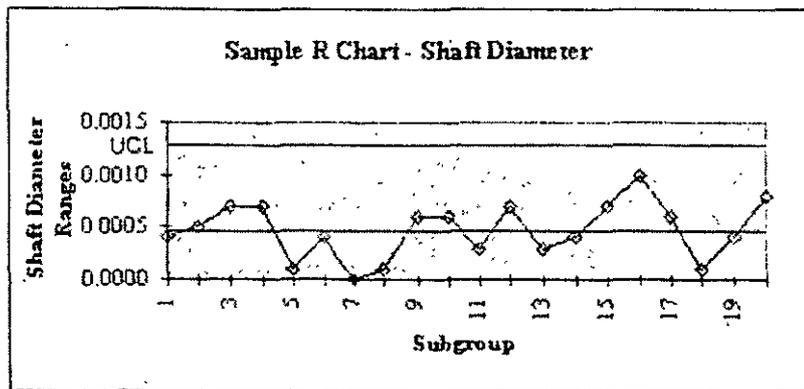
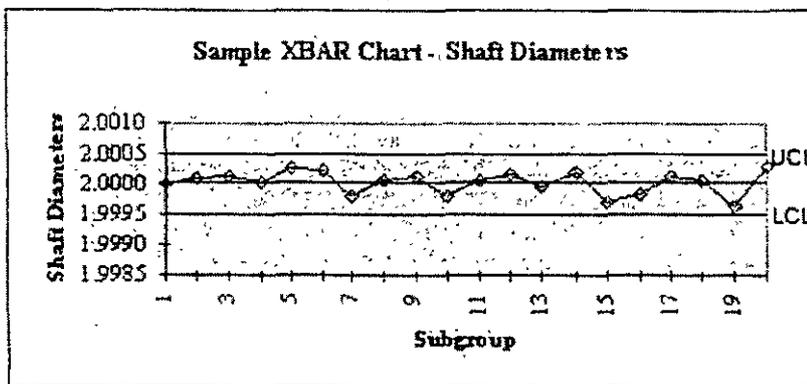


Gráfico XBAR

Gráficos XBAR y s.

Límites de Control teóricos para gráficos XBAR.

$$UCL = \mu + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$LCL = \mu - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

A pesar de ser teóricamente posible, dado que no conocemos la media de la población del proceso o su desviación estándar, estas fórmulas no pueden ser usadas directamente y ambas deben ser estimadas dentro del mismo proceso. Primero se construye el gráfico s. Si el gráfico s valida que el proceso está en control estadístico, se construye el gráfico XBAR.

Procedimiento:

- 1) Selecciona k subgrupos sucesivos donde k es de al menos 20, en los cuales existen n mediciones por subgrupo. Típicamente n se encuentra entre 1 y 9. 3, 4 o 5 mediciones por subgrupo son muy comunes.
- 2) Encuentra la desviación estándar para cada subgrupo: $s(i)$.
- 3) Encuentra la línea central de la gráfica s, de la siguiente forma:

$$sbar = \frac{1}{k} \sum s(i)$$

- 4) Encuentro los límites de control con las siguientes fórmulas:

$$LSC = B(4)SBAR$$

$$LIC = B(3)SBAR$$

donde B(3) y B(4) se encuentran en la siguiente tabla:

n	B(3)	B(4)	n	B(3)	B(4)
2	0	3.267	6	.03	1.970
3	0	2.568	7	.118	1.882
4	0	2.266	8	.185	1.815
5	0	2.089	9	.239	1.761

- 5) Grafica el subgrupo de datos y determina si el proceso está en control estadístico. Si no, determina la razón para las causas asignables, elimínala y los subgrupos. Repite los últimos 3 pasos. NO elimines subgrupos con puntos fuera del rango en los que las causas asignables no puedan ser encontradas.
- 6) Una vez que la gráfica s está en control estadístico y la línea central SBAR puede ser considerada como un confiable estimado del rango, la desviación estándar del proceso puede ser calculada usando:

$$\hat{\sigma} = \frac{SBAR}{c(4)} \sqrt{1 - c(4)^2}$$

c(4) puede ser encontrada en la siguiente tabla::

N	c(4)	N	c(4)
2	.7979	6	.9515
3	.8862	7	.9594
4	.9213	8	.9650
5	.9400	9	.9693

Para construir la gráfica XBAR:

- 1) Encuentra la media de cada subgrupo XBAR(1), XBAR(2), XBAR(3)... XBAR(k) y la media de todos usando:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum XBAR(i)$$

- 2) Encuentra los límites de control usando las siguientes ecuaciones:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A(3)SBAR$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A(3)SBAR$$

A(3) puede ser encontrado en la siguiente tabla:

N	A(3)	N	A(3)
2	2.659	6	1.287
3	1.954	7	1.182
4	1.628	8	1.099
5	1.427	9	1.032

- 3) Grafica los límites, la línea central y las medias de los subgrupos.
- 4) Interpreta los datos para determinar si el proceso está bajo control usando las siguientes guías:
 - a. Un punto fuera de los 3 sigmas de los límites de control.
 - b. Ocho puntos sucesivos en el mismo lado de la línea central.
 - c. Seis puntos sucesivos en tendencia.
 - d. Dos o tres puntos en el mismo lado de la línea central, ambos a una distancia excediendo 2 sigmas de la línea central.
 - e. Cuatro o cinco puntos que están en el mismo lado de la línea central excediendo 1 sigma de distancia de la línea central.

Ejemplo:

Los siguientes datos consisten en 20 grupos de 3 mediciones del diámetro del eje de un motor.

n	medi#1	medi#2	medi#3	Desvest	XBAR
1	2.0000	1.9998	2.0002	0.0002	2.0000
2	1.9998	2.0003	2.0002	0.0003	2.0001
3	1.9998	2.0001	2.0005	0.0004	2.0001
4	1.9997	2.0000	2.0004	0.0004	2.0000
5	2.0003	2.0003	2.0002	0.0001	2.0003
6	2.0004	2.0003	2.0000	0.0002	2.0002
7	1.9998	1.9998	1.9998	0.0000	1.9998
8	2.0000	2.0001	2.0001	0.0001	2.0001
9	2.0005	2.0000	1.9999	0.0003	2.0001
10	1.9995	1.9998	2.0001	0.0003	1.9998
11	2.0002	1.9999	2.0001	0.0002	2.0001
12	2.0002	1.9998	2.0005	0.0004	2.0002
13	2.0000	2.0001	1.9998	0.0002	2.0000
14	2.0000	2.0002	2.0004	0.0002	2.0002
15	1.9994	2.0001	1.9996	0.0004	1.9997
16	1.9999	2.0003	1.9993	0.0005	1.9998
17	2.0002	1.9998	2.0004	0.0003	2.0001
18	2.0000	2.0001	2.0001	0.0001	2.0001
19	1.9997	1.9994	1.9998	0.0002	1.9996
20	2.0003	2.0007	1.9999	0.0004	2.0003

LÍMITES DEL GRÁFICO SBAR:

$$SBAR = 0.0002$$

$$LSC = B(4) * SBAR = 2.568 * 0.0002 = 0.0005136$$

$$LIC = B(3) * SBAR = 0 * 0.0002 = 0.00$$

LÍMITES DEL GRÁFICO XBAR:

$$XDBLBAR = 2.0000$$

$$LSC = XDBLBAR + A(3) * SBAR = 2.000 + 1.954 * 0.0002 = 2.0003908$$

$$LIC = XDBLBAR - A(3) * SBAR = 2.000 - 1.954 * 0.0002 = 1.9996092$$

Gráfico - s:

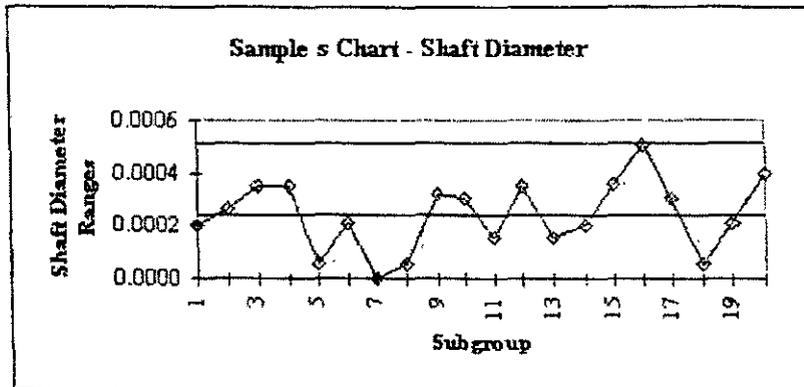
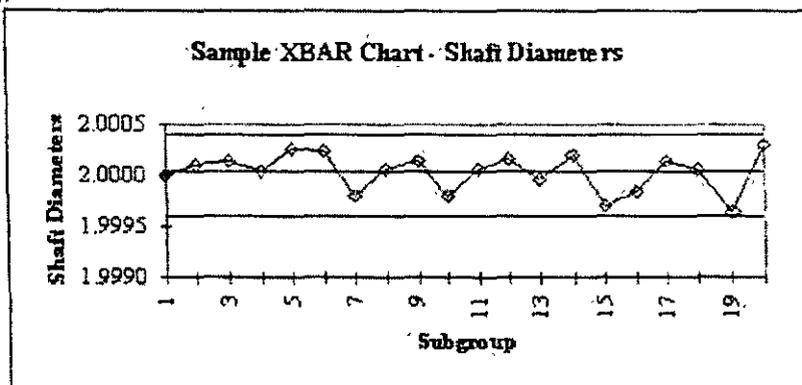


Gráfico XBAR::

Gráficos de mediana.

La razón primaria por la que se utilizan estos gráficos es que son más fáciles de hacer en el piso de trabajo. La persona que hace la gráfica puede simplemente ordenar los datos y elegir el elemento central. Por simplicidad, los números noes son tomados para las muestras. La mayor desventaja de usar gráficos de mediana es que son menos sensitivos y poderosos para detectar los cambios en los procesos.

Tradicionalmente todos los valores de los subgrupos son graficados, y sólo los valores medianos son conectados por segmentos de línea. Uno debe ser cuidadoso cuando se interpreta la gráfica, ya que sólo se aplican las reglas de "fuera de control" a los elementos de la mediana.

Procedimiento:

- 1) Puedes usar una gráfica R o s.
- 2) Si se utiliza un gráfica R, los límites de control se calculan como sigue:

$$UCL = XDBLBAR + A(6) * RBAR$$

$$LCL = XDBLBAR - A(6) * RBAR$$

- 3) Si se utiliza una gráfica s, los límites de control se calculan como sigue:

$$UCL = X\overline{DBLBAR} + A(7) * S\overline{BAR}$$

$$LCL = X\overline{DBLBAR} - A(7) * S\overline{BAR}$$

Tabla de A(6) y A(7)

n	A(6)	A(7)	n	A(6)	A(7)
2	1.880	1.880	6	.549	.580
3	1.187	1.067	7	.509	.521
4	.796	.796	8	.434	.477
5	.691	.660	9	.412	.444

La línea central es $X\overline{DLBAR}$. Observa que es la media del subgrupo la que determina la línea central y los límites de control.

- 4) Grafica la línea central, los límites de control y las medias de los subgrupos.
- 5) Interpreta los datos usando las siguientes guías para determinar si el proceso está en control:
 - a. Un punto fuera de los 3 sigmas de los límites de control.
 - b. Ocho puntos sucesivos en el mismo lado de la línea central.
 - c. Dos o 3 puntos que están en el mismo lado de la línea central, con dos sigmas de distancia de la línea central.
 - d. Cuatro de cinco puntos que están en el mismo lado de la línea central, cuatro a una distancia de 1 sigma de la línea central.

Ejemplo:

Los siguientes datos consisten un grupo de 20 de 3 mediciones del diámetro del eje de un motor. Una gráfica será usada para examinar la variabilidad seguida de una gráfica de Mediana.

n	meas#1	meas#2	meas#3	Range	XBAR	Median
1	2.0000	1.9998	2.0002	0.0004	2.0000	2.0000
2	1.9998	2.0003	2.0002	0.0005	2.0001	2.0002
3	1.9998	2.0001	2.0005	0.0007	2.0001	2.0001
4	1.9997	2.0000	2.0004	0.0007	2.0000	2.0000
5	2.0003	2.0003	2.0002	0.0001	2.0003	2.0003
6	2.0004	2.0003	2.0000	0.0004	2.0002	2.0003
7	1.9998	1.9998	1.9998	0.0000	1.9998	1.9998
8	2.0000	2.0001	2.0001	0.0001	2.0001	2.0001
9	2.0005	2.0000	1.9999	0.0006	2.0001	2.0000
10	1.9995	1.9998	2.0001	0.0006	1.9998	1.9998
11	2.0002	1.9999	2.0001	0.0003	2.0001	2.0001
12	2.0002	1.9998	2.0005	0.0007	2.0002	2.0002
13	2.0000	2.0001	1.9998	0.0003	2.0000	2.0000
14	2.0000	2.0002	2.0004	0.0004	2.0002	2.0002
15	1.9994	2.0001	1.9996	0.0007	1.9997	1.9996
16	1.9999	2.0003	1.9993	0.0010	1.9998	1.9999
17	2.0002	1.9998	2.0004	0.0006	2.0001	2.0002

18	2.0000	2.0001	2.0001	0.0001	2.0001	2.0001
19	1.9997	1.9994	1.9998	0.0004	1.9996	1.9997
20	2.0003	2.0007	1.9999	0.0008	2.0003	2.0003

LÍMITES DE LA GRÁFICA RBAR:

$$R\bar{B}AR = 0.0005$$

$$LSC = D(4) \cdot R\bar{B}AR = 2.574 \cdot 0.0005 = 0.001287$$

$$LIC = D(3) \cdot R\bar{B}AR = 0 \cdot 0.0005 = 0.00$$

LÍMITES DE LA GRÁFICA XBAR:

$$X\bar{D}BL\bar{B}AR = 2.0000$$

$$LSC = X\bar{D}BL\bar{B}AR + A(6) \cdot R\bar{B}AR = 2.000 + 1.187 \cdot 0.0005 = 2.0005935$$

$$LIC = X\bar{D}BL\bar{B}AR - A(6) \cdot R\bar{B}AR = 2.000 - 1.187 \cdot 0.0005 = 1.9994065$$

R Chart:

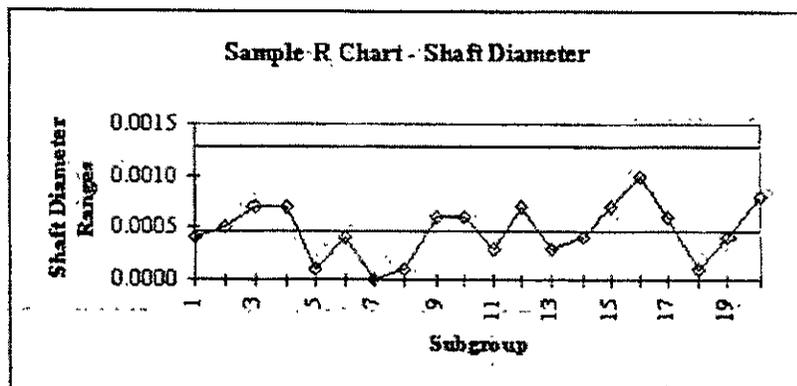
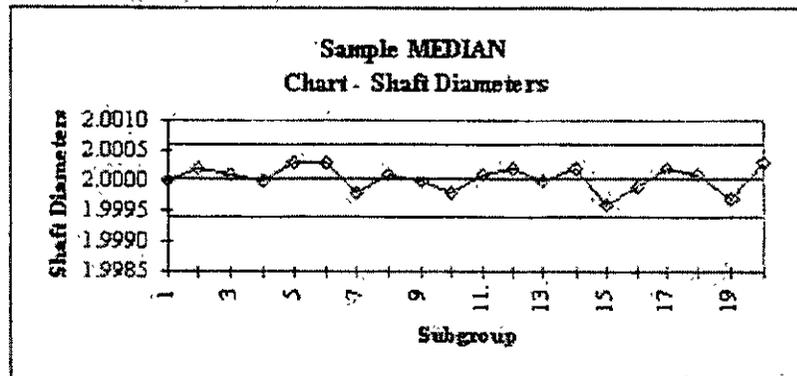


Gráfico de Mediana:



Gráficos individuales.

Un gráfico individual es usado cuando la naturaleza del proceso es tal que es difícil o imposible agrupar las mediciones en subgrupos. Esto ocurre frecuentemente en bajos volúmenes de producción y en situaciones en las cuales la variación continua de cantidades en el proceso son variables relacionadas con el proceso.

La solución es crear subgrupos en forma aleatoria de los datos y después calcular el rango de cada subgrupo. Esto es hecho creando grupos rodantes (generalmente pares) de datos a través del tiempo usando los pares para determinar el rango. El rango resultante es llamado "rango móvil".

Procedimiento:

- 1) El rango móvil es calculado tomando pares de datos (x_1, x_2) , (x_2, x_3) , (x_3, x_4) , ..., (x_{n-1}, x_n) , tomando la suma de los valores absolutos de las diferencias entre ellos y dividiéndolas entre los pares numéricos (uno menos que el número de piezas de datos). Esto se muestra de la siguiente forma:

$$MRBAR = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |x_{i+1} - x_i|$$

- 2) Una estimación de la desviación estándar se da de la siguiente manera:

$$\hat{\sigma} = \frac{MRBAR}{1.128}$$

y los tres sigmas de los límites de control son:

$$UCL = \bar{XBAR} + 2.66 * MRBAR$$

$$LCL = \bar{XBAR} - 2.66 * MRBAR$$

- 3) Grafica la línea central, \bar{XBAR} , los límites de control y la medición del proceso $X(i)$.
- 4) Interpreta los datos usando las normas generales.

Notas adicionales:

Si el proceso ha sido traído a control estadístico, la desviación estándar de la muestra $s/c(4)$, puede ser usada como un estimado de la desviación estándar del proceso. Esto funciona a menos de que existan tendencias en los datos (lo cual provoca un valor inflado de s). Cuando uno está seguro de que no existen tendencias en los datos, $s/c(4)$, nos proveerá considerablemente más poder que $MRBAR/1.128$. Esto significa que una es más segura para detectar situaciones fuera de control cuando existen.

Ejemplo:

Los siguientes datos consisten en 20 sets de 3 mediciones del diámetro del eje de un motor. Una gráfica individual será usada para determinar la variabilidad.

n	méas#1	MR
1	2.0000	0.0002
2	1.9998	0.0000
3	1.9998	0.0001
4	1.9997	0.0006
5	2.0003	0.0001
6	2.0004	0.0006
7	1.9998	0.0002

8	2.0000	0.0005
9	2.0005	0.0010
10	1.9995	0.0007
11	2.0002	0.0000
12	2.0002	0.0002
13	2.0000	0.0000
14	2.0000	0.0006
15	1.9994	0.0005
16	1.9999	0.0003
17	2.0002	0.0002
18	2.0000	0.0003
19	1.9997	0.0006
20	2.0003	

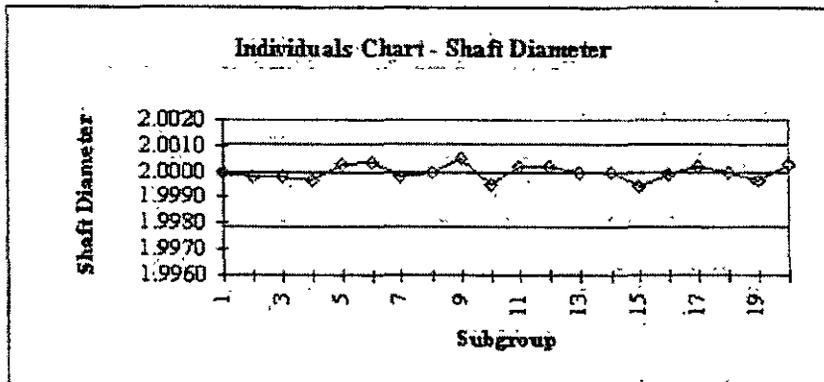
LÍMITES INDIVIDUALES:

$$\bar{X} = 2.0000$$

$$MR\bar{R} = 0.0004$$

$$LSC = \bar{X} + 2.66 \cdot MR\bar{R} = 2.000 + 2.66 \cdot 0.0004 = 2.001064$$

$$LIC = \bar{X} - 2.66 \cdot MR\bar{R} = 2.000 - 2.66 \cdot 0.0004 = 1.997872$$

Gráfico Individual:**Promedios móviles exponenciales ponderados (EWMA).**

La gráfica de promedio móviles exponenciales ponderados (Exponentially weighted moving average – EWMA –) es usada cuando es deseable detectar situaciones fuera de control de manera muy rápida. Los gráficos EWMA se han convertido en un mecanismo que incorpora información de todos los subgrupos previos, ponderando la información del subgrupo más cercano con un peso mayor. Entonces, las decisiones de control/fuera de control son hechas con la información de subgrupos previos y del actual subgrupo. La principal ventaja de los gráficos EWMA es que detectan condiciones fuera de control más rápido de los gráficos \bar{X} y la detección se hace con una sola regla... estar dentro o fuera de los límites de 3 sigmas. La principal desventaja es que las gráficas EWMA es que son más difíciles de construir. Cuando el tamaño del subgrupo es $n > 1$, el gráfico EWMA es una alternativa a la gráfica \bar{X} ; cuando el tamaño del subgrupo es $n = 1$, la gráfica EWMA es una alternativa para los gráficos individuales.

Procedimiento:

- 1) Estima la desviación estándar del proceso, sigma, usando $R\bar{B}\bar{A}R/d(2)$ o $S\bar{B}\bar{A}R/c(4)$ si $n > 1$ o usando $M\bar{R}\bar{B}\bar{A}R/1.128$ si $n=1$.
- 2) Determinar una constante de ponderación, lambda, que le de peso a la información anterior y la actual. Si, por ejemplo, $\lambda = .3$, 70% del peso será dado a la información anterior y 30% a la información presente. Típicamente un lambda entre .1 y .3 provee un balance razonable entre la información pasada y la presente y .2 es la práctica más común.
- 3) Determina los puntos en la gráfica EWMA marcados por $\hat{x}(1)$, $\hat{x}(2)$, $\hat{x}(3)$, ..., $\hat{x}(k)$ y calcúlalos utilizando la ecuación $\hat{x}(i) = \lambda \hat{x}(i) + (1 - \lambda) \hat{x}(i-1)$. Esta fórmula inicia utilizando como valor primero $\hat{C}h\hat{a}t(0) = X\bar{D}B\bar{L}\bar{B}\bar{A}R$.
- 4) Los límites de control no son líneas rectas en la gráfica. El límite superior de control incrementa y después se estabiliza sobre la línea central, mientras que el límite inferior decreciente y después se estabiliza bajo la línea central.

$$UCL = \hat{X}H\hat{A}T(0) + \frac{3 \cdot \text{SIGMA}}{\sqrt{n}} \sqrt{\left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right) (1 - (1-\lambda)^{2i})}$$

$$LCL = \hat{X}H\hat{A}T(0) - \frac{3 \cdot \text{SIGMA}}{\sqrt{n}} \sqrt{\left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right) (1 - (1-\lambda)^{2i})}$$

- 5) Grafica la línea central, $X\bar{D}B\bar{L}\bar{B}\bar{A}R$, los límites y las mediciones del proceso $\hat{X}H\hat{A}T(i)$.
- 6) Interpreta los datos. El gráfico está fuera de control sólo si un punto está fuera de los límites sigma.

Ejemplo:

El siguiente grupo de datos consiste en 20 sets de 3 mediciones del diámetro del eje de un motor. El valor lambda seleccionado es de .2

Datos y calculos preliminares:

n	medi#1	medi#2	medi#3	Rango	XBAR	XHAT	lambda
0						2.0000	0.2
1	2.0000	1.9998	2.0002	0.0004	2.0000	2.0000	
2	1.9998	2.0003	2.0002	0.0005	2.0001	2.0000	
3	1.9998	2.0001	2.0005	0.0007	2.0001	2.0001	
4	1.9997	2.0000	2.0004	0.0007	2.0000	2.0001	
5	2.0003	2.0003	2.0002	0.0001	2.0003	2.0001	
6	2.0004	2.0003	2.0000	0.0004	2.0002	2.0001	
7	1.9998	1.9998	1.9998	0.0000	1.9998	2.0001	
8	2.0000	2.0001	2.0001	0.0001	2.0001	2.0001	
9	2.0005	2.0000	1.9999	0.0006	2.0001	2.0001	
10	1.9995	1.9998	2.0001	0.0006	1.9998	2.0000	
11	2.0002	1.9999	2.0001	0.0003	2.0001	2.0000	
12	2.0002	1.9998	2.0005	0.0007	2.0002	2.0001	
13	2.0000	2.0001	1.9998	0.0003	2.0000	2.0000	
14	2.0000	2.0002	2.0004	0.0004	2.0002	2.0001	

15	1.9994	2.0001	1.9996	0.0007	1.9997	2.0000
16	1.9999	2.0003	1.9993	0.0010	1.9998	2.0000
17	2.0002	1.9998	2.0004	0.0006	2.0001	2.0000
18	2.0000	2.0001	2.0001	0.0001	2.0001	2.0000
19	1.9997	1.9994	1.9998	0.0004	1.9996	1.9999
20	2.0003	2.0007	1.9999	0.0008	2.0003	2.0000

Desviación estándar estimada del proceso:

$$R\bar{B}AR = 0.0005$$

$$SIGMA = R\bar{B}AR/d(2) = 0.0005/1.693 = 0.000721501$$

Limites de la gráfica EWMA:

$$X\bar{D}BL\bar{B}AR = 2.0000$$

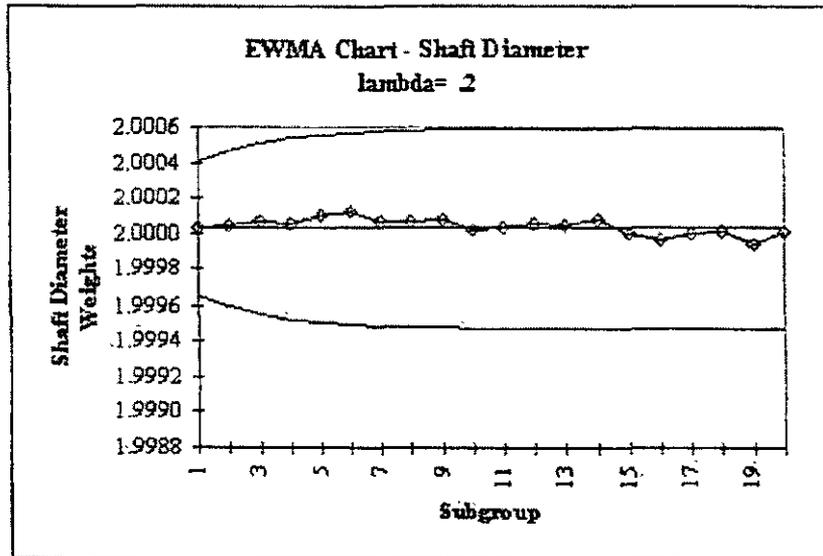
$$UCL = X\bar{H}AT(0) + ((3 * SIGMA) / SQRT(n)) * SQRT((lambda / (1 - lambda)) * (1 - (1 - lambda)^{(2 * i)}))$$

$$LCL = X\bar{H}AT(0) - ((3 * SIGMA) / SQRT(n)) * SQRT((lambda / (1 - lambda)) * (1 - (1 - lambda)^{(2 * i)}))$$

Cálculos del gráfico de Control:

Subgrp	CL	LCL	UCL	XHAT
1	2.0000	2.000406569	1.999656764	2.0000
2	2.0000	2.00046109	1.999602243	2.0000
3	2.0000	2.00051173	1.999551604	2.0001
4	2.0000	2.000541506	1.999521827	2.0001
5	2.0000	2.000559683	1.999503651	2.0001
6	2.0000	2.000570994	1.999492339	2.0001
7	2.0000	2.000578111	1.999485223	2.0001
8	2.0000	2.000582617	1.999480716	2.0001
9	2.0000	2.000585482	1.999477851	2.0001
10	2.0000	2.000587308	1.999476026	2.0000
11	2.0000	2.000588473	1.99947486	2.0000
12	2.0000	2.000589218	1.999474116	2.0001
13	2.0000	2.000589694	1.99947364	2.0000
14	2.0000	2.000589998	1.999473335	2.0001
15	2.0000	2.000590193	1.999473141	2.0000
16	2.0000	2.000590317	1.999473016	2.0000
17	2.0000	2.000590397	1.999472936	2.0000
18	2.0000	2.000590448	1.999472885	2.0000
19	2.0000	2.000590481	1.999472853	1.9999
20	2.0000	2.000590502	1.999472832	2.0000

Gráfico EWMA:



Gráficos de atributos.

Los gráficos de control en atributos son usados cuando elementos son comparados con estándares y después son clasificados para saber si cumplen con el estándar o no. El gráfico de control es usado para determinar si el grado de no conformidad es estable y detecta cuando una desviación de la estabilidad ha ocurrido. El argumento puede ser iniciado desde que un límite inferior de control no debería existir, dado que los grados de no conformidad fuera del límite inferior de control es algo bueno, queremos bajos grados de no conformidades. Sin embargo, si tomamos estos rangos fuera del límite inferior de control como simplemente la presencia de otra causa asignable, podemos aprender de estos eventos y ser capaces de analizar mejor el proceso. Los gráficos p pueden ser usados cuando los subgrupos no son del mismo tamaño. Los gráficos np es usado únicamente cuando los subgrupos son iguales.

Procedimiento:

- 1) Determina el tamaño de los subgrupos necesarios. El tamaño, $n(i)$, debe ser lo suficientemente grande para tener defectos presentes en los subgrupos la mayor parte de las veces. Si tenemos alguna idea de cual es el grado histórico de no conformidad, p , podemos utilizar la siguiente fórmula para determinar el tamaño del subgrupo: $n=3/p$
- 2) Determina el grado de no conformidades en cada subgrupo usando:
 $\text{phat}(i)=x(i)/n(i)$
 donde:
 $\text{phat}(i)$ =el grado de no conformidades en el subgrupo i
 $x(i)$ =el número de no conformidades en el subgrupo i
 $n(i)$ = el tamaño del subgrupo i
- 3) Encuentra $p\bar{}$, existen k subgrupos.

$$p\bar{=} = \frac{1}{k} \sum \text{phat}(i)$$

- 4) Estima σ_p si es necesario y determina los límites de control.

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n}}$$

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n(i)}}$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n(i)}}$$

- 5) Grafica la línea central, \bar{p} , los límites y las medidas del proceso, los p_i
- 6) Interpreta los datos para saber si el proceso está fuera de control.

Ejemplo:

Días	Rechazo	Número Probado	Proporción
1	14	286	0.0490
2	22	281	0.0783
3	9	310	0.0290
4	19	313	0.0607
5	21	293	0.0717
6	18	305	0.0590
7	16	322	0.0497
8	16	316	0.0506
9	21	293	0.0717
10	14	287	0.0488
11	15	307	0.0489
12	16	328	0.0488
13	21	296	0.0709
14	9	296	0.0304
15	25	317	0.0789
16	15	297	0.0505
17	14	283	0.0495
18	13	321	0.0405
19	10	317	0.0315
20	21	307	0.0684
21	19	317	0.0599
22	23	323	0.0712
23	15	304	0.0493
24	12	304	0.0395
25	19	324	0.0586
26	17	289	0.0588
27	15	299	0.0502
28	13	318	0.0409
29	19	313	0.0607
30	12	289	0.0415

Cálculos:

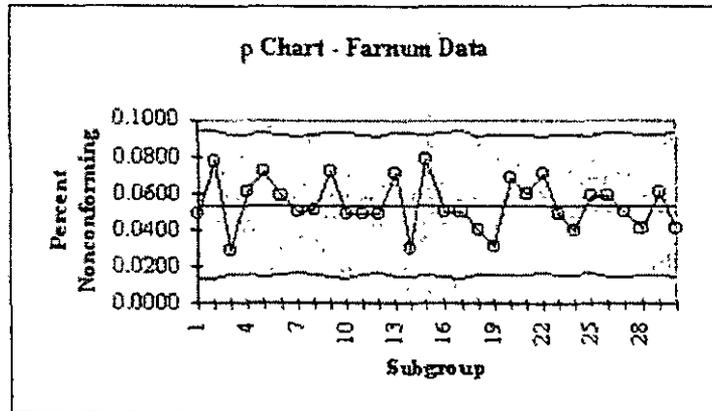
$$\text{PBAR} = 0.0539$$

$$\text{LSC} = \text{pbar} + 3 \cdot \sqrt{\text{pbar} \cdot (1 - \text{pbar}) / n(i)}$$

$$\text{LIC} = \text{pbar} - 3 \cdot \sqrt{\text{pbar} \cdot (1 - \text{pbar}) / n(i)}$$

Día	CL	LSC	LIC	Proporción
1	0.0539	0.093892049	0.013808661	0.0490
2	0.0539	0.094246721	0.013453989	0.0783
3	0.0539	0.092310827	0.015389883	0.0290
4	0.0539	0.092126068	0.015574642	0.0607
5	0.0539	0.093410843	0.014289867	0.0717
6	0.0539	0.092624795	0.015075915	0.0590
7	0.0539	0.091587368	0.016113342	0.0497
8	0.0539	0.091943946	0.015756764	0.0506
9	0.0539	0.093410843	0.014289867	0.0717
10	0.0539	0.093822229	0.013878481	0.0488
11	0.0539	0.092498288	0.015202422	0.0489
12	0.0539	0.091240619	0.016460091	0.0488
13	0.0539	0.093209857	0.014490853	0.0709
14	0.0539	0.093209857	0.014490853	0.0304
15	0.0539	0.091883814	0.015816896	0.0789
16	0.0539	0.09314354	0.01455717	0.0505
17	0.0539	0.094103724	0.013596986	0.0495
18	0.0539	0.091646103	0.016054607	0.0405
19	0.0539	0.091883814	0.015816896	0.0315
20	0.0539	0.092498288	0.015202422	0.0684
21	0.0539	0.091883814	0.015816896	0.0599
22	0.0539	0.091528906	0.016171804	0.0712
23	0.0539	0.092688517	0.015012193	0.0493
24	0.0539	0.092688517	0.015012193	0.0395
25	0.0539	0.091470715	0.016229995	0.0586
26	0.0539	0.093683678	0.014017032	0.0588
27	0.0539	0.093011904	0.014688806	0.0502
28	0.0539	0.091823966	0.015876744	0.0409
29	0.0539	0.092126068	0.015574642	0.0607
30	0.0539	0.093683678	0.014017032	0.0415

Gráfico p:



Los gráficos np son usados para encontrar causas especiales de variación cuando los subgrupos son del mismo tamaño. Para este caso, no es necesario convertir los conteos de no conformidades en las proporciones $\hat{p}(i)$. Entonces, uno puede directamente graficar el conteo $x(i)$ contra el número del subgrupo i .

Procedimiento:

- 1) Determina el número de subgrupos necesario. El tamaño, n , debe ser lo suficientemente grande para tener defectos presentes en cada subgrupo la mayor parte del tiempo. Si tenemos alguna idea del valor histórico de no conformidad, p , podemos utilizar la siguiente fórmula para determinar el tamaño del subgrupo:
 $n=3/p$

- 2) Encuentra \bar{p} :

$$\bar{p} = \frac{x(1) + x(2) + \dots + x(k)}{k \cdot n}$$

- 3) Encuentra los límites de control donde:

$$UCL = n \cdot \bar{p} + 3\sqrt{n \cdot \bar{p}(1 - \bar{p})}$$

$$LCL = n \cdot \bar{p} - 3\sqrt{n \cdot \bar{p}(1 - \bar{p})}$$

- 4) Dibuja la línea central \bar{p} , los límites de control y los conteos de no conformidades del proceso.
- 5) Interpreta el gráfico. Sólo si un punto está fuera de ± 3 Sigmas el proceso está considerado fuera de control.

Ejemplo:

Día	No-conformidad	Tamaño de la Muestra
1	10	100
2	12	100
3	10	100

MOD. IV. METODOLOGÍA DMAIC

4	11	100
5	6	100
6	7	100
7	12	100
8	10	100
9	6	100
10	11	100
11	9	100
12	14	100
13	16	100
14	21	100
15	20	100
16	12	100
17	11	100
18	6	100
19	10	100
20	10	100
21	11	100
22	11	100
23	11	100
24	6	100
25	9	100

Cálculos:

$$PBAR = 0.1088$$

$$CL = 10.8800$$

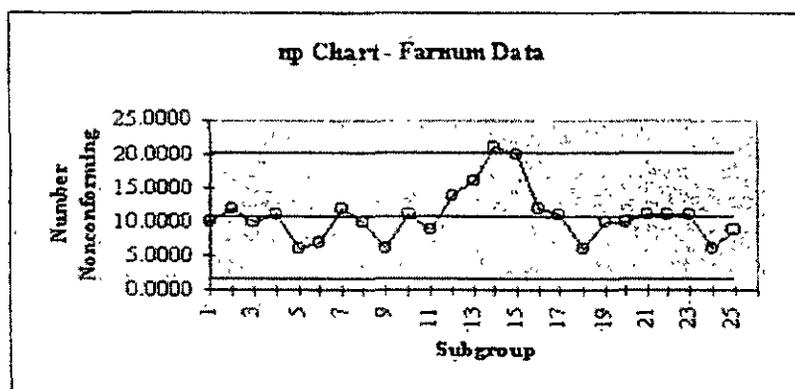
$$LSC = n \cdot pbar + 3 \cdot \sqrt{n \cdot pbar \cdot (1 - pbar)}$$

$$LIC = n \cdot pbar - 3 \cdot \sqrt{n \cdot pbar \cdot (1 - pbar)}$$

Día	CL	LSC	LIC	No conformidades
1	10.8800	20.22164354	1.538356462	10.0000
2	10.8800	20.22164354	1.538356462	12.0000
3	10.8800	20.22164354	1.538356462	10.0000
4	10.8800	20.22164354	1.538356462	11.0000
5	10.8800	20.22164354	1.538356462	6.0000
6	10.8800	20.22164354	1.538356462	7.0000
7	10.8800	20.22164354	1.538356462	12.0000
8	10.8800	20.22164354	1.538356462	10.0000
9	10.8800	20.22164354	1.538356462	6.0000
10	10.8800	20.22164354	1.538356462	11.0000
11	10.8800	20.22164354	1.538356462	9.0000
12	10.8800	20.22164354	1.538356462	14.0000
13	10.8800	20.22164354	1.538356462	16.0000
14	10.8800	20.22164354	1.538356462	21.0000
15	10.8800	20.22164354	1.538356462	20.0000
16	10.8800	20.22164354	1.538356462	12.0000

17	10.8800	20.22164354	1.538356462	11.0000
18	10.8800	20.22164354	1.538356462	6.0000
19	10.8800	20.22164354	1.538356462	10.0000
20	10.8800	20.22164354	1.538356462	10.0000
21	10.8800	20.22164354	1.538356462	11.0000
22	10.8800	20.22164354	1.538356462	11.0000
23	10.8800	20.22164354	1.538356462	11.0000
24	10.8800	20.22164354	1.538356462	6.0000
25	10.8800	20.22164354	1.538356462	9.0000

Gráfico np:



El gráfico c mide el número de no conformidades por unidad. Esta unidad es comúnmente referida a una inspección y pueden expresarse "por día" o "por metro cuadrado" o algún radio predeterminado.

Procedimiento:

- 1) Determina $cbar$.

$$cbar = \frac{1}{k} \sum c(i)$$

Existen k inspecciones en unidades y $c(i)$ es el número de no conformidades en esta muestra.

- 2) Dado que la media y la varianza en la distribución de Poisson son iguales, entonces:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{cbar}$$

y los límites de control son:

$$UCL = cbar + 3 \cdot \sqrt{cbar}$$

$$LCL = cbar - 3 \cdot \sqrt{cbar}$$

- 3) Grafica la línea central $cbar$, los límites de control y las mediciones del proceso $c(i)$.

Ejemplo:

Día	Errores/1000 líneas
1	6
2	7
3	7
4	6
5	8
6	6
7	5
8	8
9	1
10	6
11	2
12	5
13	5
14	4
15	3
16	3
17	2
18	0
19	0
20	1
21	2
22	5
23	1
24	7
25	7
26	1
27	5
28	5
29	8
30	8

Cálculos:

$$\text{CBAR} = 4.4667$$

$$\text{LSE} = \text{cbar} + 3 \cdot \sqrt{\text{cbar}} = 10.80701366$$

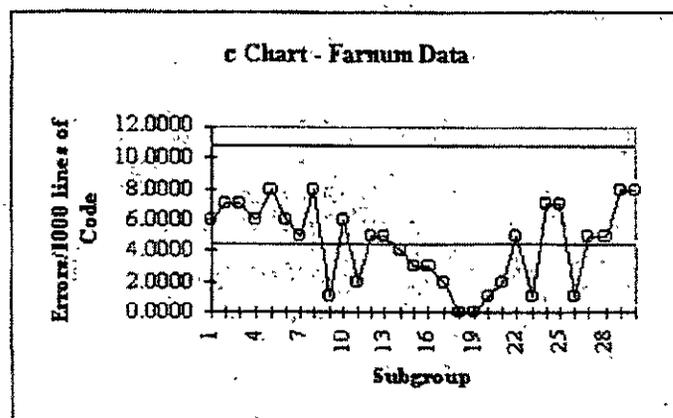
$$\text{LIE} = \text{cbar} - 3 \cdot \sqrt{\text{cbar}} = -1.873680327 = 0$$

(when LCL < 0, set LCL = 0)

Día	CL	LSC	LIC	Noconformidades
1	4.4667	10.80701366	0	6
2	4.4667	10.80701366	0	7
3	4.4667	10.80701366	0	7
4	4.4667	10.80701366	0	6
5	4.4667	10.80701366	0	8

6	4.4667	10.80701366	0	6
7	4.4667	10.80701366	0	5
8	4.4667	10.80701366	0	8
9	4.4667	10.80701366	0	1
10	4.4667	10.80701366	0	6
11	4.4667	10.80701366	0	2
12	4.4667	10.80701366	0	5
13	4.4667	10.80701366	0	5
14	4.4667	10.80701366	0	4
15	4.4667	10.80701366	0	3
16	4.4667	10.80701366	0	3
17	4.4667	10.80701366	0	2
18	4.4667	10.80701366	0	0
19	4.4667	10.80701366	0	0
20	4.4667	10.80701366	0	1
21	4.4667	10.80701366	0	2
22	4.4667	10.80701366	0	5
23	4.4667	10.80701366	0	1
24	4.4667	10.80701366	0	7
25	4.4667	10.80701366	0	7
26	4.4667	10.80701366	0	1
27	4.4667	10.80701366	0	5
28	4.4667	10.80701366	0	5
29	4.4667	10.80701366	0	8
30	4.4667	10.80701366	0	8

Gráfico C:



El gráfico u es usado cuando no es posible tener una unidad de inspección, dado que la unidad de inspección no es necesariamente una unidad. Cuando esto se convierte en un radio de unidades, puede ser controlado con un gráfico u:

Procedimiento:

- 1) Encuentra el número de no conformidades, $c(i)$, y el número de unidades de inspección, $n(i)$, en cada muestra: (i) .

2) Calcula $u(i)=c(i)/n(i)$.

3) Determina la línea central del gráfico:

$$\bar{u} = \frac{\text{total_nonconformities_in_k_subgroups}}{\text{total_number_of_inspection_units}}$$

$$\bar{u} = \frac{c(1) + c(2) + \dots + c(k)}{n(1) + n(2) + \dots + n(k)}$$

4) El gráfico u tiene límites de control individuales para cada subgrupo i.

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n(i)}}$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n(i)}}$$

5) Dibuja la línea central, \bar{u} , los límites individuales y las mediciones del proceso, $u(i)$.

6) Interpreta el gráfico de control.

Ejemplo:

Día	Número Insp.	Número de No-conf.	No conformidades por unidad
1	110	120	1.0909
2	82	94	1.1463
3	96	89	0.9271
4	115	162	1.4087
5	108	150	1.3889
6	56	82	1.4643
7	120	143	1.1917
8	98	134	1.3673
9	102	97	0.9510
10	115	145	1.2609
11	88	128	1.4545
12	71	83	1.1690
13	95	120	1.2632
14	103	116	1.1262
15	113	127	1.1239
16	85	92	1.0824
17	101	140	1.3861
18	42	60	1.4286
19	97	121	1.2474
20	92	108	1.1739
21	100	131	1.3100
22	115	119	1.0348

MOD. IV. METODOLOGÍA DMAIC

23	99	93	0.9394
24	57	88	1.5439
25	89	107	1.2022
26	101	105	1.0396
27	122	143	1.1721
28	105	132	1.2571
29	98	100	1.0204
30	48	60	1.2500

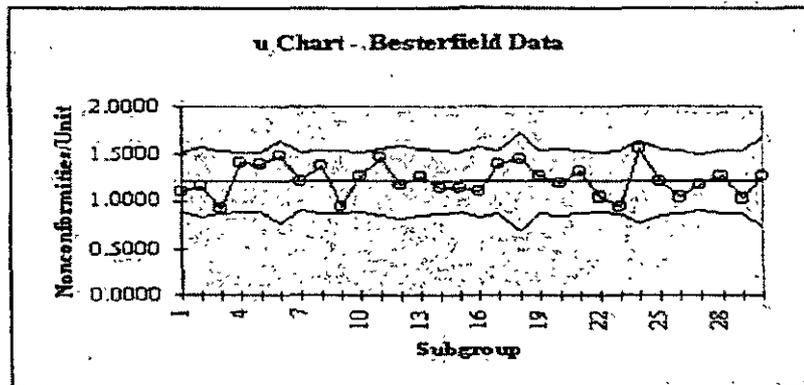
Cálculos

UBAR = 1.2005

LSC = $\bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n(i)}$ LIC = $\bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n(i)}$

Día	CL	LSC	LIC	No conformidades/Unidad
1	1.2005	1.513900448	0.887091405	1.09
2	1.2005	1.563485937	0.837505915	1.15
3	1.2005	1.535975424	0.865016429	0.93
4	1.2005	1.507011595	0.893980258	1.41
5	1.2005	1.51678903	0.884202823	1.39
6	1.2005	1.639741695	0.761250158	1.46
7	1.2005	1.500557911	0.900433942	1.19
8	1.2005	1.532534517	0.868457335	1.37
9	1.2005	1.525958845	0.875033008	0.95
10	1.2005	1.507011595	0.893980258	1.26
11	1.2005	1.550892833	0.850099019	1.45
12	1.2005	1.59059276	0.810399092	1.17
13	1.2005	1.537736483	0.86325537	1.26
14	1.2005	1.524375074	0.876616779	1.13
15	1.2005	1.509712226	0.891279627	1.12
16	1.2005	1.55702269	0.843969162	1.08
17	1.2005	1.527566079	0.873425774	1.39
18	1.2005	1.707693252	0.693298601	1.43
19	1.2005	1.534241668	0.866750185	1.25
20	1.2005	1.543190862	0.857800991	1.17
21	1.2005	1.529197361	0.871794491	1.31
22	1.2005	1.507011595	0.893980258	1.03
23	1.2005	1.530853298	0.870138554	0.94
24	1.2005	1.635871613	0.76512024	1.54
25	1.2005	1.548918751	0.852073102	1.20
26	1.2005	1.527566079	0.873425774	1.04
27	1.2005	1.498088223	0.90290363	1.17
28	1.2005	1.521275681	0.879716172	1.26
29	1.2005	1.532534517	0.868457335	1.02
30	1.2005	1.674935581	0.726056271	1.25

Gráfico U:



Índices de capacidad.

Los índices de capacidad son medidas simplificadas para describir la relación entre la variabilidad del proceso y la dispersión de los límites de especificación. Como muchas medidas simplificadas, los índices de capacidad no describen completamente lo que pasa con el proceso. Son útiles cuando las suposiciones para usarlas están hechas para ser comparadas con las capacidades de los procesos.

El índice de capacidad C_p

La ecuación para el más simple índice de capacidad C_p , es la relación de la amplitud de la especificación contra la amplitud del proceso, representada por 6 desviaciones estándar o 6σ .

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

C_p asume que el proceso se comporta dentro de una distribución normal. El índice de capacidad del proceso puede ser muy inexacto y llevamos a conclusiones incorrectas sobre el proceso cuando estos no responden a distribuciones normales.

Ocasionalmente, el inverso del índice de capacidad del proceso, la proporción de capacidad CR es usada para describir el porcentaje de amplitud de la especificación que es usada por el proceso:

$$CR = \text{Proporción de capacidad} = \frac{1}{C_p} \times 100\% = \frac{6\sigma}{LSE - LIE} \times 100\%$$

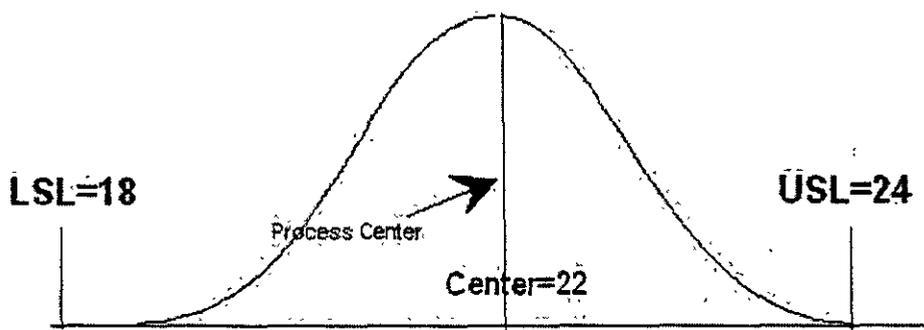
C_p puede ser traducido directamente al porcentaje de proporción de producto no conforme fuera de las especificaciones. Cuando $C_p = 1.00$, aproximadamente 27% de las partes de encuentran fuera de los límites de especificación (asumiendo que el proceso está centrado en el punto medio de los límites de especificación). En términos Seis Sigma, esto significa que se encuentra aproximadamente con 2700 PPM de producto no conforme.

El índice de capacidad C_{pk}

La mayor debilidad del índice C_p es que muy pocos procesos permanecen centrados en la distribución. Entonces, para tener una mejor medida del desempeño real del proceso, debemos considerar dónde está localizado el proceso con relación a los límites de especificación. El índice C_{pk} fue creado exactamente para eso. Con C_{pk} , la localización del proceso con relación a los límites de especificación es tomada en cuenta para realizar los cálculos tomando en cuenta el peor escenario de aproximación.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma} \text{ and } \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\}$$

Tenemos la siguiente situación. La desviación estándar del proceso es $\sigma = 0.8$ y con un límite superior de especificación (LSE) = 24 y un límite inferior de especificación (LIE) = 18, la media del proceso es de $(\mu) = 22$.



Si el proceso estuviera centrado dentro de los límites de especificación C_p sería igual a C_{pk} .

El índice de capacidad C_{pm} .

Este índice es llamado el índice Taguchi. Este índice fue desarrollado en los 80's y toma en cuenta la proximidad de la media del proceso a un objetivo determinado, T .

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

Cuando la media del proceso está centrada entre los límites y la media del proceso está en el objetivo $C_p = C_{pk} = C_{pm}$.

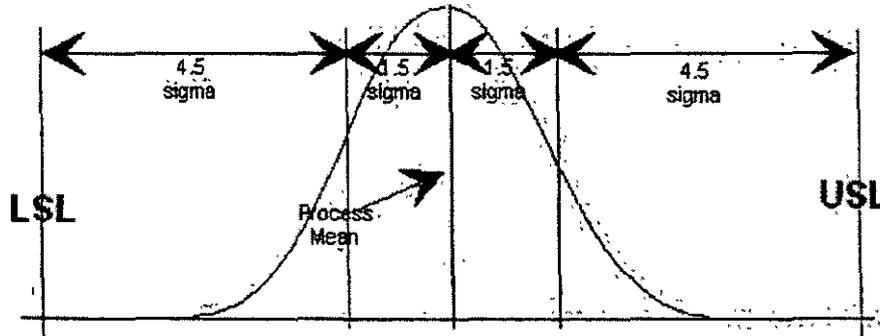
Cuando un proceso parte del valor meta T , existe una afectación sustantiva en la capacidad del proceso:

Para el ejemplo anterior, si el valor meta es $T=21$, C_{pm} sería calculado así:

$$C_{pm} = \frac{24 - 18}{6\sqrt{0.8^2 + (22 - 21)^2}} = 1.281$$

En este caso, la capacidad Taguchi es más optimista que C_{pk} .

La meta de Seis Sigma es reducir la variación del proceso a 6 Sigmas entre la media y cada uno de los límites de especificación, tomando en cuenta el shift de largo plazo de 1.5 Sigmas.



Rendimiento – Rendimiento en cadena.

El rendimiento en cadena es usado para evaluar el verdadero rendimiento del proceso que incluye los factores de fábrica oculta. Un factor oculto aumenta el costo del proceso y no genera valor para los clientes. Determinar la probabilidad de que un producto o servicio sea entregado sin desperdicio o retrabados.

Procedimiento 1:

- 1) Define los defectos.
- 2) Define las unidades.
- 3) Define las oportunidades.
- 4) Define los defectivos.
- 5) Calcula los defectos por unidad:

$$dpu = \frac{\text{Defectos}}{\text{Oportunidades}}$$

- 6) Utiliza la fórmula.

$$Rec = e^{-dpu}$$

Procedimiento 2.

- 1) Determina el rendimiento para cada paso del proceso.

$$Rpp = e^{-dpu}$$

para datos con atributos.

$$R_{pp} = 1 - P$$

para datos variables, en donde P es la probabilidad de que ocurra un defecto en una distribución normal.

- 2) Multiplica el rendimiento de cada paso para obtener el rendimiento en cadena.

Defectos por millón de oportunidades

Nos ayuda a determinar la capacidad del proceso. Es la base de la metodología Seis Sigma.

Procedimiento 1:

Si tenemos una sola oportunidad con datos variables, usa la transformación Z para determinar la probabilidad de observar un defecto, multiplícalo por 1 millón.

Procedimiento 2:

Si tenemos una sola oportunidad con datos de atributos, calcula el porcentaje de defectos, multiplícalo por un millón.

Procedimiento 3:

Cuando tenemos más de una oportunidad con datos variables o atributos.

- 1) Suma el número total de defectos en el proceso.
- 2) Suma el número total de oportunidades en el proceso.
- 3) Calcula el número de defectos por oportunidad.

$$DPO = \frac{\text{Defectos}}{\text{Oportunidades}}$$

- 4) Multiplica DPO por un millón.

$$DPMO = DPO \times 1,000,000$$

Procedimiento 4:

- 1) Calcula el rendimiento promedio por oportunidad; también conocido como Rendimiento normalizado R_{na} .

$$R_{na} = R_{ec}^{\left(\frac{1}{m}\right)}$$

- 2) Para calcular el rendimiento en cadena desde el rendimiento normalizado:

$$RTY = Y_{na}^m$$

- 3) Calcula el nivel de DPMO.

$$DPMO = (1 - Y_{na}) \cdot X \cdot 1'000,000$$

Cálculo del nivel Sigma

Una de las primeras actividades que los profesionales quieren hacer es calcular su nivel Sigma, desafortunadamente antes de hacerlo es necesario medir la capacidad del proceso, encontrar los CTQ's y tener un conocimiento al nivel de la fase Medir del mismo.

Procedimiento (1):

- 1) Define las oportunidades.
- 2) Define los defectos.
- 3) Mide las oportunidades y los defectos.
- 4) Calcula el rendimiento del proceso.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Oportunidades} - \text{defectos}}{\text{Oportunidades}} = 100\%$$

- 5) Busca el nivel Sigma en una tabla de conversión.

Este cálculo está hecho asumiendo que el proceso tiene un comportamiento normal y que el proceso es estable.

Procedimiento (2):

- 1) Define los defectos.
- 2) Define cada oportunidad.
- 3) Determina el número de unidades producidas.
- 4) Determina el número total de defectos hechos, incluso aquellos que hayan sido arreglados.
- 5) Calcula defectos por oportunidad.

$$DPO = \frac{\text{Defectos}}{\text{Unidades producidas} \cdot X \cdot \text{Oportunidades}}$$

- 6) Calcula el rendimiento.

$$\text{Rendimiento} = (1 - DPO) \cdot 100$$

- 7) Consulta el rendimiento en una tabla de conversión Sigma.

Calcula los siguientes valores Sigma:

Área: Call Center.

El cliente dice: "Consistentemente espero mucho tiempo para hablar con un representante".

Nombre del CTQ: Respuesta del representante.

Medida del CTQ: Tiempo en espera (segundos)

Especificación del CTQ: Menos de 60 segundos de la conexión de la llamada a la respuesta automática por el sistema.

Defecto: Llamadas con tiempo en espera igual o mayor de 60 segundos.

Unidad: Una llamada

Oportunidad: Una por llamada

Calcula el nivel Sigma:

Defectos: 263 llamadas

Unidades: 21501 llamadas

Oportunidades: 1 por llamada

DPMO:

Valor Sigma:

Área: Editorial de libros

El cliente dice: "No puedo entender letras en los libros que compro".

Nombre del CTQ: Calidad tipográfica

Medida del CTQ: Número de errores tipográficos.

Especificación del CTQ: Cero errores tipográficos.

Defecto: Cualquier error tipográfico.

Unidad: Una palabra

Oportunidad: Palabras por libro

Calcula el nivel Sigma:

Defectos: 2 errores tipográficos

Unidades: 100,000 (500 palabras por página x 200 páginas por libro)

Oportunidades: 1 por palabra

DPMO:

Valor Sigma:

Área: Manufactura de circuitos impresos

El cliente dice: "Los circuitos deben funcionar cuando los conecto".

Nombre del CTQ: Funcionalidad del circuito

Medida del CTQ: Funcionamiento impropio o no funcionamiento del circuito.

Especificación del CTQ: Todos los circuitos funcionando apropiadamente (u circuito no funcionará apropiadamente si un componente individual está mal).

Defecto: Cualquier tablero que no funciona o funciona inapropiadamente.

Unidad: Un tablero

Oportunidad: Número total de partes más número total de puntos de soldadura.

Calcula el nivel Sigma:

Defectos: 18 circuitos

Unidades: 1,000 circuitos

Oportunidades: 58 (1 circuito + 13 resistencias + 4 capacitores + 2 diodos + 34 puntos de soldadura)
DPMO:
Valor Sigma:

Análisis gráfico

El análisis gráfico es una herramienta para presentar los datos después de la medición de los procesos.

Además de los histogramas, gráficos de control, gráficos de corridas, Seis Sigma se recarga en el uso de otras herramientas como los gráficos de puntos (DOT PLOT), gráficos de vela (BOX & WHISKER) y gráficos de dispersión.

Gráficos de Vela.

Es una herramienta gráfica que despliega el centrado, dispersión y distribución de un grupo de datos continuos.

Provee un resumen de 5 puntos de los datos.

- 1) La caja representa el 50% de los datos.
- 2) La mediana es el punto donde el 50% de los datos se encuentra arriba o debajo; izquierda o derecha; dependiendo del gráfico.
- 3) El cuartil 25° es donde, comúnmente, el 25% de los datos caen por debajo de él.
- 4) El cuartil 75° es donde, comúnmente, 25% de los datos está sobre él.
- 5) Las velas no pueden extenderse más allá de 1.5 veces el largo de los cuarteles internos. Si tenemos datos fuera de estos, serán mostrados como puntos.

Datos continuos.

Los gráficos de puntos muestran la variabilidad de una muestra de datos variables o de atributos.

Las ocurrencias son puestas verticalmente en el eje X.

Es una herramienta gráfica que despliega el centrado, dispersión y distribución de un grupo de datos continuos:

Resumen gráfico.

Es una herramienta generada por muchos de los programas de análisis estadístico para Seis Sigma, lo importante para el Black/Green Belt es reconocer su interpretación.

- o Test de normalidad Anderson-Darling: Si el valor p es igual o menor al especificado en el riesgo α (generalmente 0.05), existe evidencia de que los datos no sigan una distribución normal.
- o Kurtosis es una medida de los picos de la curva. Desviaciones de cero indican picos más grandes de los normales. Valores negativos indican picos más planos.

Gráficos de dispersión.

Un diagrama de dispersión es usado para desplegar en forma la relación entre dos variables.

Es usado generalmente para:

- o Validar presentimientos acerca de relaciones causa efecto entre dos tipos de variables.
- o Desplegar la dirección de la relación (positiva, negativa, etc)
- o Desplegar la fuerza de la relación.

Procedimiento:

- 1) Colecta las dos piezas de datos.
- 2) Dibuja el diagrama poniendo la causa en el eje horizontal (x) y los efectos en el eje vertical (y).
- 3) Grafica los datos en el diagrama en las intersecciones X y Y de cada par.
- 4) Interpreta el diagrama.

BIBLIOGRAFIA.

1. **ARTHUR, Jay. "Six Sigma Simplificado" Panorama.**
2. **GALLAGHER, Charles. "Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en Administración". Mc Graw Hill.**
3. **GUTIERREZ PULIDO, Humberto. "Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma" Mc Graw Hill.**
4. **GUTIERREZ PULIDO, Humberto. "Calidad Total y Productividad" Mc Graw Hill.**
5. **ISHIKAWA, Kaoru. "Qué es control total de calidad" Norma.**
6. **LAMPRECHT, James. "El Six Sigma Desmistificado" Panorama.**
7. **STAGLIANO, Augustine. "Herramientas Avanzadas de Six Sigma" Panorama.**
8. **TENNANT, Geoff. "Six Sigma" Panorama.**