



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

DESARROLLO EMPRESARIAL



*DIPLOMADO EN
SEIS SIGMA
(NIVEL BLACK BELT)*

MÓDULO III
DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Del 18 de Agosto al 08 de Septiembre de 2007

APUNTES GENERALES

DE-084

Instructor: Ing. Jorge Caudillo Gutiérrez
Palacio De Minería
Agosto/Septiembre del 2007

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

DECFI - UNAM

Objetivo

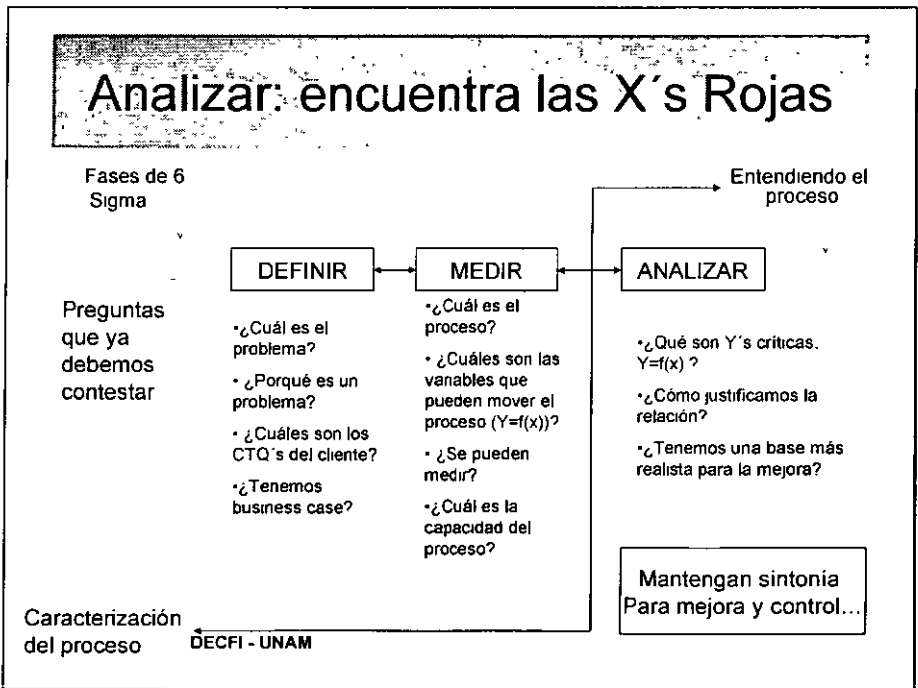
Al finalizar el tema,
Habremos,

1. Habremos revisado los conceptos de repetibilidad y reproducibilidad.
2. Entender y aplicar métodos analíticos y gráficos para estudios de Gage R&R.
3. Entender y aplicar el concepto de unidades inadecuadas de medición.

DECFI - UNAM

Prueba de Hipótesis

Diplomado en Seis Sigma
DECFI – UNAM



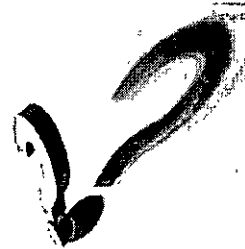
Objetivo

1. Entender el concepto y uso de pruebas de Hipótesis en la fase de análisis.
2. Entender el significado de los errores α y β .
3. Definir un análisis apropiado basado en los diferentes tipos de datos.

DECFI - UNAM

Análisis: encuentra las X's Rojas que mueven el proceso

| | | |
|------------------|-----------|-------|
| Región | Persona | Costo |
| Día de la semana | Tiempo | |
| Tipo de formato | Desempeño | |
| Velocidad | Presión | |



¿Cómo se si estas X's son importantes/relevantes para los CTQ's

DECFI - UNAM

Análisis: encuentra las X's Rojas que mueven el proceso

Debemos decidir que variables son críticas, *y mostrarlo estadísticamente!*

Todas las suposiciones, creencias, incluso ideas locas, deben ser evaluadas y cuantificadas. Hacemos esto mediante una gama de herramientas sencillas pero muy poderosas que vamos a generalizar como:

Pruebas de Hipótesis

DECFI - UNAM

Pruebas de Hipótesis

Para contestar la pregunta "tiene relación la X con la Y?" (p.e. el costo de ventas varía de región a región?), tenemos 2 opciones (solo una prevalecerá).

Ho: Hipótesis nula: Sin la relación, sin cambios, no hay diferencia, no pasa nada

Ha: Hipótesis alternativa: Relación, cambio, diferencia real, Algo paso



Necesitamos datos para seleccionar cualquiera de ellas

DECFI - UNAM

Pruebas de Hipótesis

Siempre que tenemos una decisión, queremos que nuestra conclusión esté lo más cercano a la realidad.

Nuestra decisión

| | | Aceptar H_0 | Rechazar H_0 |
|------------------------|----------------|---|---|
| En realidad debemos... | Aceptar H_0 |  | Error Tipo I α |
| | Rechazar H_0 | Error Tipo I α |  |

DECFI - UNAM

Pruebas de Hipótesis

Errores de decisión.

α (alfa): Referencia principal para tomar conclusiones al realizar pruebas de hipótesis. Se relaciona con que tan probable (factible) es afirmar que existe una diferencia cuando en realidad no existe.

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

DECFI - UNAM

Pruebas de Hipótesis

Teoría de Decisión:

Si definimos un valor fijo de alfa, entonces la distribución utilizada para el análisis tendrá un valor de corte donde el área (probabilidad) más allá de este punto es igual a alfa, definiendo el área de rechazo para H_0 .

DECFI - UNAM

Pruebas de Hipótesis

Tres escenarios para H_a :

Región de rechazo de H_0

$H_a: \mu > 0$ $H_a: \mu < 0$ $H_a: \mu \neq 0$

Región de rechazo de H_0

Sin importar el escenario, si el valor de la prueba es menor que α , rechazamos H_0 .

Nota: la mayoría de los software estadísticos hacen análisis para dos colas, si no multiplica el valor de p por 2

DECFI - UNAM

Pruebas de Hipótesis

Ho: Hipótesis nula: Sin la relación, sin cambios, no hay diferencia, no pasa nada

ej. Pepe el Toro es inocente

Valor de $p > \alpha$, mucho riesgo de tomar una decisión equivocada, no podemos afirmar que algo pasó.

Ha: Hipótesis alternativa Relación, cambio, diferencia real, Algo pasó

ej. Pepé el Toro NO es inocente

Valor de $P \leq \alpha$, poco riesgo de error.

Podemos afirmar que algo realmente pasó.

El valor de p se relaciona con la probabilidad (que tanto riesgo) se tienen en tomar una decisión equivocada. Sin importar la herramienta seleccionada, esta regla siempre va a aplicar. La selección de la herramienta específica dependerá principalmente de los tipos de datos analizados.

DECFI - UNAM

Tipos de Datos

Variables

- Tienen una unidad física relacionada
- Los valores se miden en una escala continua

Atributos

- Es resultado de contar entidades discretas o características
- Los valores se miden a través de diferentes niveles (hi-mid-lo, go-no go, 1, 2,3,4, rayones etc.

DECFI - UNAM

Tipos de datos


Por ejemplo:
 Queremos analizar la influencia de una marca de auto en el consumo de combustible:

$Y =$ Eficiencia de combustible (l/k) Variable (continua)
 $X_1 =$ Marca de auto Atributo (discreto)

Una variable discreta con tres niveles

- $X_1 =$ Marca de auto
- $X_{11} =$ Nissan
- $X_{12} =$ Honda
- $X_{13} =$ Toyota

¿Cuál será la herramienta a utilizar?



DECFI - UNAM

Matriz de selección de herramientas

| | | Factor (X) | |
|---------------|----------|-----------------------|---|
| | | VARIABLE | ATRIBUTO |
| Respuesta (Y) | VARIABLE | Análisis de regresión | Anova, Prueba T, Alternativas NO paramétricas |
| | ATRIBUTO | Regresión logística | Prueba de Chi-square, Prueba de proporciones |

DECFI - UNAM

Matriz de selección de herramientas

| | | |
|---------------|-----------------------------------|--|
| | Factor (X) | |
| | VARIABLE | ATRIBUTO |
| Respuesta (Y) | VARIABLE Análisis de regresión | ATRIBUTO Anova Prueba T, Alternativas NO paramétricas |
| | ATRIBUTO Regresión logística | Prueba de Chi-square Prueba de proporciones |

Necesitamos consideraciones adicionales para este cuadrante...

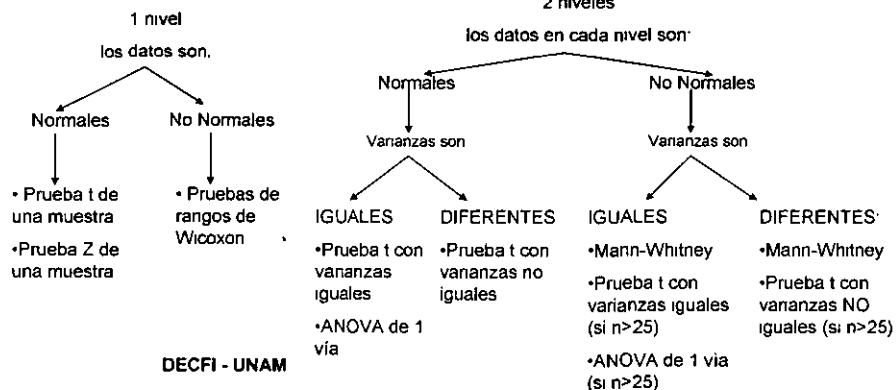
Para seleccionar la herramienta más apropiada de análisis (comparar medias), necesitamos determinar ciertas condiciones de grupo de datos. Tales consideraciones se tratan con la normalidad de los datos, homogeneidad de las varianzas, etc.

DECFI - UNAM

Matriz de selección de herramientas

| | | |
|---------------|-----------------------------------|--|
| | Factor (X) | |
| | VARIABLE | ATRIBUTO |
| Respuesta (Y) | VARIABLE Análisis de regresión | ATRIBUTO Anova Prueba T, Alternativas NO paramétricas |
| | ATRIBUTO Regresión logística | Prueba de Chi-square Prueba de proporciones |

Niveles dentro de la X



DECFI - UNAM

Herramientas para Pruebas de Hipótesis

| Cliente | OR con error | OR sin error |
|---------|--------------|--------------|
| A | 2 | 5 |
| B | 3 | 3 |
| C | 4 | 2 |

Busca independencia entre variables (p.e. ¿los errores en los precios depende de los clientes?

HERRAMIENTA: Prueba de Chi-Cuadrada

| | Antes | Despues |
|--------------|-------|---------|
| % Defectuoso | 0.25 | 0.2 |

Buscar cambios en proporciones (p.e. ¿el porcentaje de defectuosos cambio después de la mejora ?)

HERRAMIENTA: Prueba de proporciones

DECFI - UNAM

Herramienta para pruebas de hipótesis

Encontrar relación entre 2 variables continuas (p.e. ¿el tiempo de ciclo es influenciado por la velocidad?

HERRAMIENTA: Regresión

¿Qué tipo de comparaciones/relaciones haces todos los días?

¿Qué herramienta utilizarías para hacerlo?

¿Por qué?

DECFI - UNAM

Ejemplos

Jaime quiere saber si el tiempo requerido para completar una tarea, esta relacionado con la tarea experiencia del empleado en años.

| | Tipo de datos | La herramienta apropiada para contestar esto es: |
|----------|---------------|--|
| Y: _____ | _____ | _____ |
| X: _____ | _____ | _____ |

¿Cuál sería tu conclusión si $p = 0.1917$?

DECFI - UNAM

Ejemplos

¿La aspirina reduce el riesgo de un ataque al corazón?

| | Tipo de datos | La herramienta apropiada para contestar esto es: |
|----------|---------------|--|
| Y: _____ | _____ | _____ |
| X: _____ | _____ | _____ |

¿Cuál sería tu conclusión si $p = 0.0054$?

DECFI - UNAM

Ejemplos

Hemos utilizado 3 diferentes proveedores de mensajería internacional, ahora debemos seleccionar solo uno.
 ¿Parece estar entregando mas pronto en promedio?

| | Tipo de datos | |
|----------|---------------|--|
| Y: _____ | _____ | La herramienta apropiada para contestar esto es: |
| X: _____ | _____ | _____ |

¿Cuál sería tu conclusión si $p = 0.054$?

DECFI - UNAM

Ejemplos

Sandra dice que la porción defectuosa disminuyó de 0.35 a 0.3. ¿La diferencia se debe a acciones específicas o es obra de la casualidad?

| | Tipo de datos | |
|----------|---------------|--|
| Y: _____ | _____ | La herramienta apropiada para contestar esto es: |
| X: _____ | _____ | _____ |

¿Cuál sería tu conclusión si $p = 0.045$?

DECFI - UNAM

En resumen

Recuerda:

1. Sin importar la herramienta, la regla de decisión siempre dependerá del nivel de alfa (consideraremos $\alpha=0.05$).
2. Si el valor de p es menor a 0.05 concluimos que algo "especial" ha ocurrido. Encontramos diferencia o relación entre variables.
3. La correcta herramienta de análisis depende del tipo de datos que estamos midiendo.

DECFI - UNAM

 La 74 mejor del mundo

Apendices

DECFI - UNAM

Apéndice A: Error estándar de la media de intervalos de confianza

- Todas las pruebas estadísticas dependen de los resultados obtenidos de una muestra de una población. Si muestreáramos en forma continua, el promedio de las muestra variaría de una a otra. La desviación estándar de la media muestral se conoce como el error estándar

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Error estándar (SE)

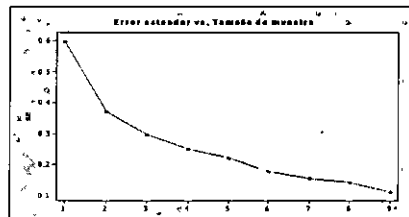
A mayor muestra, menor es el error estándar

DECFI - UNAM

Apéndice A: Error estándar de la media de intervalos de confianza

Dependiendo del tamaño de la muestra, es el tamaño del error alrededor de la media muestral:

| n | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 60 |
|-------|------------|------------|------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| S | 1.07558276 | 0.90822373 | 0.8408604 | 0.7930622 | 0.8614134 | 0.79974404 | 0.7623876 | 0.7783698 | 0.6730243 |
| SE | 0.597791 | 0.3707863 | 0.29728907 | 0.2507883 | 0.222416 | 0.1788282 | 0.1547753 | 0.14211003 | 0.11231941 |
| Media | -0.284525 | -0.4982716 | -0.5881512 | -0.463164 | -0.10126267 | -0.003829 | -0.3018636 | 0.0384453 | 0.15424533 |



DECFI - UNAM

Apéndice A: Error estándar de la media de intervalos de confianza

El error estándar ayuda a definir los intervalos de confianza de un parámetro específico. El intervalo de confianza es un rango de valores donde se espera que caiga un parámetro específico de la muestra. Si tomáramos muestras durante un largo periodo de tiempo, ¿el promedio del lunes sería igual al del martes o al del miércoles? ¿Cuál se acerca más al promedio de la población?

Martes: 5 avg Miércoles: 5.67 avg Jueves: 5.33 avg

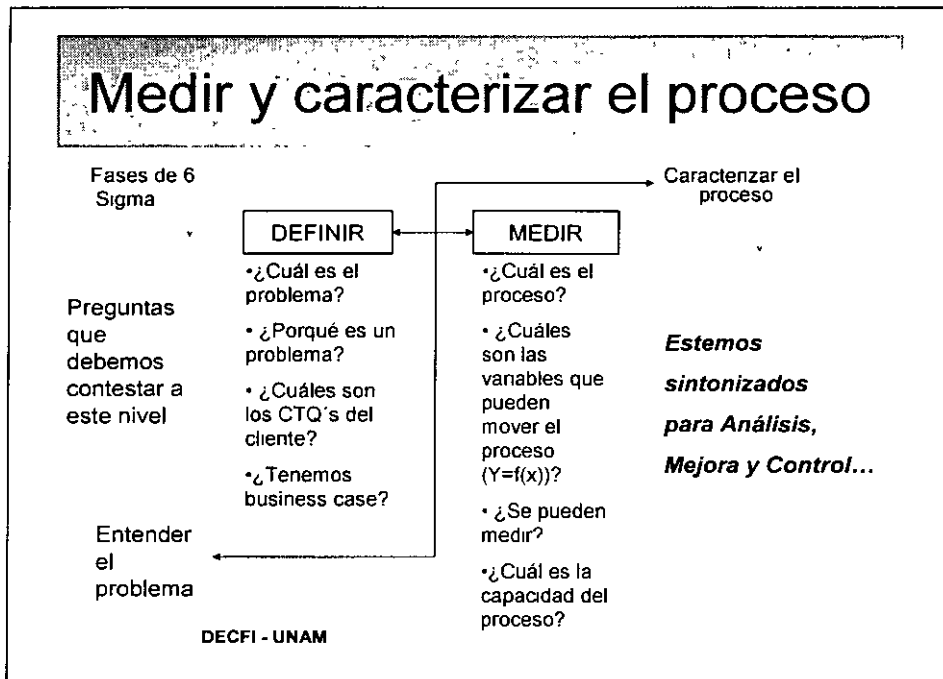
Entonces, ¿el promedio de la población es...?

DECFI - UNAM

Apéndice A: Error estándar de la media de intervalos de confianza

El intervalo de confianza depende del nivel de certeza (probabilidad) requerida por el experimentador. Por esto los intervalos de confianza se relacionan con una distribución específica para determinar sus valores (como la Z o la distribución t). El nivel de confianza se define por alfa (α)

DECFI - UNAM



¿Qué es una medición?

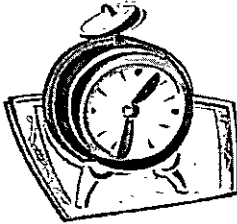
Una medición es una estimación de la realidad. Tratamos de medir la realidad para compararla contra una referencia (estándar) y tomar una decisión.

Esperamos que la medición varíe muy poco de la realidad, pero desde luego, siempre hay variación.

Por ejemplo...

DECFI - UNAM

¿Qué hora es?



- ¿Nuestro sistema de medición es bueno para indicarnos la hora para ir a comer?
- ¿Será igualmente bueno para determinar los tiempos en una carrera de 100 mts?

DECFI - UNAM

Podemos decir....

- Trabajo en sistemas transaccionales, no utilizo instrumentos, por lo tanto, no tengo problemas con la medición.

¿Seguro?

piénsalo de nuevo...

DECFI - UNAM

MSA (Análisis del Sistema de Medición) en ambientes administrativos

Los sistemas de medición son frecuentes en procesos administrativos, sin embargo rara vez son analizados. Ejemplos de sistemas de medición administrativos son:

- ❖ Cotizaciones al cliente
- ❖ Inventario de partes
- ❖ Inspección del papaleo
- ❖ Exactitud de nóminas

La metodología presentada en este módulo aplica a estos sistemas también.

DECFI - UNAM

MSA (Análisis del Sistema de Medición) en ambientes administrativos

Todas las mediciones dependen de su exactitud y precisión.

¿Qué es exactitud?

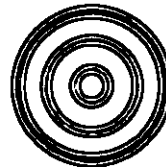
¿Qué es precisión?

DECFI - UNAM

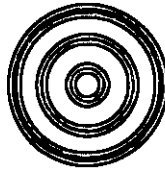
Sin importar el tipo de sistema...



*Preciso
mas no
exacto*



*Exacto
más no
preciso*



*Exacto
y
preciso*

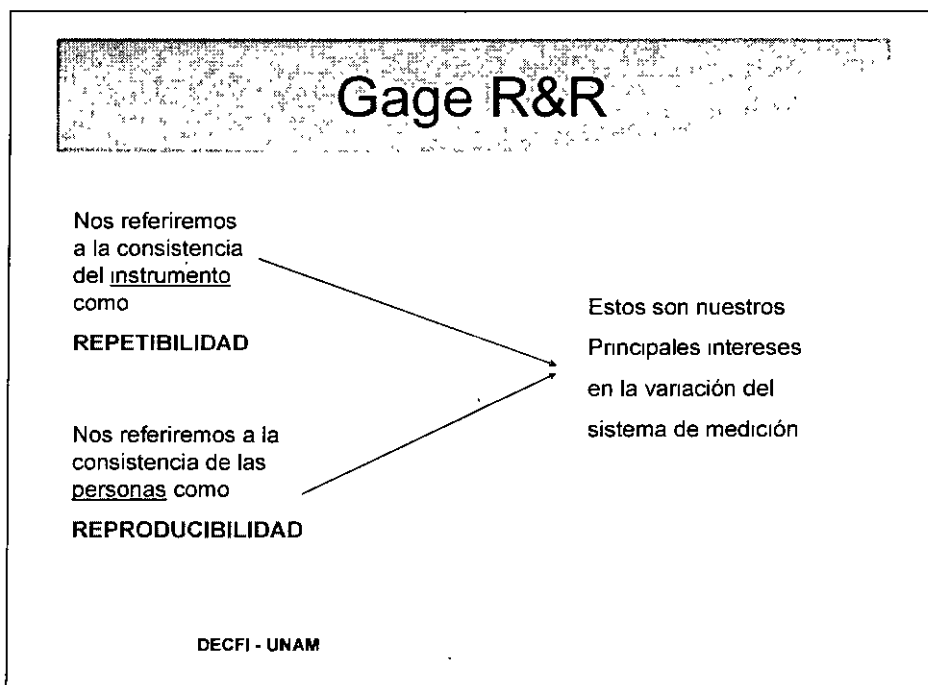
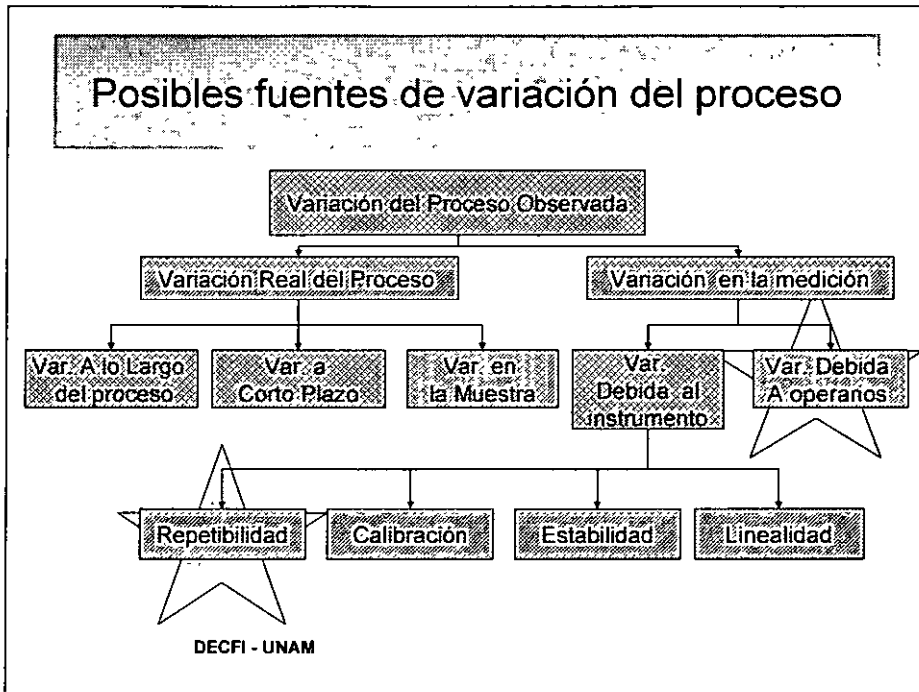
DECFI - UNAM

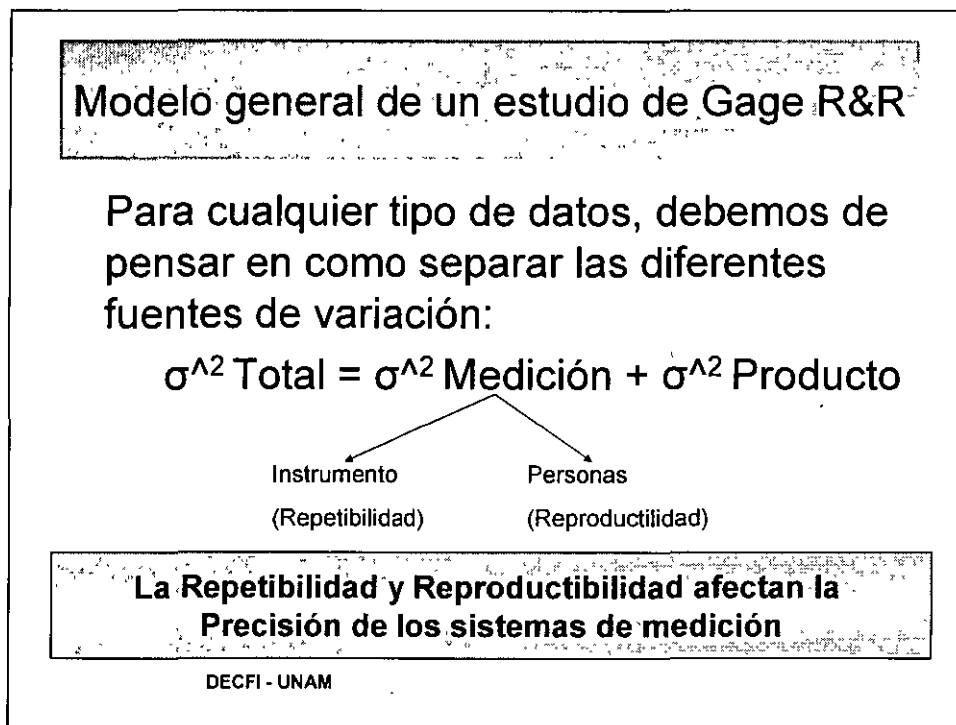
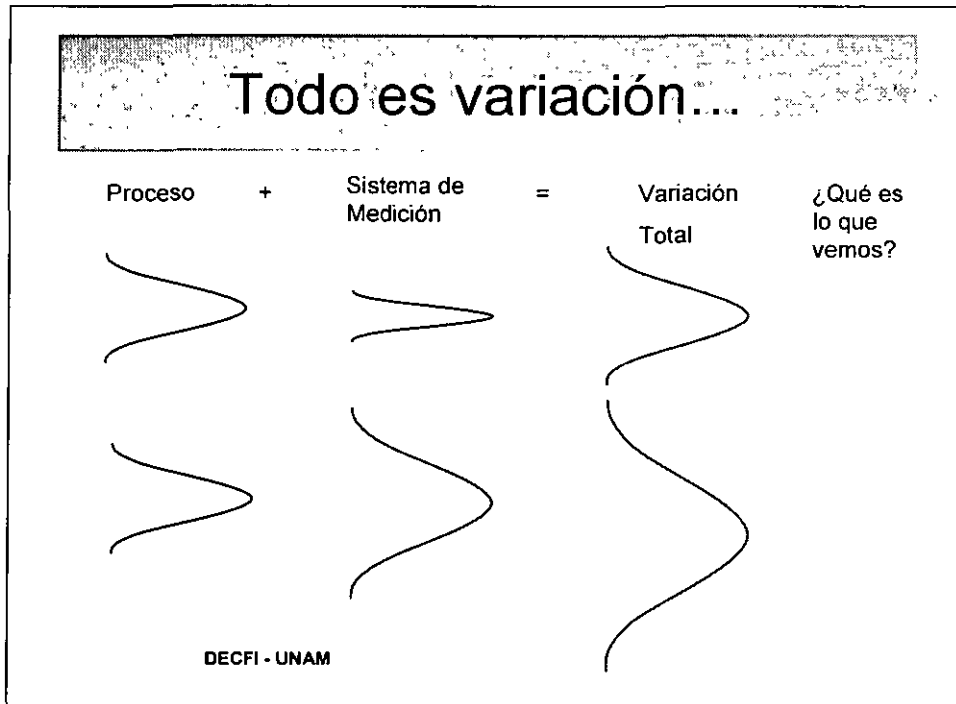
MSA

Minizamos problemas con la exactitud calibrando el equipo. Nos comparamos contra un estándar y ajustamos según sea necesario.

Para problemas de precisión nos preguntamos que tan consistentes son las mediciones de nuestro instrumento, y que tan consistentes son las mediciones hechas de una persona a otra.

DECFI - UNAM





Fuentes de variación

Una fuente de variación es toda variable sujeta a cambiar en un tiempo / sistema específico.

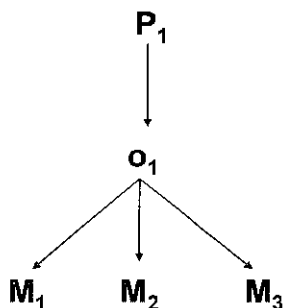
Consideremos los siguientes escenarios

- A) 1 parte, 1 operario, 3 mediciones por parte
- B) 1 parte, 2 operarios, 3 mediciones por parte
- C) 2 partes, 2 operarios, 3 mediciones por parte

Todas las mediciones se hacen con el mismo instrumento

DECFI - UNAM

Ejemplo A)

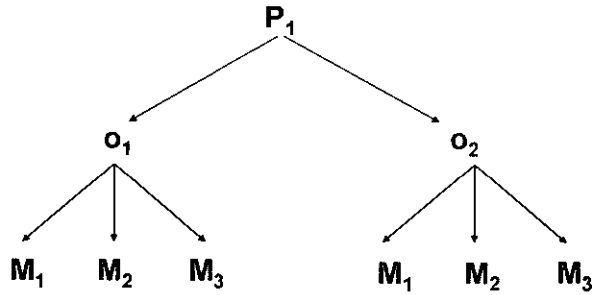


¿Qué fuentes de variación se pueden analizar en este arreglo?

¿Cómo conocemos a esta fuente de variación?

DECFI - UNAM

Ejemplo B)

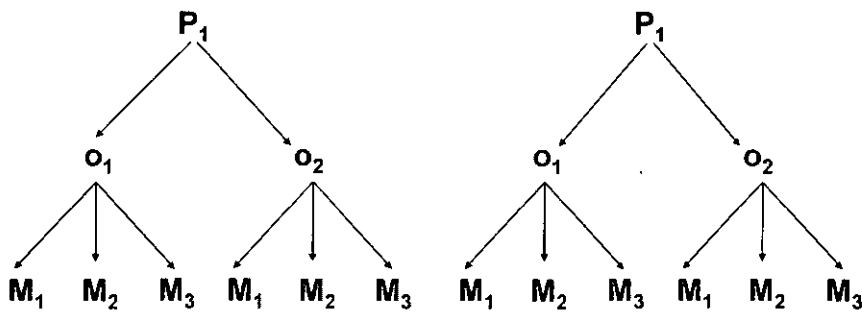


¿Qué fuentes de variación se pueden analizar en este arreglo?

¿Cómo conocemos a esta fuente de variación?

DECFI - UNAM

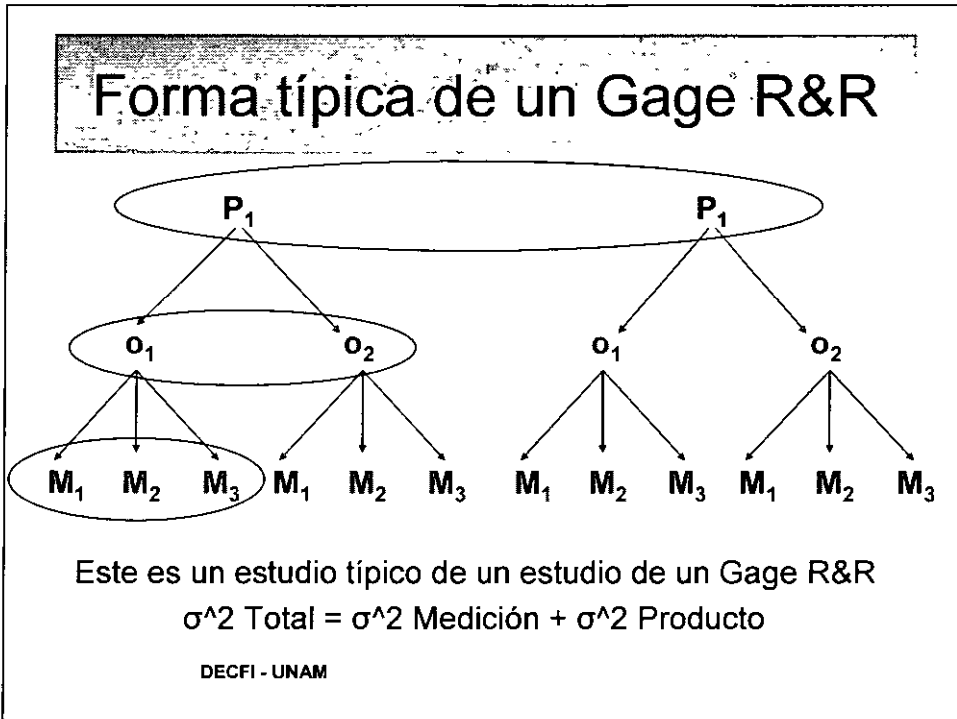
Ejemplo C)



¿Qué fuentes de variación se pueden analizar en este arreglo?

¿Cómo conocemos a esta fuente de variación?

DECFI - UNAM



Ejemplo

Queremos evaluar el sistema de medición.
 Tenemos 3 operarios y 5 partes,
 queremos hacer 3 mediciones por parte.
 ¿cómo arreglaríamos el muestreo para
 este análisis?

Haz un árbol de muestreo:

DECFI - UNAM

Ejemplo

Este es el arreglo de los datos. ¿captura las fuentes de variación relacionadas con el sistema de medición?

| Operario | Parte | Medición 1 | Medición 2 |
|----------|-------|------------|------------|
| 1 | 1 | 34 | 45 |
| 1 | 2 | 56 | 44 |
| 1 | 3 | 6 | 19 |
| 1 | 4 | 55 | 55 |
| 1 | 5 | 33 | 17 |
| 2 | 1 | 43 | 32 |
| 2 | 2 | 49 | 37 |
| 2 | 3 | 17 | 5 |
| 2 | 4 | 54 | 54 |
| 2 | 5 | 24 | 18 |
| 3 | 1 | 35 | 26 |
| 3 | 2 | 46 | 43 |
| 3 | 3 | 10 | 16 |
| 3 | 4 | 51 | 55 |
| 3 | 5 | 25 | 11 |

DECFI - UNAM

Ejemplo

¿Cómo podemos separar las fuentes de variación? Usemos una gráfica de control. Haz una gráfica X-Bar R comenzado desde la rama inferior del árbol de muestreo:

| Operario | Parte | Medición 1 | Medición 2 |
|----------|-------|------------|------------|
| 1 | 1 | 34 | 45 |
| 1 | 2 | 56 | 44 |
| 1 | 3 | 6 | 19 |
| 1 | 4 | 55 | 55 |
| 1 | 5 | 33 | 17 |
| 2 | 1 | 43 | 32 |
| 2 | 2 | 49 | 37 |
| 2 | 3 | 17 | 5 |
| 2 | 4 | 54 | 54 |
| 2 | 5 | 24 | 18 |
| 3 | 1 | 35 | 26 |
| 3 | 2 | 46 | 43 |
| 3 | 3 | 10 | 16 |
| 3 | 4 | 51 | 55 |
| 3 | 5 | 25 | 11 |

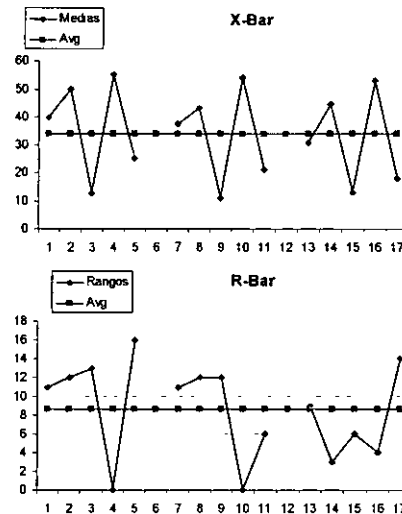
¡Recuerda que necesitamos los rangos y los promedios de cada subgrupo!

DECFI - UNAM

Ejemplo

- ¿Qué representa cada punto (tanto en los rangos como en las medias)?
- ¡Muchos puntos están fuera de los límites en la gráfica de medias! ¿eso es bueno o malo? ¿Porque?
- ¿Qué influye en la amplitud de los límites de control?, ¿qué fuente de variación es esa?

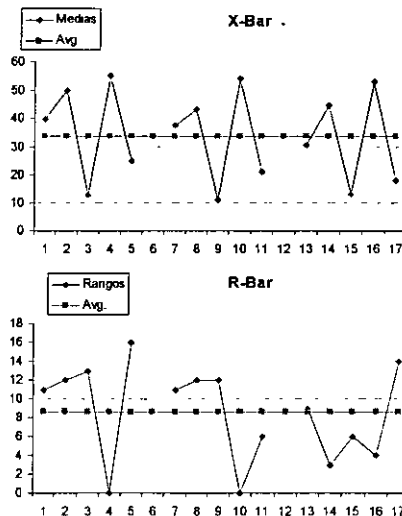
DECFI - UNAM



Ejemplo

- ¿Qué representa cada punto (tanto en los rangos como en las medias)?
- R: Para los rangos, cada punto es la diferencia de 2 mediciones o la variación de una medición a otra.
- Para los promedios, cada punto es el promedio de dos mediciones, así que vemos la variación una parte a otra medida por diferentes operarios.

DECFI - UNAM



Ejemplo

- ¿Qué representa cada punto (tanto en los rangos como en las medias)?
- R: Para los rangos, cada punto es la diferencia de 2 mediciones o la variación de una medición a otra.
- Para los promedios, cada punto es el promedio de dos mediciones, así que vemos la variación una parte a otra medida por diferentes operarios.

X-Bar

R-Bar

DECFI - UNAM

Ejemplo

X-Bar

¡Muchos puntos están fuera de los límites de la gráfica de medias!, ¿esto es bueno o malo? ¿Por qué?

R: De hecho es bueno

¿Por qué? R. Significa que la gráfica de control detecta la diferencia de una parte a otra, si la gráfica está en control significa que las mediciones son estables y estadísticamente iguales. **Evaluamos el sistema de medición, no el proceso.**

DECFI - UNAM

Ejemplo

- De acuerdo a lo que hemos dicho, ¿es el sistema de medición adecuado o no?
- ¿Cuál parece ser el problema?

X-Bar

R-Bar

DECFI - UNAM

Ejemplo

- De acuerdo a lo que hemos dicho, ¿es el sistema de medición adecuado o no?

R: La mayoría de los promedios caen dentro de los límites indicando una mala diferenciación de parte a parte (RDD. al menos el 50% de los puntos fuera de los límites para una aceptable variación de parte a parte)

¿Cuál parece ser el problema?

R: Los patrones entre los operarios es muy similar, lo cuál es bueno para la reproducibilidad. El mayor problema parece ser que los límites de la gráfica de medias son muy amplios, lo que sugiere problemas con la repetibilidad

X-Bar

R-Bar

DECFI - UNAM

MOD. III. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Ejemplo

Confirmemos el dato con Minitab

| row | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 |
|-----|------------|------------|-----------|--------|------------|----|----|-----|-----|-----|
| 1 | Medición 1 | Medición 2 | operarios | partes | mediciones | | | | | |
| 2 | 34 | 45 | | | 1 | 34 | | | | |
| 3 | 56 | 34 | | | 1 | 56 | | | | |
| 4 | 6 | 19 | | | 2 | 6 | | | | |
| 5 | 56 | 66 | | | 2 | 56 | | | | |
| 6 | 33 | 17 | | | 3 | 33 | | | | |
| 7 | | | | | 3 | 45 | | | | |
| 8 | 43 | 32 | | | 4 | 43 | | | | |
| 9 | 49 | 37 | | | 4 | 19 | | | | |
| 10 | 17 | 6 | | | 5 | 55 | | | | |

DECFI - UNAM

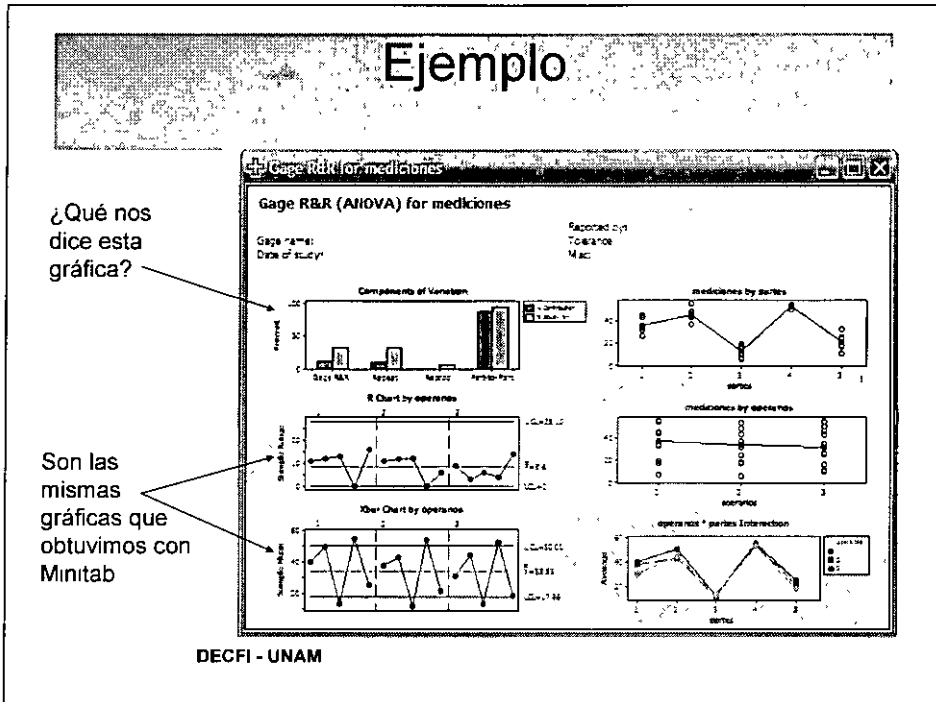
Ejemplo

Recuerda que Minitab requiere una columna por variable, indica la columna de las partes, operarios y mediciones.

Selecciona O.K.

DECFI - UNAM

MOD. III. DISEÑO DE EXPERIMENTOS



Ejemplo

Gage R&R

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|---------------------------|---------|----------------------------|
| Total Gage R&R | 37.894 | 11.59 |
| Repeatability | 35.995 | 11.01 |
| Reproducibility operators | 1.904 | 0.58 |
| Part-To-Part | 229.299 | 78.41 |
| Total Variation | 326.993 | 100.00 |

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | Study Var (15%) |
|---------------------------|-------------|--------------------|-----------------|
| Total Gage R&R | 6.1558 | 36.935 | 34.04 |
| Repeatability | 5.9992 | 35.995 | 33.18 |
| Reproducibility operators | 1.3500 | 8.100 | 7.63 |
| Part-To-Part | 17.0329 | 102.197 | 94.65 |
| Total Variation | 18.0830 | 108.498 | 100.00 |

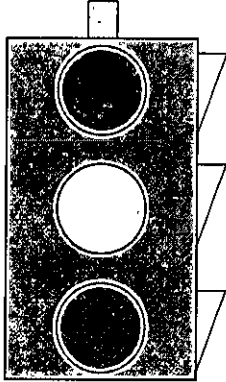


Number of Distinct Categories = 3

DECFI - UNAM

Estos dos son equivalentes, queremos ver la variación de parte a parte como el mayor elemento de la variación total. ¿Nuestro sistema de medición es aceptable?

Qué tan bueno es bueno...

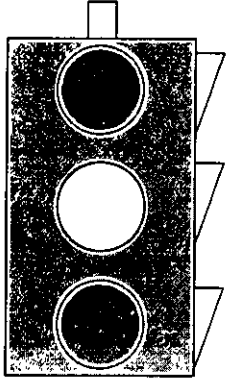


**Guía para aceptar un Gage R&R
% of Study Variation**

| | | |
|---|----------------------|---|
|  | <p>Más del 30%</p> | <p>El sistema de medición necesita de mejora.</p> |
|  | <p>10% al 30%</p> | <p>Puede ser aceptable según importancia, costo, etc.</p> |
|  | <p>Menos del 10%</p> | <p>El sistema es aceptable</p> |

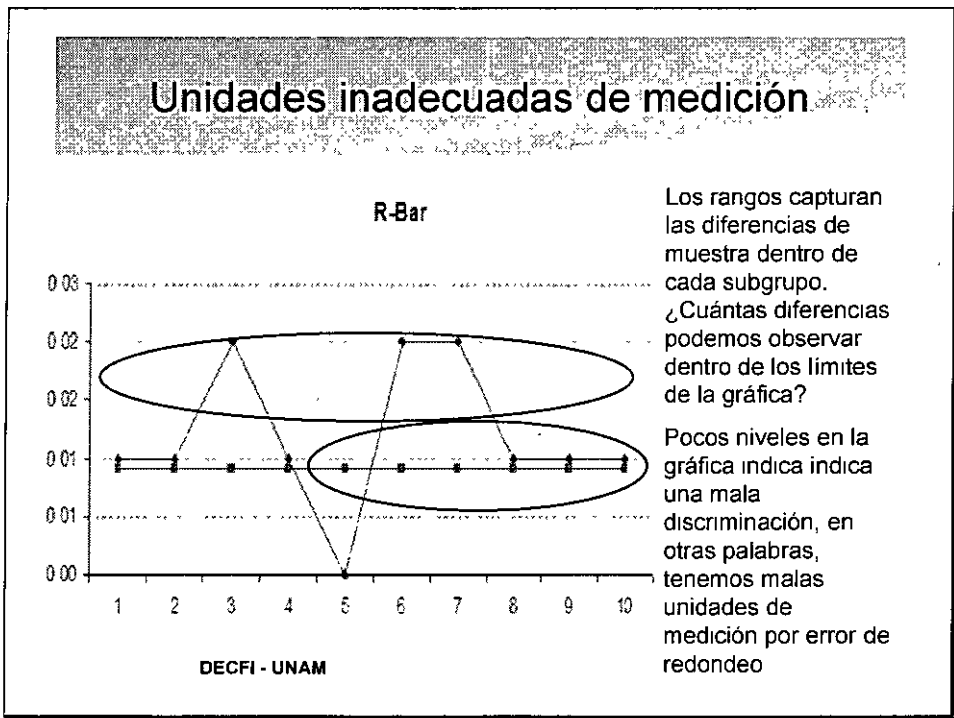
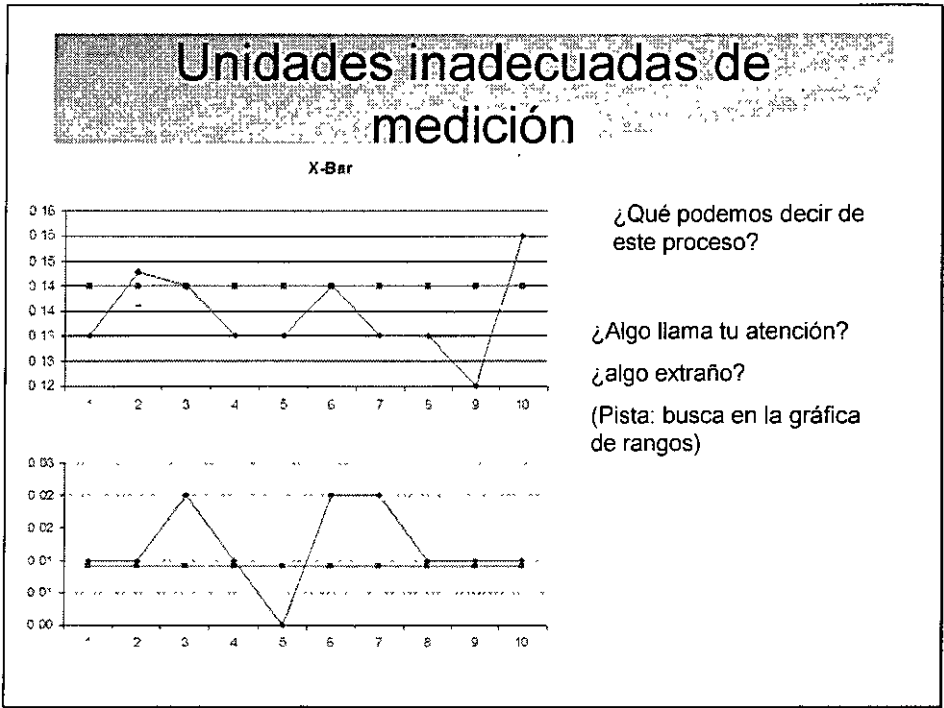
DECFI - UNAM

Qué tan bueno es bueno...

**Guía para aceptar un Gage R&R
% of contribution**

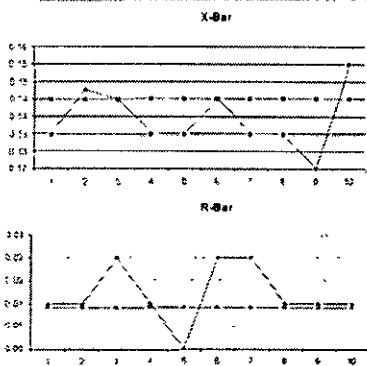
| | | |
|---|----------------------|---|
|  | <p>Arriba del 8%</p> | <p>El sistema de medición necesita de mejora.</p> |
|  | <p>2% al 8%</p> | <p>Puede ser aceptable según importancia, costo, etc.</p> |
|  | <p>Menos del 2%</p> | <p>El sistema es aceptable</p> |

DECFI - UNAM



MOD. III. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Unidades inadecuadas de medición

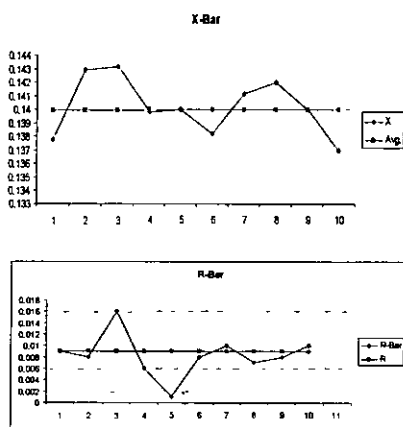


| | | | | | | R | x |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.01 | 0.13 |
| 2 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.01 | 0.14 |
| 3 | 0.14 | 0.13 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.02 | 0.14 |
| 4 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.01 | 0.13 |
| 5 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.00 | 0.13 |
| 6 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.02 | 0.14 |
| 7 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.02 | 0.13 |
| 8 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.01 | 0.13 |
| 9 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.01 | 0.12 |
| 10 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.13 | 0.01 | 0.15 |

Viendo los datos originales podemos detectar que el problema esta en el redondeo. Observa valores de los rangos. ¿Nos gustaría ver que todos los rangos sean cero (en la vida real)?

DECFI - UNAM

Unidades inadecuadas de medición



Vemos los mismos datos redondeado a la 3^{ra} posición decimal:

| | | | | | | R | x |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 0.14 | 0.143 | 0.137 | 0.134 | 0.135 | 0.009 | 0.1378 |
| 2 | 0.138 | 0.143 | 0.143 | 0.145 | 0.145 | 0.008 | 0.1415 |
| 3 | 0.139 | 0.133 | 0.147 | 0.145 | 0.149 | 0.016 | 0.1422 |
| 4 | 0.145 | 0.141 | 0.137 | 0.139 | 0.14 | 0.006 | 0.1398 |
| 5 | 0.142 | 0.142 | 0.145 | 0.135 | 0.136 | 0.001 | 0.14 |
| 6 | 0.136 | 0.144 | 0.143 | 0.135 | 0.137 | 0.008 | 0.1382 |
| 7 | 0.142 | 0.147 | 0.137 | 0.142 | 0.138 | 0.01 | 0.1412 |
| 8 | 0.141 | 0.142 | 0.147 | 0.14 | 0.14 | 0.007 | 0.142 |
| 9 | 0.143 | 0.137 | 0.145 | 0.137 | 0.138 | 0.008 | 0.14 |
| 10 | 0.142 | 0.137 | 0.134 | 0.137 | 0.132 | 0.01 | 0.137 |

¿Y ahora que podemos decir del proceso?

DECFI - UNAM

Unidades inadecuadas de medición

Reglas para detectar unidades inadecuadas de medición

1. Pocos niveles identificados en la gráfica de rangos

| Tamaño de subgrupo | Niveles mínimos |
|--------------------|-----------------|
| 2 | 4 |
| 3 | 5 |
| 4 | 5 |
| 5 | 5 |
| 6 | 6 |

2. Más del 25% de los rangos igual a cero

DECFI - UNAM

Unidades inadecuadas de medición

Al hacer un estudio de Gage R&R, sería bueno observar el número de categorías distintas:

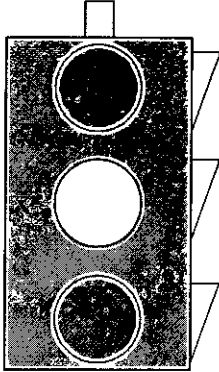
$$D.C. = \frac{\sigma_{\text{partes}} \times 1.41}{\sigma_{R\&R}}$$

Este número (también conocido como índice de discriminación) nos ayuda a determinar si tenemos unidades inadecuadas de medición o no.

DECFI - UNAM

Qué tan bueno es bueno...

Guía para aceptar el número de categorías distintas

| | | |
|---|--|--|
|  | <p>Menos de 5</p> <p>Entre 5 y 10</p> <p>Mas de 10</p> | <p>El sistema de medición necesita de mejora.</p> <p>Puede ser aceptable según importancia, costo, etc.</p> <p>El sistema es aceptable</p> |
|---|--|--|

DECFI - UNAM

Intenta esto...

En tu equipo:
 Evalúa la utilidad del sistema de medición.

Actividades.
 Análisis completo del sistema de medición (gráfico y analítico)
 Mejora de ser necesario (dependiendo de los resultados)
 Hacer una presentación al grupo para ver los resultados

DECFI - UNAM

Análisis para atributos (datos discretos)

❖ Los atributos tienen menos información que los datos variables, pero a veces es con lo único que se cuenta.

❖ Por esta razón debemos ser más exigentes con los sistemas de medición.

❖ El problema es el mismo.

❖ ¿Puedo confiar en los datos que me da mi sistema de medición?

DECFI - UNAM

Objetivo de un ASM para Atributos

❖ Las metas son similares a los sistemas de datos variables.

❖ Para atributos, la información es similar pero con un enfoque diferente:

❖ % de efectividad de tamizado (confiabilidad global)

❖ % de acuerdo dentro de cada operario (repetibilidad)

❖ % de acuerdo entre operarios (reproducibilidad)

❖ % de acuerdo con un estándar conocido (exactitud)

❖ Los valores Kappa indican que tanto es mejor el sistema de medición contra decisiones aleatorias.

DECFI - UNAM

Muestra para estudios de Gage R&R para atributos

- ❖ Necesitamos de 30 a 50 muestras con un rango propio del proceso para ver las condiciones de operación.
 - ❖ La mayoría de las muestras deben ser de áreas "grises"
 - ❖ El resto debe de ser claramente bueno o malo
- ❖ Ejemplo: Errores en facturas
 - ❖ Recolectamos 30 facturas
 - ❖ 5 serán claramente defectuosas (un defecto muy grande o conjunto de varios defectos suficientes para rechazar)
 - ❖ 5 serán claramente aceptables (todo correcto)
 - ❖ El resto varía en tipo y cantidad de defectos.

DECFI - UNAM

Métodos para estudios de Gage R&R para atributos

- ❖ Selecciona 2 -3 personas para que realicen la evaluación
- ❖ Da las muestras en forma aleatoria a cada persona (sin que sepan que muestra es) y que cada persona haga su evaluación.
- ❖ Cuando la primera persona haya revisado todos los elementos, repite con todos los demás.
- ❖ Al terminar todos, repite para la segunda medición
- ❖ Nota: Todas las posibles combinaciones de operarios, elementos y muestra deben de ser cubiertas
 - ❖ Cada operario inspecciona todas las piezas
 - ❖ Cada operario examina todas las piezas el mismo número de veces (intentos)

DECFI - UNAM

Técnicas Kappa

- ❖ En un estudio por atributos, los números **KAPPA** se usan para resumir el nivel de entendimiento entre evaluadores.
- ❖ Si hay un acuerdo substancial, existe la posibilidad de que las evaluaciones son exactas.
 - ❖ Si el número es malo, la utilidad de las evaluaciones es muy limitado
- ❖ **Requisitos para uso**
 - ❖ Las unidades de medición son independientes de cada una
 - ❖ Los evaluadores inspeccionan y clasifican de forma independiente.
 - ❖ La evaluación de las categorías son mutuamente excluyentes y exhaustivas.
- ❖ Minitab calcula el valor Kappa como parte del reporte de un Gage R&R para atributos.

DECFI - UNAM

Técnicas Kappa

Kappa se mide entre -1 y +1

| Valor Kappa | Interpretación |
|-------------|-------------------------------|
| -1 a 0.0 | Acuerdo aleatorio |
| ≥0.60 | Marginal - se requiere mejora |
| ≥0.70 | Buena - medición adecuada |
| ≥0.90 | Excelente |

Un valor de Kappa + 1 significa un acuerdo perfecto

Regla general: Si $K < 0.70$, el sistema de medición necesita mejora

DECFI - UNAM

Ejemplo de atributos: Inspección

- Este ejemplo es de una planta de cerámica.
- Preocupada con el rechazo de partes buenas, una BB estudia la consistencia entre inspectores al clasificar piezas
- 3 partes fueron seleccionadas, una era claramente retrabajable (requeme) otra, claramente se debía de rechazar (imposible retrabajar, scrap) y otra era mala pero retrabajable (límitrofe, requeme)
- Seis inspectores fueron evaluados y sus resultados fueron comparados con el resultado conocido.

Rechazar (spollage-D), Retrabajar (RQ)

DECFI - UNAM

Gage R&R para atributos en Minitab

Diseño

- 6 inspectores
- 2 intentos
- 3 muestras (piezas)

Evaluaciones están en la columna, *clasificación*.

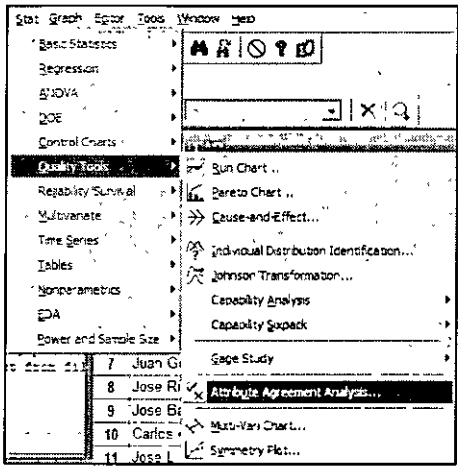
Los valores del experto están en la columna *expert*

| | Inspector | Pieza | Clasificación | Expert | trial |
|----|---------------|-------|---------------|--------|-------|
| 1 | Juan Gonzalez | 1 | RQ | RQ | 1 |
| 2 | Jose Ricardo | 1 | RQ | RQ | 1 |
| 3 | Jose Badillo | 1 | RQ | RQ | 1 |
| 4 | Carlos García | 1 | RQ | RQ | 1 |
| 5 | José L. López | 1 | RQ | RQ | 1 |
| 6 | Angel Garcia | 1 | RQ | RQ | 1 |
| 7 | Juan Gonzalez | 2 | D | D | 2 |
| 8 | Jose Ricardo | 2 | D | D | 2 |
| 9 | Jose Badillo | 2 | RQ | D | 2 |
| 10 | Carlos García | 2 | D | D | 2 |
| 11 | José L. López | 2 | D | D | 2 |
| 12 | Angel Garcia | 2 | D | D | 2 |

DECFI - UNAM

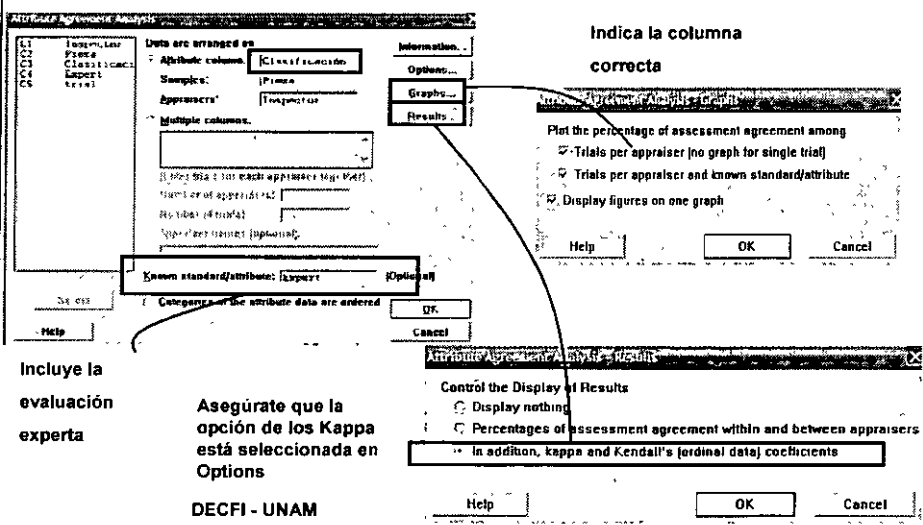
Gage R&R para atributos en Minitab

Stat>Quality tools>
Attribute>
Agreement analysis



DECFI - UNAM

Gage R&R para atributos en Minitab



Indica la columna correcta

Incluye la evaluación experta

Asegúrate que la opción de los Kappa está seleccionada en Options

DECFI - UNAM

Mejorando las mediciones de los atributos

- ❖ Multiplicadores de los sentidos
(dispositivos para estimular los sentidos)
- ❖ Máscaras / plantillas (bloquear información irrelevante)
- ❖ Chacklists
- ❖ Automatización
- ❖ Reorganización del área de trabajo
- ❖ Ayudas visuales

DECFI - UNAM

Problemas al recolectar los datos

Problemas con los datos:

- ❖ No existen u
- ❖ Los datos no están en el formato requerido
- ❖ Los datos están inmersos en los sistemas
- ❖ Los datos están inmersos en la gente.

TRABAJA CON LA GENTE CERCANA A LA FUENTE DE LOS DATOS
O AL MISMO PROCESO

DECFI - UNAM

Sistemas de Medición

Preguntas

- ❖ ¿La medición escogida es la correcta?, ¿el sistema de medición se relaciona con las variables o salidas críticas?
- ❖ ¿Cuál es error en la medición?
- ❖ ¿Cuáles son las fuentes de variación?
- ❖ ¿Qué se necesita para mejorar el sistema de medición?
- ❖ ¿La gente correcta ha sido informada?
- ❖ ¿Quién es el dueño del sistema de medición?
- ❖ ¿Quién lo arregla?
- ❖ ¿Existe un plan de control?
- ❖ ¿Cuál es la frecuencia de entrenamiento? ¿Es suficiente?
- ❖ ¿Empatan los sistemas idénticos ?

DECFI - UNAM

Que nos queda

Recuerda:

1. Siempre confirmar la validez de los sistemas de medición.
2. Verifica tanto gráfica como analíticamente para identificar problemas con el equipo de medición, siempre revisa la adecuación de las unidades de medición.
3. El redondeo es un problema mayor con los sistemas de medición, siempre revisemos la adecuación de las unidades de medición.
4. Al analizar un sistema de para atributos, busca tener tamaños de muestra adecuados.

DECFI - UNAM

Apéndice

Tópicos y términos adicionales

DECFI - UNAM

Escenarios

$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{means} + \sigma^2_{product}$

DECFI - UNAM

Componentes del error de la medición

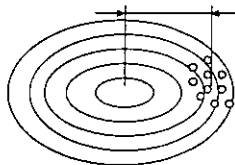
- ❖ Discriminación
- ❖ Exactitud
- ❖ Repetibilidad (prueba a prueba)
- ❖ Distorsión
- ❖ Linealidad
- ❖ Estabilidad

Cada componente es potencialmente un contribuidor al error de medición, lo que puede llevar a conclusiones equivocadas.

DECFI - UNAM

Exactitud

La exactitud se determina por la diferencia entre el valor promedio de las mediciones con referencia a un valor maestro (estándar)



¿Cómo validamos comúnmente la exactitud?

DECFI - UNAM

Exactitud

La exactitud es responsabilidad del laboratorio de metrología.

Por definición, la calibración observa la exactitud del sistema de medición con respecto a un estándar

En tu opinión, ¿cuándo debe ocurrir la calibración en contraste con las estrategias vigentes?

DECFI - UNAM

Exactitud y tolerancias

El porcentaje de exactitud en referencia a la banda de tolerancia (si las mediciones son para conformar) se define como:

$$\frac{\text{Valor promedio} - \text{Valor Maestro}}{\text{Tolerancia}}$$

Si el porcentaje de exactitud es menos del 1% se considera como adecuado (Dependiendo del sistema). Un porcentaje mayor al 1% puede ser inadecuado y demanda una acción.

Algunas veces la exactitud es menos importante, especialmente en el caso de mediciones relativas, como cuando se conduce un experimento.

DECFI - UNAM

Discriminación

La habilidad del sistema de medición para distinguir entre los valores de una medición.



0.1
0.11
0.111
0.1114



0.1
0.09
0.091
0.0914



0.1
0.10
0.102
0.1015



0.1
0.10
0.103
0.1026



0.1
0.13
0.132
0.1318

DECFI - UNAM

Error probable

El error probable es el error esperado alrededor una medición típica, por lo que define la resolución de efectiva de la misma. Define el intervalo de confianza de la medición. Es crítico al hacer decisiones de pasa – no pasa.

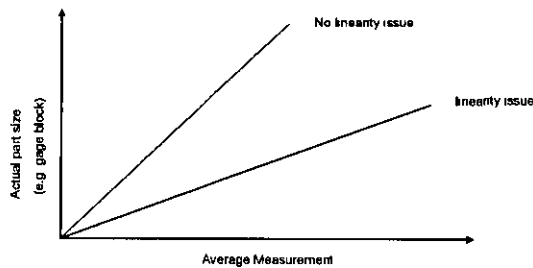
El error probable se puede estimar con:

$$0.67 * \sigma_m$$

DECFI - UNAM

Linealidad

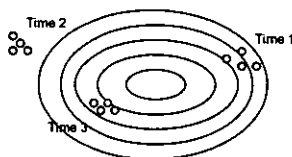
Se refiere al rango en el cual la **exactitud** del sistema de medición tiene un comportamiento lineal. Algunos instrumentos (sobre todo electrónicos) tienen un comportamiento curvo.



DECFI - UNAM

Estabilidad

La estabilidad de un sistema de medición gira alrededor de su comportamiento a través del tiempo



DECFI - UNAM

Análisis para pruebas destructivas y mediciones no repetibles

En ocasiones la repetición de la medición no es posible, tal como el espesor del esmalte. La estimación de la repetibilidad no es posible. Para contrarrestar esto es necesario buscar la estimación en piezas del mismo lote de producción y buscar variación de lote a lote.

DECFI - UNAM



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

DESARROLLO EMPRESARIAL



*DIPLOMADO EN
SEIS SIGMA
(NIVEL BLACK BELT)*

MÓDULO III
DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Del 18 de Agosto al 08 de Septiembre de 2007

ANEXOS

DE-084

Instructor: Ing. Jorge Caudillo Gutiérrez
Palacio De Minería
Agosto/Septiembre del 2007

Is Your Process on Its Best Behavior?

USE TRENDED
PROCESS
BEHAVIOR
CHARTS TO
VERIFY PROCESS
STABILITY.

*By Shree
Phadnis,
QAI India Ltd.*

Most Six Sigma practitioners are taught to beware trends and seasonality effects when viewing data in a time series. When processes are plotted in time order, the appearance of runs, trends and cycles is evidence of memory.

One way to deal with correlations is to widen the time between the observations. Then statistical tools that don't assume correlations may be used for prediction and control. Six Sigma practitioners are often advised to use time series methods when correlations are natural to the process and sampling frequency cannot be reduced.

In a recent article, Joseph D. Conklin discussed time series modeling using a sample company's correlated sales data and the autoregressive method.¹ For this article, I recreated the example and then analyzed the data and process in a deseasonalized and a trend process behavior chart to illustrate the disadvantages of time series modeling in cases where a cause and effect model with noises impacted the process. I will also explain how to use a process behavior chart to forecast and understand cause and effect relations in a process.

Conklin's exact data set is in Table 1. To model the time series, he identified the quarters, created dummy variables for each quarter and created a regression model explaining the sales, with each quarter and the last month's sales value as the predictors.

Conklin's analysis is recreated in Figure 1 (p. 40). It indicates the model fit is good, gives good estimates for predictions and can be used for forecasting and process monitoring. But even though it looks good, it still does not indicate whether the variation in sales is due to routine variation or exceptional variation in the process. An analysis that specifically examines this aspect will help you better understand the sales process.

If the process exhibited predictable variation in the past, you could use the past as a guide to the future. A process behavior chart will help you identify the routine variation from the exceptional variation. Figure 2 (p. 41) shows the process behavior chart for the data and indicates the data have serial correlations, trends and, quite possibly, seasonality.

Autocorrelation and Seasonality

Autocorrelation affects the process behavior chart in two ways:

1. Excessive autocorrelation will have a visible impact on the running record.
2. Excessive autocorrelation will have an impact on the calculated 3σ limits.

The key word here is excessive. Small autocorrelations will have little impact on either the running record or the 3σ limits. Autocorrelations larger than 0.8, however, will lead to narrowing of the control limits. In this data set,

there's a large correlation coefficient of 0.977 at lag one, which indicates the calculated limits would be narrow.

You can calculate the sigma for correlations using this corrected formula:²
 $\sigma = R \text{ bar} / (1.128 \times \text{square root of } (1 - R\text{-square}))$. In this case, $\sigma = 12.43$ instead of 2.65 and yields the control chart in Figure 3 (p. 41). The graph indicates there are no points outside the adjusted 3σ limits; however, the data clearly indicate trends and some seasonality.

To deal with the possibilities of seasonality that could be present in your data, you should use a method such as the one recommended by Donald Wheeler in *Making Sense of Data*.³ Follow these steps when you suspect your data contain seasonal patterns:

1. Plot the data in a running record. If a repeating pattern is apparent, then proceed to step two. If not, then proceed to step six.
2. Use a few complete cycles of seasonal patterns (at least two years' worth of data) to obtain seasonal relatives. Three or more years of data can be used, but studying data that are more than four years old is like studying ancient history. Calculate seasonal relatives by dividing each month's value by the average value for that year.
3. Place seasonal relatives on an average range chart (X-MR) where each subgroup represents a single season (a year in this case). Points just outside the limits on the average chart indicate detectable seasonal effects, and points far outside the limits indicate strong seasonal effects. If the data show only weak seasonality, then proceed to step six.
4. Estimate the seasonal factors for every period. The seasonal factors must add up to five for a five-day period, seven for a seven-day period, four for a quarter and 12 for a month.
5. Deseasonalize baseline and future values by dividing each value by the seasonal factor for that period. Place these values on an X-MR chart. Use them to compute limits for future values and interpret future values using conventional control chart tests for special causes.
6. Place individual values on an X-MR chart. If the chart is useful, then interpret it the usual way. If the limits on the X chart are so wide they do not provide any useful information about your process, except that noise is present, then proceed to step seven.
7. When noise dominates a time series, it essentially becomes a report card of the past. In this case, it can still be helpful to plot a running record of the individual values with a year-long moving average superimposed to show the underlying trends.

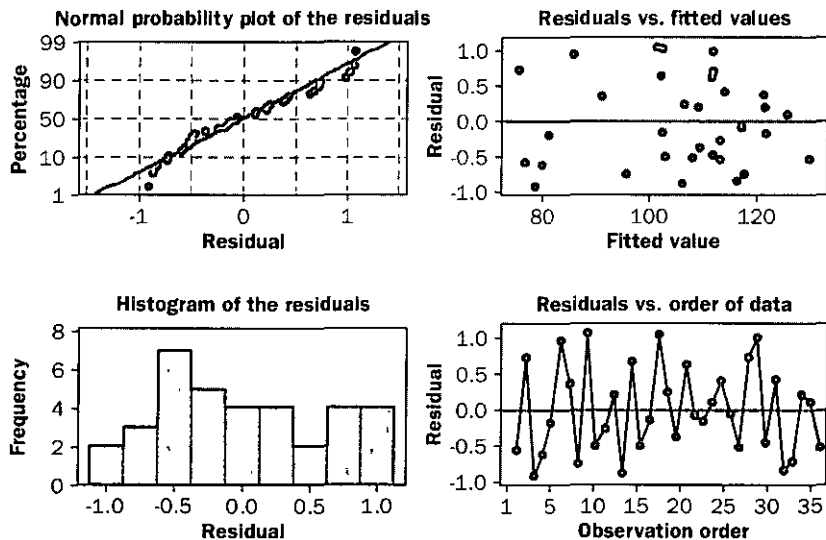
Based on the data in this article, the graph for stage three, as outlined in

Table 1. Data Set

| Month | Sales | Year |
|-------|-------|------|
| 1 | 77.2 | 1 |
| 2 | 76.0 | 1 |
| 3 | 76.2 | 1 |
| 4 | 77.5 | 1 |
| 5 | 79.0 | 1 |
| 6 | 80.8 | 1 |
| 7 | 86.7 | 1 |
| 8 | 91.5 | 1 |
| 9 | 94.8 | 1 |
| 10 | 102.3 | 1 |
| 11 | 107.6 | 1 |
| 12 | 112.7 | 1 |
| 13 | 109.3 | 2 |
| 14 | 105.1 | 2 |
| 15 | 102.8 | 2 |
| 16 | 102.3 | 2 |
| 17 | 102.2 | 2 |
| 18 | 103.3 | 2 |
| 19 | 106.6 | 2 |
| 20 | 109.0 | 2 |
| 21 | 112.2 | 2 |
| 22 | 117.1 | 2 |
| 23 | 121.5 | 2 |
| 24 | 125.8 | 2 |
| 25 | 121.5 | 3 |
| 26 | 117.1 | 3 |
| 27 | 112.6 | 3 |
| 28 | 112.5 | 3 |
| 29 | 112.7 | 3 |
| 30 | 111.4 | 3 |
| 31 | 114.2 | 3 |
| 32 | 115.5 | 3 |
| 33 | 116.8 | 3 |
| 34 | 121.6 | 3 |
| 35 | 125.9 | 3 |
| 36 | 129.2 | 3 |

Figure 1. Regression Analysis

Residual plots for sales



| Row | Sales | Prediction | Residual |
|-----|-------|------------|----------|
| 1 | 77.2 | * | * |
| 2 | 76.0 | 76.560 | -0.56025 |
| 3 | 76.2 | 75.461 | 0.73945 |
| 4 | 77.5 | 78.416 | -0.91646 |
| 5 | 79.0 | 79.608 | -0.60780 |
| 6 | 80.8 | 80.982 | -0.18243 |
| 7 | 86.7 | 85.726 | 0.97428 |
| 8 | 91.5 | 91.133 | 0.36743 |
| 9 | 94.8 | 95.531 | -0.73137 |
| 10 | 102.3 | 101.225 | 1.07499 |
| 11 | 107.6 | 108.098 | -0.49813 |
| 12 | 112.7 | 112.955 | -0.25514 |
| 13 | 109.3 | 109.093 | 0.20699 |
| 14 | 105.1 | 105.977 | -0.87719 |
| 15 | 102.8 | 102.128 | 0.67175 |
| 16 | 102.3 | 102.793 | -0.49312 |
| 17 | 102.2 | 102.335 | -0.13492 |
| 18 | 103.3 | 102.243 | 1.05673 |
| 19 | 106.6 | 106.345 | 0.25493 |
| 20 | 109.0 | 109.369 | -0.36924 |
| 21 | 112.2 | 111.569 | 0.63136 |
| 22 | 117.1 | 117.171 | -0.07065 |
| 23 | 121.5 | 121.661 | -0.16109 |
| 24 | 125.8 | 125.693 | 0.10668 |
| 25 | 121.5 | 121.098 | 0.40194 |
| 26 | 117.1 | 117.157 | -0.05747 |
| 27 | 112.6 | 113.125 | -0.52524 |
| 28 | 112.5 | 111.774 | 0.72600 |
| 29 | 112.7 | 111.682 | 1.01764 |
| 30 | 111.4 | 111.866 | -0.46564 |
| 31 | 114.2 | 113.768 | 0.43196 |
| 32 | 115.5 | 116.334 | -0.83400 |
| 33 | 116.8 | 117.525 | -0.72535 |
| 34 | 121.6 | 121.386 | 0.21384 |
| 35 | 125.9 | 125.785 | 0.11504 |
| 36 | 129.2 | 129.726 | -0.52555 |

| Regression analysis: sales vs. previous month, first, second and third quarter | | | | | |
|---|--------------------|----------------|--------------|----------|---------------------------|
| Regression equation: Sales = 14.3 + 0.916 previous month - 8.54 first quarter - 5.76 second quarter - 2.67 third quarter. | | | | | |
| 35 cases used, 1 case contained missing values. | | | | | |
| Predictor | Coefficient | SE coefficient | T-value | P-value | Variance inflation factor |
| Constant | 14.3488 | 0.9236 | 15.54 | 0.000 | |
| Previous month | 0.916416 | 0.007928 | 115.59 | 0.000 | 1.2 |
| First quarter | -8.5358 | 0.3188 | -26.77 | 0.000 | 1.5 |
| Second quarter | -5.7632 | 0.3283 | -17.55 | 0.000 | 1.7 |
| Third quarter | -2.6695 | 0.3163 | -8.44 | 0.000 | 1.6 |
| S = 0.643914 R-square = 99.8% R-square (adjusted) = 99.8% | | | | | |
| Sum of squares of the prediction errors = 17.3649 R-square (predicted) = 99.77% | | | | | |
| Analysis of variance | | | | | |
| Source | Degrees of freedom | Sum of squares | Mean squares | F-value | P-value |
| Regression | 4 | 7.556.6 | 1.889.2 | 4,556.29 | 0 |
| Residual error | 30 | 12.4 | 0.4 | | |
| Total | 34 | 7.569.1 | | | |

Figure 2. **Process Behavior Chart**

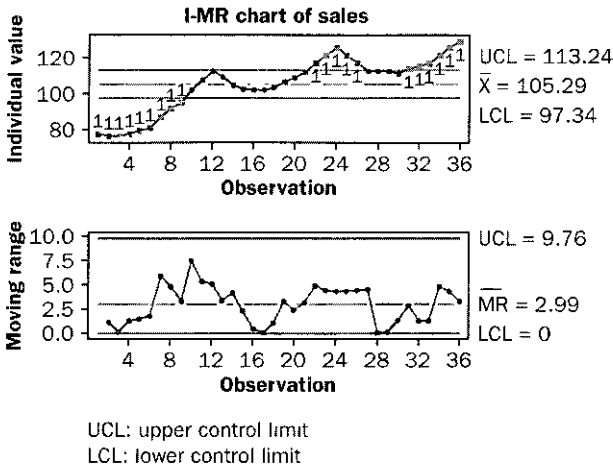


Figure 3. **Corrected Control Limits Compensating for Autocorrelations**

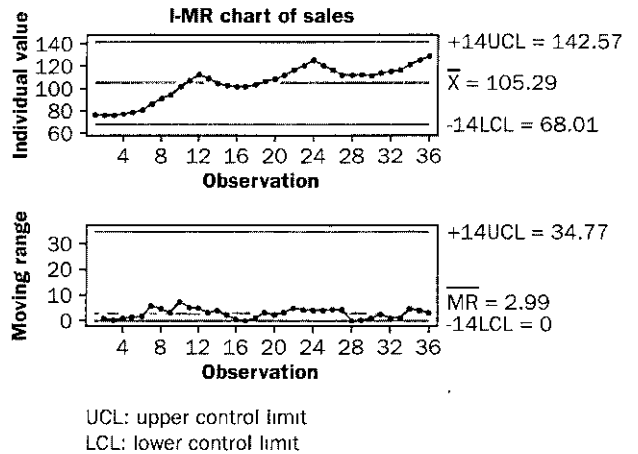


Figure 4. **Graph for Stage Three**

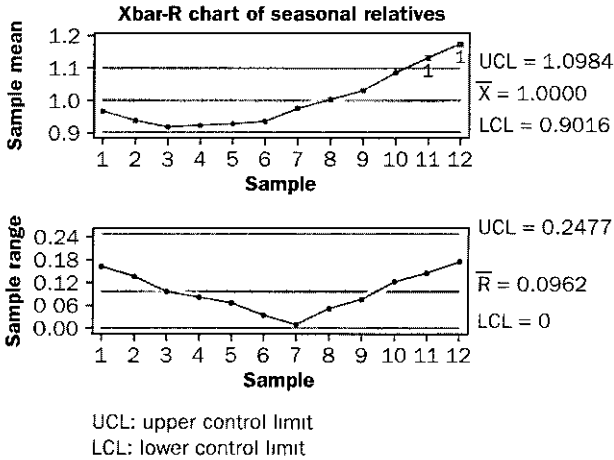
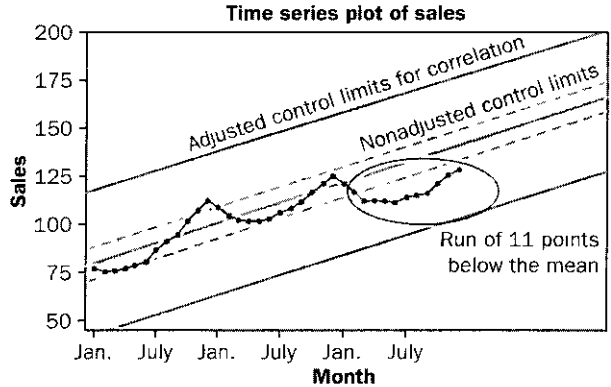


Figure 5. **Trended Control Chart**



the steps above, indicates moderate seasonality for November and December (Figure 4). Therefore, the only factor that impacts the process is a trend in the data, not the seasonality.

Process Behavior

To better understand the process, you can develop a trended control chart based on the first two years' performance and then try to evaluate the

performance of the third year using the control limits established earlier.

Figure 5 shows a trended control chart⁴ with two control limits. One set of limits is based on the actual data without considering the autocorrelation and the other is adjusted for the autocorrelation of the data set.

If you try to view the graph from the nonadjusted control limits perspective, you will find indications of exceptional variation in November and December in

AN APPROACH BASED ON PROCESS BEHAVIOR CHARTS NOT ONLY ALLOWS YOU TO UNDERSTAND THE PROCESS, IT ALSO ALLOWS YOU TO CREATE FORECASTS BASED ON PREDICTABILITY OF THE PROCESS AND HELPS YOU UNDERSTAND THE PROCESS FROM A CAUSE AND EFFECT PERSPECTIVE.

the first year, just as illustrated by the seasonal relative graph. You will also find an indication of exceptional variation from March through December in the third year because all the data points are outside the control limits. Even if you view the graph from the adjusted control limits perspective, you will find a run of 11 points below the average, which indicates a special cause in the process.

Thus, you can be certain a special cause affected the process around the second month of the third year, and the process behaved differently in the third year than in the first two years. (Note: The regressive model created by Conklin did not identify any such special cause. His model assumed the conditions impacting the sales process were constant throughout the three-year period. This assumption would often not be validated in the real world.)

Conklin ended his article by saying, "The linear regression equation can be used to predict the future sales. As long as the predictions reasonably match reality, the company is in a good position to manage its business. If results begin to diverge substantially,

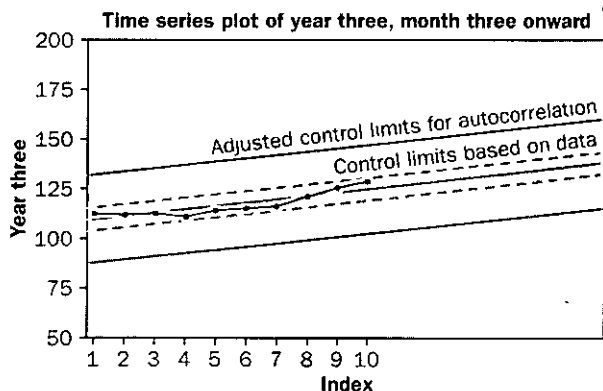
however, the company should investigate whether forces affecting sales have begun to change."

The analysis of Figure 5 clearly indicates you would not be able to understand the change in the sales process using the autoregressive model. Though you would have a model with a high R-square, it would not help you identify the change in the underlying process.

As a quality practitioner, your challenge is not only to create a forecast, but also to install a monitoring process that indicates changes in the underlying process. A process that displays predictable variation is consistent over time and allows you to use the past as a guide to the future. If you had used the technique presented in this article instead of time series modeling, you would have noticed the process was changing around the third month of the third year, and you could have initiated corrective and preventive actions.

Because the process behavior changed in the third month of the third year, it now makes sense to recalculate the control limits and monitor the next year based on the behavior of the third year (see Figure 6). This new control chart clearly indicates the process is stable and exhibits natural variation only. You can now use the past to predict the future.

Figure 6. **New Trended Control Chart**



Projected Sales

Approximately 85% of the observations from a predictable process will fall within the middle 50% of the limits, so you can assume a most likely forecast: center line $\pm 1.5\sigma$.

To establish the trend per month, divide the data into two halves and calculate the average for each half. Plot one average at the mid-point of the first region and the other at the mid-point of the second region. Connect the two points to create the trend line. The trend per period = (average of the latest period - average of the old period) / number of periods that sepa-

rate the two plotted points. In this example, the trend per month = $(121.8 - 112.68)/5 = 1.824$.

Projected sales for the next six months based on the above formula are:

- Month 37: 130.92, with a most likely forecast between 128.05 and 133.79.
- Month 38: 132.74, with a most likely forecast between 129.87 and 135.61.
- Month 39: 134.56, with a most likely forecast between 131.69 and 137.43.
- Month 40: 136.39, with a most likely forecast between 133.53 and 139.25.
- Month 41: 138.21, with a most likely forecast between 135.3 and 141.08.
- Month 42: 140.04, with a most likely forecast between 137.18 and 142.91.

An approach based on process behavior charts not only allows you to understand the process, it also allows you to create forecasts based on predictability of the process and helps you understand the process

from a cause and effect perspective.

Remember, the best analysis is the simplest analysis that provides you with the necessary information. It doesn't make sense to chase models based on past data without first verifying whether the process was stable and predictable. Data are generated by processes or systems that, like everything in this world, are subject to change.

REFERENCES

1. Joseph D. Conklin, "3.4 per Million: When Your Process Has Runs, Trends and Cycles," *Quality Progress*, March 2005, p. 64.
2. Donald Wheeler, *Advanced Topics in Statistical Process Control*, second edition, SPC Press, 2004.
3. Donald Wheeler, *Making Sense of Data*, SPC Press, 2003.
4. *Ibid.*

WHAT DO YOU THINK OF THIS ARTICLE? Please share your comments and thoughts with the editor by e-mailing godfrey@asq.org.

EXCEL
PARTNERSHIP, INC.
An SAI Global Company

Six Sigma

Green Belt Training

CHICAGO, IL
October 10-14, 2005

ATLANTA, GA
October 31-November 4, 2005

SOUTHURY, CT
November 14-18, 2005

Black Belt Training

ORLANDO, FL
January 16-20, 2006
February 20-24, 2006
March 20-24, 2006
April 24-28, 2006

www.xlp.com

1-800-374-3818

A Dual Concept For Long-Term Success

USE INTEGRATED
PROFIT
MANAGEMENT
AND VISUAL
PROCESS
MANAGEMENT.

By Fritz W.
Weigang,
Institut für
Qualitätsmanagement

Six Sigma does not guarantee organizational success despite many examples of excellent results. Motorola, the inventor of Six Sigma, wrote the first success stories with millions of dollars in cost savings. But Motorola eventually had to lay off thousands of people. In Germany, its factory in Taunusstein was closed.

Another pioneer of the Six Sigma concept, Bombardier, the Canadian aircraft manufacturer, also had problems because of decreasing markets. Bombardier closed seven factories in Germany, Portugal and the United Kingdom, laying off about 6,000 employees in 2004 and so far in 2005.

Still, Six Sigma's value has been proven through the success of many organizations in the United States and other countries. What worked in the past, however, will not necessarily work tomorrow. Because major market changes combined with a lack of innovation will lead to loss of market share and profit for an organization, its long-term success cannot depend on Six Sigma alone. In fact, no one management concept will work for all organizations in all cases.

In the typical Six Sigma approach, about 1% of staff become Black Belts (BBs), while others become Green Belts or something similar. But what about the other 90 to 95%? Perhaps they get a half- or full-day training session but are normally not really involved in improvement processes.

But people resources are the most important organizational success factors—especially in medium-sized companies. If you give employees the right information and a degree of work freedom, you cannot prevent them from doing a good job.

This involvement of the other 90 to 95% of staff can be accomplished through an integrated profit management concept that includes Visual Process Management¹ and combines the advantage of the lean Six Sigma approach with this involvement of people.

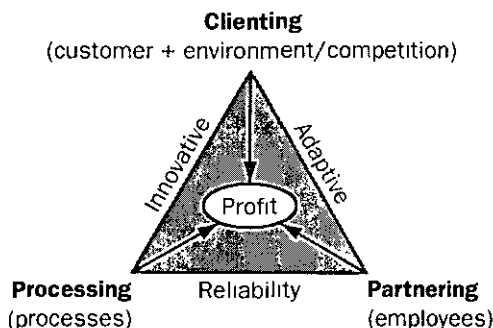
Integrated profit management (see Figure 1) combines:

- Clienting: customer orientation with concentration on the most important bottleneck in the organization.
- Partnering: People orientation.
- Processing: Improving product and processes.

Clienting

The success of a company requires concentration on doing the right things right. It is therefore necessary to view the customer as the secret president of

Figure 1. **Integrate Profit Management**



your company. Figure 2 provides an example of a clienting statement. To accomplish what the statement promises requires learning how to get and retain customer loyalty, as shown in Figure 3.

Focusing your efforts on too many markets or customer segments will waste company resources and bring only average results. You must concentrate your activities on the most effective points—just David as met the forehead of Goliath with his stone—by providing your target group with exactly what it wants.

If you then consider how you can influence this external target through internal activities you will find your internal bottleneck. Then you have to concentrate on the removal of the most important internal and external obstacles related to this target group. These internal factors are the right choices for lean Six Sigma projects (see Figure 4).

Most companies unfortunately engage in egocentric profit thinking today, which means they are looking only at short-term profit and not considering the consequences of activities for their employees and the environment.

Unfortunately, the usual Six Sigma strategy also focuses on short-term profits. This focus can destroy

Figure 2. **Clienting**

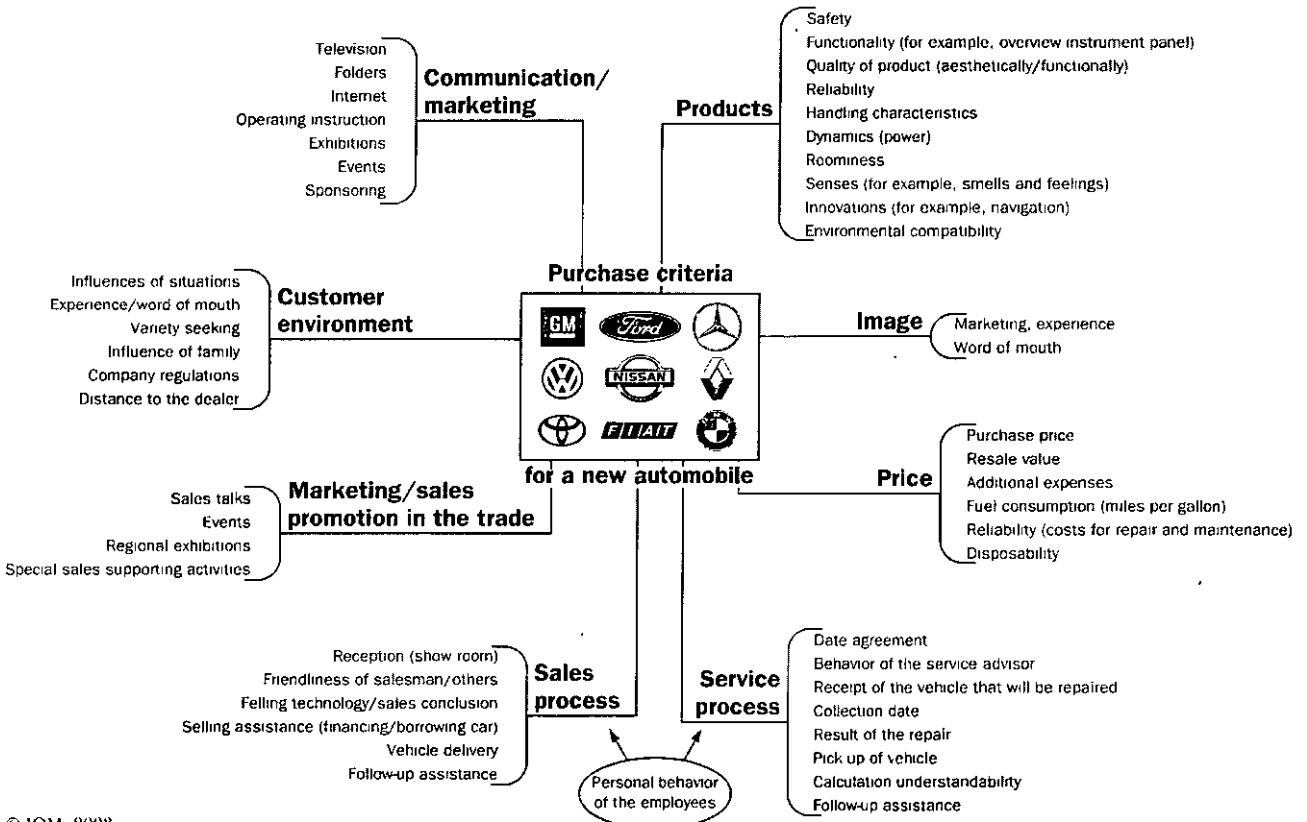
I am your client and therefore your boss!
 My customer loyalty determines your profit.
 You should therefore concentrate
 on my requirements.
 Don't do all things at the same time.
 but concentrate on the most
 important bottleneck!

© Institut für Qualitätsmanagement (IQM), 2004.

an organization's culture along with its long-term success. Readers are likely familiar with many U.S. examples of this short-term profit thinking. There are other examples worldwide, including Mannesmann-Rexroth in Germany.

But if you concentrate on satisfying your target group using integrated profit management, as I'll discuss later in this article, you will not only make more money (short-term profit) but also will have more long-term success, and your organization's employees will find much more job satisfaction.

Figure 3. **Customer Loyalty Realization Example**



Partnering

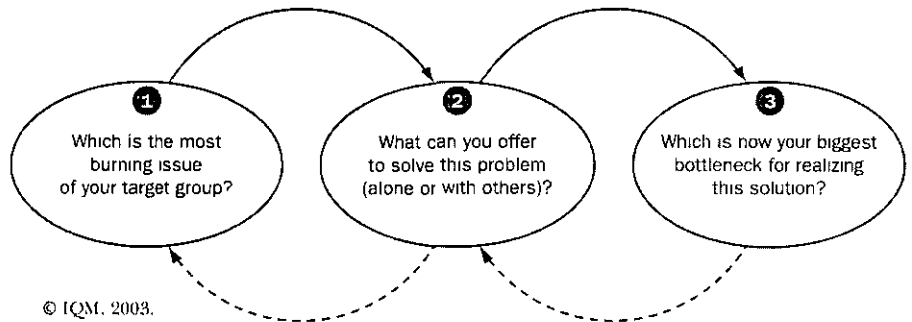
Figure 5 differentiates the material aspects of organizations on the right side and the nonmaterial on the left. The material covers factors such as process, performance, profits and loss calculations. Surprisingly, I believe this side's contributions account for only about 10 to 20% of long-term success. The left side of the figure, the nonmaterial side (attitude and culture) is much more important, counting for about 80 to 90%.

If you are in a crisis, as shown in the lower right of the figure, you will have a hard time going directly up to the higher level on the right. Instead, you have to first go to the left side and

change attitude and culture before returning to improve the material situation.

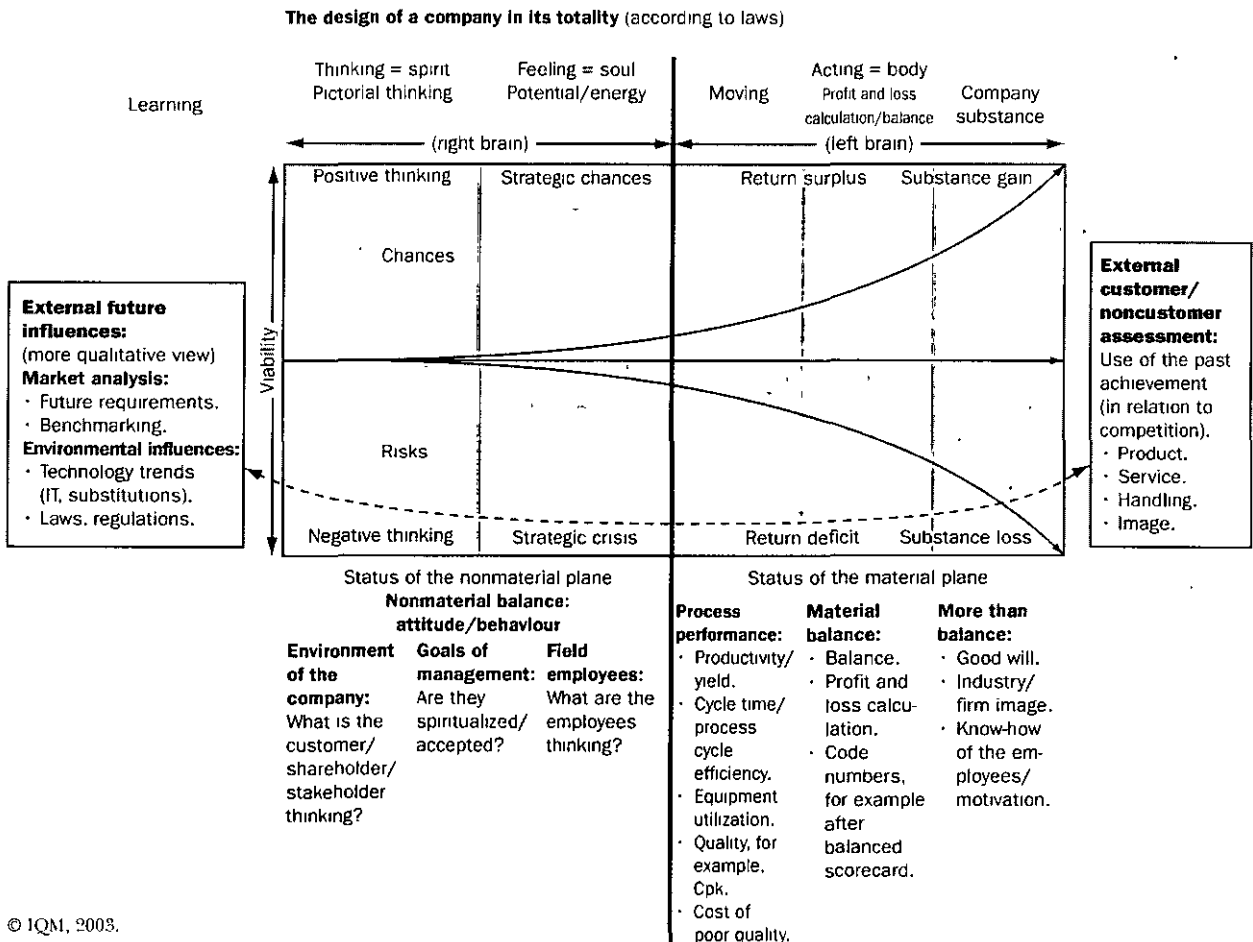
Take a well-known example in Germany. Philip Holtzmann, a construction company, was bankrupt in 1999, and our federal chancellor, Gerhard Schröder, gave it 100 million deutschmarks (at that time, about

Figure 4. **Ideal Problem Solving Chain**



© IQM, 2003.

Figure 5. **Material and Nonmaterial Parts of an Organization**



© IQM, 2003.

\$60 million U.S. dollars) to save jobs. After a year and a half, the company was bankrupt again, and public opinion prevented Schröder from bailing it out again.

Philip Holtzmann did not change its attitude and culture but continued to do business the same as before. If you don't change the attitudes and culture of top management and think only of short-term shareholder benefit (which frequently puts money into the pockets of top management), you will not gain long-term success. The same holds true for Six Sigma.

Unfortunately, bankers and shareholder ratings frequently consider only the right side of the figure—the material side—which is not as important for long-term success.

While layoffs often increase shareholder ratings, the organization will lose momentum on the left side, and that often leads to long-term disadvantage. Through short-term personnel strategies, which are only cost oriented, you destroy your long-term organizational social capital.

Processing

Clienting and partnering are the necessary mental preparation for the integrated profit management concept, but without the third phase—processing or realization with clear steps—it will not work. This reveals the advantage of Six Sigma. Professional quality activities should lead to avoiding tomorrow's mistake, not simply to measuring today's mistakes.

Figure 6 shows the combination of cost, time and quality as evidenced by lean Six Sigma. Lean is concentrated more on the reduction of cycle time and waste, while Six Sigma focuses more on variation. The three parts in the figure are connected with a kind of invisible rubber band. If you stretch at one point—time, for example—you will also change the other parts.

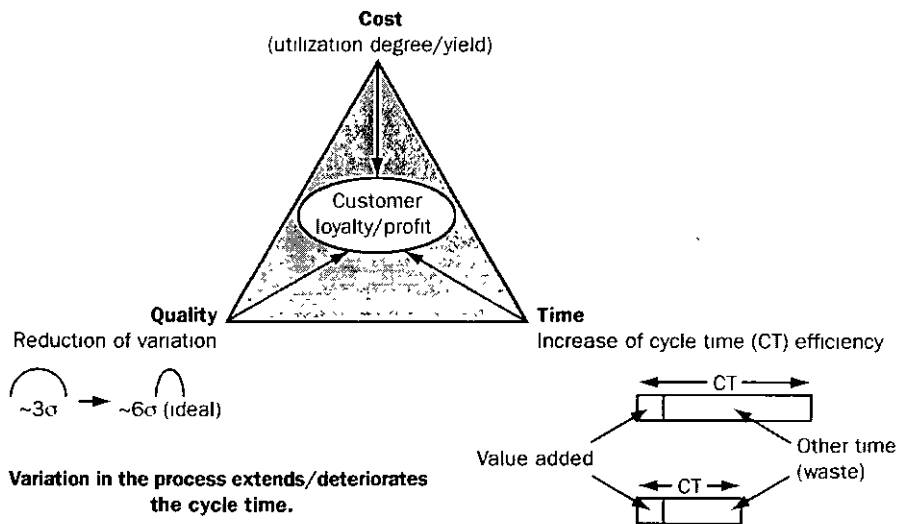
To show this combination together with other concepts and tools, I have developed what I call success stairs. Figure 7 is an example for a manufacturing organization that combines Six Sigma, lean and Visual Process Management, which will be described later in this article.

The success stairs have four blocks and include five basic steps, three typical lean modules and a dual system for a total of 10 steps to get to the top block.

The five basic steps in the first block are Visual Process Management and consist of:

1. The five S's developed by Toyota for production employees,² with additional suggestions for management, to get rid of and prevent wrong projects and activities. The latter is called "the five S's for management."
2. Standardization, which involves much more than ISO 9000 or its sector specific derivations. It consists of pictorial presentations of processes with special checklists, lists for corrective actions if the process is going out of control, activities in which people measure and visualize the outcome of processes according to the results and productivity charts and special activities—about six times a year—that use posters, hints for management and supporting documents for production employees.
3. Fun during work—the best motivation—which is important for long-term success.
4. Process thinking, a realization of next operation as customer, which can be shown by using a supply, input, process, output, customer diagram, commonly known as a SIPOC diagram.
5. The goals for each process with measurement criteria.

Figure 6. **Combination of Cost, Time and Quality with Lean Six Sigma**



The second block consists of three steps—typical lean modules:

- 6. Total productive maintenance.
- 7. Reduction of setup times.
- 8. A pull system, which is customer oriented order handling and includes elements such as *kanban* and one-piece flow.

The third block, the dual system, has two steps:

- 9. For problems such as order handling that cannot be solved in one department and typical projects according to lean/Six Sigma.

10. Strong involvement of production workers using Visual Process Management.

The fourth block is self-assessment according to the European Foundation for Quality Management model or the Malcolm Baldrige National Quality Award criteria. This should be done yearly.

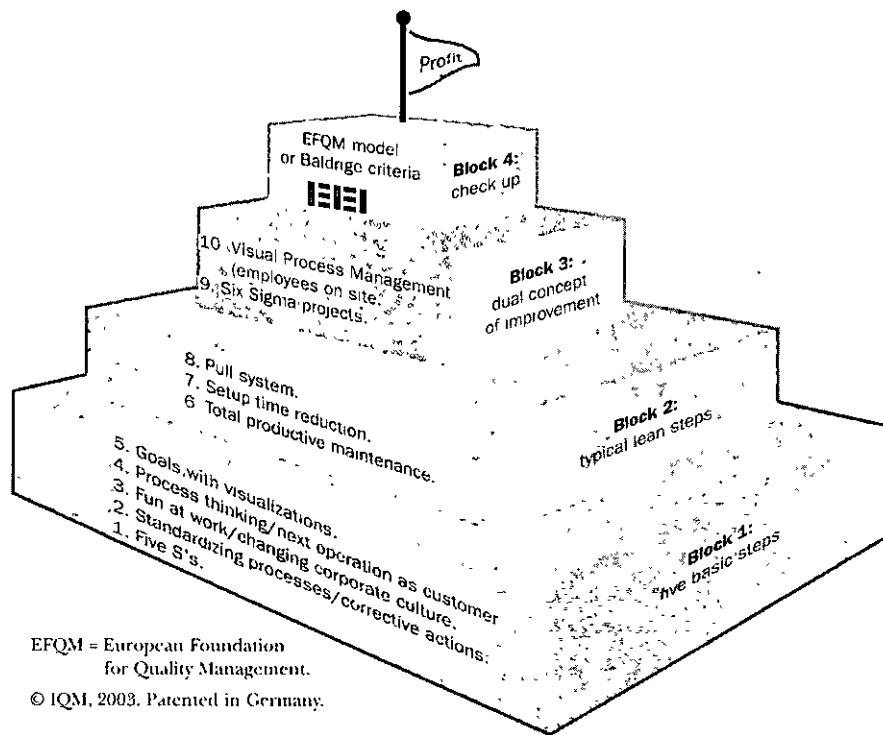
The success stairs don't have to be followed sequentially but can instead serve as a checklist. After a status analysis, determine and concentrate on the bottleneck you have at the moment. You can then enter the infinite success stairs, shown in Figure 8 (p. 24). If you follow this stairway, you will enter a higher level at every step along the way. It is important to see the infinite steps as a kind of never ending journey.

The Dual Concept

Using the dual concept of integrated profit management, it is necessary to first do the clienting phase, a careful status analysis to concentrate on the real bottleneck affecting the most important customer group (see Figure 9, p. 24). This status analysis includes:

- **Market analysis.** Determine customer requirements, competition activities, market developments, environmental issues, trends and other issues.
- **Process performance.** Assess the status of process performance by determining such things as process capability, the output and the cost of poor quality.
- **The vision and goals.** Use balanced scorecards

Figure 7. Success Stairs



if they are available.

- **Attitude and culture analysis.** Learn what management and the other employees think through interviews.

The four blocks in Figure 9 are grouped by their potential to cause problems. Next comes the important management task of selecting the vital few projects, which are then dealt with using lean Six Sigma procedures and by using Visual Process Management to influence activities of production employees through measuring, visualizing and improving.

Figure 10 (p. 25) shows how this concept with inter-departmental lean and Six Sigma projects for improvement and innovation is different from visual process management.

The training of a typical BB takes four weeks. Within this time the participants learn lot of statistics. Based on my experience, many participants don't like statistics and thus don't use what they learned in their projects.

A special course held four days a week over two weeks can meet the requirements of employees of mid-sized companies. There are no "belts" involved. Instead, the goal is to develop quality improvement experts who can handle the usual problems.

My course teaches Dorian Shainin's industrial

problem solving method,³ particularly variable research for design of experiments, and uses either Minitab or Statistica software. Taught the right way, it is possible for employees to solve more than 90 to 95% of a mid-sized company's usual problems after taking such a course.

To solve other problems for which the use of more sophisticated statistics is necessary, organizations may first need to use a coach and then let their employees gradually become more interested in statistics as they actually work on projects.

Visual Process Management

Typical business decisions for strategic and high level operational activities don't normally result in a long-lasting competitive advantage because your com-

petition can quickly catch up. The difference between excellent organizations and others is how they handle processes involved in day-to-day work.

Typical processes include much waste, which, unfortunately, is not usually noticed. Management usually pays attention to big projects, not to smaller mistakes. But these smaller mistakes are like a virus, which can spread and cause many more small problems.

Figure 8. **Infinite Success Stairs**

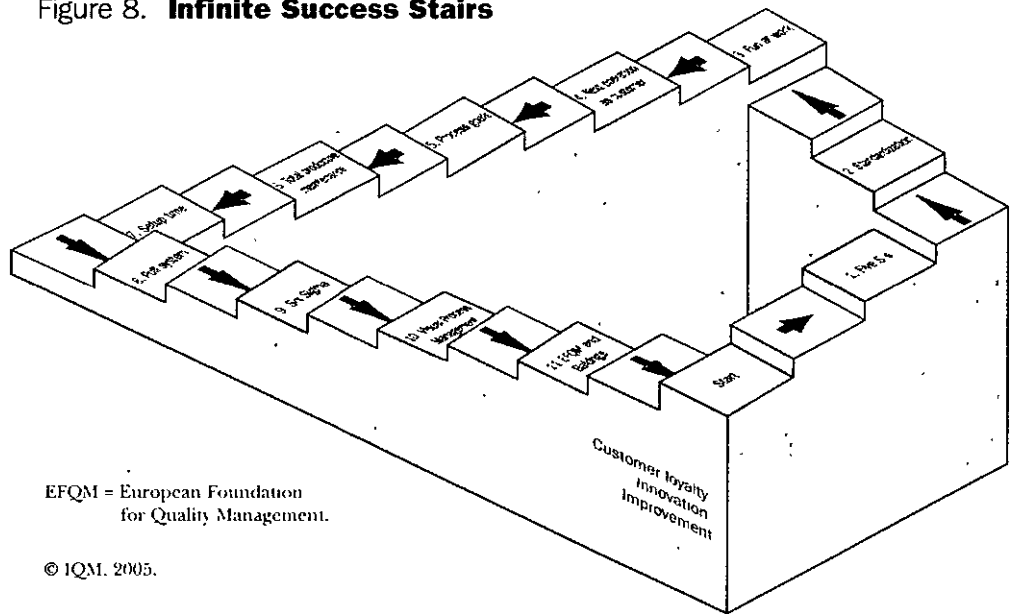


Figure 9. **Formula for Profit**

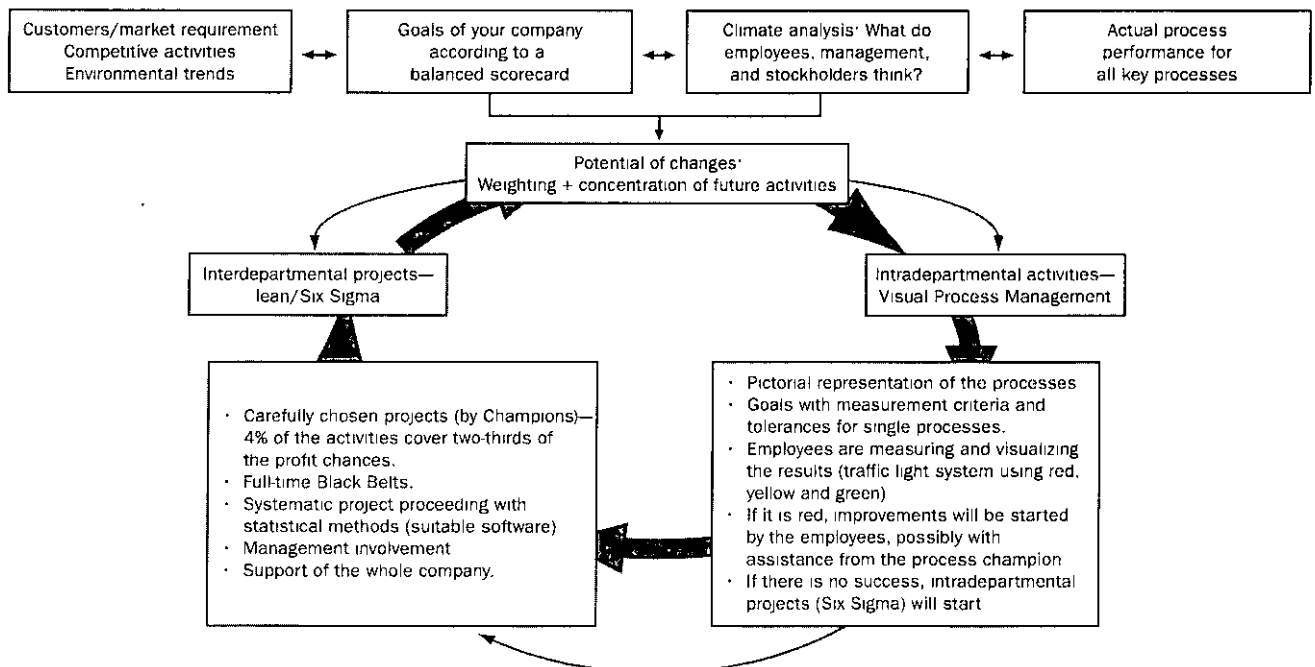


Figure 10. **Visual Process Management (Basic Level)**

A good micro-process is a necessary fundamental for Six Sigma projects.

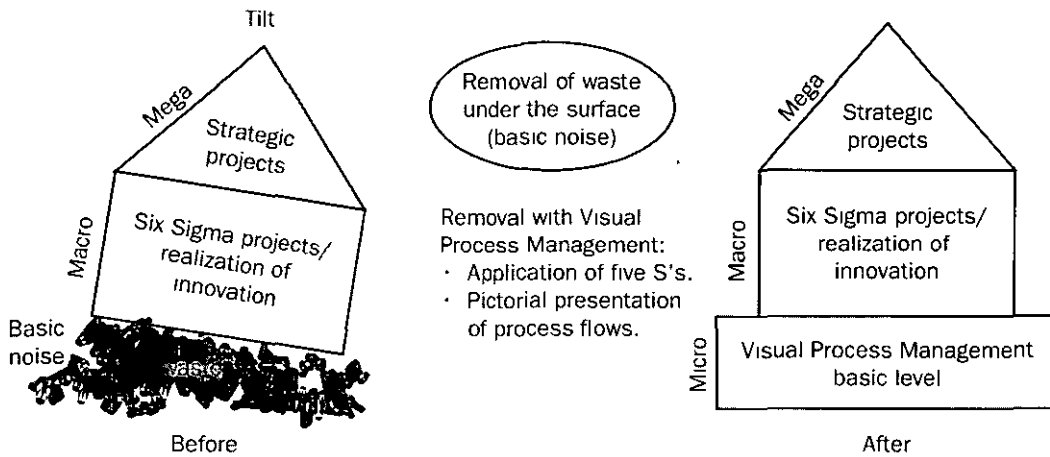


Figure 10 shows the important macro and mega projects suffer from hidden waste. But management is astonished when the benefits of Six Sigma projects decrease with time—the consequence of hidden waste.

Reducing this waste through Visual Process Management provides real long-term benefit. Visual Process Management uses pictures and graphics, which leads to easier, more enjoyable learning. The roadmap consists of three levels (see Figures 11 and 12):

1. Basic.
2. Build-up.
3. Supplemental.

Basic level. The basic level consists of three stairs in which employees detect waste after training. Then they start with improvement activities according to the five S's and pictorial standardization.

Build-up level: The build-up level also consists of three stairs. At this level, the company goals are deployed to process goals with measurement criteria and tolerances. After special training, employees start to measure and visualize the output of the process. If there is need, they then begin with improvement activities according to a special structure.

The employee starts doing his or her own improvement work. If the work is not successful, the process owner will help; if it's still not successful, a Six Sigma project will be started.

I developed a special suggestion system, which when added to the build-up activities, gives production employees an opportunity to work on their own ideas.

Supplemental level: Many programs are started, but enthusiasm frequently decreases over time, and programs die slowly but surely. Use of productivity charts and special benchmarking, along with incentive activities, can prevent this.

The productivity charts are self-evaluations, usually

Figure 11. **Build-up and Supplemental Levels**

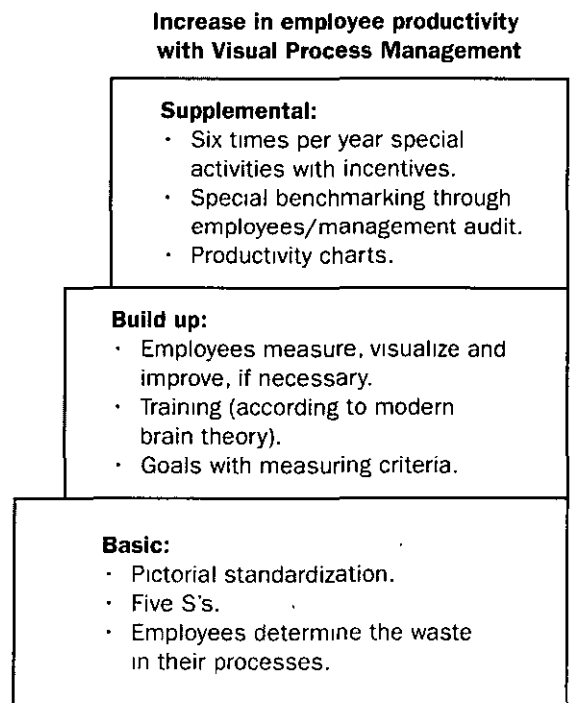
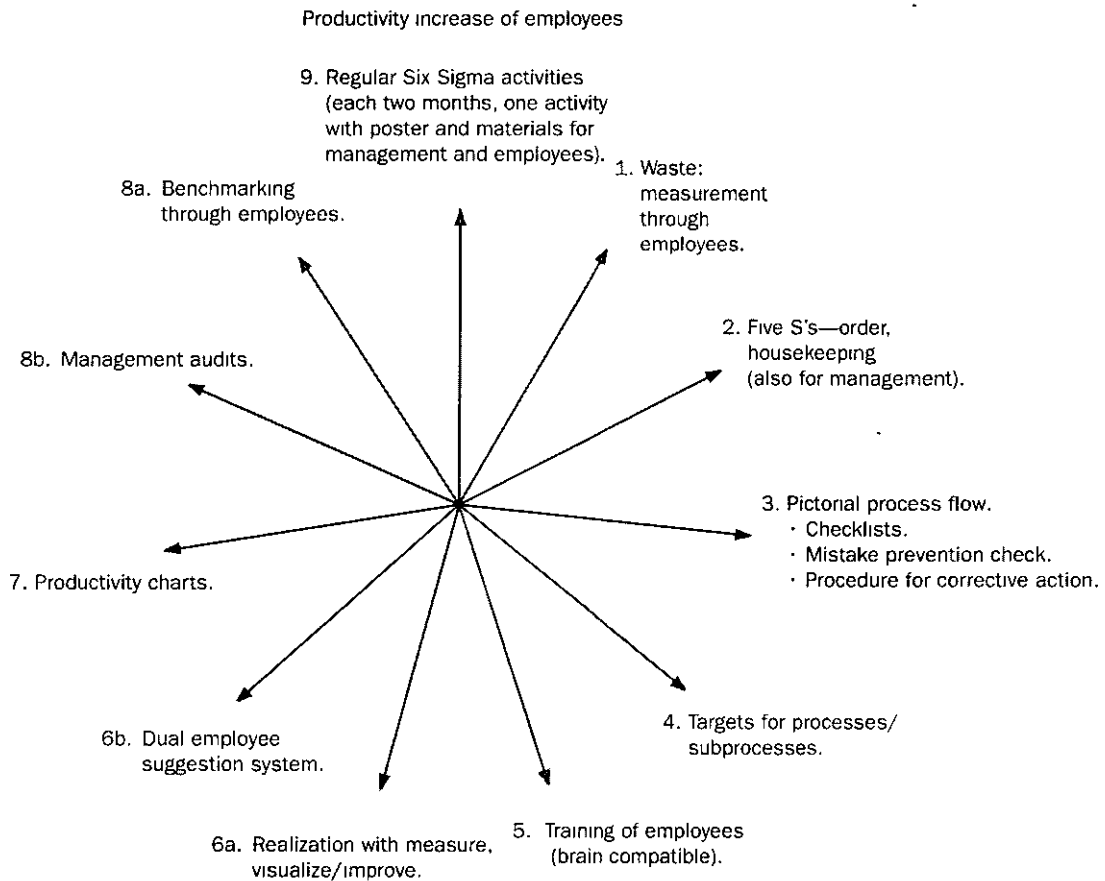


Figure 12. **Visual Process Management Steps To Increase Employee Productivity**



of production employees, at regular intervals. The charts are completed using weighted targets from management, evaluation of actual or estimated past data and development of neutral scores. Processes or subprocesses are improved through friendly competition with incentives.

The production employees benchmark their status against leading organizations worldwide. Managers conduct audits twice a year—but not in their areas. For example, the sales director might audit production and vice versa.

Every two months, production employees are assigned a special, clearly defined task, such as reduction of cycle time. The task is explained using documents and a humorous poster. Production management also gets clear instructions.

The structured combination of integrated profit management with Visual Process Management (see Figure 12) is a formula for increasing the productivity of production employees and for long-term success. But such success depends on the behavior of

members of top management, whose deeds should be so loud that you can't hear their words.

ACKNOWLEDGMENTS

The author thanks J.M. Juran and Michael L. George for their writings and seminar presentations.

REFERENCES AND NOTES

1. The Visual Process Management model is patented in the Munich, Germany, patent office.
2. The five S's are Japanese terms, with their English translations also beginning with S (sort, set in order, sanitize, standardize and sustain). They are used to create a workplace suited for visual control and lean production.
3. Dorian Shainin, www.asq.org/about-asq/who-we-are/bio_shainin.html.

WHAT DO YOU THINK OF THIS ARTICLE? Please share your comments and thoughts with the editor by e-mailing godfrey@asq.org.