

LEAN SIX SIGMA GREEN BELT

PRIMER OPEX MENTOR



OPEX
MENTOR

**PRIMER
OPEX MENTOR
GREEN BELT**

Guía para la Certificación Lean Six Sigma Green Belt

OPEX MENTOR

San José, Costa Rica

202

Índice

Glosario	9
-----------------------	---

Capítulo 1. Fundamentos de Lean Six Sigma

1.1	Introducción a Six Sigma 6σ	11
1.2	Liderazgo Organizacional	16
1.3	Procesos del negocio.....	19
1.4	Historia de la Calidad.....	20
1.5	Enlace de Proyectos con Metas Organizacionales	21
1.6	Proyectos	30
1.7	Pensamiento Lean	35

Capítulo 2. Etapa: Definir

2.1	Administración de Procesos de Negocio	64
2.2	Elementos del Proceso	65
2.3	Dueños e Interesados (Stakeholders).....	67
2.4	Identificar al Cliente	68
2.5	Requerimientos Críticos del Cliente	74
2.6	Equipos de Trabajo.....	79
2.7	Herramientas de Equipo	90
2.8	Project Charter	101
2.9	Diagramas de Pareto.....	104
2.10	Diagramas de Flujo	105
2.11	Voz del Cliente (VOC)	106
2.12	Modelo de Kano	107
2.13	Árbol de Características Críticas para la Calidad (CTQ).....	108
2.14	Selección de Métricas	109

2.15	Herramientas de Planificación.....	111
2.16	Documentación del Proyecto	115
2.17	Análisis y Administración del Riesgo	118
2.18	Informe Final	119
2.19	Las Siete Herramientas de Planificación y Administración	120
2.20	Métricas Six Sigma.....	125

Capítulo 3. Etapa: Medir

3.1	Documentación y Análisis de Procesos.....	133
3.2	Mapeo de Procesos.....	133
3.3	Tipos de Datos y su Recolección	143
3.4	Estadística Descriptiva	152
3.5	Métodos Gráficos.....	157
3.6	Análisis de Patrones y Tendencias	161
3.7	Tipos de Distribuciones	176
3.8	Medición	188
3.9	Métodos de Gráficos de Control.....	194
3.10	Estudios de Capacidad de Proceso.....	196
3.11	Variación del Sistema	206
3.12	Índices de Capacidad y Desempeño	207

Capítulo 4. Etapa: Analizar

4.1	Análisis Multi-Variado.....	210
4.2	Modelo Lineal Simple	212
4.3	Coficiente de Correlación.....	213
4.4	Recomendaciones sobre el Análisis de Regresión	215
4.5	p-Value (Valor p)	217
4.6	Pruebas de Hipótesis.....	218

4.7	Cálculo de la muestra.....	224
4.8	Análisis de Varianza ANOVA.....	227
4.9	La distribución F.....	227
4.10	Prueba Chi-Cuadrado (X^2).....	230

Capítulo 5. Etapa: Mejorar

5.1	Introducción.....	232
5.2	Aplicaciones del DOE.....	233
5.3	Implementar y Validar Soluciones.....	245

Capítulo 6. Etapa: Control

6.1	Control Estadístico de Procesos.....	248
6.2	Gráficos de Control.....	252
6.3	Gráficos de Control para Variables.....	253
6.4	Gráficos de Control para Atributos.....	253
6.5	Gráficos \bar{x} Barra R.....	254
6.6	Gráficos \bar{X} Barra y Sigma.....	255
6.7	Gráficos de Control de la Mediana.....	256
6.8	Gráficos \bar{x} -MR.....	256
6.9	Gráficos $M\bar{X}$ -MR.....	257
6.10	Gráficos de Atributos.....	257
6.11	Fuera de Control.....	257
6.12	Planes de Control.....	259

Apéndices

Bibliografía

Índice de Figuras

Figura 1.1 Cambio de $\pm 1,5$ sigmas y niveles de defectuosos posibles.....	12
Figura 1.2 Ciclo DMAIC. Fuente: Elaboración propia.....	13
Figura 1.3 Ocho (8) elementos. Fuente: Elaboración propia.....	14
Figura 1.4 Elementos de un proceso. Fuente: Elaboración propia.....	20
Figura 1.5 Cuadro de Mando Integral.....	26
Figura 1.6 Ciclo PDCA.....	32
Figura 1.7 Íconos para mapeo del flujo de valor.....	45
Figura 1.8 5 S.....	46
Figura 1.9 Ocho mudas.....	52
Figura 1.10 Función de Despliegue de la Calidad (QFD).....	59
Figura 1.11 Pasos de alto nivel para un FMEA.....	60
Figura 2.1 Diagrama SIPOC.....	65
Figura 2.2 Pirámide de los Cinturones (Belts) de Lean Six Sigma.....	82
Figura 2.3 Etapas de desarrollo de un equipo.....	86
Figura 2.4 Matriz de resolución de conflictos.....	98
Figura 2.5 Diagrama de Pareto.....	105
Figura 2.6 Modelo de Kano.....	108
Figura 2.7 Ejemplo de árbol de CTQs.....	109
Figura 2.8 Ejemplo de tabla y diagrama PERT.....	113
Figura 2.9 Ejemplo de diagrama de Gantt.....	115
Figura 3.1 Ejemplo de diagrama de flujo.....	136
Figura 3.2 Ejemplo de instrucciones de trabajo.....	139
Figura 3.3 Modelo SIPOC.....	141
Figura 3.4 Tabla Tipos de datos Variables.....	145
Figura 3.5 Las cuatro escalas de medición.....	146
Figura 3.6 Hoja de Registro de Información.....	148
Figura 3.7 Lista de revisión para el proceso de reunión.....	149

Figura 3.8 Comparación de la tendencia central en distribuciones simétricas y asimétricas.....	154
Figura 3.9 Ejemplo de Histograma	156
Figura 3.10 Ejemplo de Histograma con Modelo superpuesto	156
Figura 3.11 Ejemplo de box plot.....	157
Figura 3.12 Ejemplo de tallo y hojas	158
Figura 3.13 Ejemplos de diagramas de dispersión.....	160
Figura 3.14 Ejemplos de coeficientes de correlación	160
Figura 3.15 Ejemplos de tendencias	162
Figura 3.16 Ejemplos de histogramas.....	163
Figura 3.17 Proceso normalmente distribuido	164
Figura 3.18 La distribución normal.....	165
Figura 3.19 Distribución de valores individuales versus promedios.....	175
Figura 3.20 Resultados del Teorema de Límite Central para diversas poblaciones.....	176
Figura 3.21 Árbol de decisión para distrib. continuas y discretas.....	177
Figura 3.22 Ejemplos de la Distribución Binomial	179
Figura 3.23 Ejemplos de la Distribución Poisson	181
Figura 3.24 La función Densidad de Probabilidad Normal Estándar	182
Figura 3.25 Función densidad de Probabilidad Chi Cuadrado.....	184
Figura 3.26 Función densidad de probabilidad t.....	185
Figura 3.27 Cómo determinar cuándo se debe utilizar la distribución z o la distribución t.....	186
Figura 3.28 La función densidad de probabilidad.....	187
Figura 3.29 Distinción gráfica entre Exactitud y Precisión	190
Figura 3.30 Una comparación del ancho del proceso con el Rango de tolerancia.	197
Figura 3.31 Proceso inestable, Promedio y Variación fuera de Control	201
Figura 3.32 Ejm de Anchos de Proceso comparados con la tolerancia.	203

Figura 3.33 Valor Z.....	204
Figura 4.1 Variación de muestras.....	212
Figura 4.2 Diagramas de dispersión que representan una correlación cero, débil y fuerte	213
Figura 4.3 Diagramas de dispersión con correlación negativa perfecta y correlación positiva perfecta	214
Figura 4.4 Valores de Correlación.....	215
Figura 4.5 Características de Coeficiente de Correlación.....	215
Figura 4.6 Llamadas de ventas y copiadoras vendidas de 10 vend.....	216
Figura 4.7 Cálculo del coeficiente de correlación.....	216
Figura 4.8 Pasos para Prueba de Hipótesis	219
Figura 4.9 Decisiones sobre Hipótesis.....	221
Figura 4.10 Distribución muestral de la estadística z; prueba de una cola a la derecha; nivel de significancia de 0,05	222
Figura 4.11 Reg. de rechazo de las pruebas de 1 y 2 colas; $\alpha = 0,01$	224
Figura 4.12 Distribución F.....	228
Figura 4.13 Distribución Chi Cuadrada	231
Figura 6.1 Componentes de la variabilidad.....	252
Figura 6.2 Ejemplo de cada una de las posibles variaciones.	258
Figura 6.3 Interpretación de los gráficos de control	259
Figura 6.4 Formato ilustrativo de un plan de control.....	262

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Gurús de la Calidad.....	20
Tabla 1.2 Evaluación de áreas.....	22
Tabla 1.3 Ejemplos de métricas.....	24
Tabla 1.4 Tipos de FMEAs y su descripción.....	61
Tabla 2.1 Recolección de datos en niveles de una organización.....	73
Tabla 2.2 Elementos del Project Charter y su descripción.....	102
Tabla 2.3 Tipos de costos y su descripción.....	126
Tabla 2.4 Elementos de la Evaluación de Riesgo.....	131
Tabla 3.1 Simbología utilizada en diagramas de flujo de proceso.....	135
Tabla 3.2 Términos Estadísticos básicos.....	166
Tabla 3.3 Estadísticos y Parámetros.....	169
Tabla 3.4 Tasas de los Índices de Capacidad.....	203
Tabla 3.5 Distribución normal (estandarizada).....	206
Tabla 5.1 Factorial Completa.....	241
Tabla 5.2 Factorial Fraccionado.....	242
Tabla 5.3 Ejemplo de diseño de bloques aleatorios.....	243



Primer Opex Mentor Green Belt

Glosario

Término / Acrónimo	Definición
Andon	Es un dispositivo de control visual en un área de producción/servicio.
Cadena de valor	Las actividades específicas requeridas para diseñar y proveer un producto/servicio específico.
SMED	Una serie de técnicas para cambios rápidos en sistemas de atención o producción.
Célula de trabajo	La distribución de máquinas o procesos de negocio de diferentes tipos.
Centro de trabajo	Una estación de proceso en una célula de trabajo.
Control Visual (Kanban)	La colocación a plena vista de todas las herramientas, partes, actividades e indicadores de desempeño.
Desperdicio (Muda)	Cualquiera de las mudas preestablecidas: toda la sobreproducción fuera de demanda, esperas, transportes innecesarios, inventarios excesivos, movimientos innecesarios y producción/servicios defectuosos.
Diagrama de flujo de proceso	Identifica el flujo o secuencia de eventos de un proceso.
DMAIC	Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar
DFSS	Diseño para Six Sigma
DOE	Diseño para Experimentos
Flujo Continuo de Manufactura (CFM)	Los materiales se mueven una pieza a la vez, a una tasa determinada por las necesidades del cliente, en una secuencia fluida e ininterrumpida y sin WIP.

Término / Acrónimo	Definición
Halar (Pull)	en este sistema el proveedor del proceso no produce nada hasta que el cliente otorgue la señal. Es el contrario de empujar (Push).
Justo a tiempo (JIT)	Un sistema de producir y entregar los artículos correctos en el tiempo justo en las cantidades adecuadas y en el tiempo preciso.
Muda	Un término japonés que se refiere a cualquier actividad que consume recursos pero que no crea valor.
Nivelación de carga	El regular o equilibrar la carga de trabajo en todas las etapas del proceso.
No valor agregado	Cualquier actividad que no agrega valor a un producto o servicio.
Poka Yoke	Un dispositivo o procedimiento a prueba de errores para prevenir o detectar un error que afecta negativamente al producto o servicio.
Rotaciones de inventario	El número de veces que se consume el inventario en un periodo dado.
Tiempo de ciclo (Cycle time)	El tiempo requerido para completar un ciclo de una operación.
TQM	Gestión de Calidad Total
Tiempo Takt (Takt Time)	El tiempo de producción disponible dividido entre la tasa de demanda del cliente.

Capítulo 1.

Fundamentos de Lean Six Sigma

“Hagas lo que hagas, hazlo bien. Hazlo tan bien que, cuando la gente lo vea, quiera volver y vértelo hacer de nuevo y quieran traer a otros para mostrarles lo bien que lo haces”.

- *Walt Disney*

1.1 Introducción a Six Sigma 6 σ

Six Sigma es un proceso disciplinado que continuamente desarrolla y entrega productos y servicios casi perfectos. Six Sigma es también una estrategia de gestión que utiliza el trabajo de diseño y las herramientas estadísticas para lograr la rentabilidad como producto del progreso y la mejora significativa de la calidad. Las características del producto con procesamiento Six Sigma ($Cpk > 1.5$) son reconocidas como características de clase mundial. Una empresa estadounidense promedio está en cuatro sigmas (4σ), corresponde a 0,6% de error o 6.210 errores por millón de posibilidades. (Quality Council of Indiana, 2014)

Motorola, bajo el liderazgo del presidente Bob Galvin, utilizó herramientas estadísticas para identificar y eliminar la volatilidad. Con base en la teoría del desempeño de Bill Smith de 1984, Motorola desarrolló Six Sigma como una importante iniciativa comercial en 1987. Muchos consideran que las innovaciones resultantes son un factor clave para que Motorola recibiera el premio Malcolm Baldrige

Award for Business Excellence de 1988. El Dr. Mike Garry, quien dirigió las operaciones de la empresa, luego dejó Motorola y fundó Six Sigma Academy. El objetivo de esta academia es acelerar los esfuerzos de la empresa para cumplir con los estándares mundiales. Motorola descubrió que muchas operaciones, como los ensamblajes complejos, tienden a cambiar en 1,5 sigma con el tiempo. Por lo tanto, un proceso con una distribución normal y una desviación estándar de la media debe tener un límite de especificación de ± 6 sigma para producir menos de 3,4 defectos por millón de posibilidades. Esta tasa de falla se puede llamar Error por millón de oportunidades (DPO) o Error por millón de oportunidades (DPMO). (Quality Council of Indiana, 2014)

Sigma se refiere a un término estadístico que se refiere a la desviación estándar de un proceso de su media. En un proceso con distribución normal, 99.73% de las mediciones caerán dentro de ± 3.0 sigma y 99.99966% caerán entre ± 4.5 sigma (Quality Council of Indiana, 2014)

La siguiente figura muestra el cambio de ± 1.5 sigma y las referencias de los niveles de defectuosos posibles.

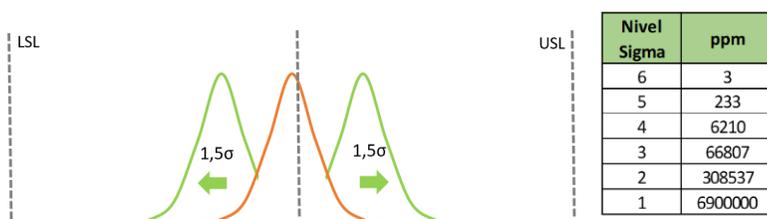


Figura 1.1 Cambio de $\pm 1,5$ sigmas y niveles de defectuosos posibles

Aunque hay otras tablas en las que los autores informan pequeños cambios en las tasas de error debido a errores de redondeo o cálculo,

la mayoría de los errores se encuentran por debajo de 3 sigma. Sin embargo, mirando la situación de manera objetiva, las empresas con cambios de 3 Sigma y 1.5 Sigma probablemente no tardarán lo suficiente en implementar las mejoras de Six Sigma. (Quality Council of Indiana, 2014)

Es de considerar que el término "Six Sigma" se aplica a muchas operaciones, incluidas las operaciones con distribuciones no normales para las que un cálculo de sigma simple no es adecuado. El principio es el mismo. Al mejorar el proceso y eliminar los defectos, ofrecemos productos y servicios casi perfectos. El objetivo final es satisfacer a nuestros clientes. (Quality Council of Indiana, 2014)

Los pasos de Six Sigma para muchas organizaciones se describen como la metodología DMAIC (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar). La siguiente figura muestra las fases del ciclo DMAIC.

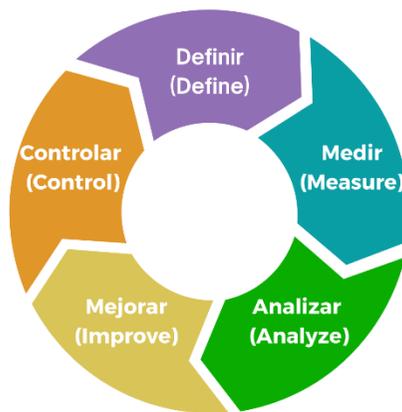


Figura 1.2 Ciclo DMAIC. Fuente: Elaboración propia.

Se propone que la estrategia completa de avance Six Sigma debe consistir en los siguientes ocho (8) elementos:

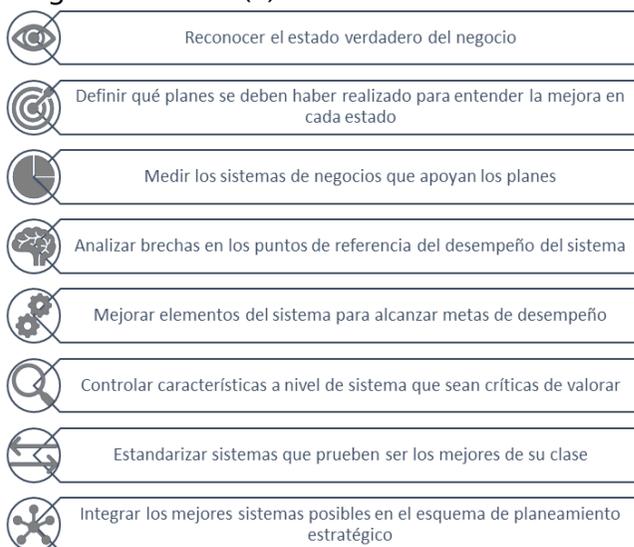


Figura 0.3 Ocho (8) elementos. Fuente: Elaboración propia.

Debido a la integración de un número de herramientas, tales como administración Lean, DOE (Diseño para Experimentos) y DFSS (Diseño para Six Sigma), llamado Six Sigma TQM (Gestión de Calidad Total) con esteroides, TQM se crea después del círculo de calidad. Una vez que se establece TQM, se crean los estándares Baldrige (Quality Council of Indiana, 2014)

Los éxitos en los negocios producto de la iniciativa Six Sigma incluyen:

- ✓ Reducciones de costo.
- ✓ Crecimiento en la participación de mercado.
- ✓ Reducción de defectos (mudas).
- ✓ Cambios de cultura.
- ✓ Mejoría en la productividad.

- ✓ Mejoría en las relaciones con el cliente (Mayor confianza e identificación del valor).
- ✓ Mejorías en servicios y productos.
- ✓ Reducciones de tiempo de ciclo.
- ✓ Resultados Six Sigma

Motorola atribuye a la iniciativa Six Sigma el ahorro de \$940 millones en un periodo de tres años. Un proyecto Six Sigma generará grandes ahorros y beneficios en corto tiempo (Quality Council of Indiana, 2014)

Razones de por qué Six Sigma funciona:

- ✓ Impacto financiero.
- ✓ Se involucra a la alta gerencia.
- ✓ Se utiliza un enfoque disciplinado (DMAIC) y un ciclo de mejora continua.
- ✓ Tiempos cortos para terminar proyectos (3 a 6 meses).
- ✓ Medidas de éxito claramente definidas.
- ✓ Infraestructura de individuos entrenados (Yellow Belts, Green Belts y Black Belts).
- ✓ Enfoque en los clientes y en los procesos.
- ✓ Se utiliza un enfoque estadístico robusto para el análisis de procesos.
- ✓ Estudia variables de entrada para determinar impacto en las salidas de un proceso.

Las organizaciones que mantienen un proceso de mejoramiento Six Sigma por varios años, encuentran que algunas operaciones alcanzan una calidad superior a Six Sigma. Cuando las operaciones alcanzan la calidad Six Sigma, los defectos se vuelven tan raros que cuando ocurren, reciben toda la atención necesaria para determinar y corregir

las causas. Six sigma mide el rendimiento de un proceso contra un valor medio. Como resultado, operaciones clave terminan ejecutando mejor calidad que Six Sigma (Quality Council of Indiana, 2014)

1.2 Liderazgo Organizacional

Hay varias formas de construir una estrategia Six Sigma. Sin embargo, todas las aplicaciones exitosas tienen algo central en común: soporte de gobierno, capacitación, recompensas e incentivos. (Quality Council of Indiana, 2014)

Apoyo administrativo

Los programas Six Sigma exitosos no suceden por accidente o por inercia. Se requiere planeación e implantación cuidadosa para asegurar que los recursos apropiados están disponibles y son adecuados para los problemas específicos. Recursos claves pueden incluir personas entrenadas en herramientas de solución de problemas, equipo de medición, herramientas de análisis y recursos económicos. Asignar los recursos humanos puede ser el elemento más difícil, pues las personas capaces de resolver problemas altamente calificados son un recurso valioso; podría ser necesario sacarlos de otras áreas donde sus destrezas también son útiles (Quality Council of Indiana, 2014)

Asimismo, es importante tomar en cuenta una serie de preguntas antes de implementar Six Sigma en la organización, dentro de estas, se abarca aspectos como la fortaleza de la organización para aplicarlo, la realización de cambios en necesidades comerciales, el estado del enfoque de mejora y estructuras de gestión de cambios de la organización, y la criticidad del cambio en cuanto a tiempo de fondo, cultura o necesidades competitivas.

Se dice que hay dos ocasiones en las que es difícil implementar un programa de mejoramiento, cuando los tiempos son malos y cuando los tiempos son buenos. Cuando los tiempos son difíciles, la ganancia es baja, los recursos pocos y las actividades estratégicas son relegadas para buscar la “sobrevivencia”. Cuando los tiempos son buenos, la ganancia es alta, y los recursos se enfocan en la fuente del flujo de caja. El mejoramiento puede ser lo último en la lista de cosas por hacer por aprovechar la oportunidad actual (Quality Council of Indiana, 2014)

También se ha dicho que hay dos ocasiones en que un programa de mejoramiento es crítico, cuando los tiempos son malos y cuando son buenos. Cuando son malos y la ganancia es baja, una compañía no puede seguir perdiendo dinero debido a mala calidad y pobre desempeño (Quality Council of Indiana, 2014)

Cuando los tiempos son buenos, y la ganancia es alta, el costo de la mala calidad y de un pobre desempeño es probable que también sea alto. Los clientes no volverán a hacer negocios con una compañía que entregue productos y/o servicios de baja calidad cuando haya mejores opciones. Esta condición es más probable en un mercado de alto margen. Desafortunadamente, muchas compañías navegan como el Titanic, pensando que no se hundirán porque son líderes del mercado (Quality Council of Indiana, 2014)

Los gerentes calificados deben estar dispuestos a comprometerse para lograr implementar y mantener una iniciativa exitosa de Six Sigma. Los éxitos tempranos deben utilizarse para impulsar la compañía hacia adelante. Esto incluye vencer los obstáculos; se van volviendo cada vez más difíciles (Quality Council of Indiana, 2014)

Entrenamiento

El papel del entrenamiento, en la implementación exitosa de Six Sigma, es fundamental. Las destrezas necesarias para lograr grandes mejoras no se pueden desarrollar sin el apropiado entrenamiento. Las compañías que han implementado exitosamente los programas Six Sigma encontraron que la inversión en entrenamiento trae beneficios significativos (Quality Council of Indiana, 2014)

Los potenciales Green Belts pueden tomar un programa de entrenamiento de 8 semanas. Se utiliza una variedad de paquetes de software especializado como ayuda en la presentación de proyectos, incluyendo MS Excel o Minitab para la parte estadística. El proyecto completo requerirá generalmente, que el estudiante utilice la mayoría de las herramientas presentadas durante las sesiones de entrenamiento.

Reconocimientos

Los reconocimientos pueden ser una de las partes más difíciles en la institucionalización exitosa de un programa Six Sigma. Los Black Belts y Green Belts están llamados a formar trayectorias de manera positiva para poder motivar a los mejores candidatos a comprometerse con el extenso entrenamiento y el desarrollo requeridos. Es de importancia el reconocer Los logros de proyectos Lean Six Sigma. a través de medios tangibles e intangibles que se puedan dar a sus integrantes.

También es importante que los Black Belts y Green Belts experimenten los reconocimientos de lograr ahorros significativos para la compañía. Al mismo tiempo, otros miembros del equipo

también reconocidos por su contribución a las mejoras en el desempeño.

Sólo recompensar a los Black Belts por los logros obtenidos por los equipos, genera resentimientos y los aísla del resto de los miembros del equipo.

1.3 Procesos del negocio

Los procesos son porciones definibles de un sistema o subsistema que consisten en un número de elementos, acciones o pasos individuales. Se define un proceso como un conjunto de recursos y actividades interrelacionados que transforman entradas en salidas con el objeto de agregar valor (transformación) (Quality Council of Indiana, 2014)

Existen sistemas, subsistemas y procesos para todas las actividades humanas. Son utilizados tanto en la manufactura de producto como en el desarrollo de un servicio. Los tres deben estar coordinados para brindar el máximo beneficio a la compañía. El trabajo y las ideas deben fluir entre los sistemas (Quality Council of Indiana, 2014)

También se deben evaluar las interacciones del proceso para asegurar que los cambios que mejoran una operación no afecten o cause defectos en otras. Por ejemplo, cambiar una operación al inicio de un proceso puede mejorar los rendimientos iniciales, pero reducir los rendimientos finales (Quality Council of Indiana, 2014)

En algunas operaciones, la eliminación de oportunidades de error se puede lograr con la automatización. Sin embargo, el automatizar un proceso malo puede probablemente resultar en más defectos que en la reducción de estos (Quality Council of Indiana, 2014)

El mejoramiento de proceso se puede aplicar a las operaciones de apoyo y en muchas otras funciones del staff eliminando pasos que no agregan valor a la organización. Todas las funciones organizacionales se pueden beneficiar de la optimización del proceso (Quality Council of Indiana, 2014)

El concepto SIPOC (proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes) se discutirá más extensamente más adelante.

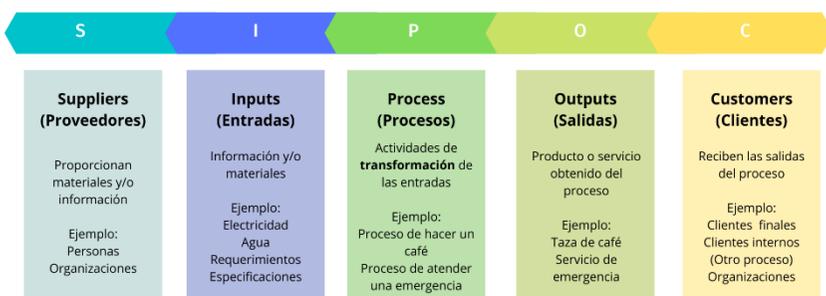


Figura 0.4 Elementos de un proceso. Fuente: Elaboración propia.

1.4 Historia de la Calidad

En la lista a continuación están algunos pioneros “gurús” de la Calidad muy reconocidos y algunas de sus contribuciones tanto en la administración como en las bases técnicas de Six Sigma. La lista no es exhaustiva (Quality Council of Indiana, 2014)

Tabla 0.1 Gurús de la Calidad.

Gurú	Contribución
Phillip B. Crosby	Participación de la alta gerencia. 4 absolutos de la gerencia de calidad. Mediciones de costos de calidad.
W. Edwards Deming	Ciclo PDCA (amplio uso).

	<p>Participación de la alta gerencia. Concentración en el mejoramiento del sistema. Constancia de propósito.</p>
Armand Feigenbaum	<p>Control/administración total de la calidad. Participación de la alta gerencia.</p>
Kaoru Ishikawa	<p>Diagrama de causa y efecto (espina de pescado). Control de calidad en toda la compañía. Próxima operación como cliente (cliente interno).</p>
Joseph M. Juran	<p>Participación de la alta gerencia. Trilogía de la calidad (mejoramiento de proyecto). Medición de costos de la calidad. Análisis de Pareto (regla del 80-20).</p>
Walter A. Shewhart	<p>Causas asignables vrs causas aleatorias. Gráficos de control. PDCA (como un enfoque de diseño). Uso de estadísticas para el mejoramiento (SPC).</p>
Genichi Taguchi	<p>Concepto de función de pérdida. Relación señal a ruido. Métodos de diseño de experimentos. Concepto de diseño de experimentos.</p>

1.5 Enlace de Proyectos con Metas Organizacionales

Embarcarse en una iniciativa Six Sigma, comienza con la decisión de gerencia de abrazar un cambio que diga "Hay una mejor forma de administrar una empresa". La evaluación para ver si se está

preparando para el cambio incluye una revisión de las siguientes áreas:

Tabla 0.2 Evaluación de áreas

Evaluar el panorama y la senda futura del negocio	Evaluar el desempeño organizacional actual	Revisar la capacidad para el cambio y mejoramiento de sistemas
¿Está claro el curso estratégico para la compañía? ¿Podemos alcanzar nuestras metas financieras y de crecimiento? ¿Nuestra organización responde efectivamente a nuevas circunstancias?	¿Cuáles son nuestros resultados de negocio actuales? ¿Qué tan efectivamente cumplimos los requerimientos de los clientes? ¿Qué tan efectivamente estamos operando?	¿Qué tan efectivos somos manejando cambios del sistema? ¿Qué tan bien se están administrando nuestros procesos de funciones cruzadas? ¿Hay conflictos en nuestros esfuerzos actuales con Six Sigma?

Evaluar de esta forma resulta relevante para decidir si los esfuerzos actuales son suficientes o si el momento es apropiado para ejecutar el esfuerzo Six sigma (Quality Council of Indiana, 2014)

Six sigma puede aplicar como un enfoque objetivo, compañías denominadas Six sigma han implementado técnicas y equipos de mejoramiento (Quality Council of Indiana, 2014)

El proceso de decisión sobre adoptar la metodología Six Sigma estará condicionada al nivel de madurez de la organización. Podría no ser una adecuada decisión si existen las siguientes condiciones:

- La compañía ya tiene un fuerte y efectivo esfuerzo de mejoramiento de desempeño y de mejora de procesos funcionando.
- Los cambios actuales ya están abrumando a la gente y a los recursos de la compañía.
- Las ganancias potenciales no son suficientes para financiar la inversión necesaria para mantener Six Sigma.

Existe una metodología para enfocar el despliegue de los proyectos Six Sigma, dentro de esta existen diversas opciones que dependen de las metas y objetivos de la organización, las cuales se mencionan a continuación:

- Enfocarse en los ahorros de costos de proyecto.
- Enfocarse en resultados de satisfacción del cliente.
- Enfocarse en procesos
- Enfocarse en problemas
- Enfocarse en una ubicación objetiva
- Enfocarse en diseño
- Enfocarse en los procesos del proveedor

No obstante, se debe siempre considerar que los proyectos Six Sigma se ejecutan usualmente bajo la metodología DMAIC o de forma similar, esto para asegurar el mejoramiento del enfoque que se le asigne a los proyectos (Quality Council of Indiana, 2014)

Métricas y Metas

A través de los años, el concepto “métrica” ha obtenido un valor para las organizaciones, debido a que se utiliza para indicar la necesidad de medir de forma numérica el desempeño. Cuando se desea implementar una métrica es porque existen metas y estándares para

la actividad a la que se le desea implementar. Es importante, que al implementar una métrica esta provea un control efectivo de retroalimentación para el alcance de las metas estratégicas (Quality Council of Indiana, 2014).

Algunas de las áreas en las que se implementan métricas son: en las utilidades, tiempos de ciclo, respuesta de mercado y recursos.

Al desarrollar una métrica dentro de la organización, esta debe de ser definida para cada una de las metas de desempeño, además, se debe definir para cada métrica una unidad de medida y un método de medición. Algunos ejemplos de métricas para las áreas mencionadas anteriormente son:

Tabla 0.3 Ejemplos de métricas

Utilidades	Tiempos de ciclo	Respuesta de mercado	Recursos
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de accionista • Inversión de capital • Costos de personal • Comparaciones comunitarias • Retorno de inversión • Ventas de dólares 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de ciclo existentes • Puntos de referencia internos • Puntos de referencia externos • Reducción de tiempo de ciclo 	<ul style="list-style-type: none"> • Encuesta de mercado en clientes • Análisis de devoluciones • Desarrollo de nuevos productos • Retención de clientes • Pérdidas de clientes • Cortesías 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de proyectos de mejoramiento • Resultados de proyectos de mejoramiento • Estudios de capacidad del proceso

<ul style="list-style-type: none"> • Margen de ganancias de ventas 		<ul style="list-style-type: none"> • Calificación de las instalaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la variación • Costo de calidad baja • Porcentaje de defectos
---	--	---	--

Las métricas pueden desarrollarse para medir el logro de las metas organizacionales. Hay una variación en toda medición y uno debe ser escéptico sobre la forma en la que se recolectan los datos, el dispositivo de recolección debe ser exacto; por lo que para cualquier sistema de medición, se debería de tomar en cuenta los siguientes factores:

- Debe existir un significado estandarizado de la medición
- Los datos deben ayudar en el proceso de toma de decisiones
- Deben aportar información valiosa
- Deben ser fáciles de instalar
- Se pueden utilizar como punto de referencia o pueden ser usados en otras partes

Las métricas se pueden basar en la recolección de datos que provengan de un dispositivo de medición que está sujeto a calibración, o bien, pueden provenir de forma cualitativa, por medio de formularios, encuestas, entre otros (Quality Council of Indiana, 2014)

Al establecer una métrica de una meta, los equipos deben de trabajar en la implementación de esta, cada equipo debe de lograr una parte de las métricas. Dentro del plan estratégico de negocios existen metas estratégicas, de las cuales, se despliegan metas tácticas

similares, las cuales, colectivamente se transforman en metas estratégicas exitosas (Quality Council of Indiana, 2014)

El Cuadro de Mando Integral

El cuadro de mando integral o Balance Scorecard concentra la atención de la compañía en cuatro perspectivas de la visión y la estrategia:

<p style="text-align: center;">FINANCIERO</p> <p style="text-align: center;">¿Cómo nos deben ver nuestros accionistas?</p> <p style="text-align: center;">Retorno de inversión, flujo de caja, cumplimiento de ventas</p>	<p style="text-align: center;">PROCESOS INTERNOS</p> <p style="text-align: center;">¿En cuáles aspectos del negocio debemos descartarnos?</p> <p style="text-align: center;">Reducir reproceso, tiempos de ciclos, tiempo de reparación</p>
<p style="text-align: center;">APRENDIZAJE Y CRECIMIENTO</p> <p style="text-align: center;">¿Cómo mantendremos nuestra habilidad para cambiar y mejorar?</p> <p style="text-align: center;">Encuestas de empleados, sugerencias de empleados, dinero invertido en entrenamientos</p>	<p style="text-align: center;">CLIENTE</p> <p style="text-align: center;">¿Cómo nos deben ver nuestros clientes?</p> <p style="text-align: center;">Encuestas de clientes, quejas registradas, participación de mercado</p>

Figura 0.5 Cuadro de Mando Integral

Con esta herramienta los usuarios pueden ver la estrategia y las metas de la compañía y alinearse a ellas según corresponda. Los pasos para construir un cuadro de mando integral son:

1. Definir el alcance del cuadro de mando integral.

2. Recolección de información para el cuadro de mando integral mediante entrevistas con la alta gerencia (realizado por un facilitador).
3. Distribución de la información por medio del facilitador a un equipo designado para la creación del primer borrador de las mediciones del cuadro de mando integral.
4. Facilitador genera un nuevo reporte y un borrador del cuadro de mando integral.
5. Se realiza una reunión con la alta gerencia y otros niveles; se pule el borrador y establecen los objetivos para las mediciones propuestas.
6. Se realiza otra reunión para finalizar la visión, objetivos y mediciones.
7. Un nuevo equipo de tarea desarrolla un plan de implementación.
8. Se realizan revisiones periódicas del cuadro de mando integral.

En muchas ocasiones, una parte significativa de la medición del cuadro de mando integral se le asigna a equipos de mejoramiento,

Métricas de Desempeño de Proceso

La administración efectiva de procesos requiere de un sistema integrado de métricas para lograr las mejoras Six Sigma deseadas. Estos sistemas deben de proveer monitoreo y control a cada una de las métricas en cada nivel del negocio, así mismo, se debe de identificar las relaciones que existen entre métricas de todos los niveles. Así mismo, se debe de facilitar la recolección de datos y formulación de resúmenes de información a partir de los parámetros establecidos (Quality Council of Indiana, 2014)

Métricas a Nivel de Negocio

Estas métricas son generalmente resúmenes financieros y operacionales para accionistas o gerencia, en efecto, el cuadro de mando integral es utilizado ampliamente para métricas que se relacionan con el área de negocios (Quality Council of Indiana, 2014)

Estas mediciones son las de más alto nivel, debido a que, al ser de negocios, se transforman en ejecutivas, por lo que comprenden resúmenes de operaciones detallados y resultados financieros, los cuales, poseen un periodo previamente establecido para su presentación (Quality Council of Indiana, 2014)

Es importante tomar en cuenta que estas métricas son parte de un sistema completo y deben de estar bajo procesos estadísticos de monitoreo y control como se realiza con datos de índoles operacional (Quality Council of Indiana, 2014)

Métricas a Nivel de Operaciones

Six sigma ofrece métricas para administrar operaciones complejas; dentro de estas están las mediciones de efectividad comercial, las cuales, rastrean la satisfacción del cliente, estas deben de tener una perspectiva a mayor plazo y reflejar la variación que el cliente visualiza (Quality Council of Indiana, 2014)

Por otra parte, están las métricas de eficiencia operacional que se refieren al costo y tiempo requeridos para hacer los productos, estas generan vínculos entre la medición de procesos y los resultados de los resúmenes comerciales; lo cual, permite identificar las relaciones importantes y la causa raíz (Quality Council of Indiana, 2014)

Métricas de Proceso

Las métricas de proceso incluyen los datos relacionados con la maquinaria y producción, es información necesaria para que los encargados de supervisar la producción puedan ejecutar sus operaciones normales. Esta información es importante para los proyectos Six Sigma, debido a que son necesarios para las fases MAIC (Medir, analizar, implementar, controlar) cuando el proyecto de mejoramiento se ha identificado y definido (Quality Council of Indiana, 2014)

Consideraciones del Sistema de Medición

Se detalla a continuación algunas recomendaciones útiles sobre métricas de desempeño de proceso efectivas para las organizaciones:

- “Pocos vitales” en lugar de “muchos triviales”: Una organización puede llegar a tener cientos o miles de métricas, no obstante, se debe de identificar las métricas fundamentales y centrarse en el estado de estas.
- Las métricas se deben enfocar en el pasado, presente y futuro, debido a que el pasado genera contexto y sabiduría organizacional, el presente, provee el control de los procesos en tiempo real y el futuro permite proyectar y generar estimaciones, mejoras y estrategias.
- Las métricas deben estar interrelacionadas en una forma sistemática para cumplir necesidades de clientes, accionistas y empleados.
- La clave para un sistema efectivo, es tener métricas múltiples, no sólo una métrica importante, debe de existir un balance para que exista éxito.

- Las métricas deben estar relacionadas con las necesidades de los accionistas al nivel de negocio.
- Las métricas deben estar relacionadas con las necesidades del cliente al nivel de operaciones.
- Las métricas deben estar relacionadas con las necesidades del empleado al nivel de proceso.
- Las métricas deben ser consistentes en todos los niveles de la organización.
- Múltiples mediciones se pueden combinar en índices generales de desempeño para los niveles más altos.
- Las métricas deben evolucionar según las estrategias y situaciones vayan avanzando.
- Las métricas deben tener metas basadas en la investigación, six sigma propone métodos de mejoramiento que ayudan a mejorar las metas.

1.6 Proyectos

Selección de Proyectos

Las metodologías de resolución de problemas deben dirigir la atención a la selección inicial del proyecto y a una adecuada definición del problema o proyecto.

Para seleccionar el equipo de mejoramiento del proyecto inicial se debe considerar los siguientes factores:

- ✓ Debe de ser muy atractivo para los miembros del equipo, compañeros de trabajo y gerencia.
- ✓ Ser simple pero no trivial.
- ✓ Ser seleccionado para mostrar un beneficio rápidamente.
- ✓ Estar dentro del control del grupo.

- ✓ Ser seleccionado usando restricciones de tiempo y recursos.
- ✓ Las dos actividades principales son la resolución de problemas y el aprender a trabajar el grupo.

El problema o la declaración del proyecto se debe definir claramente:

- Las definiciones del problema son muchas veces confusas.
- La ubicación real del problema se debe identificar claramente.
- Un problema es una brecha entre: ¿Qué es? y ¿Qué se esperaría? Y resultados actuales versus los resultados esperados.
- El producto inicial debe ser una declaración del problema claramente definida que sea medible.
- Piense que el equipo está trabajando en un problema que está programado para ser solucionado.

Metodologías para Proyectos

Para la ejecución de un proyecto se debe seleccionar el enfoque y herramientas apropiadas para la tarea, dentro de estas se pueden mencionar: PDCA, PDSA y el enfoque tradicional; estas herramientas por lo general utilizan las siete herramientas de la calidad y las siete nuevas herramientas de administración de la calidad y herramientas básicas de equipo (Quality Council of Indiana, 2014)

El uso de estos enfoques básicos puede resolver muchos problemas y completar muchos proyectos, sin embargo, en ocasiones se necesita de herramientas más poderosas, una utilizada frecuentemente es DMAIC debido a que proporciona el personal con conocimientos en softwares y técnicas que proporcionan apoyo durante la ejecución del proyecto (Quality Council of Indiana, 2014)

PDCA

El ciclo PDCA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) es muy popular para la resolución de problemas debido a que representa la lógica con la que un individuo resuelve problemas en la actualidad.

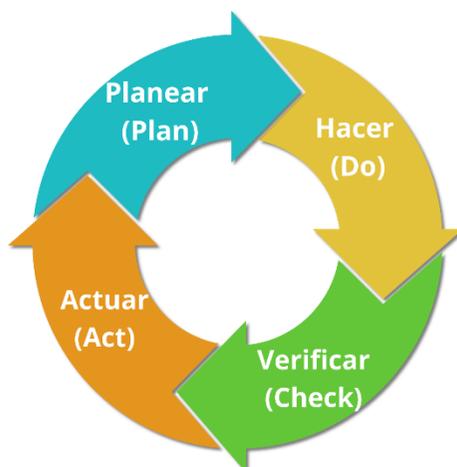


Figura 0.6 Ciclo PDCA

Ayuda a pensar que cada actividad y cada trabajo es parte de un proceso. Un diagrama de flujo dividirá el trabajo en etapas, y éstas como un todo forman un proceso. Hay trabajo en cualquier etapa, se hacen modificaciones, y continúan en la siguiente etapa. El ciclo de mejoramiento enviará un producto o servicio superior al cliente final, en este ciclo se inspira la metodología Lean como Six sigma, además, estas utilizan herramientas de resolución de problemas (Quality Council of Indiana, 2014)

PDSA

EL ciclo PDSA (Planear, Hacer, Estudiar, Actuar) fue creado por Edwards Deming como una técnica de resolución de problemas orientada en equipos. El objetivo del equipo es mejorar el insumo y las salidas de cualquier etapa. El equipo se puede componer de gente de diferentes áreas de la planta, pero idealmente lo deben componer personas de un área o etapa de la operación de la planta/organización (Quality Council of Indiana, 2014)

Tanto PDCA como PDSA son técnicas muy útiles en los proyectos de mejora de producto y/o servicio. Se pueden utilizar con o sin presencia de una causa especial o asignable por la utilización de herramientas estadísticas (Quality Council of Indiana, 2014)

Proceso DMAIC

Cada paso en el proceso cíclico DMAIC es necesario para asegurar los mejores resultados posibles de los proyectos Six Sigma, por lo que, este último implementado adecuadamente como metodología de mejora, puede asegurar un alto impacto positivo en el proceso. Estos pasos de proceso se detallan a continuación:

Definir el cliente, sus requerimientos críticos para la calidad (CTQ's), y el proceso central de negocio involucrado.

- Definir quiénes son los clientes.
- Definir los requisitos de los clientes y sus expectativas.
- Definir los límites del proyecto – el inicio y final del proyecto.
- Definir el proceso a ser mejorado mediante el desarrollo del mapa del flujo de proceso.

Medir el desempeño del proceso de negocio involucrado.

- Desarrollar un plan de recolección de datos para el producto o proceso.
- Recolectar los datos de muchas fuentes para determinar el estado actual.
- Recolectar los resultados de las encuestas de los clientes para determinar las brechas.

Analizar los datos recolectados y el mapa del proceso para determinar las causas de los defectos y las oportunidades de mejoramiento.

- Identificar brechas entre el desempeño actual y el desempeño meta.
- Priorizar a las oportunidades de mejoramiento.
- Identificar las fuentes excesivas de variación.
- Identificar los procedimientos estadísticos objetivos y los límites de confianza.

Mejorar el proceso meta mediante el diseño de soluciones creativas para corregir y prevenir problemas.

- Crear soluciones innovadoras utilizando tecnologías y disciplina.
- Desarrollar e implementar los planes de mejoramiento.

Controlar las mejoras para mantener el proceso en el nuevo curso.

- Evitar volver al método anterior de hacer las cosas.
- Desarrollar un plan de monitoreo continuo.
- Institucionalizar las mejoras mediante modificaciones del sistema.

1.7 Pensamiento Lean

James Womack introdujo el término “producción Lean” al mundo occidental a través de la publicación del libro: La máquina que cambió el mundo. El libro describe la base de la producción Lean (inicialmente solo conocida como Lean Manufacturing) según se practica en las mejores compañías del mundo (Quality Council of Indiana, 2014)

Luego, Womack escribió el libro Pensamiento Lean: Elimine el desperdicio y genere riqueza en su corporación. Este libro describe los conceptos de convertir una planta de producción masiva en una organización Lean. Womack ofrece cinco principios guía a ser considerados:

- Especifique el valor por producto/servicio.
- Identifique la cadena de valor para cada producto/servicio para la reducción de desperdicios.
- Haga que el valor fluya (cliente).
- Deje que el cliente jale/tire el valor desde el productor (revisar integración vertical).
- Busque la perfección (es un camino, más no una meta).

Para integrar Lean y Six Sigma a la organización se debe considerar el problema fundamental que se intenta resolver, así como las restricciones de tiempo y/o financieras que son requeridas.

Valor

El valor lo define el cliente. Con frecuencia, los fabricantes no pueden proveer al cliente del valor apropiado. En muchas ocasiones, la alta gerencia se desliga de las necesidades de sus clientes.

En el largo plazo, el valor debe ser definido por el cliente. El cliente quiere productos y/o servicios específicos, con capacidades específicas a precios razonables. Especificar el valor es el primer paso con el pensamiento Lean. Se deben desarrollar nuevos métodos para comunicarse con los clientes, para acercarse a ellos y descubrir qué requieren/necesitan (o no saben que necesitan). Una vez que se determine el valor, la compañía debe volver una y otra vez al cliente para verificar que realmente tienen las respuestas correctas (Quality Council of Indiana, 2014)

Al definir el valor, se debe determinar el costo meta del producto. Este costo meta es más que el "costo de mercado" del producto, debido a que este último es el costo de manufactura más el gasto de venta y ganancia, pero en el pensamiento Lean, el costo meta es una mezcla del precio de venta de los competidores, la evaluación y eliminación de mudas a través de métodos Lean (Quality Council of Indiana, 2014)

Cadena de Valor

El incremento de los beneficios de reducir desperdicios se debe a la serie de actividades que unen los procesos. El mejoramiento real no debe ser difícil de identificar, mejorar aquellas actividades que producen los productos es sólo parte de la respuesta, se debe identificar aquellas actividades que generan valor en el flujo de los procesos y mejorar estas (Quality Council of Indiana, 2014)

Para el producto o negocio, se requieren tres flujos o cadenas:

1. Resolución de problemas
2. Administración de la información
3. Transformación

La tarea o cadena de resolución de problemas para un negocio puede incluir la resolución del diseño conceptual, desarrollo de prototipos, revisiones de planes, y la determinación del mecanismo para el lanzamiento del producto (Quality Council of Indiana, 2014)

En el caso, de la cadena de administración de la información se conforma de la toma de la orden del cliente, secuenciación de la materia prima de proveedores, programación interna y entrega al cliente (Quality Council of Indiana, 2014)

La cadena de transformación física se refiere al conjunto de procesos que permite la conversión de materia prima en bienes para el cliente (Quality Council of Indiana, 2014)

Las cadenas de valor se pueden construir para cada producto principal que una organización individual o planta produzca, el objetivo es la eliminación de los desperdicios en la cadena de valor. La cadena de valor de la forma que es utilizada en los esfuerzos de manufactura Lean, entra en más detalle, debido a que involucra un flujo de un solo producto para reducir tiempos de ciclos y mejorar la calidad además de eliminar mudas (desperdicios) (Quality Council of Indiana, 2014)

Se debe de crear un mapa de la cadena de valor para identificar aquellas actividades involucradas en el producto, esta cadena va desde el proveedor hasta el cliente final. Existen criterios para clasificar las actividades de la cadena de valor, los cuales son:

- Agrega valor de acuerdo con la percepción del cliente.
- No agrega valor, pero es requerido por el cliente.
- No agrega valor y puede ser eliminado.

Los pasos para documentar el mapeo de la cadena de valor son:

1. Desarrollo de producto: identifica los requerimientos del cliente, métodos de entrega y cantidades típicas.
2. Diseño de proceso: hacer un recorrido por el proceso, registrando cada paso. Anotar tiempos, maquinas, operadores, entre otros elementos.
3. Anotar el estado actual.
4. Planificación: desarrollar un mapa de estado futuro.

Flujo de Valor

La producción en masa tradicional se logra muchas veces por la técnica de lotes en la planta. El objetivo es producir muchas unidades de una parte específica en un tiempo dado, para mantener la eficiencia de producción de las máquinas y la eficiencia general de los departamentos (Quality Council of Indiana, 2014)

El esfuerzo lean, implica pasar de un proceso por lotes a un proceso de flujo continuo. En algunos casos, es ideal convertir el proceso por lotes en el flujo de una pieza a la vez. Algunos de los obstáculos que se deben superar incluyen:

1. Siempre lo hemos hecho por lotes.
2. Vivimos en un mundo de departamentos y funciones.
3. Esta es una planta de producción basada en lotes.
4. No tenemos herramientas de cambio rápidas.
5. Tenemos maquinaria que no es flexible.

Idealmente, en un diseño de flujo continuo, los pasos de producción para el flujo de una pieza, sin WIP (inventario en proceso), están ordenados en secuencia, en línea recta, en forma de U o en una celda. Dentro de este concepto de flujo, el trabajo de cada estación u

operador, debe desempeñarse con total fiabilidad (Quality Council of Indiana, 2014)

Las actividades necesarias para la producción deben estar en un flujo continuo y constante, sin movimientos innecesarios, lotes o WIP, y la flexibilidad para cumplir con las necesidades presentes. El trabajo de las personas, funciones, departamentos y firmas, necesita ajustarse a la cadena de valor para hacer que fluya, y para crear valor para el cliente (Quality Council of Indiana, 2014)

Halar el Valor (Pull)

En vez de crear un producto como respuesta a un pronóstico de ventas, la planta manufactura un producto cuando el cliente lo requiera. Este es el sistema de "halar" en acción, y resultará en muchas cosas positivas para la organización:

- El tiempo de ciclo disminuye en varias áreas:
 - De la conceptualización hasta el lanzamiento.
 - De ventas a entrega.
 - De materias primas hasta el cliente.
- Los inventarios de producto terminado se reducen.
- Se reduce el trabajo en proceso (WIP).
- El cliente estabiliza sus pedidos.
- Se estabilizan los precios.

En contraste con el sistema de empujar, considere una compañía que depende de que sea el mercado el que hale la producción. El recibo de la orden de un cliente inicia las actividades. Cada operación produce partes según se necesiten a través de una señal de ejecución. Esto implica una mínima cantidad de WIP en la cadena de proceso (Quality Council of Indiana, 2014)

Este esquema permite que haya un flujo continuo en la planta, utilizando los principios de pensamiento lean (Quality Council of Indiana, 2014)

Perfección

El cliente busca un producto y/o servicio con valor agregado. La búsqueda de los primeros cuatro principios de pensamiento Lean le permite a la compañía dirigirse hacia la perfección. Solucionar los problemas de valor del cliente, trabajar la cadena de valor, convertir a flujo y hacer que halar (pull) ocurra, todo ayuda a eliminar las mudas (desperdicios). Conforme continúa el proceso, más mudas pueden ser eliminadas (más de lo que se hubiera soñado). La excelencia si es posible (Quality Council of Indiana, 2014)

La perfección se alcanza por medio de:

- Equipos de producto trabajando con el cliente para encontrar mejores maneras de especificar valor, aumentar el flujo y halando la producción/el servicio.
- Utilizando técnicas para eliminar mudas.
- Desarrollando nuevos productos/servicios.
- Utilizando colaboración conjunta entre los socios de la cadena de valor (proveedores, subcontratistas, distribuidores, clientes, empleados) para descubrir más valor y reducir y/o eliminar mudas.

La perfección es un viaje que debe ser disfrutado.

El camino del Pensamiento Lean

Una compañía puede tardar poco tiempo en aplicar todos los principios de pensamiento lean, pero tardará aún más en aplicarlo a toda la cadena de valor completa.

Se brinda un mapa del camino a seguir:

- Observe una aplicación exitosa en otra planta.
- Desarrolle planes para aplicarlo en una línea.
- Comprométase a probarlo.
- Aplíquelo en forma exitosa.
- Extiéndalo a otras áreas de la planta.

La implementación del pensamiento lean puede tornarse compleja y varía según la compañía, por lo que, el pensamiento lean también se convierte en un viaje.

Técnicas Lean

Existen múltiples técnicas de control y mejoramiento de manufactura lean que son utilizadas ampliamente por las organizaciones actuales. Algunos de los procesos más comunes incluyen:

- La minimización de actividades de no valor agregado (muda)
Tiempos de ciclo reducidos.
- Cambio de herramientas en pocos minutos (SMED = Single minute exchange of dies).
- Reducción de montaje o puesto de trabajo (SUR = set-up reduction).
- La documentación y uso de procedimientos de operación estándar.

- El uso de dispositivos visuales para el flujo de trabajo y la comunicación.
- Mantenimiento total productivo (TPPr/I).
- Técnicas Poka-Yoke para prevenir y detectar errores.
- Principios de estudios del movimiento y manejo de materiales.
- Sistemas de organización del lugar de trabajo (enfoque 5S).
- Principios justo a tiempo.
- Un gran número de métodos kaizen.
- Flujo continuo de conceptos de manufactura.
- Mapeo de la cadena de valor.

Reducción del Tiempo de Ciclo (Cycle Time)

La reducción del tiempo de ciclo se realiza habitualmente por muchas de las siguientes razones:

- Para complacer a un cliente.
- Para reducir el desperdicio interno o externo.
- Para aumentar la capacidad.
- Para simplificar la operación.
- Para reducir daños en productos (mejorar calidad).
- Para mantenerse competitivos.

En el ambiente de manufactura lean, el mapeo de cadena de valor se utiliza ampliamente para realizar una reducción de tiempo de ciclo.

Mapa del Flujo de Valor

Un mapa de cadena de valor se crea para identificar todas las actividades involucradas en la manufactura de un producto o en el desarrollo de un servicio, desde el inicio hasta el final. Esta cadena de

valor puede incluir proveedores, operaciones de producción y cliente final. Para desarrollo de producto, el mapeo de cadena de valor incluye el flujo de diseño desde el concepto hasta el lanzamiento. Se analiza todo el sistema buscando oportunidades de mejora (Quality Council of Indiana, 2014)

Entre los beneficios del mapeo de la cadena de valor están:

- Ver el flujo de proceso completo.
- Identificar fuentes y ubicaciones del desperdicio (actividades que generan desperdicios).
- Proveer terminología común para discusiones de proceso.
- Ayudar a tomar decisiones sobre el flujo (mejora de procesos).
- Unificar múltiples conceptos y técnicas Lean.
- Proporcionar un mapa de implementación para las ideas Lean.
- Determinar los efectos en varias métricas.

Se desarrolla un mapa de estado actual del proceso para facilitar el análisis de proceso. Algunos de los datos de proceso típicamente incluidos en este mapa son: tiempo de ciclo (CT), tiempo de cambio (COT), tiempo de actividad (UT), número de operadores, tamaño del empaque, tiempo de trabajo (menos descansos, en segundos), WIP y tasa de desperdicio. Un análisis del estado actual puede proporcionar la cantidad de tiempo de entrega y de valor agregado (Quality Council of Indiana, 2014)

Luego, se debe proceder a crear un mapa de estado futuro es un intento para hacer que el proceso sea lean. Esto involucra creatividad y trabajo en equipo de parte del gerente de flujo de valor y del equipo lean para identificar soluciones creativas (Quality Council of Indiana, 2014)

Preguntas que se deben hacer al desarrollar un mapa de estado futuro son:

- ¿Cuál es el tiempo takt requerido?
- ¿Los artículos manufacturados se mueven directamente a envío?
- ¿Se envían los artículos a un supermercado de productos terminados para ser jalados por el cliente?
- ¿Se puede aplicar flujo continuo de procesamiento?
- ¿Dónde está el proceso que marca el paso? (Este proceso controla el ritmo del flujo de valor).
- ¿Se puede nivelar el proceso?
- ¿Cuál es el incremento de trabajo que se liberará para el uso de kanban?
- ¿Cuáles mejoras de proceso se pueden utilizar: cambio, tiempo de trabajo de la máquina, eventos kaizen, SMED, ¿etc.?

La última etapa en el proceso de mapeo del flujo de valor es desarrollar un plan de implementación para establecer el estado futuro. Esto incluye un plan paso a paso, metas medibles, y puntos de chequeo para medir el progreso (Quality Council of Indiana, 2014)

Íconos para Mapeo del Flujo de Valor

Para realizar el diseño de un mapa del flujo del valor se utilizan diversos íconos para representar elementos claves en este, la siguiente imagen muestra los íconos más utilizados.



Figura 0.7 Íconos para mapeo del flujo de valor

5'S

La presencia de un programa 5S es indicativo del compromiso de la alta gerencia con la organización del lugar de trabajo, con la manufactura lean y con la eliminación de muda (desperdicio en japonés). Las cinco palabras "S" en japonés para la organización del lugar de trabajo son:



Figura 0.8 5 S

El enfoque 5S ejemplifica una determinación por organizar el lugar de trabajo, mantenerlo nítido y limpio, establecer condiciones estándar, y mantener la disciplina que se requiere para ejecutar el trabajo. El compromiso de la gerencia determinará las áreas de control y autodisciplina para una organización (Quality Council of Indiana, 2014)

Kanban

Kanban es el término japonés para "señal" o "etiqueta/tarjeta". Es una señal a los procesos internos para que proporcionen algún producto. Los kanban's son usualmente tarjetas, pero pueden ser banderas, un espacio en el piso, etc. El Kanban brinda alguna indicación de:

- Número de parte.
- Frecuencia de entrega.
- Cantidad/ubicación.
- Punto de reorden.

- Código de barras, etc.

El orden para la producción de partes en cualquier estación depende de recibir una instrucción, la tarjeta Kanban. Sólo recibiendo una tarjeta Kanban el operador producirá más bienes. Este sistema pretende simplificar el papeleo, minimizar el WIP (work in process) y los inventarios de producto terminado (Quality Council of Indiana, 2014)

Debido a la coordinación crítica y a la secuencia de operaciones de un sistema Kanban, las mejoras se hacen continuamente. Una interrupción causará mucho estrés en el sistema de producción. Cada esfuerzo es necesario para eliminar las causas de inactividad de maquinaria/estaciones y las fuentes de error en la producción. S. Shingo dice que los sistemas Kanban son aplicables en plantas de producción repetitiva, pero no en operaciones de producción por pedidos especiales (Quality Council of Indiana, 2014)

Fábrica Visual

Se plantean tres razones para utilizar herramientas visuales de administración:

- Para hacer visibles los problemas.
- Para ayudar a los trabajadores y a la gerencia a estar en contacto con el lugar de trabajo.
- Para clarificar objetivos de mejoramiento.

Las pizarras de producción y de horarios son ejemplos de una fábrica visual. El objetivo de la fábrica visual es hacer visible los progresos, problemas, actividades que poseen alto impacto en el flujo de valor de la organización, con el objetivo de que todo el personal

involucrado se mantenga enterado, así como, la generación de ideas y la atención hacia las situaciones que presentan una oportunidad de mejora, ocasionando mayor control y asistencias a estas.

Otros ejemplos de elementos de una fábrica visual incluyen los Jidohka que es un dispositivo que detiene una máquina cuando se produce un artículo defectuoso por medio de la automatización, así mismo, se encuentran los sistemas kanban, que proveen control de materiales para la planta de la empresa. Las tarjetas controlan el flujo de producción y de inventario (Quality Council of Indiana, 2014)

Trabajo Estándar

La operación de una planta, organización, institución, depende del uso de políticas, procedimientos e instrucciones de trabajo. Lo que se conoce como estándares. Mantener y mejorar los estándares lleva al mejoramiento de los procesos y la efectividad (Quality Council of Indiana, 2014)

Si las cosas van mal en el gemba (el lugar de la acción/lugar de trabajo), con defectos o clientes insatisfechos, se deben hacer esfuerzos para determinar las causas raíz, implementar acciones correctivas, y cambiar los procedimientos de trabajo. Con un sistema bajo control, se puede iniciar una etapa de mejoramiento.

Ejemplo de estándares que van más allá de procedimientos e instrucciones de trabajo, incluyen:

- Líneas amarillas en el piso.
- Códigos de colores.
- Pizarras de control de la producción.
- Indicadores de inventarios.

- Matrices de entrenamiento cruzado.
- Luces que indican problemas.

Los estándares tienen las siguientes características:

- Los estándares son la mejor, más fácil y más segura forma de trabajar.
- Los estándares preservan el conocimiento y la experiencia.
- Proveen una forma de medir el desempeño.
- Los estándares correctos muestran la relación entre causas y efectos.
- Los estándares proveen una base para mantenimiento y mejoramiento.
- Brindan un grupo de signos visuales sobre cómo hacer el trabajo.
- Los estándares son la base para entrenar y auditar.
- Los estándares minimizan la variabilidad.

Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una actividad que promueve actividades grupales coordinadas para obtener mayor efectividad de equipo y requiere que los operadores compartan las responsabilidades de la inspección de rutina de la máquina, limpieza, mantenimiento y reparaciones menores (Quality Council of Indiana, 2014)

El mantenimiento productivo combina técnicas preventivas, predictivas, de mejoramiento de la "mantenibilidad", y los costos del ciclo de vida del equipo para incrementar la fiabilidad y facilitar el mantenimiento (Quality Council of Indiana, 2014)

Kaizen

Se refiere a un mejoramiento incremental, pero sobre una base continua que involucre a todos. La administración occidental está cautivada por innovaciones radicales (Quality Council of Indiana, 2014)

Kaizen logra mejoramientos con poco o ningún gasto, y sin la compra de equipo sofisticado. La estrategia kaizen involucra las siguientes consideraciones:

- La gerencia mantiene y mejora los estándares de operación.
- El mejoramiento progresivo es la clave para el éxito.
- Se utilizan los ciclos de mejoramiento PHVA.
- La calidad tiene la más alta prioridad.
- Los problemas se resuelven con datos.
- Se le dan buenas piezas de información al siguiente proceso.

Evento Kaizen

Este tipo se ha definido como un evento kaizen, taller kaizen, o kaizen blitz; el cual involucra una actividad kaizen en un área específica en un período corto de tiempo. El evento kaizen se basa en un proyecto y utiliza voluntarios de funciones cruzadas durante un período de 3 a 5 días, y da como resultado un cambio rápido del lugar de trabajo. Se utilizan varias métricas para evaluar los resultados de un evento kaizen:

- Espacio de piso ahorrado.
- Más flexibilidad de línea.
- Flujo de trabajo mejorado.
- Ideas de mejoramiento.

- Niveles de calidad aumentados.
- Ambiente de trabajo más seguro.
- Reducción del tiempo de no-valor agregado.

Poka-Yoke

Shigeo Shingo fue un ingeniero japonés asociado con el concepto llamado poka-yoke, que significa hacer un proceso a prueba de errores. Shingo reconoció que los errores humanos no necesariamente, o no deberían, crear defectos como resultado. La meta de poka-yoke es proveer algún dispositivo o procedimiento de intervención para detectar el error antes de que se convierta en un producto/servicio no conforme (Quality Council of Indiana, 2014)

Los dispositivos poka-yoke se pueden combinar con otros sistemas de inspección para obtener condiciones cercanas a cero defectos. Los errores pueden ocurrir de muchas maneras:

- Saltarse una operación.
- Posicionar partes en la dirección incorrecta.
- Usar las partes o materiales incorrectos.
- No aplicar un requisito.

Otros mejoramientos de diseño para hacer un proceso “a prueba de errores” son:

- Eliminación de componentes propensos a error.
- Amplificación de los sentidos humanos.
- Redundancia en el diseño (Sistemas de respaldo).
- Simplificación al utilizar menos componentes.
- Consideración de factores de funcionalidad y ambiente físico.
- Introducción de mecanismos de parada a prueba de fallos.

Actividades de No Valor Agregado

Las actividades de no valor agregado se clasifican como mudas (grasa del sistema). Este es el término japonés para el desperdicio en el proceso. En cada paso, se aplica trabajo a la operación. Las actividades útiles, por las que el cliente pagará son consideradas de valor agregado. Las otras actividades no son importantes para el cliente o contienen elementos por los que el cliente no pagará (Quality Council of Indiana, 2014)

Masaaki Imai da una lista de siete categorías de mudas que han sido ampliamente utilizadas en la industria: sobreproducción, inventario, reparación/rechazo, movimientos, sobre procesamiento, esperas y transporte. En la actualidad se habla también de la octava muda: el no aprovechamiento del talento.



Figura 0.9 Ocho mudas

Manejo de Restricciones

Manejo de la restricción puede describirse como la eliminación de los cuellos de botella que limitan la producción o rendimiento en un proceso.

Si se quiere que un proceso de mejoramiento continuo sea efectivo, la alta dirección debe encontrar qué es lo que debe cambiar. En esta situación, lo que se pretende es encontrar el sistema de restricción que está limitando la producción o el rendimiento (Quality Council of Indiana, 2014)

Teoría de las Restricciones

Teoría de las Restricciones (TOC) se describe como un marco intuitivo para administrar, basado en el deseo de mejorar continuamente una empresa. Utilizando TOC, se definen las metas de la compañía junto con las métricas asociadas para las mediciones críticas (Quality Council of Indiana, 2014)

Hay tres métricas básicas que se deben usar en la evaluación de un sistema.

- Rendimiento (Throughput).
- Inventario.
- Gastos operacionales.

Estas métricas reflejan mejor el verdadero impacto del sistema que la eficiencia de la máquina, la utilización del equipo, los tiempos de paro o el balance de planta.

Algunos de los conceptos más ampliamente utilizados de TOC son:

- Los recursos de cuellos de botella: "recursos cuya capacidad es igual o menor que la demanda".
- Las plantas balanceadas no funcionan. No balancee capacidad con demanda, pero "equilibre el flujo de producto en la planta con la demanda del mercado". La idea es hacer que el flujo a través del cuello de botella sea igual a la demanda del mercado.
- Los eventos dependientes y las fluctuaciones estadísticas son importantes. Un evento posterior depende de los anteriores.
- El rendimiento (throughput) es: "la tasa a la cual el sistema genera dinero mediante las ventas".
- El inventario es: "todo el dinero que el sistema ha invertido en comprar elementos que pretende vender".
- Gastos operacionales son: "Todo el dinero que el sistema gasta para convertir el inventario en throughput".
- Los términos throughput, inventario y gastos operacionales definen dinero como: dinero por entrar, dinero estancado adentro y dinero que sale.

Aplicación de la Teoría de las Restricciones utilizando el siguiente método de 5 pasos:

1. Identifique las restricciones del sistema. Una restricción del sistema limita a la compañía para que logre su desempeño y metas.
2. Decida cómo explotar las restricciones del sistema. Se deben manejar apropiadamente las no-restricciones en el sistema, de forma que los recursos y materiales se utilizan para alimentar las restricciones.
3. Subordine todo lo demás a las decisiones anteriores. Las restricciones pueden tener un límite, así que busque las

formas de reducir los efectos de una restricción, o trate de aumentar las capacidades de las restricciones.

4. Eleve las restricciones del sistema. Trate de eliminar los problemas de la restricción. Esfuércese por seguir mejorando el sistema.
5. De vuelta al paso 1. Después de quebrar una restricción, regrese al paso 1 y busque nuevas restricciones.

Hojas de Ruta de Diseño para Six Sigma

Diseño para Six Sigma es el método recomendado para traer orden al diseño de producto.

En el mundo de los negocios, la ecuación para retorno de la inversión, o rendimiento de los activos netos de operación, tiene un numerador — ingresos netos, y un denominador — inversión. Los gerentes han descubierto que, cortando el denominador, la inversión en personas, recursos, materiales u otros bienes, es una manera fácil de elevar el retorno deseado sobre la inversión (por lo menos en el corto plazo) (Quality Council of Indiana, 2014)

Para hacer crecer el numerador de la ecuación se requiere una forma diferente de pensar. Ese pensamiento debe incluir formas para aumentar las ventas e ingresos. Una de las formas de aumentar los ingresos es introducir más productos nuevos para la venta a los clientes (Quality Council of Indiana, 2014)

A través del diseño de nuevos productos, existe una probabilidad de que los nuevos productos no resulten productos exitosos luego de su lanzamiento, por lo que, a continuación, se presentan algunas ideas de sobre cómo obtener productos ganadores:

- Un producto único, superior.
- Una fuerte orientación de mercado.
- Trabajo de pre-desarrollo.
- Buena definición del producto.
- Calidad de ejecución.
- Esfuerzo de equipo.
- Selección apropiada de proyecto.
- Prepararse para el lanzamiento.
- Liderazgo de la alta gerencia.
- Velocidad al mercado.
- El proceso de un nuevo producto.
- Un mercado atractivo.
- Fortaleza en las habilidades de la compañía

Con DMAIC, el analista Six Sigma toma un proceso existente, define un problema existente en el proceso, y sigue una serie de pasos para mejorar el estado actual. IDOV (Identificar, Diseñar, Optimizar y Validar) lleva a six sigma un paso más allá. El concepto central de Six Sigma sobre reducción de variación provee un apalancamiento cuando inicia en la fase de diseño de productos y procesos (Quality Council of Indiana, 2014)

DMAIC obtiene niveles six sigma en productos y procesos existentes mientras que IDOV, y las otras metodologías DFSS, cuantifica los pasos necesarios para alcanzar calidad six sigma en productos y procesos nuevos (Quality Council of Indiana, 2014)

Conforme avanzan las implementaciones Six Sigma, los nuevos proyectos se vuelven más complejos. Las fases de desarrollo generalmente seguirán la siguiente secuencia:

- Entrenamiento y lanzamiento: Los equipos aprenden la metodología DMAIC y los proyectos seleccionados representan "las frutas maduras" que producen ganancias a partir de oportunidades obvias de mejora con soluciones sencillas de implementar.
- Implementación: Los equipos trabajan en proyectos de mejoramiento que se ocupan de los objetivos centrales de negocio y utilizan herramientas estadísticas para aumentar la eficiencia y la previsibilidad del proceso.
- Diseño para six sigma (DFSS): Los equipos atacan los problemas más complejos, con el mayor potencial de ganancia. Las soluciones requieren más que mejoramiento y se vuelve una cuestión de diseño de nuevo proceso y producto.

Los proyectos DMAIC tienden a ser más fáciles y rápidos que los proyectos de diseño, por lo tanto, generan ganancias más temprano. Los proyectos DFSS tienden a tomar más tiempo en ser implementados, pero resultan en soluciones para proyectos de diseño complejos. Las organizaciones con programas six sigma bien desarrollados ejecutan proyectos DMAIC y DFSS en forma concurrente (Quality Council of Indiana, 2014)

Los siguientes pasos ayudan a determinar la disposición de la organización para utilizar DFSS:

1. Monitorear los niveles sigma: El aumento constante de niveles sigma es una indicación de que el programa es efectivo. Cuando se hacen más lentos los aumentos, los procesos existentes se pueden haber mejorado tanto como ha sido posible, y puede ser necesario un rediseño.

2. Cronograma priorizado de ideas de proyecto: Se debe planear los proyectos con anticipación y asignarles una prioridad de acuerdo con su nivel de complejidad. Cuando se acaben los mejoramientos más sencillos, asegúrese que el personal organizacional esté listo para aplicar DFSS.
3. Sea consciente de los cambios del mercado que puedan hacer que sus productos o procesos se vuelvan obsoletos: Cambios en los requisitos del cliente, en la demanda de mercado o en la tecnología pueden sugerir una necesidad de aplicar DFSS para desarrollar nuevos productos y procesos.
4. Mida la capacidad organizacional para alcanzar el éxito con DFSS: ¿Se están completando los proyectos de mejoramiento dentro de las líneas de tiempo proyectadas?, ¿Puede la gerencia de equipo involucrarse más en los proyectos de diseño y hay recursos disponibles?

Función de Despliegue de la Calidad

La Función de Despliegue de la Calidad (QFD) es una herramienta a la que algunas veces se le conoce como "la voz del cliente" o "la casa de la calidad".

En la parte superior de la casa de la calidad, el equipo de diseño enumera aquellas características de ingeniería que probablemente afectarán uno o más de los atributos del cliente. El equipo interfuncional completa el cuerpo de la casa, la "matriz de relación", indicando cuánto afecta cada característica de ingeniería a cada atributo del cliente (Quality Council of Indiana, 2014)



Figura 0.10 Función de Despliegue de la Calidad (QFD)

La base de la casa contiene la evaluación comparativa o los valores meta. Los valores indican "cuánto" para cada una de las medidas. La pared derecha de la casa indica la evaluación competitiva del cliente y otros factores que lo afectan. La comparación de la competencia se muestra a través de pesos relativos. Cuando se revisa una casa completa, el método más fácil es observar cada área por separado, paredes, techo y bases, para así comprender los factores, las fuerzas relativas, y las interacciones (Quality Council of Indiana, 2014)

La casa de la calidad es como un mapa conceptual que brinda los medios para planeación y comunicación interfuncionales. El beneficio principal de la casa de la calidad es la calidad en casa. Hace que la gente piense en la dirección correcta y que piensen juntos. La voz del cliente, externa e interna, es cuantificada y presentada en el formato de una casa de la calidad y demás, pueden ver el efecto del diseño y planear cambios para equilibrar las necesidades del cliente, los costos

y las características de ingeniería en el desarrollo de productos o servicios nuevos o mejorados (Quality Council of Indiana, 2014)

Análisis de Modo de Falla y Efecto (FMEA)

Los FMEAs son utilizados por compañías e instituciones para manejar los riesgos; los riesgos involucrados cuando ocurren fallas y sus efectos. FMEA es una técnica sistemática que ayuda a reconocer fallas potenciales en los productos o servicios y sus posibles efectos, para esto se usa equipos de trabajo para optimizar el sistema, el diseño, proceso, producto, y/o servicio (Quality Council of Indiana, 2014)

Los FMEAs se utilizan para nuevos diseños y tecnologías, la modificación de un diseño/producto existente, y/o en un nuevo ambiente o en una nueva aplicación.

Los pasos de alto nivel para un FMEA se muestran en la siguiente figura.

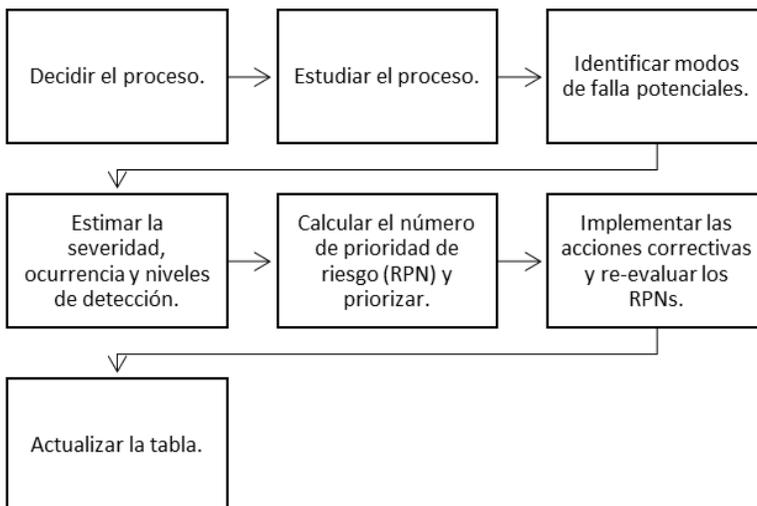


Figura 0.11 Pasos de alto nivel para un FMEA.

Los beneficios de un FMEA bien ejecutado incluyen:

- Funciones de producto/servicio mejoradas.
- Menores costos de garantía.
- Reducción de problemas de manufactura.
- Incremento en la seguridad y fiabilidad de productos y procesos.
- Métricas de satisfacción del cliente mejoradas.
- Disminución de los problemas del negocio.

El FMEA es una herramienta usada en la metodología six sigma para DMAIC o DFSS. En el mundo de DFSS, los FMEAs se utilizarán en la fase de diseño de desarrollo de un producto (concepto, diseño, optimizar y verificar), y en la fase de desarrollo se utiliza en el desarrollo de tecnología. Hay una gran variedad de FMEAs. Estos se han clasificado en cuatro tipos: sistema, diseño, proceso y servicio (Quality Council of Indiana, 2014)

Tabla 0.4 Tipos de FMEAs y su descripción.

Tipo de FMEA	Descripción
FMEAs de Sistemas	Los FMEAs de Sistemas se ocupan de los sistemas, subsistemas y componentes, así como de la interacción entre sistemas y sus elementos. Las potenciales causas de fallos se pueden obtener de los reclamos de garantía, de las quejas del cliente, de los datos de servicio de campo, datos de fiabilidad, y estudios de viabilidad
FMEAs de Diseño	Los FMEAs de diseños se encargan de reducir el riesgo de fallas. El enfoque está en los modos de falla causados por deficiencias de diseño. Se debe

Tipo de FMEA	Descripción
	<p>tener conocimiento sobre la capacidad de fabricación del proceso con respecto a las especificaciones, tolerancias, acabados, herramientas y otras fuentes. El equipo debe involucrar a personas de diseño, pruebas, fiabilidad, materiales, servicio y producción. Las causas potenciales de modos de fallas pueden estar relacionadas con materiales, procesos y costos. Para métodos de detección, uno debe usar simulación, modelaje matemático, pruebas de prototipos, diseño de experimentos, pruebas de verificación, pruebas de producto y estudios de tolerancia (Quality Council of Indiana, 2014)</p> <p>Las características de un producto se pueden clasificar como: 1. Críticas: deberá cumplir con las regulaciones de seguridad o del gobierno o con los requisitos de servicio; 2. Significativas: características de calidad del cliente y del proveedor; 3. Claves: características que ofrecen retroalimentación oportuna del producto ayudando en el proceso de acción correctiva. Esta clasificación permite ser un elemento clave en el análisis de modo de falla y efecto en los diseños (Quality Council of Indiana, 2014)</p>
FMEAs de Producto	Los FMEAs de producto tienen como objetivo enfocarse en los modos de fallas causados por operaciones de proceso o ensamble y minimizar

Tipo de FMEA	Descripción
	<p>esas deficiencias. Estos FMEAs no deben depender de cambios en el diseño del producto para corregir las debilidades del proceso. Algunos de los posibles problemas incluyen elementos relacionados con el trabajo erróneos o faltantes, en exceso o escasos, máquinas, métodos, materiales, mediciones y ambiente (Quality Council of Indiana, 2014)</p>
<p>FMEAs de Servicios</p>	<p>Los FMEAs de Servicios investigan los servicios antes de que lleguen al cliente. El enfoque es en los modos de falla (tareas, errores, fallas) causados por deficiencias del sistema o del proceso antes de que se brinde el primer servicio. Los insumos para el FMEA se pueden derivar de un QFD, de benchmarking, de investigación de mercado, y/o de grupos de enfoque (Quality Council of Indiana, 2014)</p>

Capítulo 2.

Etapa: Definir

“No habría creatividad sin la curiosidad que nos mueve y que nos pone pacientemente impacientes ante el mundo que no hicimos, al que acrescentamos con algo que hacemos”.

- *Paulo Freire*

2.1 Administración de Procesos de Negocio

La administración de procesos de negocios (BPM) es un concepto fundamental de six sigma. Un proceso de negocio es la organización lógica de los individuos, materiales, energía, equipo e información en actividades de trabajo diseñadas para producir un resultado final requerido (producto o servicio) (Quality Council of Indiana, 2014)

El BPM se concentra en entender, controlar y mejorar los procesos empresariales para crear valor para todos los interesados. La administración de procesos de negocio representa un gran avance en el pensamiento del mejoramiento de la calidad al administrar el proceso completo, a través de los "espacios en blanco", aquellas áreas que se encuentran entre responsabilidades funcionales (Quality Council of Indiana, 2014)

La administración de procesos de negocio incluye pasos para planear, organizar, controlar, analizar y mejorar el proceso, para maximizar los resultados generales de la empresa, esta es crítica

para el éxito general de la empresa, ya que esta trabaja en unir las brechas, eliminar la confusión, e identificar las oportunidades de mejoramiento global empresarial en contraposición a las oportunidades funcionales locales (Quality Council of Indiana, 2014)

2.2 Elementos del Proceso

Los elementos principales que constituyen los procesos centrales de una organización se pueden mostrar mediante el diagrama SIPOC, la cual, es una técnica de base para la administración y mejora Six Sigma. SIPOC es un acrónimo para los cinco elementos principales presentes en el diagrama, los cuales se muestran a continuación:

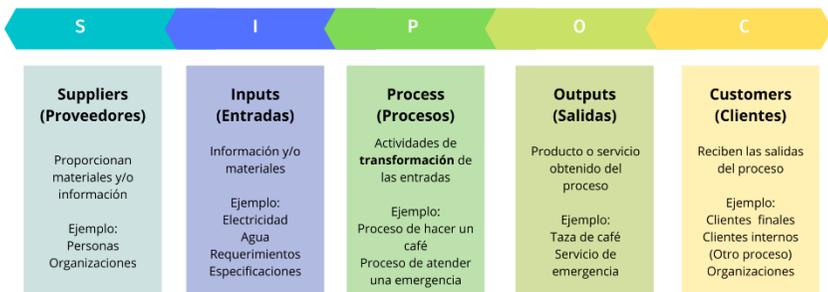


Figura 0.1 Diagrama SIPOC

Es importante tomar en cuenta las siguientes afirmaciones, las cuales, se derivan de un análisis más profundo del diagrama SIPOC

- Cualquier cambio en la salida (O) del proceso estará relacionado con uno o más cambios en el proveedor, en las entradas o en las acciones del proceso (SIP = Proveedor, entrada, proceso).

- Si todos los proveedores, entradas y procesos (SIP) son estables, la salida (O) será estable.
- Un cambio en la salida (O) significa que uno o más de los proveedores, entradas y procesos (SIP) deben haber cambiado.
- Las violaciones aparentes de esta regla indican que el modelo de proceso está incompleto (falta un SIP o un parámetro (O)... una oportunidad de construir sabiduría empresarial).
- Si uno o más de los proveedores, entradas y procesos (SIP) cambia significativamente, las salidas (O) pueden o no cambiar.
 - Si cambian las salidas (O), los cambios en proveedores, entradas y procesos (SIP) pueden usarse para predecir y controlar cambios en las salidas (O).
 - Si las salidas (O) no cambian, los proveedores, entradas y procesos (SIP) que están cambiando son robustos y pueden proveer oportunidades de ahorro para el proceso.
- Relaciones de ciclo cerrado entre proveedores, entradas y procesos (SIP) y salidas (O) proveen un método para definir correlaciones de proceso y posibles relaciones causa-efecto.

Six sigma se apoya en el modelo SIPOC para crear, monitorear y mejorar los sistemas empresariales de ciclo cerrado de administración de proceso, mejoramiento de proceso y diseño/rediseño de proceso. SIPOC puede ayudar a cualquiera a "ver" el negocio desde una perspectiva de proceso de negocio general al:

- Desplegar actividades de funciones cruzadas a través de diagramas simples (diagrama de flujo de proceso).
- Proveer un marco aplicable a procesos de todo tamaño.
- Ayudar a mantener la perspectiva empresarial global.
- Proveer métodos para adicionar detalles según se requiera.

2.3 Dueños e Interesados (Stakeholders)

Las organizaciones tienen muchas partes interesadas (stakeholders), incluyendo accionistas, clientes, proveedores, gerencia de la empresa, empleados y sus familias, la comunidad y la sociedad. Cada parte interesada tiene una relación única con el negocio. El modelo SIPOC, que fue descrito anteriormente explica la relación clásica proveedor — proceso — cliente, pero ésta es sólo una de las relaciones que se deben atender con la administración de proceso de negocio (Quality Council of Indiana, 2014)

Cada interesado o stakeholder es tanto el proveedor como el cliente, formando así muchos procesos de ciclo cerrado, que deben ser administrados, controlados, equilibrados y optimizados para que el negocio prospere. La comunicación entre la comunidad completa de stakeholders es canalizada a través de los procesos internos de la empresa (Quality Council of Indiana, 2014)

Los accionistas escogieron invertir basados en retornos esperados a corto plazo (dividendos o aumento de precio de las acciones) o a largo plazo (crecimiento). Cuando los clientes escogen comprar bienes o servicios, ellos proveen recursos financieros al proceso. Si los bienes o servicios entregados brindan el valor deseado, el cliente puede verse motivado a dar una retroalimentación o "feedback". El valor percibido es una función del costo, calidad,

características y disponibilidad del producto total (bienes y servicios) (Quality Council of Indiana, 2014)

Las actividades que no cumplan con sus objetivos tendrán efectos negativos sobre los interesados. Para los accionistas, el valor neto de la compañía se reducirá. Los proveedores pueden recibir pagos atrasados o no recibirlos del todo. La gerencia y empleados pueden ver sus niveles de salarios congelarse o reducirse, y el número de empleados puede disminuir. Los clientes pueden reaccionar a actividades que no son exitosas, buscando otras compañías con las cuales tratar (Quality Council of Indiana, 2014)

2.4 Identificar al Cliente

La calidad six sigma se construye alrededor del cliente. Todo comienza y termina con el cliente. Ellos definen la calidad y las expectativas. Ellos esperan desempeño, confiabilidad, precios competitivos, entrega a tiempo, servicio y procesamiento claro y exacto de las transacciones (Quality Council of Indiana, 2014)

Así mismo, el receptor de una operación, en un departamento interno, puede considerarse como un cliente. El cliente externo de un proceso puede ser el comprador. Pero aún si el comprador es un distribuidor, puede que no sea realmente el verdadero cliente (Quality Council of Indiana, 2014)

El cliente principal del proceso tendrá o deberá tener el mayor impacto en el proceso. Escoger al cliente principal puede requerir de alguna discusión por parte del equipo. La pregunta "¿Quién es el cliente?" puede llevar a cabo como "¿Cuál cliente nos genera dinero?". O sea, ¿existen algunos clientes que conforman el grueso de los ingresos de la compañía? (Quality Council of Indiana, 2014)

Los clientes externos son la parte más importante de cualquier negocio. Si uno los puede identificar y entender sus requisitos, podemos diseñar productos (bienes y servicios) que ellos querrán comprar. Cada negocio tiene muchos clientes potenciales, y cada cliente tiene sus propios criterios de decisión, la voz del cliente es crítica para el éxito empresarial (Quality Council of Indiana, 2014)

Clientes Internos

Un cliente interno se puede definir como cualquiera en la compañía que se vea afectado por el producto o servicio mientras se está generando. "La próxima operación como cliente", esta frase fue ideada para eliminar la sectorización de los departamentos, para resolver problemas de forma conjunta (Quality Council of Indiana, 2014)

La investigación ha demostrado que las prácticas de administración se relacionan con la satisfacción de los empleados, que además tiene impacto en la satisfacción del cliente. Cuando los empleados están satisfechos con el trato que reciben, se les dan las herramientas adecuadas para hacer el trabajo, y la administración los apoya, los clientes son más propensos a tener percepciones más elevadas de calidad y continuarán haciendo negocios con la compañía (Quality Council of Indiana, 2014)

Para permanecer competitivo en este ambiente, se requiere de una programación constante de entrenamiento para toda la fuerza laboral. El entrenamiento típico de los empleados se debe enfocar en ayudarlos a hacer mejor su trabajo (Quality Council of Indiana, 2014)

Clientes Externos

Los clientes externos no son parte de la organización, pero ésta los impacta. Los clientes externos incluyen tres tipos de clientes:

- Usuarios finales: incluye a aquellos que compran un producto o servicio para su propio uso.
- Clientes intermedios: son los que compran el producto o servicio y luego revenden, re-empacan, modifican o ensamblan el producto para la venta a un usuario final; estos "canales" pueden brindar oportunidades de volumen de ventas para una empresa.
- Partes afectadas: son aquellos que no compraron o utilizaron el producto, pero han sido afectados por él.

Los clientes externos pueden clasificarse de muchas formas, en un intento por entender mejor sus requerimientos e identificar nichos de mercado posibles.

Los clientes consumidores difieren del mercado de negocios por lo siguiente:

- El mercado de consumo tiene un gran número de clientes.
- La mayoría de las compras del consumidor son pequeñas.
- La transacción es comúnmente una compra simple.
- No tienen mucho conocimiento del producto.
- El proveedor no comparte información de su propiedad con el cliente.

En contraste, el cliente empresarial actúa de la siguiente manera:

- Hay una pequeña cantidad de clientes; tal vez sólo uno.
- La cantidad comprada por transacción es bastante grande.

- La compra es manejada por personal especializado.
- El cliente puede saber más sobre los requisitos que el productor.
- El proveedor puede dar acceso al cliente a toda clase de información.

Servicio al Cliente

El público demanda y espera productos y servicios de mejor calidad. Una muestra de un programa de enfoque al cliente sería la siguiente:

- Escuche al cliente: necesidades del cliente.
- Defina una estrategia de servicio: el enfoque en el cliente.
- Fije estándares de desempeño: necesarios para mediciones y resultados.
- Seleccione y entrene a los empleados: los empleados correctos y el entrenamiento adecuado.
- Reconozca y premie los logros: no se hace suficiente de esto.

Hay una necesidad de escuchar al cliente, proveer una visión, dar entrenamiento, mejorar el proceso, encontrar y desarrollar métricas de respuesta, y medir los resultados. Es necesario determinar quiénes son sus clientes, conocer las necesidades y expectativas de esos clientes y trabajar para satisfacer esas necesidades y expectativas (Quality Council of Indiana, 2014)

Retención del Cliente

El costo de mantener y retener al cliente actual es sólo la cuarta parte del costo de adquirir un cliente nuevo.

El ciclo de vida de un cliente es definido en 5 etapas:

- Adquisición: Convertir a un prospecto en un cliente, altos costos.
- Retención: Mantener al cliente, 1/4 parte del costo de adquirirlos.
- Desgaste: El entusiasmo del cliente se diluye, conforme crece la insatisfacción.
- Deserción: Pérdida del cliente.
- Readquisición: Volver a ganar el cliente, a un costo aún más alto.

El esfuerzo para retener a los clientes requiere de voluntad de parte de la empresa. Los clientes compran expectativas, no sólo productos y servicios. A menudo se conoce al cliente feliz como un "apóstol", debido a que ellos, estarán tan satisfechos con el producto o servicio brindado que hablará bien y recomendará la empresa, el objetivo, claramente es crear y alimentar más apóstoles (Quality Council of Indiana, 2014)

Lealtad del Cliente

Los clientes leales representan una alta proporción de las ventas y del crecimiento de las utilidades. La lealtad del cliente es algo que debe ser demostrado a través de un acto de ejecución, confianza o en un servicio superior. Ellos se convierten en sus socios.

Recolectar Datos del Cliente

Recolectar datos para conocer "la voz del cliente" es una tarea multi-nivel. Cuando se recolecten datos de los clientes, ayuda

considerar los niveles de negocios, de operaciones y de proceso donde esos clientes impactan al negocio.

Tabla 0.1 Recolección de datos en niveles de una organización

Nivel	Nivel de Negocios	Nivel de Operaciones	Nivel de Proceso
Cientes del nivel	Accionistas y empleados de la alta gerencia	Aquellos que compran el producto (externos) y aquellos que ejecutan operaciones	Internos, empleados y el "siguiente proceso" en la operación e incluyen a los proveedores
Datos de interés	Financieros	Desempeño general del proceso enfocados en la satisfacción del cliente	Variables claves de proceso
Herramientas de análisis	Financieras	Métodos six sigma y de lean, ingeniería industrial y análisis de operaciones	Métodos estadísticos para control de proceso, capacidad y mejoramiento
Intervalos típicos de medición	Trimestrales o anuales	Diarios o semanales	Desde horas a fracciones de segundo, dependiendo de las tasas de producción

2.5 **Requerimientos Críticos del Cliente**

Los clientes son los que determinan el valor de cualquier producto (bienes y servicios) con su decisión de comprar o no comprar. Estas decisiones se hacen basadas en un complejo sistema de requerimientos críticos para el cliente. Para manejar (controlar o mejorar) cualquier proceso comercial, uno debe poder determinar los requerimientos críticos del cliente que influyen estas decisiones.

El valor para el cliente se compone de los factores de costo, calidad, características de producto y disponibilidad (CQFA = cost, quality, features, availability). Además de buscar las preferencias CQFA del cliente, también ayuda entender el sistema completo de expectativas, necesidades y prioridades del cliente.

Para entender las relaciones e interacciones críticas de todos estos factores, se puede escuchar la Voz del Cliente al emplear herramientas como la función de despliegue de la calidad (QFD) e Instrumentos para Recolección de Datos.

Voz del Cliente (VOC)

El término "Voz del Cliente" es una expresión que se refiere a escuchar al cliente. Para algunas organizaciones las quejas son la única forma de escuchar a los clientes, si bien, esta es una forma de mejorar y aumentar ganancias, es importante tener en cuenta que el seguimiento a estos, puede generar aún más información sobre una oportunidad de mejora, por lo que se recomienda realizar encuestas de seguimiento, entrevistas, inspecciones o contacto personal con estos, durante la adquisición de un servicio o producto para percibir sus experiencias.

- **Despliegue de la Función de la Calidad**

El Despliegue de la Función de Calidad (QFD) es una herramienta a la que algunas veces se le conoce como como "La Casa de la Calidad". QFD se ha descrito como un proceso para asegurar que las necesidades y deseos del cliente serán escuchados y traducidos a características técnicas, las cuales, se manejan en la empresa a través de la función de diseño.

La recopilación de los deseos y expectativas del cliente se expresa a través de métodos disponibles para casi todas las empresas: encuestas, grupos de enfoque, entrevistas, ferias comerciales, líneas directas, etc. La Casa de la Calidad es una técnica para organizar los datos. El uso de matrices es la clave para construir la casa. La matriz principal es la matriz de relación entre las necesidades y deseos del cliente y las características y requerimientos de diseño.

- **Instrumentos para Recolección de Datos**

Hay instrumentos o herramientas disponibles para todos, para recolectar información sobre el cliente. Algunos de los instrumentos comunes se describen a continuación:

- Encuestas: Es un cuestionario diseñado adecuadamente para recopilar datos utilizando un grupo consistente de preguntas estandarizadas. Usualmente, se selecciona una muestra para su aplicación. Se pueden usar entrevistadores o que las respondan los clientes individualmente. Las encuestas a los clientes deben incluir temas como la percepción de calidad, información de la competencia, problemas y ventajas competitivas.

Conforme cambian las necesidades del cliente, la evaluación cambiará. Los tamaños de muestra de la encuesta al cliente y la frecuencia de aplicación pueden tener implicaciones de costo significativos, y deben escogerse para equilibrar los recursos empresariales y la necesidad de monitorear cambios en el entorno de la empresa. Se recomienda utilizar preguntas que midan cambios relativos en las actitudes del cliente de un período de encuesta al siguiente, o de un producto a otro. Se sugiere utilizar una escala Likert para evaluar los cambios en las actitudes del cliente y determinar cambios en el ambiente empresarial (Quality Council of Indiana, 2014)

Una encuesta bien diseñada y ejecutada adecuadamente puede ser una ayuda para la compañía. Puede mostrar cuáles recursos no satisfacen a los clientes, identificar oportunidades de crecimiento o corrección, y enfocar problemas de los clientes. Algunos problemas en que se puede incurrir en el uso de encuestas incluyen: diseñar incorrectamente la encuesta, realizar preguntas pobremente definidas, realizar demasiadas preguntas, entre otros.

- Grupos de enfoque: Se ensambla un grupo pequeño de individuos (típicamente de 3 a 12) para explorar temas y preguntas específicas. Se realiza en un tiempo de 1 a 2 horas.
- Entrevistas cara a cara: Se pueden utilizar entrevistas individuales de 30 a 60 minutos de duración. Esto puede consumir mucho tiempo.

- Tarjetas de satisfacción/quejas: El recibir una tarjeta genera una reacción por parte de la empresa. Estas pueden servir como formas de retroalimentación.
- Fuentes de insatisfacción: Algunos métodos para recoger la voz de la insatisfacción son: quejas, reclamos, devoluciones de dinero, retiro de productos de mercado, retornos de mercadería, repetir servicios, litigios, reemplazos, rebajas, trabajo por garantía, fallos en el envío, etc.
- Comprador competitivo: Los compradores evalúan a la compañía y a la competencia. Los ejecutivos pueden llamar a sus propias oficinas para medir la facilidad de acceso de los clientes.
- **La información recolectada debe permitirle a la organización identificar los requisitos del cliente y detectar nuevas tendencias.**
- **Análisis de Datos del Cliente**

El análisis de datos puede ayudar a determinar cuándo y dónde las actitudes del cliente son diferentes o están cambiando, así como comparar las actitudes entre grupos o segmentos de clientes, para esto se pueden utilizar diversas herramientas como: pruebas estadísticas (determina con niveles de confianza las preferencias de los clientes), gráficas de líneas (cambios en el producto o servicio ofrecido), gráficos de control (permite encontrar causas asignables o especiales), diagrama de matriz (para examinar quejas o defectos de los clientes), análisis de Pareto (muestra defectos o rechazos del cliente y sus razones), entre otros.

- **Expectativas del Cliente**

Esto es una necesidad que va más allá de la venta, el descubrir los factores subjetivos de por qué un producto fue comprado. El poner énfasis en escuchar al cliente, se traduce en contar con información sobre sus expectativas, las prioridades de éstas y las necesidades del cliente.

Las expectativas del cliente pueden clasificarse como:

- Básicas: Los atributos estrictamente esenciales del producto o servicio deben estar presentes.
- Esperadas: Algunos atributos serán ofrecidos como parte del producto.
- Deseadas: Estos son los atributos que vale la pena tener, pero que no son necesariamente provistos como parte del paquete.
- No anticipadas: Estos son atributos sorpresa que van más allá de lo que el cliente espera de la compra.

- **Necesidades del Cliente**

Conforme el cliente obtiene un producto o servicio adecuado (las necesidades básicas se llenan), buscará nuevos atributos, por lo que, las necesidades de los clientes se encuentran siempre en continuo cambio por lo que se requieren productos o servicios nuevos que reemplacen los existentes o los inadecuados.

Hay necesidades del cliente relacionadas con el uso del producto:

- Conveniencia: La tecnología en el mundo actual puede dar lugar a nuevos productos y servicios no soñados antes.

- Características de simplificación del producto: Los nuevos productos pueden ser difíciles de utilizar. Los productos o servicios deberían ayudar a facilitar su utilización.
 - Comunicaciones: La necesidad de estar informado y tener acceso a información legítima.
 - Servicio para fallas de producto: Cuando falla un producto, ¿con qué recurso cuenta el cliente (garantías, retornos, cambios, etc.)?
 - Servicio al cliente: Los clientes esperan que las compañías tengan a su disposición personal adecuadamente entrenado para manejar sus quejas.
- **Prioridades del Cliente**

El cliente tendrá prioridades para el cumplimiento de sus muchas expectativas y necesidades. De esta forma, será un problema para el proveedor el poder determinar cómo saber lo que sus clientes quieren y cuáles deberían ser las prioridades de la compañía.

El uso de prioridades para las necesidades y expectativas del cliente puede permitirle a la compañía responder de una manera más oportuna. También pueden dirigir al equipo hacia la mejora de un área de debilidad.

2.6 Equipos de Trabajo

Beneficios que traen los equipos a la empresa

Los miembros del equipo tienen diversas habilidades y experiencias, y pueden representar a varios departamentos y funciones en la organización. Lo que tienen en común es su involucramiento en el problema que debe ser atendido. Los

beneficios de un enfoque en equipo hacia los problemas son numerosos.

Los equipos de mejoramiento:

- Pueden comúnmente resolver asuntos mayores, que individuos trabajando solos.
- Pueden construir una mejor comprensión del proceso que necesitan mejorar.
- Pueden tener acceso inmediato a las destrezas y conocimiento técnicos de todos los miembros del equipo (además de los Green Belts, Black Belts, y máster Black Belts, en el típico esquema six sigma).
- Pueden confiar en el apoyo y cooperación mutuos que surgen entre los miembros del equipo, conforme trabajan en un proyecto común.

Objetivos del Equipo

El propósito fundamental de hacer equipos, es mejorar eficiencias internas y externas de la compañía. Esto se logra mediante los esfuerzos de los miembros del equipo para mejorar la calidad, los métodos, y/o la productividad. Si los equipos están funcionando apropiadamente, ellos:

- Mejorarán la moral de los empleados.
- Eliminarán las áreas de conflicto.
- Desarrollarán las destrezas creativas de los miembros.
- Mejorarán la comunicación y las habilidades de liderazgo de los miembros.
- Desarrollarán técnicas para resolución de problemas.

- Mejorarán las actitudes de la gerencia y de los miembros del equipo.
- Indicarán a los miembros del equipo que la gerencia escuchará.
- Demostrarán que los empleados tienen buenas ideas.
- Mejorarán las relaciones entre la gerencia y los empleados.

Empoderamiento del Equipo

Los miembros del equipo tienen control sobre el desempeño y comportamiento del equipo. El control es una fuente de poder. La información es otra fuente. Para ser efectivos, los equipos necesitan información (Quality Council of Indiana, 2014)

Los "charters" de equipo son una herramienta muy útil para ayudar al equipo y la gerencia a entender exactamente qué es lo que el equipo está empoderado para hacer (Quality Council of Indiana, 2014)

El acceso a los recursos es una tercera fuente de poder. La capacidad de un equipo para tener éxito dependerá en parte de qué tanta libertad tenga para utilizar los recursos de la organización (Quality Council of Indiana, 2014)

Apoyo de la Gerencia

La gerencia apoya el proceso de equipos cuando:

- Asegura una constancia de propósito.
- Refuerza los resultados positivos.
- Le da a las personas un sentido de misión.
- Brinda dirección y apoyo.

- Comparte los resultados de negocio.
- Desarrolla un plan integral.

La gerencia debe dar más que apoyo pasivo al equipo. Esto significa que la gerencia, especialmente los mandos medios, debe estar educada a tal grado que esté entusiasmada con el concepto de equipo. La implementación de programas de proyectos y soluciones procedentes de los equipos debe tener prioridad. Para que los equipos sean exitosos, la gerencia debe reconocer que habrá trabajo adicional creado por sus esfuerzos (Quality Council of Indiana, 2014)

Tipos de Equipos

Los siguientes tipos de equipos se utilizan en las industrias alrededor del mundo actualmente:

Equipos Six Sigma: son los equipos conformados por Yellow Belts, Green Belts y existe apoyo adicional del black belt y máster black belt.

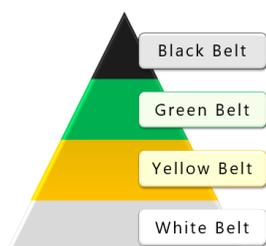


Figura 0.2 Pirámide de los Cinturones (Belts) de Lean Six Sigma.

Equipos de Mejoramiento: son grupos dedicados a resolver problemas de calidad/productividad, encontrar e implementar soluciones razonables.

Equipo de Mejoramiento de Proceso: equipos dedicados a estudiar minuciosamente los procesos de una organización, buscan estudiar flujos y los bienes producidos.

Equipos de Proyecto/Grupos de Tarea/ Equipos Ad Hoc: estos equipos son generalmente ad hoc y se disuelven una vez que hayan completado sus tareas, los miembros son seleccionados basados en su experiencia y son dirigidos por la gerencia para estudiar áreas específicas.

Equipos Auto-dirigidos: este tipo de equipo opera con un mínimo de dirección diaria de parte de la gerencia, cuando estos equipos entienden su "charter" y han trabajado en sus normas, está listo para encargarse de crear soluciones y mejoramiento.

Equipos de Función Cruzada: se forman con individuos que representan los diferentes departamentos o áreas funcionales en la organización, suelen ser expertos en esas áreas, estos equipos promueven la aceptación e implementación del cambio.

Equipos de Calidad: estos equipos ayudan a mejorar las eficiencias internas de la compañía, los productos internos y externos y la calidad del servicio a través de métodos y proyectos.

Organización del Equipo de Trabajo Natural: en equipos de trabajo natural, usualmente el liderazgo se le da al supervisor del área, y se compone por un facilitador; estas personas por lo general están preparadas para monitorear avances, supervisar progresos y entrenar a los miembros en sus responsabilidades.

Estructura de las Reuniones de Equipos

Cualquier reunión efectiva de equipos, necesita una estructura lógica. A continuación, se muestra una serie de pasos a seguir al estructurar una reunión:

1. Desarrollar una agenda.
2. Distribuir la agenda con anticipación.
3. Empezar a tiempo.
4. Designar una persona para documentar la minuta.
5. Utilizar ayudas visuales libremente (rotafolios, pizarras).
6. Reforzar: resolución de conflictos, participación, solución de problemas.
7. Resumir y repetir los puntos principales cuidadosamente.
8. Incluir los asuntos sin terminar en la siguiente agenda o dejarlos como un pendiente.
9. Revisar las asignaciones y fechas de entrega.
10. Terminar a tiempo.
11. Distribuir las minutas de inmediato.
12. Criticar la efectividad de las reuniones periódicamente.

Selección De Miembros del Equipo

Para la selección de un equipo es importante primero analizar aquello que está afectando de forma negativa a la organización y como consecuencia está generando algún problema o “dolor” en esta, así como las áreas que tienen relación con el problema y dónde pueden estar las posibles causas. Así mismo, se debe de estudiar las habilidades que poseen los futuros miembros, así como su conocimiento e información relacionada a la problemática. Por lo que, las mejores y más brillantes personas de la organización deben ser escogidas.

Agregando a Nuevos Miembros de Equipo

Se debe tener cuidado cuando se agregan nuevas personas a un equipo existente, debido a que esto puede disponer a los miembros actuales, por lo que, se recomienda que la elección de nuevos miembros se haga de forma electiva, donde cada uno de los integrantes pueda estudiar y analizar los aportes que debería de dar el nuevo miembro del equipo con respecto a los candidatos que se tengan en la realidad.

Destituyendo a Miembros del Equipo

Aunque se esmere el esfuerzo, en algunas situaciones, es necesario separar a un miembro del resto del equipo, siendo las razones de esta decisión innumerables y pueden derivar desde la falta de interés por el aporte al equipo hasta conflictos por la personalidad entre miembros del equipo. Para estas situaciones incómodas, pero realistas, se aconseja utilizar el diálogo directo con los miembros de la situación, si estos no mejoran luego de las distintas conversaciones es donde se debe tomar la opción de removerlo de forma permanente de este.

Tamaño del Equipo

Un equipo puede constituirse desde un grupo de personas de un área específica o de distintas áreas de la organización, el tamaño de un equipo puede variar según el enfoque y los objetivos que se le asignen a este así como de los conocimientos que poseen los miembros seleccionados para el equipo. Por lo que, el tamaño puede ser relativo, tomando en cuenta las responsabilidades y alcance que posean los proyectos, así como el tiempo que disponen para cumplirlos.

Diversidad del Equipo

Para lograr el desempeño óptimo, un equipo a veces necesita diversidad en la orientación de sus miembros individuales. Algunos miembros son necesarios por su orientación primaria hacia la tarea y el cumplimiento de las fechas acordadas. Otros serán necesarios por su capacidad de planeación, organización y métodos de trabajo. También se necesitan miembros que cultiven, estimulen y promuevan la comunicación. Un buen entendimiento de esas fortalezas descritas y del valor que cada una trae al equipo, proporciona la guía necesaria para la selección de los miembros del equipo.

Etapas del Equipo

Para lograr la productividad de un equipo, este debe de pasar por etapas de desarrollo, las cuales, son formación, confrontación, normalización y desempeño, a estas etapas también se les llama ciclo de vida de un equipo, en la siguiente figura se muestran las características más importantes de cada etapa.

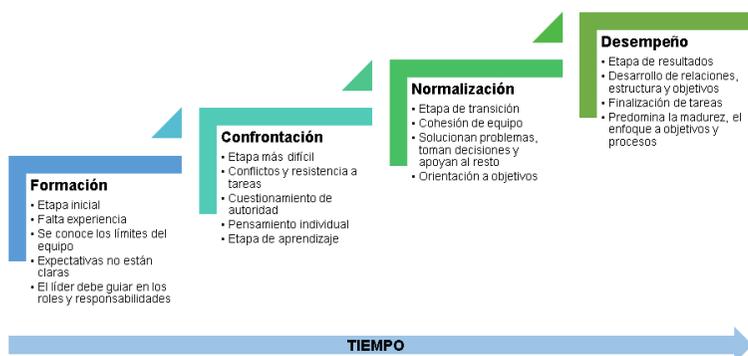


Figura 0.3 Etapas de desarrollo de un equipo

Reconocimiento y Recompensa

La razón por la que se realiza un sistema de reconocimientos y recompensas es para reforzar el buen desempeño que realizan los equipos durante el desarrollo de los objetivos y los resultados que genera el arduo trabajo de cada integrante, existen diversos tipos de recompensas como artículos materiales de valor significativo a nivel monetario o de mérito y recompensas intangibles, las cuales, se ven vinculadas con las emociones y sentimientos del personal en el ámbito laboral.

Cuando se habla de recompensas individuales debe de procurarse que estas posean un valor único para quien lo reciba y si son recompensas grupales estas deben ser las mismas para todos los miembros del equipo.

Rol del Comité Directivo

El comité directivo está compuesto normalmente por la alta gerencia y es el primer paso para iniciar con proyectos six sigma en la organización.

Este comité es el responsable de establecer metas, identificar proyectos, seleccionar a los equipos de trabajo para la ejecución de los proyectos, apoyar a los equipos de proyecto, lo cual, incluye velar por entrenamientos, conseguir los recursos necesarios para el proyecto, ofrecer experiencia al equipo por medio de personas líderes y experimentadas; así mismo, el comité directivo vela y está al tanto de los avances del equipo en sus objetivos.

Este rol es importante para la ejecución de proyectos debido a que ellos se encargan, por lo general, de la aprobación de nuevas ideas

y mejoras para la organización, ya que como se explicó anteriormente, son los encargados de proveer lo necesario al equipo desde distintos aspectos para lograr el cumplimiento de objetivos.

Facilitación de Equipos

Los facilitadores son de gran utilidad tanto para las actividades de inicio de los equipos como para una variedad de otras actividades de equipo. El líder de equipo y/o facilitador debe entender la dinámica del grupo y cómo el grupo se mueve a través de las etapas de desarrollo o ciclo de vida del equipo.

El rol de facilitador es importante debido a que permite ser una guía para los equipos, ellos se encargan de dar dirección, identifican a los miembros del equipo que requieren algún entrenamiento, ofrecen retroalimentación y los avances del equipo y su trabajo, vela por que la carga de tareas para los miembros sea equivalente, toma un papel neutral en el equipo, lo cual, es importante para la resolución de conflictos entre los miembros del equipo y además, evalúa el progreso de objetivos y el desempeño que han adquirido en la ejecución de estos.

Los facilitadores de un equipo siempre deben de evitar ser críticos de los miembros del equipo, así mismo, formar parte de bandos que se formen en los equipos por diferencias de ideas, ser parte de las discusiones del grupo de una forma conflictiva y no neutral, así como estar realizando sugerencias, pero no implementarlas en los procesos.

El Rol del Líder

El rol del líder no es el de "mandar" al equipo, si no el de asegurar la implementación de la misión del equipo y su charter. La necesidad de facilitación y liderazgo a menudo va disminuyendo conforme va aumentando la capacidad dentro del equipo (Quality Council of Indiana, 2014)

Un líder se encarga de brindar dirección y visión a los equipos, actuar como puente de comunicación con las altas gerencias, toma medidas para asegurar el éxito, así mismo debe de trabajar con el equipo y no sobre él, debe de estimular la participación de los miembros del equipo, así como apegarse a las tareas que debe de realizar.

El Rol del Miembro de Equipo

Cada miembro del equipo debe de ser responsable de participar en el entrenamiento ofrecido para poder adquirir un mayor conocimiento sobre sus roles y funciones, participar en reuniones del equipo para mantenerse informado sobre lo que sucede en el equipo, así como su progreso, debe de velar por el cumplimiento de todas las tareas asignadas debido a que esto puede impactar el desempeño del equipo de forma positiva o negativa, así mismo, debe de participar y aplicar la mejora en el equipo según los proyectos o ideas propuestas para mejorar resultados.

Dentro de un equipo pueden existir otros miembros del equipo que poseen un rol de secretario, el cual, lleva los registros y controles de las reuniones y lo que se acuerda en ellas, así como preparar documentación importante que permite la ejecución de proyectos; por otra parte, según la naturaleza del equipo puede

existir un miembro del equipo que posea el rol de controlador del tiempo, esta es la persona que vela por llevar el control de las tareas pendientes y el tiempo disponible para la finalización del proyecto, así como tomar el rol del facilitador dentro del equipo cuando este se encuentre ausente.

2.7 Herramientas de Equipo

En muchas ocasiones, los equipos al tener la obligación de resolver problemas o tomar decisiones utilizan herramientas de equipo, para poder tomar la decisión basada en todas las perspectivas de cada miembro del equipo, algunas de estas herramientas son las siguientes:

- **Técnica de Grupo Nominal**

Esta técnica une a las personas para resolver problemas, pero limita la interacción inicial entre ellos.

Esta técnica se realiza a través de los siguientes pasos:

- Un facilitador o moderador para liderar la discusión.
- Se conforma un grupo de cinco a nueve personas para generación de ideas.
- Se presenta un problema.
- Todos los miembros deben generar ideas en forma silenciosa e individual, por un espacio de 5 a 10 minutos, y escribirlas en una hoja de papel.
- El facilitador solicita entonces una idea de cada miembro en forma secuencial. Cada idea es registrada hasta que se agoten las ideas. No se permite discusión en esta etapa.
- Una vez que se han agotado las ideas, se permiten las aclaraciones, los respaldos y la evaluación de las mismas. Se alienta a los participantes a escuchar las ideas de otros.

- Luego, se vota sobre la idea que ofrece la mejor solución (jerarquización, orden de prioridad, etc.). Pueden requerirse varias rondas de votación antes de que se encuentre la idea más idónea para solucionar el problema.

Estas reuniones pueden requerir hasta tres horas de tiempo para su realización, el facilitador debe de mantenerse neutral con las ideas de solución del problema brindadas y no influenciar al equipo por alguna en específico.

- **Multi Voto**

El multi voto es una forma común de seleccionar de una lista generada previamente los ítems más populares o los que son potencialmente más importantes. Tener una lista de ideas no se traduce en acción. A menudo, hay demasiados ítems para que un equipo trabaje en todos a la vez, por lo que se deben de identificar las situaciones significativas.

Esta técnica del multi voto se puede generar por medio de los siguientes pasos:

- Generar y enumerar una lista de ítems.
- Combinar los artículos similares si el grupo está de acuerdo.
- De ser necesario, se debe volver a enumerar la lista.
- Permitir a los miembros escoger varias ideas o situaciones que ellos consideran son las más importantes.
- Los miembros pueden escoger sus opciones en forma silenciosa y luego se tabulan los votos.
- Para reducir la lista, se deben eliminar las ideas con la menor cantidad de votos.
- Elegir las ideas con mayor cantidad de votos y asignarlas según la capacidad del equipo.

- **Lluvia de Ideas**

La lluvia de ideas o brainstorming es una técnica que intencionalmente no tiene inhibiciones, para generar ideas creativas, cuando la mejor solución no es obvia. Algunas recomendaciones para aplicar la lluvia de ideas son las siguientes:

- Generar una gran cantidad de ideas, se debe dejar fluir las ideas y no detener a nadie.
- Incentivar el pensamiento libre, aunque las ideas puedan parecer “tontas” pueden ayudarle a generar ideas a otras personas.
- No debe de criticarse las ideas de otras personas durante la generación de ideas, ya que, esto detiene a las personas a seguir generando; para realizar este tipo de acciones existirá un espacio después de la lluvia de ideas.
- Se debe estimular a que todas las personas del equipo participen en la generación de ideas.
- Registrar cada una de las ideas expuestas, sin editar su sentido ni excluir alguna.
- Se debe dejar formular las ideas, por lo que generar un espacio pequeño de meditación es una buena opción, pero no se debe dejar que se alargue demasiado.
- El lugar donde se desarrolle la lluvia de ideas debe ser un lugar cómodo y casual para estimular esta.
- El tamaño del grupo para generar una lluvia de ideas se recomienda que sea de 4 a 10 personas.

- **Pensamiento de Grupo**

Este pensamiento se da cuando existe una alta cohesión entre los miembros del grupo, esto debido a que evaden la existencia de conflictos o diferencias en el grupo, por lo que, en muchas

ocasiones genera la toma de malas decisiones; lo que provoca que pierda su capacidad de evaluación, los miembros al sentir la cohesión del grupo se les hace difícil criticar o evaluar las ideas o sugerencias de otros debido a que no desean generar desacuerdos con estos; por lo que, el pensamiento de grupo puede ser una desventaja para los equipos y el desarrollo de este.

Existen ocho "síntomas" que presentan los equipos con pensamiento de grupo, los cuales, son:

- Sentir que se está por encima de la crítica.
 - Sentir que el grupo está esencialmente en lo correcto y por encima de cualquier reproche de quienes están afuera del grupo.
 - Rehusarse a aceptar información contradictoria o a considerar alternativas a fondo.
 - Rehusarse a ver a otros grupos en forma realista.
 - Rehusarse a comunicar las preocupaciones personales al grupo como un todo.
 - Aceptar el consenso en forma prematura, sin comprobar que sea completo.
 - Rehusarse a tolerar a un miembro quien sugiere que el grupo puede estar equivocado.
 - Proteger al grupo para que no escuchen ideas o puntos de vista de personas externas.
- **Otras Áreas de Problema de Equipo**

Las siguientes áreas de problemas se presentan con frecuencia y deben ser atendidas por los líderes, facilitadores y la alta gerencia:

- La alta gerencia disminuye su apoyo, lo cual, se denota cuando hay apoyo verbal pero no acciones o cuando hay retrasos en la implementación de proyectos.
 - Cuando la documentación y los entrenamientos recibidos por el equipo es inadecuado.
 - La existencia de controversia o problemas entre facilitadores y líderes del equipo.
 - Los sistemas de recompensas y medición poseen inconsistencias.
 - Conflictos entre los miembros del equipo.
 - El equipo debe de cubrir responsabilidades que no están entre sus alcances.
 - La falta de involucramiento de los equipos.
- **Técnicas de Comunicación**

La información debe fluir en forma continua tanto verticalmente como horizontalmente a través de toda la empresa. Un buen líder de equipo debe entender cómo fluye el proceso y cómo utilizarlo; deben de monitorear la información interna como externa, así mismo debe de tomar decisiones sobre la información suministrada.

Las comunicaciones influyen en el trabajo de los empleados de una organización, informa a los empleados sobre el desempeño de su trabajo, ayuda a controlar el progreso de la compañía e inspira a los empleados a través de una cultura.

Flujo de la Comunicación Hacia Abajo

Este flujo de comunicación se refiere al que fluye de la alta dirección hacia las áreas operativas, en este flujo es común que un mensaje original de la alta gerencia de una compañía muchas veces

puede estar distorsionado cuando llega al nivel de los empleados de piso; por lo que ahí deben de actuar los líderes y facilitadores aclarando con la información más acertada y cierta las dudas generadas en estas áreas.

Flujo de la Comunicación Hacia Arriba

Consiste en la información que se ofrece desde los niveles de abajo u operativos, hacia los niveles más altos de la compañía, este tipo de comunicación le permite a la alta gerencia conocer sobre la situación de la compañía y poder actuar sobre estas situaciones, existen formas de extraer información de parte de la gerencia, como las reuniones, sistemas de sugerencias o encuestas a los empleados de los niveles bajos.

Información Engañosa

La información engañosa tiene muchos orígenes y causas. La alta gerencia en algunas ocasiones no recibe la información correcta o completa por las siguientes razones:

- En la comunicación vertical, los subordinados pueden retener información que tienda a desacreditarlos.
- Puede haber una tendencia a decirle al supervisor solamente lo que desea escuchar, principalmente si se trata de una persona autoritaria, filtrando lo negativo.
- Un gerente o líder involucrado, no está siempre rodeado por aliados. En una organización típica, puede haber competencia y rivalidad.

Comunicaciones Horizontales

Consisten en compartir información a través de los mismos niveles de la organización. Es una parte muy importante del proceso de las comunicaciones. Por ejemplo, cuando los ingenieros de producción informan sobre la planificación de la producción y el grupo de planificación comparte información con producción o viceversa. Esta comunicación permite que muchas de las funciones de la organización se puedan desarrollar.

Comunicaciones Formales e Informales

Las comunicaciones formales son métodos oficiales formalmente autorizados por la empresa para comunicar a los empleados. Los métodos pueden ocurrir hacia arriba, hacia abajo o en forma horizontal en la organización. El vínculo de la comunicación informal en una empresa es la conversación de pasillo, el chisme, el molino de rumores, etc. Donde se discute información sobre muchas cosas.

Otras Formas de Comunicación

La palabra hablada por vía telefónica, cara a cara, en reuniones informativas, cintas de video, e inclusive el Internet son formas de comunicación oral. Ejemplos de comunicación escrita incluyen cartas, reportes, mensajes de computador y correos electrónicos. Las formas escritas pueden ser descritas como canales de una sola vía, esto significa que, en los canales de una sola vía, la retroalimentación o respuesta a un reporte o a un registro no es inmediata. Las reuniones cara a cara permiten que se dé la retroalimentación inmediata del receptor al emisor (comunicación de doble vía).

Estrategias de Escucha

Escuchar, la otra mitad del concepto de comunicación, ha recibido muy poca atención. La escucha activa se define como ayudar a encontrar la fuente de los problemas o significado. La persona que escucha en forma pasiva va a responder de una forma tal que va a desmotivar al emisor del mensaje y no querrá decir nada más.

Para poder escuchar bien a las personas se debe de mostrar deseo de escuchar, crear empatía con la persona, ser paciente a su respuesta, hacer preguntas, evitar críticas y dejar de hablar, solamente escuchar.

Resolución de Conflictos

No hay un método específicamente correcto o incorrecto para manejar conflictos. El método que tendrá mejor resultado depende de la situación y de las interacciones de las partes afectadas. Existe una matriz de resolución de conflictos que expone un modelo de dos dimensiones para el comportamiento del manejo de conflictos y las situaciones que generalmente se suelen presentar, la matriz se muestra en la siguiente figura.

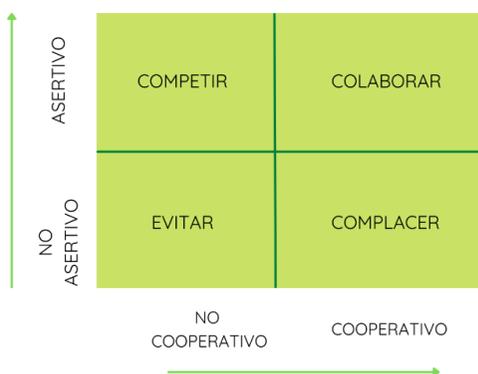


Figura 0.4 Matriz de resolución de conflictos

Esta matriz se interpreta de la siguiente forma:

- Evitar el conflicto no es asertivo ni permite cooperar. El individuo se extrae de la situación. (Usted pierde, Yo pierdo).
- Ser complaciente no es asertivo, pero es cooperador. El individuo se acomoda a los deseos de otros. (Usted gana, Yo pierdo).
- Competir es asertivo, pero no hay cooperación. El individuo trata de ganar, aún a costa de otros. (Usted pierde, Yo gano).

- Colaborar es asertivo y cooperador. El individuo desea que las cosas se hagan a su manera, pero está dispuesto a explorar soluciones que satisfagan también las necesidades de otras personas. (Usted gana, Yo gano).
- Comprometerse es un punto intermedio tanto en asertividad como en cooperación. El individuo está dispuesto a ceder parcialmente para encontrar un punto intermedio, partiendo las diferencias a la mitad, y satisfaciendo parcialmente a cada una de las partes. (No hay ganadores ni perdedores).

Siempre se espera llegar al último punto, es decir, donde no existan ganadores ni perdedores, sino que exista una satisfacción parcial de las partes en conflicto.

Durante el manejo de conflictos es importante tomar en cuenta que es adecuado sólo hablar sobre tareas importantes, evitar temas que crean más daño al conflicto, escuchar todas las partes por igual, entender el problema y la percepción de las partes sobre este, buscar la causa del problema y trabajar en una solución.

Técnicas de Negociación

Negociar es el acto de intercambiar ideas o realizar cambios en las relaciones para cumplir con una necesidad. La negociación basada en intereses puede ser considerada, para todos los efectos, como las negociaciones ganar — ganar. Esto contrasta con la negociación colectiva tradicional, basada primordialmente en la premisa de que el resultado de las negociaciones produce solamente ganadores y perdedores.

El concepto de negociación ganar — ganar implica que ambas partes van a salir al final del proceso con un acuerdo exitoso. Si la negociación es vista como un juego competitivo, que debe tener al final un ganador y un perdedor, es posible que el perdedor no acepte jugar la próxima vez. Existen cuatro pasos en la filosofía de negociaciones ganar — ganar, los cuales se muestran a continuación.

Paso 1. Establecer Planes Ganar — Ganar

El negociador debe determinar los objetivos y metas que debe alcanzar. Adicionalmente, debe considerar cuáles pueden ser las metas que desea alcanzar la otra parte. La esencia de la planificación ganar — ganar es ayudar a la otra parte a alcanzar sus metas, lo que se traducirá a la vez en que el negociador alcance sus metas.

Paso 2. Desarrollar Relaciones Ganar — Ganar

El desarrollo de relaciones va a conducir a mejores acuerdos. Es mucho mejor hacer negocios con alguien a quién usted conoce bien. Las sesiones de negociación deben permitir que ambas partes se conozcan y desarrollen confianza mutua.

Paso 3. Construir Acuerdos Ganar — Ganar

Los acuerdos ganar — ganar se desarrollan normalmente dentro de las siguientes líneas:

- Inicie confirmando las metas de cada uno.
- Verifique las zonas de acuerdo para cada parte.
- Considere las soluciones alternativas en las áreas de desacuerdo.

- Resuelva las diferencias.

La otra parte debe sentirse bien, para que el resultado sea alcanzar el acuerdo.

Paso 4. Realizar Mantenimientos Ganar — Ganar

El involucramiento de las personas es necesario para que el acuerdo sea llevado a cabo. Una relación significativa requiere mantenimiento para conservar la confianza mutua, ofrecer retroalimentación y reforzar el compromiso.

2.8 Project Charter

Un charter es un documento escrito que define la misión del equipo, el alcance de la operación, los objetivos, el tiempo de ejecución y las consecuencias. Los charters pueden ser desarrollados por la alta gerencia y presentados a los equipos, o los equipos pueden crear sus propios charters y presentarlos a la alta gerencia.

Los objetivos siempre deben establecerse en términos medibles. El charter debe también definir el alcance operativo. Esta es una oportunidad para identificar los límites organizacionales u operacionales, dentro de los que se espera o autoriza al equipo a operar. Definir los límites es crucial para evitar desgaste de energía y atrasos de tiempo causados por guerras territoriales.

Un buen charter debe incluir una sección que describa el apoyo de la alta gerencia y su compromiso. Esto es importante porque algunos miembros del equipo pueden sentir que están asumiendo un riesgo personal al convertirse en integrantes de un equipo de

alto perfil. Identificar los detalles mencionados, en forma escrita, va a proveer un enfoque constante y consistente para el equipo.

Los project charter siempre deben de incluir los siguientes elementos.

Tabla 0.2 Elementos del Project Charter y su descripción.

Elemento	Descripción
Propuesta de Negocio	La propuesta de negocio es una breve descripción de las razones estratégicas para realizar el proyecto. La razón de ser de la propuesta de negocio normalmente involucraría calidad, costo, o entrega de un producto con una justificación financiera.
Declaración del Problema	Una declaración del problema detalla la situación que el equipo desea mejorar. La declaración del problema debe ser neutral, para evitar llegar a conclusiones. Un punto de partida es el nivel de desempeño que muestra una métrica en particular al iniciar un proyecto. La declaración del problema debe ofrecer detalle del monto que se desea mejorar con una fecha firme de finalización del proyecto.

Elemento	Descripción
Negociación del Charter	El Project Charter puede ser creado y presentado por la alta gerencia. Sin embargo, el equipo de proyecto podría estar más cerca de los hechos reales y podría proponer una forma diferente de ataque que la visualizada por la gerencia. Debe haber entonces una disposición de ambas partes para negociar los detalles del proyecto. Generalmente, es mejor manejar las negociaciones del charter al inicio del proyecto. Las negociaciones del charter pueden requerirse en cualquier etapa del proyecto.
Alcance del Proyecto	Se refiere a los límites del proyecto. Es un intento para delimitar el rango de actividades del equipo. Se sugiere que cada equipo trabaje fuertemente en su primera reunión para aclarar el alcance del proyecto.
Declaración de la Meta	La declaración de la meta será creada y acordada por el equipo y su líder, esta meta debe de ser realista, formulada a partir de históricos de lo que se desea mejorar y de las proyecciones o cálculos que se han realizado basado en el beneficio que va a generar la mejora propuesta.
Hitos y Entregables	Para cualquier proyecto bien administrado, se utiliza un grupo de etapas o hitos para mantener el proyecto en su curso y para ayudar a lograr que el proyecto sea completado.

Elemento	Descripción
Composición del equipo	La composición del equipo es de suma importancia, especialmente para proyectos críticos. Los equipos deben estar conformados por personas calificadas con suficiente experiencia para lograr lo planteado en el charter. El equipo no debe incluir a personas que sólo están interesadas en la mejora.
Recursos requeridos	Se deben detallar los recursos requeridos para el proyecto. Dentro de esto se incluyen personas, equipo, maquinaria, tiempo, espacio, teléfonos, servicios, entre otros.
Análisis de las Partes Interesadas (Stakeholders)	Al implementar un proyecto dentro de una organización este siempre se acompaña de cambios, donde diferentes áreas de organización tanto externas como internas se puede ver afectada por estos cambios y generar resistencia a estos; por lo que es importante analizar a todas las partes interesadas de la organización e identificar la forma en la que se pueden involucrar estos a los procesos internos permitiendo eliminar la mayor parte posible de obstáculos y generar alternativas que permita realizar el cambio de una forma más amena para todos.

2.9 Diagramas de Pareto

Los diagramas de Pareto son gráficos de columnas que se utilizan para priorizar oportunidades de mejora donde se muestran las oportunidades con mayor incidencia y por ende, las primeras que se deben de estudiar y analizar.

Existe un principio, el cual, es denominado “Principio de Pareto” que establece (en la mayoría de los casos) que unas pocas categorías de problemas (aproximadamente un 20%) presentarán la mayor oportunidad de mejora (aproximadamente un 80%).

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de Diagrama de Pareto.

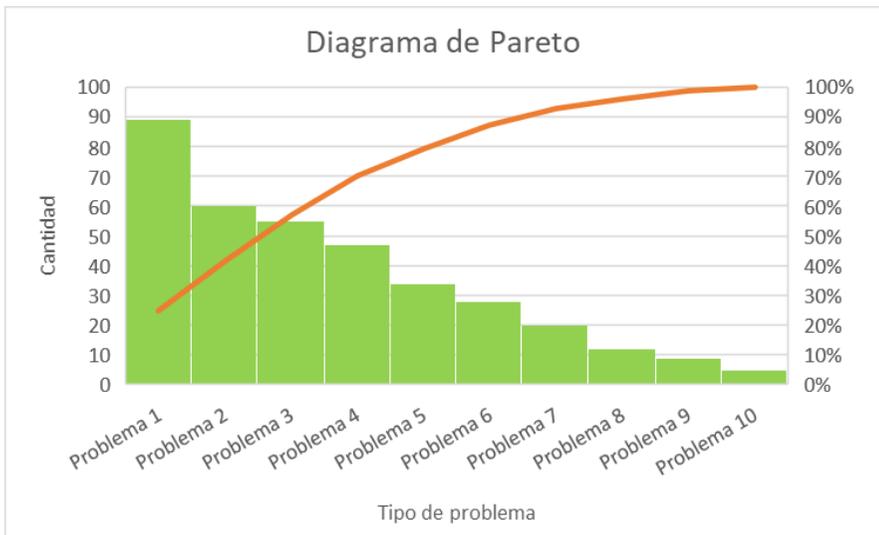


Figura 0.5 Diagrama de Pareto

2.10 Diagramas de Flujo

Los diagramas de flujo, o diagramas de proceso, son útiles para que las personas se familiaricen con un proceso, así como para detectar oportunidades de mejora; debido a que se pueden identificar aquellas actividades de los procesos que no agregan valor para el cliente.

Los pasos a seguir para crear un diagrama de flujo y analizarlo son los siguientes:

1. Organizar un equipo con el propósito de examinar el proceso.
2. Construir un diagrama de flujo para representar cada paso de proceso.
3. Discutir y analizar cada paso en detalle.
4. Realice la pregunta clave, ¿"Por qué lo hacemos de esta forma?".
5. Compare el proceso actual con un proceso imaginario "perfecto".
6. Preguntarse si existe complejidad innecesaria.
7. Preguntarse si existe duplicación o redundancia.
8. Preguntarse si se han definido puntos de control para prevenir errores o rechazos y si deberían definirse.
9. Preguntarse si se está ejecutando este proceso de la forma en que se debería.
10. Las ideas de mejora pueden venir de procesos sustancialmente diferentes.

2.11 Voz del Cliente (VOC)

Entender las necesidades del cliente es crítico para la supervivencia de las empresas. Un plan detallado para reunir y recopilar las necesidades del cliente y sus percepciones, puede ser descrito como escuchar la voz del cliente (VOC).

Para poder obtener información de VOC, primero, se debe identificar el cliente y sus necesidades, debido a que esto permitirá realizar un enfoque y recopilar información sobre estos, para proceder a realizar un análisis y transformar esa información en necesidades del cliente; permitiendo la elección de atributos del producto o servicio ofrecido en los que se deben de implementar mejoras al identificar las características críticas de calidad.

Los datos de la VOC no son solamente útiles en el diseño de productos y procesos, sino que también son críticos en la selección y medición de los proyectos de mejora de los equipos six sigma.

2.12 Modelo de Kano

Este modelo fue creado por el ingeniero japonés llamado Noriaki Kano y tiene como objetivo analizar los requerimientos del cliente. Este modelo clasifica las necesidades del cliente en tres categorías, las cuales, son:

1. Necesidades básicas: estas necesidades son las que el cliente siempre esperará del producto o servicio que recibe, debido a la naturaleza del mismo, y trascienden de experiencias vividas en la cotidianidad.
2. Necesidades variables: son aquellas necesidades que se relacionan con lo que el cliente desearía o anhela recibir y que va más allá de las necesidades básicas, se relaciona fuertemente con las experiencias de cliente.
3. Necesidades latentes: aquellas características del servicio o producto que va más allá de la expectativa del cliente, es decir, aquellas que el cliente no espera, pero que impacta de forma positiva su satisfacción y experiencia con este.

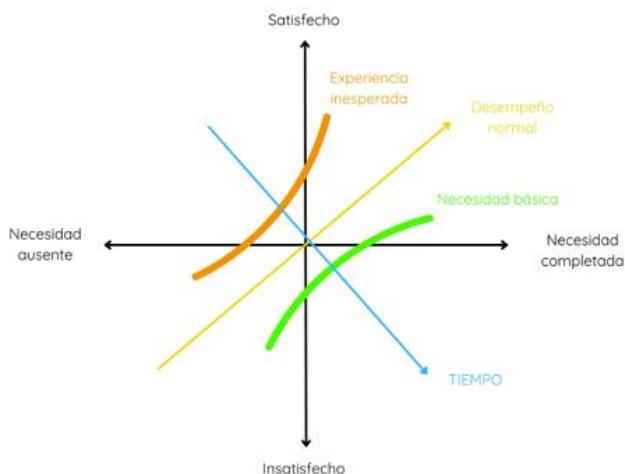


Figura 0.6 Modelo de Kano

Se debe de contemplar que la competencia en el mundo actual ha elevado las expectativas básicas de todos los clientes. Los estándares de un cliente satisfecho continúan creciendo. Lo que en algún momento fue una necesidad latente, puede llegar a convertirse en una necesidad básica. Las organizaciones deben velar por identificar las necesidades cambiantes de los clientes y buscar mejorar sus productos y/o servicios a través del desempeño.

2.13 Árbol de Características Críticas para la Calidad (CTQ)

Esta herramienta se enfoca en las métricas clave para la satisfacción del cliente. Un árbol de CTQs trasladará los requerimientos iniciales del cliente en requerimientos numéricos o cuantificables para el producto o servicio.

El desarrollo de un árbol de CTQs irá de los requerimientos generales a lo específico. Generalmente requerirá de dos a tres niveles para trascender de necesidad a impulsores a CTQs.

Los pasos para construir un árbol de CTQs son los siguientes:

1. Identificar al cliente.
2. Identificar las necesidades del cliente.
3. Identificar el primer grupo de requerimientos básicos del cliente.
4. Avance con más niveles según se requiera.
5. Valide los requerimientos con el cliente.

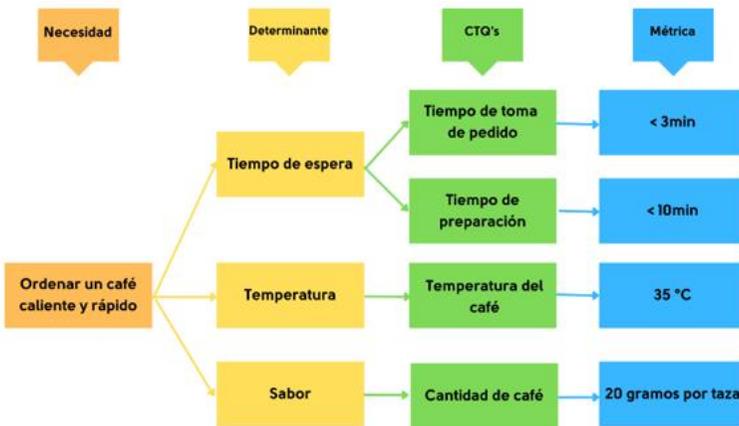


Figura 0.7 Ejemplo de árbol de CTQs

2.14 Selección de Métricas

En forma general, las métricas primarias a ser consideradas en un proyecto pueden provenir de diferentes fuentes como clientes externos e internos, así como de proveedores. Estas métricas deben estar siempre relacionadas con los objetivos de la dirección, inclusive, si estas son creadas sólo para proyectos específicos. Así mismo, al desarrollar métricas secundarias, las cuales, provienen de métricas primarias, se debe de medir aquellas variables que están impactando la métrica primaria.

Por otro lado, las métricas además de estar ligadas a los objetivos de la dirección deben de contemplar la naturaleza del producto y/o servicio que se ofrece, es decir, sus características, en especial, aquellas clasificadas como críticas y que pueden impactar de forma positiva o negativa la calidad, así como el desempeño del proceso.

Elementos del Plan del Proyecto

Un proyecto es una serie de actividades y tareas con un objetivo específico, fechas de inicio y finalización, y recursos.

La administración de proyectos incluye planificación del proyecto e implementación para lograr las metas y objetivos especificados, el desempeño deseado o el nivel tecnológico dentro de las restricciones de tiempo y costo mientras se utilizan los recursos asignados.

Los elementos clave de la administración de proyectos incluyen:

- Identificar los tiempos límites del programa.
- Asignar las responsabilidades funcionales.
- Establecer métodos de generación continua de informes.
- Seleccionar metodologías de compensación aplicables.
- Medir los logros contra lo planeado.
- Identificar problemas en forma temprana.
- Conocer cuándo se van a alcanzar o superar los objetivos.
- Mejorar las capacidades para futuros proyectos.

Desglose de la Estructura de Trabajo

El desglose de la estructura de trabajo es un plan detallado que amplía el proyecto a una lista detallada de actividades requeridas

para completar el proyecto. Cada tarea de proyecto se divide en actividades más pequeñas, y luego en elementos, hasta que se alcanza el nivel en el cual cada elemento está bajo la responsabilidad de un individuo o grupo.

La mayoría de los proyectos cuentan con niveles relativamente fijos de recursos, incluyendo mano de obra, y equipo. En proyectos con recursos limitados, el objetivo es cumplir con los requerimientos de duración del mismo, sin exceder los límites de recursos establecidos. La programación es un balance entre restricciones de tiempo, restricciones de recursos y costos.

Dentro de este desglose, se debe de tener en cuenta que puede existir interrelación entre actividades, por ejemplo, puede que se necesite que una actividad sea finalizada porque el resultado de esta sea el recurso inicial para la actividad siguiente, por lo que se debe de definir la duración y la programación de estas según la interrelación que posean si aplicara, porque también existen las actividades aisladas, las cuales, no generan un recurso de valor para otra actividad pero es necesaria para la ejecución de los proyectos.

2.15 Herramientas de Planificación

Las herramientas de planificación de proyectos incluyen el desarrollo y análisis del cronograma del proyecto, determinar los recursos requeridos, y estimar los costos. Las técnicas más comunes para evaluar la programación de eventos en proyectos incluyen tablas PERT, gráficas de Gantt, y el Método de la Ruta Crítica (CPM).

Técnica de Evaluación y Revisión del Programa (PERT)

Esta técnica fue desarrollada para identificar y analizar las tareas necesarias para culminar un proyecto, es muy utilizada por parte de las administraciones y el área de gestión de proyectos de una organización debido a que incluyen la planificación requerida para identificar la información de las tareas para la red y el análisis de la ruta crítica, así como, la determinación la probabilidad de terminar el proyecto en la fecha esperada y la evaluación de cambios en el proyecto para determinar sus efectos.

Los requerimientos de esta técnica son los siguientes:

- Todas las tareas individuales de los proyectos deben ser incluidas en la red.
- Los eventos y actividades deben ser secuenciados en la red para poder determinar la ruta crítica.
- Se requieren tres tiempos estimados para cada actividad de la red: el tiempo optimista, el más probable de suceder y el tiempo pesimista.
- Se calcula la ruta crítica y la holgura de los tiempos para el proyecto. La ruta crítica es la secuencia de tareas que requieren el mayor tiempo esperado.

La holgura de tiempo de un evento, S , es la fecha más tarde en la cual el evento puede ocurrir o puede ser finalizado sin que deba extenderse el plazo del proyecto, (TL) , menos la fecha más temprana en que el evento puede ocurrir (TE) . Para los eventos en la ruta crítica, $TL = TE$, y $S = 0$

La fórmula para calcular la holgura es la siguiente:

$$S = TL - TE$$

Los eventos son conectados por medio de flechas con un número que indica el tiempo requerido para pasar de un evento a otro. Un evento al inicio de una flecha debe ser completado antes de que pueda iniciar el evento que está al final de la flecha. El tiempo estimado entre eventos, t_e , se establece como:

$$t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

Donde:

t_o es tiempo optimista, t_m es tiempo más probable y t_p es tiempo pesimista.

PERT

TÉCNICA DE EVALUACIÓN Y REVISIÓN DE PROYECTOS

Nos permite estimar la duración del proyecto en su totalidad y tomar decisiones

$$\text{PERT} = \frac{\text{Optimista} + 4(\text{Más probable}) + \text{Pesimista}}{6}$$

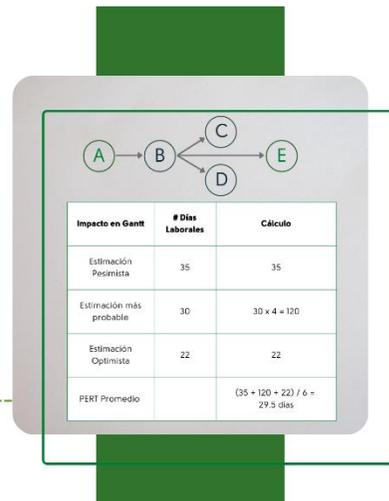


Figura 0.8 Ejemplo de tabla y diagrama PERT

Método de la Ruta Crítica

El método de la ruta crítica (CPM) es muy similar a PERT, con la diferencia de que PERT está orientado al evento y CPM está orientado a la actividad.

Para completar cada actividad, hay un costo y tiempo normales requeridos. Para acelerar una actividad, el tiempo de duración se reduce, mientras que el costo se incrementa. Acelerar, en este sentido, significa utilizar más recursos para completar una actividad en menor tiempo.

Al tomar la tabla de PERT y sumando los valores de tiempo y recursos se define la ruta crítica, esta ruta está formada por la secuencia más larga de actividades, desde el inicio hasta el final del proyecto, que tiene que empezar y terminar exactamente cuándo se ha previsto para garantizar la finalización del proyecto en una fecha determinada.

Para obtener la ruta crítica se calcula el costo incremental por tiempo ahorrado al acelerar cada actividad. Para completar el proyecto en un periodo más corto, se acelera primero la actividad con el menor costo incremental por tiempo ahorrado. Se recalcula la ruta crítica. Si se requiere reducir aún más la duración del proyecto, se acelera la siguiente actividad con menor costo incremental. Este proceso se repite hasta que el proyecto pueda completarse en el tiempo requerido.

Gráficas de Gantt

Las gráficas de Gantt (gráficos de barra), llamados así por Henry Gantt, muestran actividades o eventos como una función de tiempo (o costo). Cada actividad se muestra como una barra horizontal con extremos posicionados en las fechas de inicio y finalización para la actividad.

Son muy utilizadas debido a que son fáciles de entender, debido a que es muy visual y las barras representan una actividad, así mismo,

su manipulación es muy sencilla y puede ser construida con poca información, específicamente con fechas y actividades.

No obstante, al ser tan simple, no permite identificar aquellas interrelaciones entre actividades, así como los detalles de las mismas, por otra parte, no permite predecir ni mostrar los impactos de que las actividades se inicien luego de la fecha estipulada, por lo que se aconseja, que esta herramienta sea utilizada en conjunto con otras que profundicen esos detalles. Esta herramienta puede ser utilizada para demostrar al equipo los avances del proyecto y las actividades próximas a realizar.

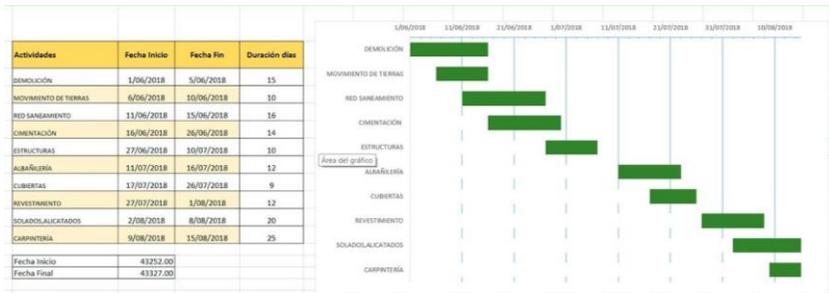


Figura 0.9 Ejemplo de diagrama de Gantt

2.16 Documentación del Proyecto

La documentación inicial del proyecto es la propuesta del mismo y la propuesta responde normalmente a la necesidad de alcanzar un objetivo de mejora, por lo que, al obtener aprobación de la dirección para ejecutar los proyectos, se debe de asegurar que las actividades definidas para el logro del objetivo se estén cumpliendo, así como el avance de las mismas según el periodo de tiempo determinado y presentar informes a la dirección sobre estos.

Medición de la Actividad del Proyecto

Durante la fase de planificación de la administración del proyecto, el monitoreo y los requerimientos deben ser definidos.

El plan de monitoreo del proyecto debe atender las siguientes áreas:

- ¿Qué se está monitoreando?
- El propósito del monitoreo.
- Programación o frecuencia de los informes.
- Método del informe (escritos, orales, formularios a utilizar).
- Procedimiento para indicar una necesidad de asistencia.
- Criterio para informar sobre eventos inusuales o información urgente.
- El canal de retroalimentación (a quién y cómo se enviará la información).
- Asignación del ciclo de responsabilidades de retroalimentación.
- Acciones que deben tomarse cuando el desempeño difiere de los requerimientos.

La retroalimentación define los métodos para monitorear y ajustar el proceso si los resultados son diferentes a los esperados. Planear la retroalimentación es análogo al diseño de un sistema automático de control. El éxito o el fracaso de un proyecto se miden en las siguientes dimensiones:

- ¿Se alcanzaron las metas específicas y los objetivos?
- ¿Se alcanzaron dentro del tiempo establecido?
- ¿Respetando o por debajo de las restricciones de costo?
- ¿Utilizando los recursos asignados?

Casi todos los proyectos encuentran eventos no anticipados o problemas, pero esto no es una excusa aceptable para fallar en el cumplimiento de los estándares de desempeño. La escala de tiempo del proyecto es el criterio más visible para medir las actividades del proyecto.

Desde el punto de vista de calidad, tanto los proyectos adelantados como los atrasados, tienen la misma probabilidad de tener mala calidad en comparación con un proyecto que se mantiene dentro de lo calendarizado o programado

Los métodos para planear, monitorear y controlar los proyectos van desde técnicas manuales hasta software de computadora.

Sin importar cuál método está siendo utilizado por el equipo de proyecto, tenga en mente que el método es solamente una herramienta para organizar y resumir los datos y que el objetivo es completar el proyecto, no los informes de situación o las gráficas.

Informe de Hitos

Los hitos son puntos significativos en el proyecto que están planificados para ser alcanzados en un punto específico en el tiempo. Se debe de presentar el estatus del proyecto con relación a cada hito, cualquier obstáculo potencial para la finalización del proyecto, y los planes para hacer frente a estos obstáculos.

La fecha y el tiempo para el hito y la actividad relacionada se establecen muy temprano en la fase de planificación del proyecto, por lo que el incumplimiento en la presentación de algún hito, demostrará un atraso en las actividades del proyecto, lo que permite identificar rápidamente alguna solución para aquello que ocasiona el atraso.

2.17 Análisis y Administración del Riesgo

Detallar los posibles riesgos del proyecto puede ser una tarea muy compleja. Por consiguiente, el contar con un enfoque sistematizado para manejar los riesgos y la incertidumbre se hace crucial para el éxito futuro del proyecto.

El riesgo puede definirse como una medida de la probabilidad de un evento y los costos asociados al no alcanzar un propósito esperado.

$$\text{Riesgo} = (\text{probabilidad de ocurrencia de un evento}) \times (\text{costo de ese evento})$$

Existen diferentes tipos de riesgos dentro de estos se encuentran los ambientales, de programación, costo, respaldo y desempeño, los cuales, pueden generar que el proyecto se atrase y fracase durante su ejecución, por lo tanto, se debe de realizar un análisis de todos los riesgos que pueden presentarse en un proyecto, lo cual, se realiza ejecutando las siguientes cuatro fases:

1. Planeación del Riesgo: consiste en el desarrollo y documentación de una metodología sistemática para identificar, analizar y dar seguimiento a situaciones de riesgo, además incluye el desarrollo de planes de contingencia, hacer evaluaciones, y asignar recursos adecuados.
2. Evaluación del Riesgo: incluye la identificación y análisis de riesgos del proyecto para aumentar la habilidad de alcanzar los requerimientos de costo, desempeño y cronograma.
3. Análisis del Riesgo: esta fase identifica, evalúa, selecciona e implementa acciones para arreglar riesgos al nivel más bajo posible dadas las limitaciones y metas del proyecto.

4. Manejo del Riesgo: ejecuta evaluación y seguimiento continuos para asegurar que las acciones implementadas para mitigar el riesgo trabajan de la forma planeada.

Para actividades o proyectos mayores, un plan de administración del riesgo es la forma inteligente de guiar el proceso de administración del riesgo y de documentar los resultados.

2.18 Informe Final

Es el informe de calificaciones sobre el desempeño logrado para cumplir con los objetivos, incluyen un resumen de los objetivos cumplidos, los costos comparados con el presupuesto, los tiempo de duración real comparado con los planificados, así como aquellas causas que generaron atrasos en las actividades; así mismo, se añade el beneficio final obtenido, este se puede mostrar por medio de una métrica, donde se muestre el resultado esperado vs lo obtenido y el impacto de este en la organización.

Lecciones Aprendidas

Es una etapa que se realiza luego del cierre de un proyecto, también es llamado como evaluación post-proyecto, en esta etapa se pretende realizar una retroalimentación de lo que se ejecutó de forma correcta durante la implementación del proyecto y lo que se puede mejorar, buscando la identificación de aquellos errores para erradicarlos y que no se vuelvan a repetir en un proyecto futuro; siendo una etapa de mejora dentro de los equipos y para la dirección. La retroalimentación que se realiza dentro de esta etapa posee alta relación con el desempeño obtenido de las actividades, así como el equipo, recursos y costos.

2.19 Las Siete Herramientas de Planificación y Administración

Las siete herramientas permiten la identificación, planificación y coordinación de la solución de problemas. Estas herramientas se muestran a continuación:

Diagrama de Afinidad

El diagrama de afinidad se asemeja a la técnica de mapeo mental, en cuanto a que se generan ideas que se relacionan con otras ideas para formar patrones de pensamiento. El diagrama de afinidad utiliza un método más organizado de recoger los hechos e ideas para formar patrones de pensamiento desarrollados. Puede utilizarse ampliamente en las etapas de planificación de un problema para organizar las ideas y la información.

Para implementar esta herramienta se puede seguir los siguientes pasos:

1. Definir el problema bajo consideración.
2. Tener tarjetas de papel o utilizar un software de notas.
3. Escribir las ideas, información, hechos, opiniones, etc., en las tarjetas o notas.
4. Colocar las tarjetas o notas en una mesa grande o en una pared, o bien, en caso de utilizar un software colocarlas en el panel principal.
5. Organizar los grupos en categorías o patrones de pensamiento similares.
6. Desarrollar una categoría principal o idea para cada grupo y eso se convierte en la tarjeta de afinidad.

7. Luego de agrupar las tarjetas en una tarjeta de afinidad, el diagrama puede dibujarse y se pueden crear límites alrededor de los grupos de afinidad para más claridad.

Diagrama de Árbol

El diagrama de árbol es un método sistemático de describir todos los detalles necesarios para completar un objetivo definido. Es una estructura de orden similar a un diagrama de árbol genealógico o a un organigrama institucional. La lógica del método es similar a la del análisis de valor. La organización se hace por niveles de importancia (por ejemplo, por qué, cómo, metas — medios).

El diagrama de árbol puede ser utilizado para:

- Desarrollar los elementos para un nuevo producto.
- Mostrar las relaciones de un proceso de producción.
- Crear nuevas ideas para la solución de problemas.
- Describir los pasos para implementar un proyecto.

Para desarrollar un diagrama de árbol siga estos pasos:

- Determinar el objetivo(s) general, meta(s), y función básica del diagrama de árbol.
- Escriba ese objetivo en una tarjeta o nota y colóquelo en la esquina izquierda de la pizarra.
- Seguidamente determine el segundo nivel de medios para alcanzar el objetivo meta, es decir "cómo" puede lograr la tarjeta "por qué" que colocó a la izquierda.
- Para cada nivel del árbol, se utiliza la misma línea de cuestionamiento hasta que se alcanza un último nivel. El nivel final ocurre cuando usted ha concluido que todos los

detalles necesarios para resolver el objetivo general han sido incluidos.

- Después de finalizar el diagrama, revíselo para confirmar que cada paso lo va a guiar a un objetivo exitoso. De ser así, el árbol está completo.

Gráfica de Programa de Proceso de Decisión

El gráfico de programa de proceso de decisión (PDCP) se utiliza para mostrar el curso de eventos que nos van a llevar desde un punto de inicio a nuestra compleja meta final. Este método es similar a planes de contingencia.

Existen varias formas de construir una gráfica de programa de proceso de decisión (PDCP):

- Un método gráfico puede ser desarrollado para mostrar las secuencias requeridas. Una secuencia de pasos hacia adelante puede ser utilizada para mostrar cómo avanzar del punto A1 al A2 y al punto Z (nuestra meta). Conforme se trabaja en el problema, si A3 resulta ser un obstáculo, nuevos pasos deben ser desarrollados para resolver A3.
- Otro método gráfico puede ser desarrollado con la meta, como el punto de partida. En este caso, elabora un diagrama de árbol modificado mostrando los puntos nuevos a considerar. El árbol debe ser desarrollado en orden de detalle, esto es, con los niveles de mayor orden en la parte superior del gráfico, y los detalles menores en la parte inferior. En el nivel más bajo, se desarrollan los planes de contingencia preguntando, "¿qué pasaría sí?" en la última línea. Se establecen las contramedidas adecuadas para resolver la condición de "¿qué pasaría sí?".

- Un método de formato de esquema puede ser utilizado para indicar los niveles del problema. El formato de esquema puede parecerse al método utilizado. Estos constituirían un formato para un proyecto.

Diagrama de Matriz

Este diagrama se utiliza para mostrar la relación entre objetivos y métodos, resultados y causas, tareas y personas, etc. El objetivo es determinar la fuerza de las relaciones entre una rejilla de filas y columnas.

La fuerza de las relaciones de una matriz puede ser determinada por una leyenda conteniendo valores numéricos. Los valores son normalmente 3, 2, y 1, pero pueden ajustarse según se requiera. Registrar los valores de las fuerzas puede ayudar a tomar decisiones objetivas.

Gráficos de Interrelaciones

Esta técnica es creada para los problemas más complejos o situaciones que la gerencia puede enfrentar. Si el tema es muy complejo, las relaciones exactas pueden ser difíciles de determinar.

Para realizar un gráfico de Interrelaciones se deben de ejecutar los siguientes pasos:

1. Desarrolle unos 50 asuntos a tratar que pertenezcan al problema básico.
2. Se toma la decisión de utilizar ya sea un patrón de colocar juntos los asuntos relacionados de una vez, o de barajar las cartas para lograr una exhibición aleatoria en una mesa.

3. La diversión inicia con la discusión sobre la colocación de las flechas de relación. Las flechas de relaciones van de la causa al efecto.
4. El gráfico puede ser copiado en una hoja grande de papel y distribuido a los miembros de equipo para ser revisado.
5. Una vez que se han hecho las revisiones, se elabora un borrador final del gráfico y se puede realizar un análisis.
6. El equipo desarrollará consenso sobre los ítems que deben ser trabajados en forma inmediata. Se deben seleccionar solamente unos pocos ítems clave para trabajar en el proyecto.

Matrices de Priorización

Para usar las matrices de priorización, se han identificado las situaciones clave, y las preocupaciones, y se han generado alternativas. La necesidad es la de determinar la opción a utilizar. La matriz de priorización funciona como un sistema para la toma de decisiones.

Existen tres tipos de matrices de priorización que pueden ser utilizadas:

- El método completo de criterio de análisis.
- El método de criterio de consenso.
- El método de combinación I.D./matriz.

El método completo de criterio de análisis y el método de criterio de consenso requieren de grupos de matrices para formar la matriz final. El criterio en ambos casos es priorizado, pesado y aplicado sobre las opciones generadas. Generalmente se puede obtener como resultado, una decisión basada en valores numéricos.

El método de combinación I.D./matriz, es utilizado para priorizar opciones.

Diagramas de Red de Actividades

El diagrama de red de actividades incorpora mucho de las técnicas PERT y CPM en su uso. Las actividades, hitos y tiempos críticos deben ser desarrollados y luego graficados. El gráfico proveerá entonces una herramienta para ayudar a monitorear, programar, modificar, y revisar el proyecto.

Al identificar las actividades se procede a realizar los siguientes pasos:

1. Escriba las actividades en tarjetas y ordene las tarjetas en secuencia.
2. Identifique los vínculos con otras actividades.
3. Registre los tiempos para cada actividad.
4. Verifique la ruta crítica.
5. Calcule los tiempos más tempranos de inicio y finalización, y los tiempos más tardíos de inicio y finalización para cada actividad.
6. Calcule los tiempos de holgura.
7. Revise el diagrama de red de actividades.
8. Si se requiere, "acelere" la red, encontrando actividades para reducir el tiempo necesario.
9. Si es aprobado, coloque el diagrama en papel y distribúyalo.

2.20 Métricas Six Sigma

Los grupos de métricas para Six Sigma que sirven para:

- Medir las opiniones de los clientes.
- Determinar los factores del cliente que son críticos para la calidad (CTQ).
- Medir las salidas del producto (rendimiento acumulado, rendimiento del proceso, rendimiento normalizado).
- Correlacionar los resultados del proceso con los CTQs (medir los procesos con métricas que tienen correlación con las economías, fundamental de la empresa).

Algunas métricas Six Sigma más utilizadas son las siguientes:

- Rendimiento (Yield).
- Defectos por millón de oportunidades.
- Defectos por unidad.
- Nivel de Calidad (Nivel Sigma).

Costos de la Calidad

Los costos de la calidad son los que se encuentran asociados de forma directa o indirecta al desarrollo de la función de la calidad en una organización.

Existen tres diferentes categorías o niveles para clasificar los costos, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 0.3 Tipos de costos y su descripción.

Tipo de Costo	Descripción
Costos de capital	Son los costos atribuibles al esfuerzo por mejorar la calidad de los productos y servicios, se incluyen aquellas inversiones que se dan al implementar un sistema nuevo o revisar uno ya existen. Toma en

Tipo de Costo	Descripción
	<p>cuenta la depreciación de las implementaciones, los intereses de lo invertido y el costo de oportunidad de la inversión que se define como lo que se deja de percibir si se invierte el dinero en otro proyecto ajeno al sistema de control de calidad.</p>
<p>Costos indirectos</p>	<p>Son aquellos costos que el proveedor incurre para controlar la calidad de los productos y que están incluidos en el precio del producto o servicio, son los esfuerzos del proveedor por cumplir la calidad exigida.</p>
<p>Costos de Operación</p>	<p>Son los costos en que se incurre para prevenir y evaluar la calidad de los procesos. Se clasifican en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de prevención Son los costos o actividades diseñadas específicamente para prevenir la mala calidad en productos y servicios. • Costos de evaluación Son los costos asociados con medir, evaluar o auditar los productos o servicios para asegurar la conformidad con los estándares de calidad y con los estándares de desempeño. • Costos de falla interna Son los costos de falla que ocurren antes de la entrega o envío del producto o prestación del servicio al cliente. • Costos de falla externa

Tipo de Costo	Descripción
	Son los costos de falla que ocurren después del envío del producto, o durante o después de la prestación del servicio al cliente.

Six Sigma se refiere a beneficios económicos. Un buen sistema de costos de calidad es una parte importante de la infraestructura Six Sigma y una parte crítica para la buena gestión del proceso.

Costos Óptimos de Calidad

Con frecuencia, los costos de fallas sobrepasan también los costos de evaluación. Aún la relación entre los costos de fallas internas y externas pueden señalar hacia los cambios necesarios en planificación o diseño de producto.

La implementación de medidas de control de calidad preventivas a menudo toma una gran cantidad de tiempo. Las medidas de evaluación son inicialmente emprendidas causando que las fallas internas se incrementen y las fallas externas (y fallas totales) decrezcan.

Existe una secuencia para mejorar los costos de la calidad y que estos se encuentren balanceados, generando como beneficio una buena calidad en los productos sin excederse en el dinero invertido para el logro de esta, para esto, se debe de seguir los siguientes pasos:

- Defina los objetivos y metas de calidad.
- Traduzca las metas de calidad en requerimientos de calidad.

- Estime la capacidad de los procesos actuales, máquinas, sistemas, etc.
- Desarrolle programas realistas y proyectos consistentes con las metas de la empresa.
- Determine los requerimientos de recursos para los programas y proyectos aprobados.
- Establezca las categorías de costos de calidad para prevención, evaluación y falla.
- Organice con contabilidad la recolección y presentación de costos de calidad.
- Asegure datos precisos o estimados razonables por categoría.
- Analice la información de costos de calidad para los principales candidatos a proyectos de mejora.

Sistema de Costos de Calidad

Las organizaciones que poseen un sistema robusto de costos de calidad permiten que exista una única dirección de calidad, así mismo, mantiene alineados los objetivos de calidad con los de la organización, genera utilidades máximas, debido a que permite controlar mejor los costos, además, mejora el uso de los recursos e incentiva el “trabajar bien desde la primera vez”, generando menor cantidad de retrabajos o reprocesos y disminuyendo la cantidad de dinero invertido.

No obstante, es importante tomar en cuenta que los costos de calidad no resuelven los problemas de calidad, simplemente es una forma de controlar los recursos referentes a esta, los cuales, pueden llegar a presentar una mala administración si no se define claramente su objetivo; por otra parte, los costos de calidad

pueden sufrir de una mala medición o estimación y pueden incluir costos inapropiados o en su efecto, omitir costos importantes.

Análisis de Efecto, Modo y Criticidad de Falla (FMEA)

Es una técnica sistemática para analizar un sistema, subsistema o ítem, para determinar todos los posibles o potenciales modos de falla. Este método asigna una probabilidad de que el modo de falla realmente ocurra y qué efecto tendría sobre el resto del sistema. La porción de criticidad de este método permite asignar un valor o calificación sobre la criticidad del efecto de la falla sobre el sistema total.

Los siguientes son los pasos a seguir para preparar un FMEA.

1. Número de FMEA: Este debe ser un número asignado, controlado en bitácora.
2. El número de parte, nombre u otra descripción adecuada.
3. Responsabilidad del diseño: ¿Qué departamento o grupo es responsable?
4. La persona responsable de la preparación del FMEA.
5. La fecha en que fue preparado el FMEA y cualquier nivel de revisión realizada.
6. El subsistema o número de parte de componente que está siendo analizado en detalle.
7. La función del componente.
8. El modo de falla potencial.
9. El efecto potencial de la falla.
10. La posible causa de la falla potencial.
11. ¿Cuáles son los controles actuales vigentes para prevenir que ocurra la causa?

Evaluación de Riesgo y RPN

El siguiente paso importante es el de sopesar los riesgos asociados con el componente actual, efecto y causa, con los controles que están vigentes en la actualidad. En la siguiente tabla se muestran algunos elementos típicos de un FMEA que facilitan la evaluación del riesgo, como lo son la probabilidad, la severidad y la detección, así como su descripción y cómo calcular del número de prioridad de riesgo (RPN). La evaluación del riesgo es la combinación de la probabilidad de un evento o falla, y las consecuencias de ese evento o falla para los operadores del sistema, usuarios, o su entorno. El análisis de riesgo de falla normalmente utiliza dos medidas de falla: la severidad de la falla y la probabilidad de la falla.

Tabla 0.4 Elementos de la Evaluación de Riesgo.

Elemento		Descripción
P	Probabilidad	P es la probabilidad de que este modo de falla ocurra. Los valores para esta clasificación generalmente van de 1 a 10, donde 1 es prácticamente ninguna posibilidad, y 10 es casi certeza de la ocurrencia.
S	Severidad	S es la severidad del efecto de la falla en el resto del sistema si el mismo se presenta. Estos valores generalmente se clasifican de 1 a 10. Un valor de 1 significa que es poco probable que el usuario lo note, y un 10 significa que la seguridad del usuario está en peligro.

Elemento		Descripción
D	Detección	D es el control actual para detectar el modo de falla antes de enviarse a la siguiente operación. Puede ir de 1 a 10. Un valor de 1 significa que con certeza se va a detectar, mientras que un valor de 10 indica que la debilidad de diseño con seguridad llegará a la producción final sin ser detectada.
RPN	Número de Probabilidad de Riesgo	RPN. El número de prioridad de riesgo es el producto de los índices de las tres medidas anteriores. $RPN = P * S * D$
Acciones	Correctivas y Preventivas	Las acciones se basan en cuales modos de falla tienen, ya sea el RPN más alto y/o, dónde se encuentran los mayores problemas.
RPN Revisado	Número de Probabilidad de Riesgo, Revisado	Una columna adicional se coloca para el RPN revisado una vez que se han implementado las acciones correctivas.

Capítulo 3.

Etapa: Medir

“Para que un día la moneda caiga de tu lado, simplemente hay que jugar, con frecuencia, mucho, repetir, siempre. Insistir. No es más que una cuestión de probabilidad. Y quizá también, a fin de cuentas, de suerte”.

- **Michel Bussi**

3.1 Documentación y Análisis de Procesos

Un proceso es un conjunto de recursos y actividades interrelacionados que transforman entradas en salidas con el objetivo de agregar valor. Las actividades relativas a cualquier proceso de importancia deben ser documentadas y controladas.

Diagramas de flujo, mapas de proceso, procedimientos escritos e instrucciones de trabajo son algunas de las herramientas utilizadas para el análisis y documentación de procesos.

3.2 Mapeo de Procesos

Hay ventajas en representar un proceso en un formato esquemático. La principal ventaja es la habilidad para visualizar el proceso que se está describiendo.

El mapeo de procesos o diagramación de flujo tiene el beneficio de que describe un proceso con símbolos, flechas, y palabras sin el recargo del texto y oraciones. Muchas compañías usan mapas

de proceso para esquematizar procesos nuevos y para revisar la viabilidad y facilidad de entendimiento.

La mayoría de las técnicas de diagramación de flujo utilizan símbolos estandarizados. El software de diagramas de flujo puede contener entre 15 y 185 símbolos con hasta 500 variaciones configurables. Muchos programas de software tienen la habilidad de crear diagramas de flujo o mapas de proceso, aunque la información real debe provenir de alguien con conocimiento del proceso.

Algunos símbolos comunes de diagramas de flujo o mapeo de procesos se muestran a continuación.

Tabla 0.1 Simbología utilizada en diagramas de flujo de proceso.

Símbolo	Utilizado para	Significado
	Inicio / Fin	Terminal. Indica el inicio o la terminación del flujo de proceso.
	Actividad	Representa una actividad llevada a cabo en el proceso.
	Decisión	Indica un punto en el flujo en que se produce una bifurcación del tipo, Sí-No.
	Inspección / firma	Empleado para aquellas acciones que requieren supervisión como una firma o visto bueno.
	Documento	Se refiere a un documento utilizado en el proceso, se utilice, se genere o salga del proceso.
	Multi documento	Refiere a un conjunto de documentos. Por ejemplo, coma un expediente que agrupa a distintos documentos.
	Base de datos	Empleado para representar el registro de datos.
	Línea de Flujo	Proporciona una indicación sobre el sentido del flujo del proceso.

Ejemplo de un Diagrama de Flujo

Hay varios tipos de diagramas de flujo, incluidos los diagramas conceptuales, los diagramas de persona a persona y los

diagramas de acción a acción. La siguiente figura es un ejemplo de un diagrama de flujo de acción a acción.

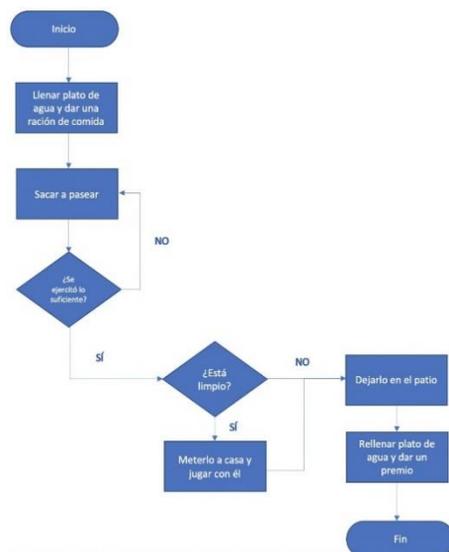


Figura 0.1 Ejemplo de diagrama de flujo

Procedimientos Escritos

La norma ISO 9001 indica que los procedimientos internos deben controlar el producto no conforme de tal modo que se prevenga su uso o instalación involuntarios. En muchas empresas este requerimiento es la responsabilidad del departamento de calidad, aunque las funciones reales son desempeñadas por varios departamentos.

Para la mayoría de los procesos, las personas adecuadas pueden crear un proceso por adelantado. Considere la situación en la que se encuentra el proceso, pero no registrado. Los procedimientos

deben ser desarrollados por los responsables del proceso en cuestión. Por ejemplo, suponga que los resultados de la entrevista revelan el siguiente procedimiento de control de material no conforme:

1. Se descubre la no conformidad.
2. El material no conforme se segrega del material conforme.
3. Se documenta la no conformidad.
4. Un consejo de revisión de materiales (Material Review Board, MRB en inglés) examina la no conformidad para determinar su disposición. Las posibles disposiciones son:
 - Deseche la parte, se termina el uso de la parte y no se requiere otra acción.
 - Acepte la parte para ser usada "en la condición actual" o "después de reparada".
 - Reprocese la parte para que adquiera el requerimiento de la configuración original.
5. Se realiza la disposición real.
6. El producto se regresa a su flujo normal.
7. Se completa el papeleo.

Esta situación ciertamente puede incluirse en otro diagrama de flujo de separado como parte del proceso para preparar informes de desviaciones. Este ejemplo se enfoca en el flujo interno de materiales no conformes. Como puede verse, la descripción del proceso suena simple. Sin embargo, puede tomar algunos giros inesperados para mostrar lo que realmente pasa. El proceso de

construir el diagrama de flujo ayuda a visualizar las acciones necesarias.

Instrucciones de Trabajo

Los procedimientos describen el proceso a nivel general, mientras que las instrucciones de trabajo proporcionan detalles y una secuencia de actividades paso a paso.

La siguiente figura muestra un ejemplo de las instrucciones de trabajo para el envío de algún aparato. También se pueden usar diagramas de flujo junto con instrucciones de trabajo para mostrar relaciones entre pasos de proceso. Se mantienen copias controladas en el área donde se desarrollan las actividades. Se requiere de algún grado de discreción cuando se escriben instrucciones de trabajo, de tal modo que el nivel de detalle incluido sea apropiado para la formación, experiencia, y habilidades del personal que típicamente los usará.

La gente que desempeña las actividades descritas en las instrucciones de trabajo debe participar en su escritura. La redacción y la terminología utilizadas deben también igualarse a las usadas por el personal que hace las tareas.

	<p>SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO 9001:2008</p>	<p>REFERENCIA: P-PRO-03</p>
<p>REVISIÓN N° 1 11.03.2015</p>	<p>INSTRUCTIVO DE TRABAJO PROCESO PRODUCCION CORRUGADORA</p>	<p>Página 1</p>

1. Objetivo

Este procedimiento tiene por objeto estandarizar los pasos a seguir para una correcta partida de la máquina Corrugadora y proporciona una visión general de todo el proceso.

2. Ámbito de aplicación

Este documento se aplica en la manutención del SGC, en particular en la componente operacional de Producción. Así cubre todas las especificaciones para la secuencia de actividades y toma de registros necesaria para asegurar la calidad en cada etapa de producción de la Corrugadora.

3. Responsabilidades

Cuando se aplica, las responsabilidades están mencionadas en la respectiva etapa del diagrama de flujo.

4. Documentos e Registros

Los documentos o registros que se pueden consultar, cuando existentes, son mencionados en el diagrama de flujo de descripción del procedimiento, en cada etapa.

Figura 0.2 Ejemplo de instrucciones de trabajo

Entradas, Salidas y Retroalimentación de Procesos

Antes de que un proceso pueda ser mejorado, primero debe ser medido. Esto se logra mediante la identificación de las variables de entrada de los procesos y las variables de salida, y documentando sus relaciones por medio de diagramas de causa y efecto, matrices de relación, diagramas de flujo, y otras herramientas similares.

Cada proceso consiste de entradas y salidas. La medición de las entradas y salidas se puede usar para su optimización. Las entradas pueden ser materias primas, recursos humanos, o el resultado de un proceso anterior. Todas las entradas tienen

alguna medida cuantificable, incluyendo el esfuerzo humano y el nivel de habilidad. Los requerimientos de las entradas de proceso deben estar claros para que la calidad de sus medidas claves pueda ser controlada.

Las mediciones dentro de los procesos también se pueden usar para controlar efectivamente el proceso. Una vez que se conoce la capacidad del proceso, las medidas de las salidas se pueden usar para determinar si el proceso se ha mantenido bajo control.

La retroalimentación de las métricas más adelante en el flujo de operaciones también se puede usar para la mejora. Por ejemplo, se pueden usar pruebas eléctricas para optimizar una operación de soldadura en una tarjeta electrónica aún si la soldadura está varios procesos más atrás de la prueba.

Cuando se considera el sistema de retroalimentación organizacional completo, es probable que existan interrelaciones complejas. Aquí es cuando el Diseño de Experimentos y Diseño para Six Sigma se hacen importantes. El Diseño de Experimentos trata de aislar el efecto de varias variables independientes de un proceso. El Diseño para Six Sigma incluye la eliminación de las potenciales fuentes de error.

SIPOC

SIPOC es un mapa de proceso de alto nivel. Es un acrónimo que significa, por sus siglas en inglés, Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Proceso (Process), Salidas (Outputs), y Clientes (Customers). Está diseñado para ser un despliegue de alto nivel del proceso con 4 a 7 pasos. Este enfoque permite a los miembros del equipo ver el proceso de una forma consensuada.

Generalmente se coloca el diagrama SIPOC en la etapa de definición, mientras que otros autores lo colocan en la etapa de medición.

Una vista expandida, conceptual de un modelo SIPOC se ilustra a continuación:

Nombre del proyecto: Mejora de la calidad percibida de la pizza de mozzarella						01/08/2020
Dueño del proceso: Andrés Perez, maestro pizzero						
Proveedores	Entradas	Proceso		Salidas	Clientes	
¿Quién provee cada entrada?	¿Qué recursos son necesarios?	¿Qué requiere el proceso de cada entrada?	¿Dónde empieza y termina el proceso?	¿Qué salidas genera el proceso?	¿Qué requiere el cliente de cada salida?	¿Quiénes son los clientes?
		Requerimientos			Requerimientos	
Dónde comienza el proceso: Preparado de la masa						
Departamento de compras Mantenimiento	Levadura Harina Sal fina Aceite Mezcladora	Lev. fresca CALSA / Harina 40 Wn 220 -280. Absorción = 55 -62% Índice de caída = 340 -360 s / Sal Celusal / A. oliva extra virgen / Mezcladora en condición óptima	Mezclar ingredientes y amasar	Masa lista para extirar	Esponjosa con una humedad de 60-70% y en bollos de 150 g	Maestro pizzero
Departamento de compras	Tomate Albahaca Sal fina y pimienta Aceite	Tomate fresco perita Albahaca en planta Sal fina Celusal y pimienta en grano Aceite de oliva extra virgen	Preparar salsa	Salsa lista para usar	Salsa preparada en el día según SOP	Maestro pizzero
Mantenimiento	Horno	Horno en condición óptima	Hornear masa	Prepizza lista para usar	Masa con salsa desplegada perfectamente en asadera	Ayudante de pizzero
Ayudante de pizzero Departamento de compras	Salsa Mozzarella Sal y pimienta Aceite Oregano Aceitunas	Salsa preparada según SOP Mozzarella marca Santa Rosa Sal Celusal y pimienta en grano Aceite de oliva extra virgen Oregano en planta Aceitunas verdes sin carozo	Armar pizza	Pizza con todos sus ingredientes lista para hornear	Pizza armada con todos su ingredientes según especificación	Ayudante palero
Mantenimiento	Horno	Horno en condición óptima	Hornear prepizza	Pizza terminada, lista para servir y consumir	Tiempo de espera no mayor a 10 min . Experiencia de sabor único con masa a la piedra	Mozo Cliente
Dónde termina el proceso: Pizza salida del horno lista para llevar al cliente						

Figura 0.3 Modelo SIPOC

Los autores de este manual desconocen dónde se originó el modelo SIPOC. Fue usado por la Tennessee Association y otros al principio de los años 1980s antes de que Six Sigma fuera "descubierto". Las ventajas de usar el modelo SIPOC incluyen:

- Un despliegue multi funcional de actividades en un solo diagrama simple.
- Una perspectiva amplia ("big picture") a la que se le puede agregar más detalle.

- Un marco aplicable tanto a grandes organizaciones como a pequeños procesos.

La meta máxima es identificar, con el tiempo, los flujos esenciales y las fuentes de variación en el trabajo. El diagrama puede también ser adaptado a un número de procesos esenciales de soporte. El SIPOC captura los componentes principales de éxito desde los proveedores pasando por los procesos internos y llegando hasta los clientes más importantes. Otras herramientas como los mapeos de proceso, diagramas de flujo, y diagramas de afinidad se pueden usar para identificar más allá los pasos o bloques principales en un proceso o sistema.

Muchos autores Six Sigma advierten no hacer el diagrama muy detallado perdiendo así la habilidad en enfocarse en los proyectos de mejoramiento que tienen retribuciones significativas.

Se sugiere los siguientes pasos para el desarrollo de un diagrama SIPOC:

1. Haga que el equipo de trabajo construya el mapa de proceso. Una sala de reuniones con espacio en las paredes se puede usar para desplegar los pasos de proceso usando tarjetas y papel autoadhesivo.
2. El proceso puede tener de cuatro a cinco pasos. ¿Cómo se transforma la materia prima o producto?
3. Haga una lista de los pasos de proceso. ¿Cuál es el producto/servicio de este proceso?
4. Haga una lista de los clientes que usan la salida del proceso. ¿Quién es el usuario final?

5. Haga una lista de las entradas de los procesos. ¿De dónde vienen los materiales?
6. Haga una lista de los proveedores de los procesos. ¿Quiénes son los proveedores principales?
7. Como paso opcional, identifique algunos requerimientos preliminares de los clientes
8. Involucre al líder del equipo, al champion, a los interesados (stakeholders) con propósitos de verificación.

3.3 Tipos de Datos y su Recolección

Los datos son información objetiva en la que todos están de acuerdo. La capacidad de medir es importante en la recolección de datos. Los tres tipos de datos son atributos, variables y ubicación. De estos tres, los atributos y variables son los más ampliamente usados.

Atributos

Los datos de atributos son discretos. Esto significa que los valores de los datos solamente pueden ser números enteros, por ejemplo, 3, 48, 1029. Datos de cuenta o atributos responden a preguntas como "cuántos", "con qué frecuencia", "qué tipo". Ejemplos incluyen:

- ¿Cuántos productos finales son defectuosos?
- ¿Cuántas personas están ausentes cada día?
- ¿Cuántos días llovió el mes pasado?
- ¿Qué tipo de desempeño se alcanzó?

Variables

Los datos variables son continuos. Esto significa que los valores de los datos pueden ser cualquier número real, por ejemplo, 1.037, 4.69, 84.35. Los datos medidos (variables) responden a preguntas como "qué tan largó", "cuánto volumen", "cuánto tiempo", y "qué tan lejos". Este tipo de datos es generalmente medido con algún instrumento o dispositivo. Ejemplos incluyen:

- ¿Qué tan largo es cada artículo?
- ¿Cuánto tiempo toma completar cada tarea?
- ¿Cuál es el peso del producto?

Los datos medidos se consideran mejores que los datos contados. Son más precisos y contienen más información. Por ejemplo, uno puede saber más acerca del clima de un lugar si sabe cuánto llueve cada día en lugar de cuántos días llueve. La recolección de datos medidos es algunas veces difícil o cara, lo que implica que muchas veces hay que depender de datos contados.

En algunas situaciones, los datos solamente ocurren en forma de cuenta. Por ejemplo, un productor de comida puede medir el desempeño de palomitas o rosetas de maíz contando el número de granos de maíz que no reventaron en cada bolsa examinada.

Para información que puede ser obtenida como atributo (dato discreto) o como variable (dato continuo), es generalmente preferible recolectar datos variables (continuos).

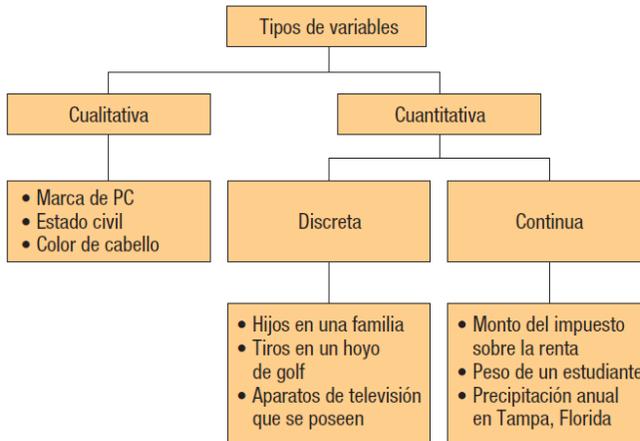


Figura 0.4 Tabla Tipos de datos Variables

Datos de Ubicación

El tercer tipo de datos no se ajusta en ninguna de las categorías anteriores. Estos datos se conocen como datos de ubicación, datos que simplemente contestan la pregunta "dónde". Los gráficos que utilizan datos de ubicación son llamados gráficos de sarampión o de concentración. Un ejemplo es un dibujo de ingeniería que muestra la localización de manchas de pintura en un automóvil o un mapa del país con las ventas y las oficinas de distribución indicadas.

Escalas de Medición

La figura detalla las cuatro escalas de medición en orden creciente de atractivo o conveniencia estadística.

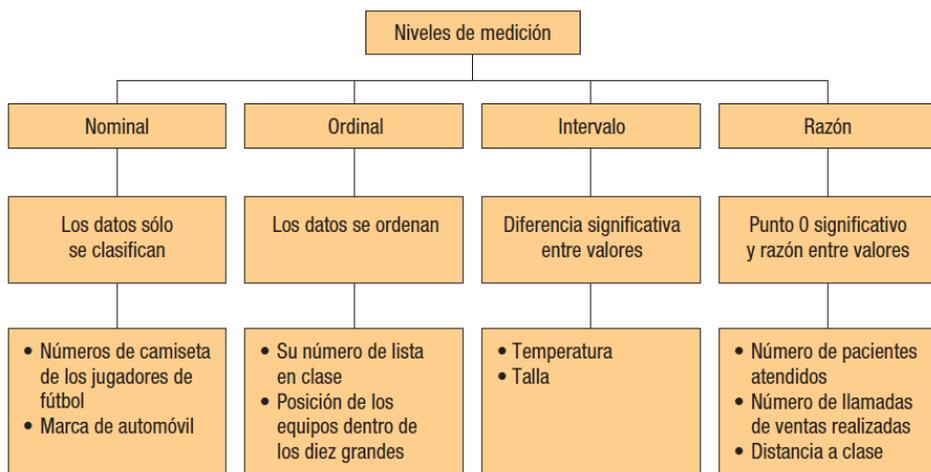


Figura 0.5 Las cuatro escalas de medición

Métodos de Recolección de Datos

Recolectar información no es barato. Para asegurarse que los datos son relevantes para el problema, se debe anticipar qué es lo que se espera. Algunas guías son:

- Formular una clara declaración del problema.
- Definir precisamente lo qué se debe medir.
- Listar todas las características importantes a ser medidas.
- Seleccionar cuidadosamente la técnica de medición correcta.
- Construir un formulario sencillo de toma de datos.
- Organizar un método apropiado de muestreo.
- Decidir quién analizará y reportará los resultados.

Sin una definición operacional, la mayoría de los datos no tienen sentido. La habilidad para controlar la calidad requiere medición.

Tanto las especificaciones de atributos como las de variables deben ser entendidas por completo.

La recolección de datos incluye tanto métodos manuales como automáticos. Los datos tomados manualmente se pueden obtener usando formularios impresos en papel o por medio de entrada de datos en el momento que la medida se toma. Los sistemas manuales son intensivos en mano de obra y sujetos a error humano tanto en la medición como en registro de los valores correctos.

La recolección automática de datos incluye tanto registros electrónicos como almacenamiento digital. La frecuencia de recopilación puede ser sincrónica, basada en un intervalo de tiempo, o asincrónica, basada en eventos. Los sistemas automatizados tienen costos iniciales más altos que los sistemas manuales, y tienen la desventaja de recopilar tanto datos "buenos" como datos "erróneos". Las ventajas de los sistemas automáticos incluyen altas tasas de exactitud y la capacidad de operar sin atención humana.

Una gran cantidad de datos es difícil de analizar a menos que se presente en algún formato fácilmente digerido. Gráficos, tablas, histogramas, gráficos tipo cuenta y diagramas de Pareto se usan para analizar y presentar datos.

- **Hojas de Verificación**

Las hojas de verificación son excelentes herramientas para organizar y recolectar hechos y datos. Por medio de la recolección de datos, individuos o equipos de trabajo pueden tomar mejores decisiones, resolver problemas más rápido, y ganar el respaldo de la gerencia.

información física medida, como: el pH, la presión del aire en psi, o la cantidad de horas inactivas.



LISTA DE COTEJO PARA REUNIONES EFECTIVAS

- ¿Tomamos todas las decisiones requeridas?
- ¿Asignamos tareas con fecha a todos los participantes?
- ¿Asignamos a alguien para darle seguimiento a las tareas?
- ¿Tenemos notas sobre las decisiones tomadas y las tareas asignadas?
- ¿Honramos nuestra cultura compartida en la reunión?

www.thesocialleadershipcoach.com

the social leadership coach

Figura 0.7 Lista de revisión para el proceso de reunión

Técnicas para asegurar exactitud e integridad de los datos

Malos datos no sólo son costosos de capturar, sino que corrompen el proceso de toma de decisiones. Algunas consideraciones incluyen:

- Evite el sesgo emocional, relativo a valores objetivo o tolerancias, cuando cuente, mida, o registre en medios digitales o analógicos.
- Evite el redondeo innecesario. El redondeo muchas veces reduce la sensibilidad de la medición. Los promedios deben calcularse con al menos un decimal más que las lecturas individuales.

- Sí los datos se toman en secuencia de tiempo, registre el orden en que fueron capturados.
- Si una característica cambia con el tiempo, registre la medición o clasificación tan pronto como sea posible después de su procesamiento, y también después del período de estabilización.
- Para aplicar estadísticas que asumen una población normal, determine si la dispersión esperada de los datos puede ser representada por al menos de 8 a 10 incrementos de resolución. Si no, el estadístico base puede ser el conteo de las observaciones que cumplen o no el criterio de especificación.
- Separe o filtre los datos para detectar o eliminar errores de entrada de datos tales como transposiciones digitales o cambios de magnitud debidos a la colocación incorrecta del punto decimal.
- Evite eliminar datos por corazonadas. Use pruebas estadísticas objetivas para identificar datos espurios (outliers).
- Cada identificación importante de clasificación se debe registrar con los datos. Esta información incluye: hora, máquina, auditor, operario, instrumento de medición, laboratorio, material, objetivo, cambios y condiciones de proceso, etc.

Es importante seleccionar un plan de muestreo apropiado según el propósito de uso de los datos. No hay un estándar sobre qué plan usar para la recolección y análisis de datos, por lo tanto, el/la analista toma una decisión basada en experiencia y necesidades específicas. Algunos métodos de muestreo se enlistan a

continuación. Hay muchas otras técnicas de muestreo que se han desarrollado para necesidades específicas.

Tipos de Muestreo

Muestreo Aleatorio

El muestreo se realiza debido a las ventajas económicas y de tiempo. El uso de planes de muestreo requiere de la aleatoriedad en la selección de la muestra. Obviamente, el verdadero muestreo aleatorio requiere que cada parte tenga la misma oportunidad de ser seleccionada en la muestra.

La muestra debe ser representativa del lote y no solo del producto que es fácil de obtener. Por lo tanto, la selección de la muestra requiere de planeación y pensamiento previo. Frecuentemente, el énfasis se pone en la mecánica del plan de muestreo acostumbrado y no en la selección e identificación de la muestra. Muestreo sin aleatoriedad arruina la efectividad de cualquier plan. El producto a muestrear puede tomar muchas formas: almacenado, en una banda transportadora, en orden secuencial, etc. La secuencia de muestreo debe basarse en un plan aleatorio independiente. La muestra se determina seleccionando un número apropiado de un sombrero o de una tabla de números aleatorios.

Muestreo Secuencial

Los planes de muestreo secuencial son similares a planes múltiples de muestreo excepto que pueden teóricamente continuar indefinidamente. Usualmente, estos planes se terminan

cuando el número inspeccionado excede tres veces el tamaño de muestra correspondiente a un plan de muestreo simple. El test secuencial se usa para pruebas costosas o destructivas con tamaños de muestras de uno y es basado en una técnica probabilística.

Muestreo Estratificado

Uno de los supuestos básicos que se hace en muestreo es que la muestra se selecciona aleatoriamente de un lote homogéneo. Cuando se muestrea, el "lote" puede no ser homogéneo. Por ejemplo, las partes se pudieron producir en líneas diferentes, diferentes máquinas, o bajo diferentes condiciones. Una línea de producto puede tener el equipo en buenas condiciones, mientras que otra puede ser más vieja o tener equipo mal cuidado.

El concepto detrás del muestreo estratificado es tratar de seleccionar muestras aleatorias de cada grupo o proceso que es diferente de otros grupos o procesos similares. La mezcla resultante de muestras puede estar sesgada si la proporción no refleja la frecuencia relativa de los grupos. Para la persona que usa los datos de las muestras, la implicación es que primero se tiene que estar atento a la posibilidad de grupos estratificados y segundo, se formula el informe de tal forma que las observaciones son relevantes solamente para la muestra tomada y pueden no reflejar necesariamente el sistema como un todo.

3.4 Estadística Descriptiva

La estadística descriptiva incluye medidas de tendencia central, medidas de dispersión, funciones densidad de probabilidad,

distribuciones de frecuencia y funciones de distribución acumulada.

Medidas de Tendencia Central (Posición)

Las medidas de tendencia central o posición representan formas diferentes de caracterizar el valor central de un grupo de datos. Tres de estas medidas se tratarán aquí: media, moda y mediana.

La Media \bar{x} (X barra)

La media (promedio popularmente) es la suma total de todos los datos dividido por el número de datos. La media aritmética es la medida de tendencia central de mayor uso.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Donde la media es la suma de todos los datos dividido entre n (total de datos).

La Moda

La moda es el número que ocurre con mayor frecuencia en un conjunto de datos. Nota: Es posible para grupos de datos tener más de una moda.

La Mediana

La mediana es el valor del medio cuando los datos se ordenan en orden descendente o ascendente. Para un conjunto de datos par, la mediana es la media de los dos valores centrales.

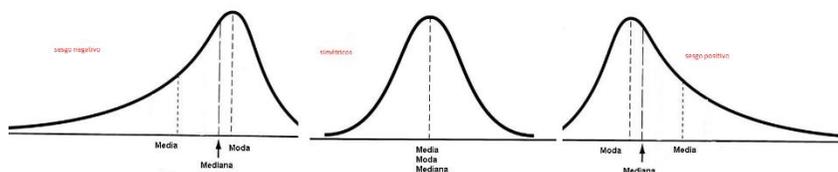


Figura 0.8 Comparación de la tendencia central en distribuciones simétricas y asimétricas

Medidas de Dispersión

Además de la tendencia central, el otro parámetro importante para describir un conjunto de datos es variabilidad o desviación. Se revisarán las tres principales medidas de dispersión: rango, desviación estándar y varianza.

- **Rango (R)**

El rango de un conjunto de datos es la diferencia entre el valor mayor y el valor menor.

- **Desviación estándar (σ poblacional, s muestral)**

La desviación estándar es igual a la suma de las desviaciones de la media, dividido entre el tamaño de la muestra o los grados de libertad apropiados. Desde un punto de vista matemático, la desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza.

Fórmula desviación estándar Poblacional (σ):

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

Fórmula desviación estándar Muestral (s):

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- **Varianza (σ^2 poblacional, s^2 muestral)**

La varianza es igual a la suma de las desviaciones al cuadrado del promedio, dividido entre el tamaño de la muestra o los grados de libertad apropiados. La varianza es el cuadrado de la desviación estándar.

Fórmula varianza Poblacional (σ^2):

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}$$

Fórmula varianza Muestral (s^2):

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

- **Coefficiente de Variación (COV)**

El coeficiente de variación es igual la desviación estándar dividida entre la media y expresada como porcentaje.

Fórmula para el Coeficiente de Variación:

$$CV = \frac{S_x}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

- **Función Densidad de Probabilidad**

La función densidad de probabilidad, $f(x)$, describe el comportamiento de una variable aleatoria. Típicamente, la función densidad de probabilidad se visualiza como "la forma" de la distribución. Es normalmente una distribución de frecuencias agrupada.

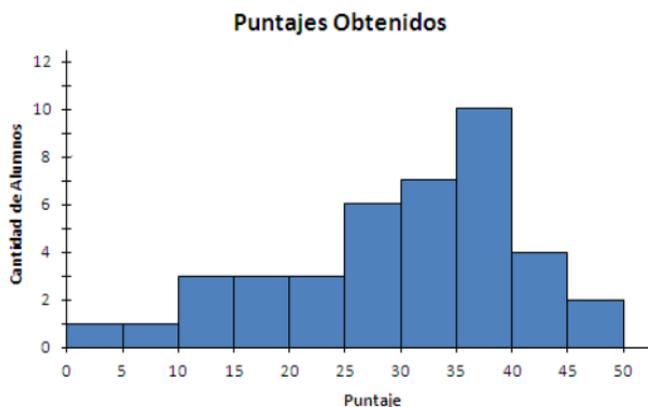


Figura 0.9 Ejemplo de Histograma

Un histograma es una aproximación de la forma de la distribución. La "curva de suavización" es un modelo estadístico que describe a la población; en este caso, la distribución normal. Cuando se usa estadística, la "curva de suavización" representa a la población. Las diferencias entre la muestra representada por el histograma y los datos poblacionales representados por la curva de suavización se asumen que es debida a error de muestreo. En realidad, la diferencia podría ser causada por falta de aleatoriedad en la muestra o por un modelo incorrecto.

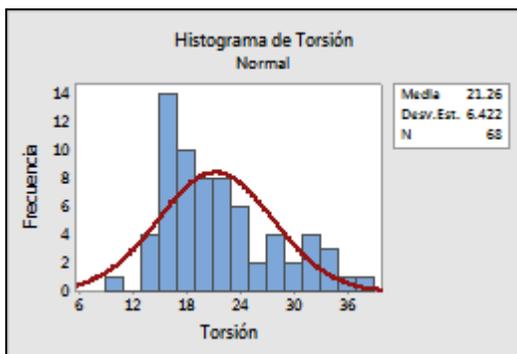


Figura 0.10 Ejemplo de Histograma con Modelo superpuesto

3.5 Métodos Gráficos

Los métodos gráficos incluyen gráficos de caja, de tallo y hojas, análisis de patrones y tendencias, histogramas, distribuciones de probabilidad continua y discreta. Información adicional sobre propiedades y aplicaciones de las distribuciones de probabilidad serán dadas más adelante.

- **Box Plots (caja y bigotes, caja y alambres)**

Una de las formas más simples y útiles de resumir datos es el gráfico de caja y bigotes, conocido como box plot. Esta técnica se le acredita a John W. Tukey. El box plot es simplemente un resumen de cinco números. La mediana de los datos es la línea que divide la caja. Los cuartiles superior e inferior definen los extremos de la caja. Los valores máximo y mínimo se dibujan como puntos al final de líneas (bigotes) extendidos desde las cajas. Un box plot simple se muestra en la figura abajo.

Los datos espurios (outliers) se pueden identificar como puntos (asteriscos) a más de 1,5 veces de la distancia intercuartílica de cada cuartil. Algunos programas de computadora generan automáticamente los box plots para análisis de datos.

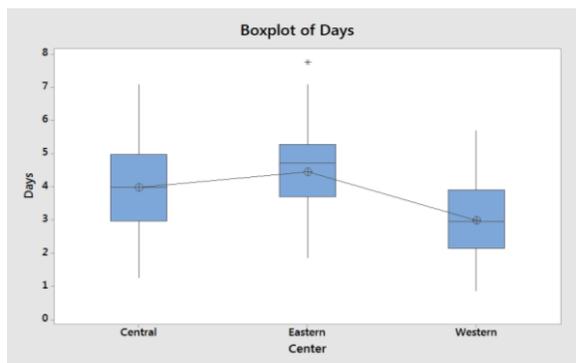


Figura 0.11 Ejemplo de box plot

- **Diagrama de Tallo y Hojas**

El gráfico de tallo y hojas es un método conveniente para graficar grupos de datos de forma manual. Estos diagramas son efectivos para desplegar tanto variables como grupos de datos de categorías. El diagrama consiste en agrupar los datos en intervalos de clase, como tallos, y los incrementos menores de datos como hojas. El gráfico permite leer los datos directamente del diagrama, mientras que el histograma puede perder los valores individuales en los intervalos de clase.

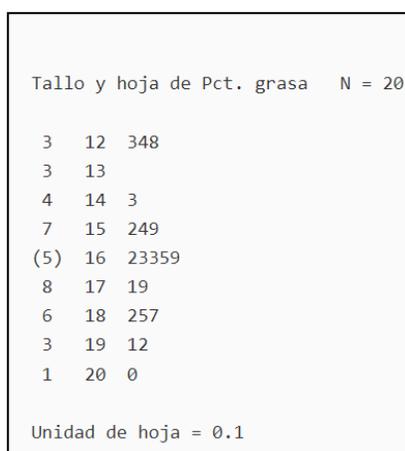


Figura 0.12 Ejemplo de tallo y hojas

- **Diagrama de Dispersión**

El diagrama de dispersión es un despliegue gráfico de muchos puntos en las coordenadas XY que representan la relación entre dos variables diferentes. También se conoce como gráfico de correlación. Por ejemplo, cambios en temperatura causan contracción o expansión de muchos materiales. Tanto el tiempo como la temperatura en un horno afectarán la humedad retenida en madera. Ejemplos de estas relaciones son abundantes en el

lugar de trabajo. Tener conocimiento de la naturaleza de estas relaciones puede proveer una pista para la solución de problemas. Los diagramas de dispersión pueden ayudar a determinar si una relación existe y cómo controlar el efecto de la relación en el proceso.

En la mayoría de los casos, hay una variable independiente y una variable dependiente. Por tradición, la variable dependiente es representada en el eje vertical y la variable independiente en el eje horizontal.

La habilidad de cumplir con especificaciones en muchos procesos depende de poder controlar dos variables que interactúan, y por lo tanto, es importante controlar el efecto de una variable sobre la otra. Por ejemplo, si la cantidad de calor aplicado a un proceso plástico afecta la durabilidad del producto final, entonces se deben establecer los límites de tolerancia correctos para aplicar el calor consistentemente. Mediante el uso de diagramas de dispersión, la cantidad apropiada de temperatura se puede determinar asegurando la calidad del producto.

La variable dependiente se puede controlar si la relación se entiende. La correlación se origina de alguno de los siguientes:

- Una relación causa y efecto.
- Una relación entre una causa y otra causa.
- Una relación entre una causa y dos o más causas.

No todos los diagramas de dispersión revelan una relación lineal. Los ejemplos abajo definitivamente indican una relación entre las dos variables, a pesar de que no necesariamente produce una línea recta. Si se puede acomodar una línea en el centro del

diagrama de afinidad, será posible su interpretación. Para usar diagramas de afinidad, se debe decidir sobre los factores que mejor controlarán el proceso dentro de especificaciones.

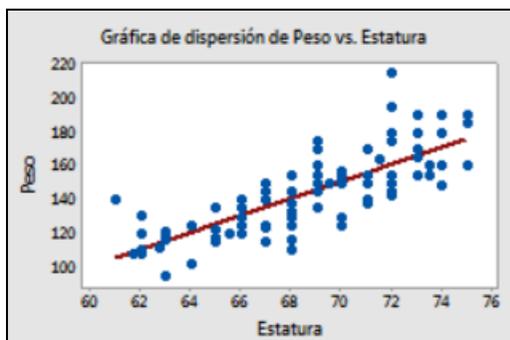


Figura 0.13 Ejemplos de diagramas de dispersión

Coefficiente de Correlación de la muestra

Un coeficiente de correlación de la muestra "r" se puede calcular para determinar el grado de asociación entre dos variables.

$$r = \frac{n \cdot \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{[n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \cdot [n \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

$$-1 \leq r \leq 1$$

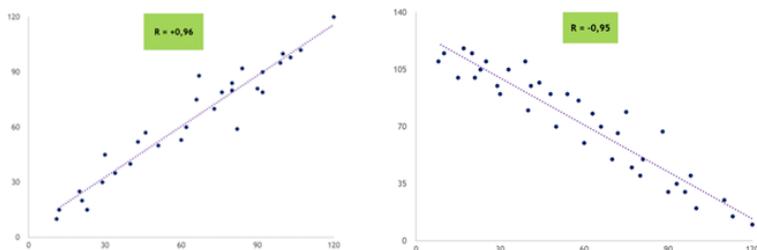


Figura 0.14 Ejemplos de coeficientes de correlación

Comentarios finales

- Un análisis de correlación busca descubrir relaciones. Se debe aplicar el sentido común liberalmente. Existen relaciones sin sentido en las que dos variables que no están relacionadas pueden mostrar una relación. Por ejemplo, cada vez que se lava el auto, llueve.
- La línea de "mejor ajuste" se puede obtener calculando una "línea de regresión". Sin embargo, para tomar la decisión sobre si existe o no relación, la línea se puede ajustar "a ojo". Simplemente dibuje una línea recta en medio de los puntos tratando de tener aproximadamente la mitad por encima y la mitad por debajo. Estudie los puntos para encontrar tendencias y confirmar que la línea dibujada calza apropiadamente.
- Los diagramas de dispersión siempre deben ser analizados antes de tomar una decisión en correlaciones estadísticas.

3.6 Análisis de Patrones y Tendencias

El cerebro humano promedio no es bueno para comparar más que unos pocos números al mismo tiempo. Por lo tanto, grandes cantidades de datos son muchas veces difíciles de analizar a menos que se presente en algún formato fácilmente digerido.

Los datos se pueden presentar tanto en forma de resumen (estáticos) o en secuencia de tiempo (dinámicos). Elementos importantes de la mayoría de los procesos pueden cambiar con el tiempo. Estos cambios se pueden presentar gráficamente por medio de gráficos de control o por medio de gráficos de corrida o de tendencias. Para muchas actividades de negocios, los gráficos de tendencias mostrarán patrones que indican si un

proceso está funcionando normalmente o si ocurren cambios deseables o indeseables.

Lo convencional es que se maneje el tiempo a lo largo de la hoja (de izquierda a derecha) y la medición crezca hacia arriba. Dependiendo de la métrica del proceso, los valores pueden ser "buenos" si van hacia arriba, hacia abajo, o si se mantienen tan cerca como sea posible a un valor central. Considere los siguientes ejemplos:

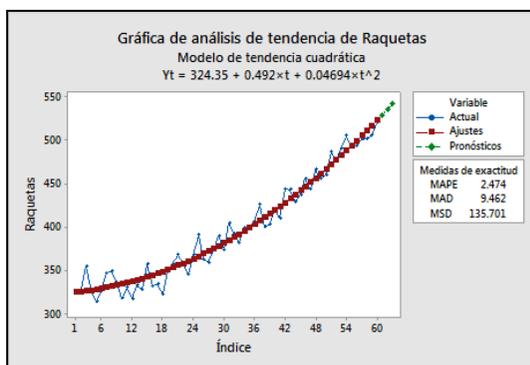


Figura 0.15 Ejemplos de tendencias

Histogramas

Los histogramas tienen las siguientes características:

- Son gráficos de columna de frecuencias que muestran una foto estática del comportamiento del proceso. Los histogramas requieren como mínimo de 50 -100 datos.
- Un histograma se caracteriza por el número de datos que caen dentro de una columna o intervalo dado. A esto se le conoce comúnmente como "frecuencia".

- Un proceso estable se caracteriza frecuentemente por un histograma que exhibe curvas unimodales o con forma de campana. Un proceso estable es predecible.
- Un proceso inestable se caracteriza generalmente por un histograma que no exhibe una curva con forma de campana. Obviamente, otras formas de distribución más exóticas (como exponencial, lognormal, gamma, Weibull, Poisson, binomial, hipergeométrica, geométrica, etc.) existen en procesos estables.
- Cuando una curva de campana es la forma aproximada de la distribución, la variación alrededor de la curva es variación natural o aleatoria. Otra variación es debida a causas especiales o asignables.

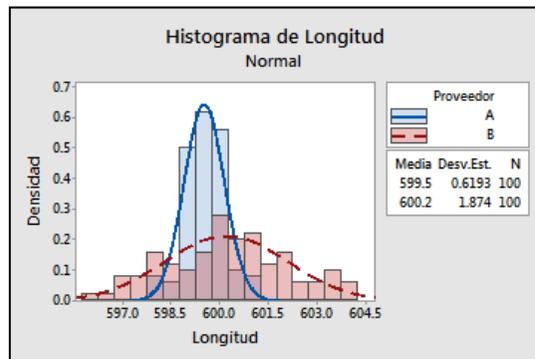


Figura 0.16 Ejemplos de histogramas

Gráficos de Probabilidad Normal

Para un gráfico de probabilidad normal:

- La mayoría de los puntos (datos) están cerca de la línea central, o promedio.
- La línea central divide la curva en dos mitades simétricas

- Algunos de los puntos se aproximan al valor mínimo y al valor máximo.
- El histograma normal exhibe una distribución con forma de campana.
- Muy pocos puntos están fuera de la curva de campana.

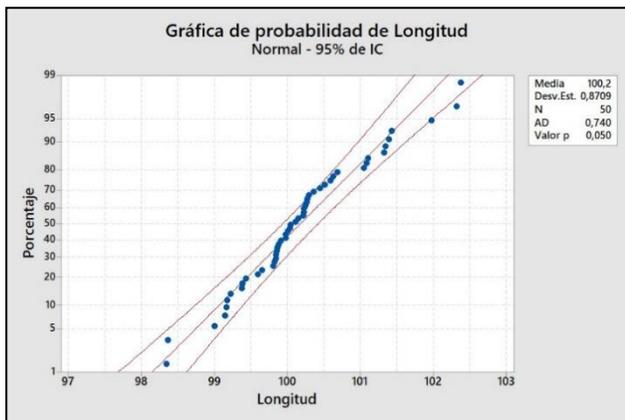


Figura 0.17 Proceso normalmente distribuido

Cuando todas las causas especiales de variación son eliminadas, el proceso dará productos que cuando maestreados y graficados, tienen una distribución con forma de campana. Si la base del histograma se divide en seis (6) partes iguales (tres a cada lado del promedio) la cantidad de datos en cada intervalo exhibe los siguientes porcentajes:

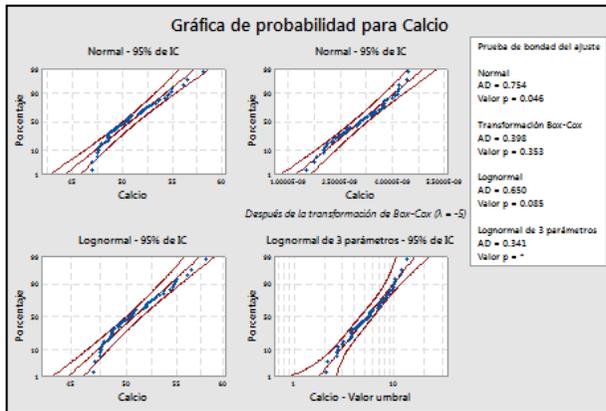


Figura 0.18 La distribución normal

Probabilidad y Estadística

Cuando hablamos de probabilidad y estadística, nos referimos comúnmente al estudio del azar desde un punto de vista matemático. Es decir, al estudio de las leyes formales que lo rigen, desde dos puntos de vista claramente diferenciados:

- La probabilidad se entiende como el grado de certidumbre que se posee respecto de que un evento ocurra o no, y constituye también una disciplina encargada de confeccionar modelos predictivos para fenómenos aleatorios, de modo de poder anticiparlos y estudiar sus consecuencias lógicas.
- La estadística, en cambio, ofrece métodos y técnicas propios para comprender lo que dichos modelos significan, ya que es una disciplina independiente, rama de las matemáticas, centrada en el estudio de la variabilidad.

La probabilidad y la estadística se encuentran estrechamente vinculadas, dado que son las dos grandes herramientas de las que dispone la humanidad para enfrentarse a los fenómenos aleatorios (Lind, 2012)

Tabla 0.2 Términos Estadísticos básicos

Distribuciones continuas	Distribuciones que contienen puntos de datos infinitos (variables) que pueden ser mostrados en una escala de medición continua. Ejemplos: las distribuciones normal, uniforme, exponencial, y Weibull.
Distribuciones discretas	Distribuciones que resultan de datos contables (atributos) que tienen un número finito de valores posibles. Ejemplos: las distribuciones binomiales, Poisson, e hipergeométrica.
Distribuciones de Decisión	Distribuciones que se utilizan para tomar decisiones y construir intervalos de confianza. Ejemplos: las distribuciones t, F y Chi Cuadrado.
Parámetro	El valor numérico verdadero de la población, a menudo desconocido, estimado por un estadístico.
Población	Todas las posibles observaciones de ítems similares de las que se toma una muestra.
Muestra	Un grupo seleccionado aleatoriamente de unidades o ítems sacados de una población.

Estadístico	Un valor numérico tomado de una muestra que puede ser usado para hacer inferencias sobre la población.
-------------	--

Estudios Analíticos (Inferenciales)

El objetivo de la inferencia estadística es extraer conclusiones sobre características de poblaciones basadas en la información contenida en una muestra. La inferencia estadística en situaciones prácticas contiene dos elementos: (1) la inferencia y (2) una medida de su validez. Los pasos de la inferencia estadística son:

- Definir el objetivo del problema de forma precisa.
- Decidir si el problema será evaluado con una cola o dos colas.
- Formular una hipótesis nula y una hipótesis alternativa.
- Seleccionar una distribución de prueba y un valor crítico de un estadístico de prueba que refleje el grado de incertidumbre que puede ser tolerado (el riesgo alfa, α).
- Calcular el valor de un estadístico de prueba a partir de la información en la muestra.
- Hacer una inferencia sobre la población comparando el valor calculado con el valor crítico. Este paso determina si la hipótesis nula se debe rechazar. Si la nula es rechazada, la alternativa debe ser aceptada.
- Comunicar los resultados a las partes interesadas.

Todos los días, en nuestras vidas personales y profesionales, nos enfrentamos a decisiones entre la alternativa A y la alternativa B. En la mayoría de las situaciones, la información relevante está

disponible; pero puede ser presentada en una forma difícil de digerir. A menudo, los datos parecen inconsistentes o contradictorios. En estas situaciones, una decisión intuitiva puede ser sólo un poco más que conjetura descarada.

Mientras que la mayoría de la gente siente que sus poderes intuitivos son muy buenos, el hecho es que las decisiones hechas por intuición están a menudo incorrectas. El estudiante debe saber que los temas de hipótesis nula y tipos de errores son revisados más adelante.

Estudios Enumerativos (Descriptivos)

Datos enumerativos son datos que pueden ser contados. Por ejemplo: la clasificación de cosas, la clasificación de personas en intervalos de ingresos, edad o salud. Un censo es un estudio y recolección enumerativo. Herramientas útiles para pruebas de hipótesis conducidas sobre datos enumerativos son las distribuciones chi cuadrado, binomial y Poisson.

Deming en 1975, definió un contraste entre enumeración y análisis:

- Estudio enumerativo: Un estudio en el que la acción se tomará sobre el universo.
- Estudio analítico: Un estudio en el que la acción se tomará sobre la mejora de desempeño de un proceso en el futuro.

Estadística Descriptiva

Mediciones numéricas, descriptivas crean una imagen mental de un conjunto de datos. Estas medidas calculadas de una muestra son llamadas estadísticos. Cuando estas medidas describen a una población, son llamadas parámetros.

Tabla 0.3 Estadísticos y Parámetros

Mediciones	Estadísticos	Parámetros
Media	\bar{X}	μ
Desviación Estándar	s	σ

La tabla muestra ejemplos de estadísticos y parámetros para el promedio y la desviación estándar. Estas dos importantes medidas son llamadas tendencia central y dispersión.

Resumen de estudios analíticos y enumerativos

Los estudios analíticos empiezan con la declaración de la hipótesis hecha sobre los parámetros de la población. Una muestra estadística se usa entonces para probar la hipótesis y rechazar, o no poder rechazar, la hipótesis nula. Para un nivel de confianza dado, uno debe en ese momento ser capaz de hacer inferencias sobre la población.

Probabilidad

La mayoría de las teorías de calidad usan estadística para hacer inferencias sobre una población basadas en información

contenida en muestras. El mecanismo que se usa para hacer estas inferencias es probabilidad.

La probabilidad de cualquier evento (E) cae entre 0 y 1. La suma de las probabilidades de todos los posibles eventos (E) en un espacio muestral (S)=1. La proporción de posibilidades que favorecen un evento con respecto al total de oportunidades a favor y en contra. La probabilidad (P) es siempre una proporción.

$$P = \frac{\text{Oportunidades a favor}}{\text{Oportunidades a favor más oportunidades en contra}}$$

- **Eventos Simples**

Un evento que no se puede descomponer es un evento simple (E). El conjunto de todos los puntos muestrales para un experimento es llamado el espacio muestral (S).

Si un experimento se repite una gran cantidad de veces, (N), y el evento (E) se observa n_E veces, La probabilidad de E es aproximadamente:

$$PE \approx n_E/N$$

Considere el experimento de lanzar un dado. ¿Cuál es la probabilidad del evento "cae un número par de puntos"?

Los posibles resultados son:

Un punto		Cuatro puntos	
Dos puntos		Cinco puntos	
Tres puntos		Seis puntos	

Hay tres resultados *favorables* (un dos, un cuatro y un seis) en el conjunto de seis resultados igualmente posibles. Por consiguiente,

$$\text{Probabilidad de un número par} = \frac{3}{6} \leftarrow \begin{array}{l} \text{Número de resultados favorables} \\ \text{Número total de posibles resultados} \end{array}$$
$$= .5$$

- **Eventos Compuestos**

Los eventos compuestos se forman de la composición de dos o más eventos. Consisten de más de un punto en el espacio muestral. Por ejemplo, si se lanzan dos dados, ¿cuál es la probabilidad de obtener un 8? Se lanzan un dado y una moneda. ¿Cuál es la probabilidad de obtener un 4 y una cara? Los dos teoremas de probabilidad más importantes son el de la suma y el de la multiplicación. Para la siguiente discusión, $E_A=A$ y $E_B=B$.

I. Composición: Consiste de dos posibilidades – unión o intersección.

A. Unión de A y B

Si A y B son dos eventos en un espacio muestral (S), la unión de A y B ($A \cup B$) contiene todos los puntos muestrales en los eventos A o B o ambos.

B. Intersección de A y B

Si A y B son dos eventos en un espacio muestral (S), la intersección de A y B ($A \cap B$) se compone de todos los puntos muestrales que están tanto en A como en B.

II. Relaciones entre eventos: Hay tres relaciones cuando se busca la probabilidad de un evento: complemento, condicional y mutuamente excluyentes.

A. Complemento de un evento

El complemento de un evento A es todos los puntos muestrales en el espacio muestral (S) que no están en A. El complemento de A es $1-P_A$.

B. Probabilidad Condicional

La probabilidad condicional del evento A, dado que B ha ocurrido, es:

$$P(A / B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \text{ si } P(B) \neq 0$$

C. Eventos mutuamente excluyentes

Si el evento A no contiene puntos muestrales en común con el evento B, entonces se dice que son mutuamente excluyentes.

- **La ley de la suma**

Si los dos eventos no son mutuamente excluyentes:

1. $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$

Note que $P(A \cup B)$ se muestra en muchos textos como $P(A + B)$ y se lee como la probabilidad de A o B.

Si los dos eventos son mutuamente excluyentes, la ley se reduce a:

2. $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ también $P(A + B) = P(A) + P(B)$

Nota: La declaración del problema se centra alrededor de la palabra "o". ¿Encenderá el auto A o el B?

¿Cuál es la probabilidad de que una carta escogida al azar de una baraja convencional sea rey o corazón?

Quizá se sienta tentado a sumar la probabilidad de sacar un rey y la probabilidad de sacar un corazón. Sin embargo, este enfoque crea problemas. Al hacerlo así, cuenta al rey de corazones con los reyes y lo mismo sucede con los corazones. De esta manera, si suma la probabilidad de sacar un rey (hay 4 en una baraja de 52 cartas) a la probabilidad de sacar un corazón (hay 13 en una baraja de 52 cartas) 17 de 52 cartas cumplen con el requisito, pero ha contado dos veces el rey de corazones. Necesita restar una carta de las 17, de tal manera que el rey de corazones sólo se cuente una vez. Por lo tanto, hay 16 cartas que son corazones o reyes. Así que la probabilidad es de $16/52 = 0.3077$.

Carta	Probabilidad	Explicación
Rey	$P(A) = 4/52$	4 reyes en una baraja de 52 cartas
Corazón	$P(B) = 13/52$	13 corazones en una baraja de 52 cartas
Rey de corazones	$P(A \cap B) = 1/52$	1 rey de corazones en una baraja de 52 cartas

De acuerdo con la fórmula (5-4):

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

$$= 4/52 + 13/52 - 1/52$$

$$= 16/52, \text{ o } .3077$$

Un diagrama de Venn representa estos resultados, que no son mutuamente excluyentes.

- **La ley de la multiplicación**

Si los eventos A y B son dependientes, la probabilidad de A influye la probabilidad de B. Esto se conoce como probabilidad condicional y el espacio muestral se reduce.

Para dos eventos cualesquiera A y B tales que $P(B) \neq 0$.

1.

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \text{ y } P(A \cap B) = P(A/B)P(B)$$

Si los eventos A y B son independientes:

1. $P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$

Nota: Los problemas se centran alrededor de la palabra "y."
¿Trabajarán los televisores A y B?

Un golfista tiene 12 camisas en su clóset. Suponga que 9 son blancas y las demás azules. Como se viste de noche, simplemente toma una camisa y se la pone. Juega golf dos veces seguidas y no las lava. ¿Cuál es la probabilidad de que las dos camisas elegidas sean blancas?



El evento que se relaciona con el hecho de que la primera camisa seleccionada sea blanca es W_1 . La probabilidad es $P(W_1) = 9/12$, porque 9 de cada 12 camisas son blancas. El evento de que la segunda camisa seleccionada sea blanca también se identifica con W_2 . La probabilidad condicional relacionada con el hecho de que la segunda camisa seleccionada sea blanca, dado que la primera camisa seleccionada es blanca también, es $P(W_2|W_1) = 8/11$. ¿A qué se debe esto? A que después de que se selecciona la primera camisa, quedan 11 camisas en el clóset y 8 de éstas son blancas. Para determinar la probabilidad de que se elijan 2 camisas blancas aplicamos la fórmula (5-6):

$$P(W_1 \text{ y } W_2) = P(W_1)P(W_2|W_1) = \left(\frac{9}{12}\right)\left(\frac{8}{11}\right) = .55$$

Por consiguiente, la probabilidad de seleccionar dos camisas, y que ambas sean de color blanco, es de 0.55.

Teorema del Límite Central TLC

Si una variable aleatoria X tiene media μ y varianza finita σ^2 , cuando n aumenta, \bar{X} se aproxima a una distribución normal con media μ y varianza σ_x^2 . Donde, $\sigma_x^2 = \frac{\sigma^2}{n}$ y n es el número de observaciones en el cuál cada promedio está basado.

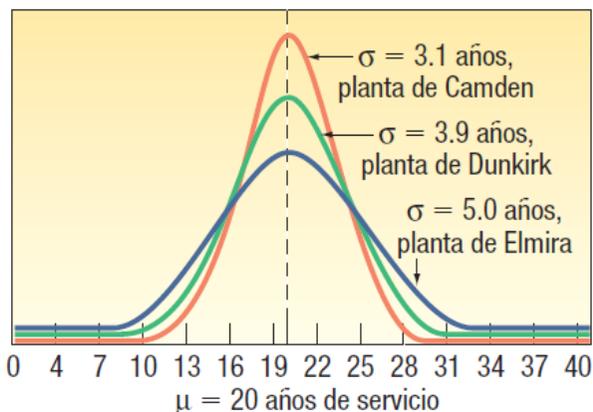


Figura 0.19 Distribución de valores individuales versus promedios

El teorema plantea que:

- Los promedios de muestras (s) estarán más normalmente distribuidos alrededor de μ que las lecturas individuales (Xs). La distribución de promedios de muestras se acerca a la normal, sin importar la forma de la distribución madre. Esta es la razón por la cual el gráfico de control X Barra – R funciona.
- El ancho en los promedios de muestras (s) es menor que las Xs y la desviación estándar de las s es igual a la desviación estándar de la población (datos individuales) dividido entre la raíz cuadrada del tamaño de la muestra.

Se conoce como error estándar de la media:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad \text{que se estima por medio de:} \quad s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

El significado del Teorema del Límite Central en los gráficos de control es que la distribución de promedios de muestras se acerca a la distribución normal (Lind, 2012)

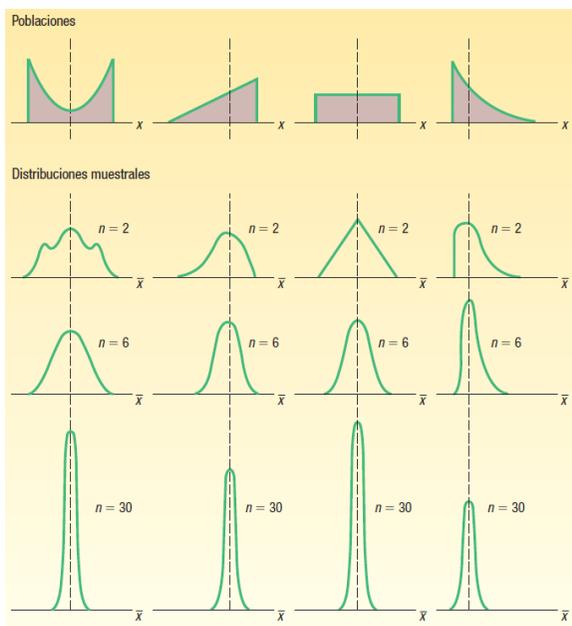


Figura 0.20 Resultados del Teorema de Límite Central para diversas poblaciones

Una gran variedad de distribuciones poblacionales se aproxima a la normalidad de las muestras de promedios cuando n aumenta. Para la mayoría de las distribuciones (pero no para todas), se obtiene una distribución casi normal con un tamaño de muestra de 6 ó 8.

3.7 Tipos de Distribuciones

Las distribuciones utilizadas se dividen en: discretas continuas y de decisión.

Las distribuciones basadas en datos discretos son las siguientes: binomial, uniforme discreto, geométrico, binomial negativo e hipergeométrica. Las distribuciones basadas en datos continuos son las siguientes: triangular coma normal coma log-Cauchy,

uniforme o multimodal, exponencial, lognormal, y extremo mínimo. La siguiente figura muestra los tipos de distribuciones a utilizar, según el tipo de dato (discretos o continuos) y guía al lector en el tipo de distribución según el árbol de decisión mostrado.

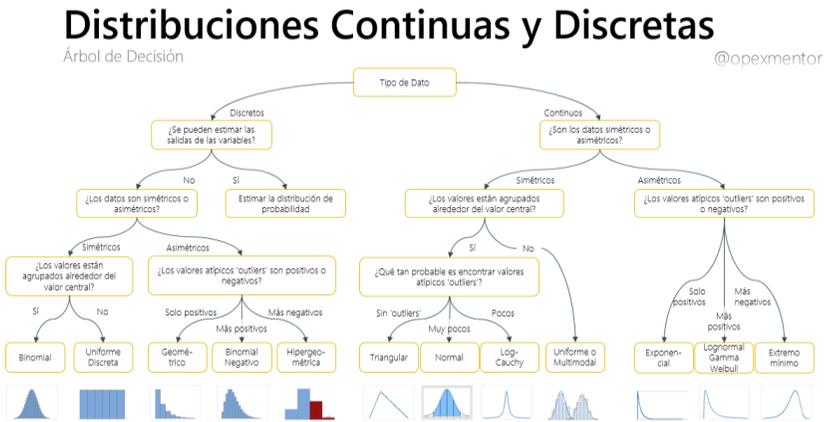


Figura 0.21 Árbol de decisión para distribuciones continuas y discretas.

Distribución Binomial

La distribución binomial es una de varias distribuciones usadas para modelar datos discretos. Algunas situaciones llaman a usar datos discretos, tales como, el número de misiles requeridos para destruir un blanco o el número de defectuosos en un lote de 1000 artículos.

La distribución binomial aplica cuando la población es grande ($N > 50$) y el tamaño de muestra es pequeño comparado con la población. La binomial aplica mejor cuando el tamaño de muestra es menos de un 10% de N ($n < 0.1N$). El muestreo binomial es con

reemplazo. Lo más apropiado es usarla cuando la proporción defectuosa es igual o mayor que 0.1.

La binomial es una aproximación a la hipergeométrica. La distribución normal aproxima la binomial cuando $np \geq 5$. La distribución de Poisson se puede usar para aproximar la distribución binomial cuando p es pequeño (generalmente, menos de 0.1) y n es grande (generalmente, $n \geq 16$) usando np como la media de la distribución de Poisson.

La distribución binomial se usa para modelar situaciones que tienen solamente 2 resultados, usualmente catalogados como éxito o fracaso. Para una variable aleatoria que sigue una distribución binomial, el número de ensayos debe ser fijo, y la probabilidad de éxito debe ser igual para todos los ensayos.

La función de densidad de probabilidad de la distribución binomial es:

$$P(r) = C_r^n p^r (1-p)^{n-r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{n-r}$$

Donde: n = tamaño de la muestra

r = ocurrencias o número de defectos

p = probabilidad o proporción defectuosa

Nota: Hay una tabla limitada de distribución de probabilidad binomial en el Apéndice.

La distribución binomial usando diferentes valores de p se muestra:

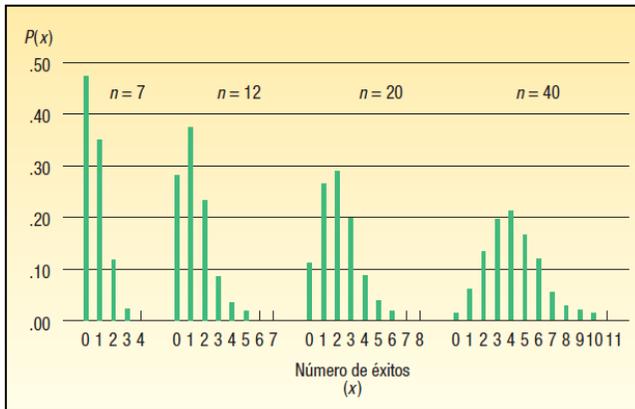


Figura 0.22 Ejemplos de la Distribución Binomial

El promedio y la desviación estándar de la distribución binomial se pueden obtener de los siguientes cálculos cuando el evento de interés es la cuenta de ocurrencias definidas en la población (por ejemplo, número de defectuosos).

$$\text{El promedio binomial} = \mu = n\bar{p}$$

$$\text{Desviación estándar binomial} = \sigma = \sqrt{np(1-\bar{p})}$$

Distribución de Poisson

Poisson se usa como una distribución para la cuenta de defectos y puede ser usada como una aproximación de la binomial, cuando p es igual o menor que 0.1 y el tamaño de muestra es razonablemente grande.

Para $np < 5$ la binomial se aproxima mejor con la Poisson que con la Distribución Normal. Cuando la Poisson normalizada se usa para modelar defectos, el tamaño de la muestra debe ser lo suficientemente grande para que el promedio tenga un valor de

al menos 4 ó 5. La distribución de Poisson para diferentes valores de μ se muestra en la figura.

La distribución de Poisson está cercanamente relacionada con la distribución exponencial. Si x es una variable aleatoria distribuida Poisson, entonces $1/x$ es una variable aleatoria exponencial. Si x es una variable aleatoria exponencial, entonces $1/x$ es una variable aleatoria Poisson.

Para una variable aleatoria distribuida Poisson, la probabilidad de una ocurrencia en un intervalo debe ser proporcional al largo del intervalo, y el número de ocurrencias por intervalo debe ser independiente.

$$P(r) = \frac{\mu^r e^{-\mu}}{r!}$$

Donde: $\mu = np =$ media de la población

$r =$ número de defectos

$e = 2,71828$ la base del logaritmo natural

La distribución de Poisson, usando dos valores diferentes de n , se muestra a continuación:

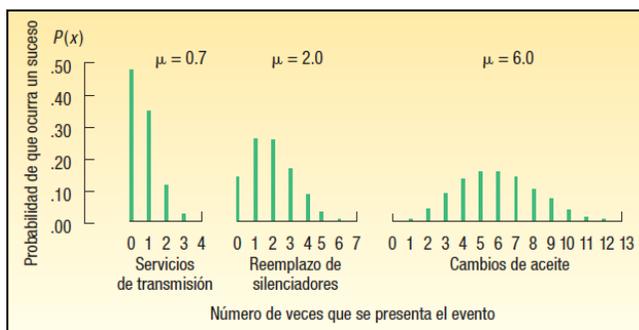


Figura 0.23 Ejemplos de la Distribución Poisson

La muy buena noticia es que existen tablas Poisson, y permiten una fácil determinación de probabilidades. Para usar las tablas Poisson se necesita un rápido cálculo de np ; además se puede desarrollar con el software Excel y Minitab.

El promedio y sigma de la distribución de Poisson se pueden obtener de los siguientes cálculos:

$$\text{El promedio de Poisson} = \mu = np$$

$$\text{Sigma de Poisson} = \sqrt{\mu} = \sqrt{np}$$

Distribución Normal

La distribución normal tiene numerosas aplicaciones. Es útil cuando es igualmente probable que los valores caigan por encima o por debajo del promedio. Cuando una muestra de varias mediciones aleatorias se promedia, la distribución de tales promedios de muestras tiende a distribuirse normalmente (de acuerdo con el Teorema del Límite Central) sin importar la forma de la distribución de las medidas que están siendo promediadas. Matemáticamente, si:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

luego la distribución de \bar{X} s se vuelve normal cuando n crece. Si el conjunto de datos que está siendo promediado tiene la misma media y varianza entonces la media de los promedios \bar{X} s es igual

que la media (μ) de las mediciones individuales, y la varianza de las \bar{X} es:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma_x^2}{n}$$

donde σ_x^2 es la varianza de las variables individuales que se están promediando.

Para distribuciones con poca asimetría (sesgo), sumar y promediar tan pocas como 3 ó 4 variables resultará en una distribución normal. Para distribuciones con mucha asimetría puede que se requiera de la suma y el promedio de 30 variables para obtener una distribución normal. La función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad -\infty < x < \infty$$

donde μ es la media y σ es la desviación estándar.

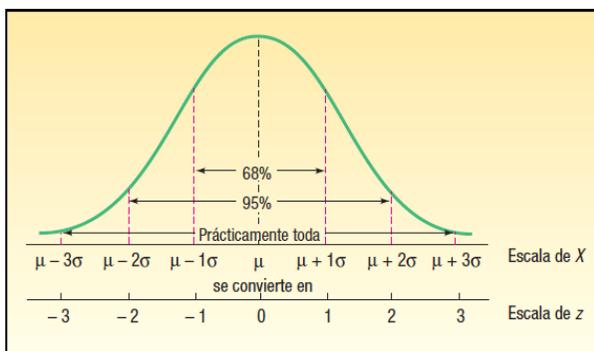


Figura 0.24 La función Densidad de Probabilidad Normal Estándar

Ejemplos

Distribuciones de Decisión

Las distribuciones chi cuadrado, t, y F se forman de combinaciones de variables aleatorias. Debido a esto, generalmente no se usan para modelar fenómenos físicos, como tiempo o fallas, pero se usan para tomar decisiones y construir intervalos de confianza.

Distribución Chi Cuadrado

La distribución Chi Cuadrado se forma de la suma de cuadrados de variables aleatorias normales estándar. Por ejemplo, si z es una variable aleatoria normal estándar, entonces:

$$y = z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 + \dots + z_n^2$$

es la variable aleatoria Chi Cuadrado (estadístico) con n grados de libertad.

Un estadístico Chi Cuadrado también se crea mediante la suma de dos o más estadísticos Chi Cuadrado y dividiendo entre la suma de grados de libertad. Una distribución que tiene esta propiedad es regenerativa. La distribución Chi Cuadrado es un caso especial de la Distribución Gama con una tasa de fallos de 2, y grados de libertad iguales a 2 divididos por el número de grados de libertad para la correspondiente distribución Chi Cuadrado.

La función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{(v/2-1)} e^{-x/2}}{2^{v/2} \Gamma(v/2)}, x > 0$$

donde v es los grados de libertad, y $\Gamma(x)$ es la función gama. La función densidad de probabilidad Chi Cuadrado se muestra en la siguiente figura.

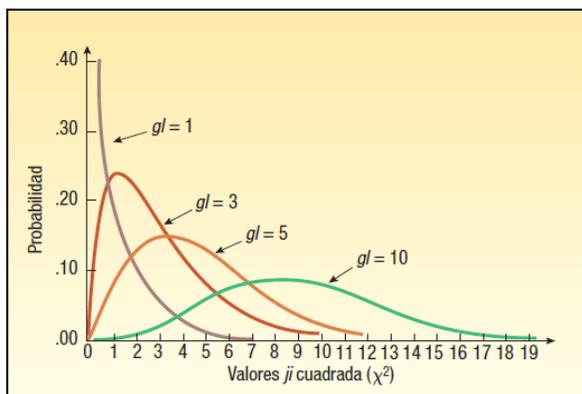


Figura 0.25 Función densidad de Probabilidad Chi Cuadrado

Los valores críticos de la distribución Chi Cuadrado están dados en el Apéndice.

Distribución t de Student

La distribución t de Student es formada por la combinación de variable aleatoria normal estándar y una variable aleatoria Chi cuadrado. Si z es una variable aleatoria normal estándar, y X^2 es una variable aleatoria Chi cuadrado con v grados de libertad, entonces una variable aleatoria con distribución t es:

$$t = \frac{z}{\sqrt{\frac{X^2}{v}}}$$

Al igual que la distribución normal, cuando las variables aleatorias se promedian, la distribución de los promedios tiende a ser normal sin importar la distribución de los valores individuales. La

distribución de t es equivalente a la distribución F con 1 y v grados de libertad. La distribución t es comúnmente usada para pruebas de hipótesis y construcción de intervalos de medias.

La distribución t se usa en lugar de la distribución normal cuando la desviación estándar se desconoce. La distribución t compensa el error en la desviación estándar estimada. Si el tamaño de muestra es grande, $n > 30$, el error en la estimación de la desviación estándar es pequeño, y la distribución de t es aproximadamente normal. La función de densidad de probabilidad de t es:

$$f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{v+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi v} \Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{v}\right)^{-\frac{(v+1)}{2}}, \quad -\infty < x < \infty$$

donde v son los grados de libertad. La función densidad de probabilidad t se muestra a continuación.

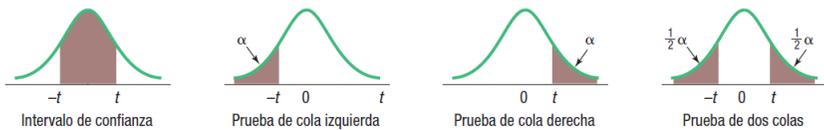


Figura 0.26 Función densidad de probabilidad t

La media y varianza de la distribución t son:

$$\mu = 0 \qquad \sigma^2 = \frac{v}{v-2}, \quad v \geq 3$$

De una muestra aleatoria de n ítems, la probabilidad de que

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

caiga dentro de dos valores especificados es igual al área bajo la curva de la función de densidad de probabilidad de t dentro de los valores correspondientes en el eje x con n-1 grados de libertad.

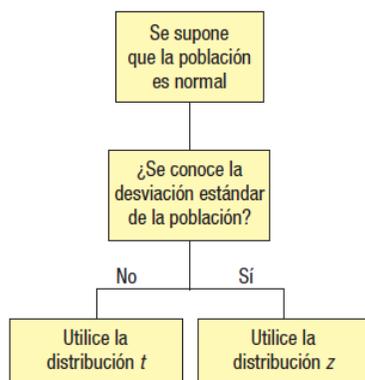


Figura 0.27 Cómo determinar cuándo se debe utilizar la distribución z o la distribución t

Distribución F

Si X es una variable aleatoria Chi cuadrado con v_1 grados de libertad y Y es una variable aleatoria Chi cuadrado con v_2 grados de libertad y si X y Y son independientes, entonces

$$F = \frac{X / v_1}{Y / v_2}$$

Es una distribución F con v_1 y v_2 grados de libertad.

La distribución F se usa extensivamente para probar la igualdad de varianzas de dos poblaciones normales. Si U y V son las

varianzas de muestras aleatorias independientes de tamaños n y m tomadas de distribuciones normalmente distribuidas con varianzas w y z , entonces

$$F = \frac{U/w}{V/z}$$

es una variable aleatoria con una distribución F con $v_1 = n-1$ y $v_2 = m-1$.

La función densidad de probabilidad F se muestra a continuación.

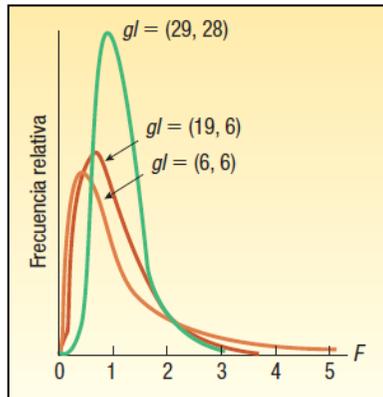


Figura 0.28 La función densidad de probabilidad

Tanto la cola inferior como la cola superior están dadas en esta tabla, pero la mayoría de los textos solamente dan una cola, y se requiere calcular la otra cola usando la expresión:

$$F_{\alpha, n1, n2} = \frac{1}{F_{1-\alpha, n2, n1}}$$

3.8 Medición

Correlación de la Medición

El término correlación de la medición puede tener varios significados. La definición más básica es la correlación o comparación de los valores de medición de un sistema de medición con los correspondientes valores reportados por uno o más sistemas de medición diferentes.

Un sistema de medición o dispositivo puede también ser utilizado para comparar valores contra un estándar conocido. Tanto el sistema de medición como el estándar presentan variación en sus valores medidos. Ejemplos de esta correlación son la calibración o estandarización de instrumentos de análisis químicos y la calibración de dispositivos de medición de longitud contra los estándares de referencia de longitud.

El sistema o dispositivo de medición también puede ser comparado contra el promedio y la desviación estándar de muchos otros dispositivos similares, todos ellos reportando medidas de los mismos artefactos o similares. Esta técnica es a menudo conocida como prueba de capacidad o "todos contra todos". Si uno o más artefactos son evaluados por cada dispositivo, y se replican las mediciones, pueden separarse los componentes de variación relacionados con variación e instrumentos. Este método es a menudo utilizado cuando no se encuentran disponibles los estándares de referencia nacionales para el rango específico o para las condiciones que se están midiendo. Algunos ejemplos incluyen análisis químicos de materiales especializados y pruebas de dureza para escalas específicas de dureza.

La correlación de la medición puede también significar la comparación de valores obtenidos utilizando diferentes métodos de medición usados para medir diferentes propiedades. Algunos ejemplos son la correlación de dureza y resistencia de un metal, temperatura y expansión linear de un objeto que está siendo calentado, y el peso y cantidad de piezas de partes pequeñas.

Aun cuando cada uno de los significados de correlación de la medición inicialmente pareciera diferente, lo común es que en cada caso los valores del sistema de medición de interés son comparados con los valores con los que se espera que tengan un alto grado de correlación.

El *Manual de Referencia del Análisis del Sistema de Medición* (MSA), clasifica el error del sistema de medición en cinco categorías: sesgo, repetitividad, reproducibilidad, estabilidad y linealidad. Cada uno de estos es un componente cuyo efecto combinado explica la correlación de la medición.

Terminología de la Medición

Hay mucha confusión en la terminología de la medición con respecto a las definiciones y uso de palabras clave. En esta página y la siguiente, encontrará descripciones de varios términos utilizados ampliamente.

Sensibilidad: Un dispositivo de medición debe ser lo suficientemente sensible como para detectar diferencias de medidas hasta en una-décima del total de la tolerancia de la especificación o del ancho de proceso, el que sea más pequeño de los dos.

Reproducibilidad: La "confiabilidad" de un sistema de medición es su habilidad de reproducir las mediciones. La reproducibilidad de una sola medida es comúnmente revisada al comparar los resultados de diferentes operarios tomados en diferentes momentos de tiempo. La reproducibilidad de la medición afecta tanto la exactitud como la precisión.

Exactitud (ausencia de sesgo): La exactitud es un valor verdadero sin sesgo y normalmente es reportado como la diferencia entre el número promedio de mediciones y el valor verdadero. Revisar un micrómetro con un manómetro es un ejemplo de una revisión de la exactitud.

Precisión: En terminología de medición, "repetitividad" es a menudo sustituida por precisión. Repetitividad es la habilidad de repetir la misma medida a través del mismo operador en el mismo momento o en uno cercano a este.

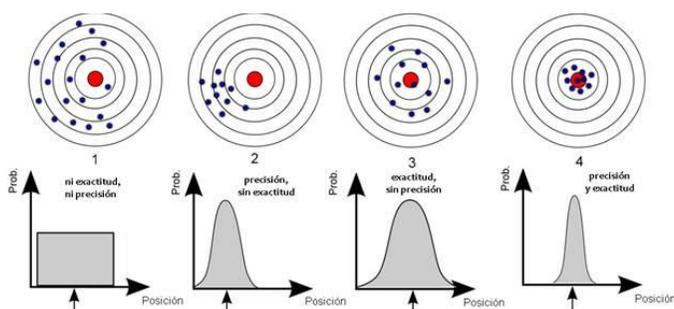


Figura 0.29 Distinción gráfica entre Exactitud y Precisión

La calibración de instrumentos de medida es necesaria para mantener la exactitud, pero esto no necesariamente incrementa la precisión. Para mejorar la exactitud y la precisión de un proceso de medición, el mismo debe contar con un método de evaluación y debe ser estable estadísticamente.

Sesgo

El sesgo es la diferencia entre la lectura del sistema de medición y el valor verdadero. La ausencia de sesgo es a menudo identificada como exactitud. El sesgo se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - \tau$$

Donde n es el número de veces que el estándar es medido, X_j es la representación de cada medición, y τ es el valor del estándar. El sesgo es reportado normalmente como un porcentaje de variación del proceso o como un porcentaje de tolerancia. Si un dispositivo mide por debajo del estándar, el sesgo es negativo. Si mide por arriba del estándar, el sesgo es positivo. Para realizar un estudio de sesgo, se necesita un estándar de referencia con un valor conocido. Mida una parte con el dispositivo de evaluación un mínimo de 10 veces y preferiblemente más de 30 veces. A mayor número de mediciones, mayor exactitud. En casi todos los casos habrá sesgo. Sin embargo, el sesgo puede no ser estadísticamente significativo. La significancia se mide utilizando la distribución t , e incrementando el número de mediciones para aumentar el poder discriminatorio de la prueba t .

Linealidad

La linealidad del sistema de medición se obtiene al sacar los valores de referencia para la medición de una parte a través del rango de operación del instrumento, y graficando el sesgo contra los valores de referencia. El procedimiento más utilizado para determinar la linealidad es medir 10 partes, 5 veces cada una. El

porcentaje de linealidad es igual a la pendiente, b , de la línea recta que mejor se ajusta a través de los datos registrados, y la linealidad es igual a la pendiente multiplicada por la variación del proceso (el ancho de proceso o la tolerancia):

$$L = bV_p$$

El sesgo en cualquier punto puede ser estimado de la pendiente y la intercepción y_0 de la línea que mejor se ajusta:

$$B = Y_0 + bx$$

Porcentaje de Acuerdo

El porcentaje de acuerdo entre el sistema de medición y cualquier valor de referencia o el valor verdadero de una variable que está siendo medida, puede ser estimado utilizando un coeficiente de correlación, " r ". Si la variable X es valor verdadero o conocido y Y es la variable del sistema de medición, entonces el coeficiente de correlación es un indicador de la proporción de cambio en la variable dependiente que es producto del cambio en la variable independiente. Si $r = +/- 1.0$, entonces hay 100% de acuerdo y si $r = 0$, entonces hay 0% de acuerdo entre las variables del sistema de medición y los valores verdaderos o de referencia.

Precisión/Tolerancia (P/T)

La razón de precisión/tolerancia (P/T) es el resultado entre el error de medición estimado (precisión) y la tolerancia de la característica que se está midiendo. La razón de precisión/tolerancia es entonces:

$$\text{Razón P/T} = 6\sigma_E / \text{Tolerancia}$$

Donde $6\sigma_E$ es la desviación estándar debida a la variabilidad de la medición. Los supuestos son:

- Los errores de medición son independientes.
- Los errores de medición están distribuidos en forma normal.
- El error de medición es independiente de la magnitud de la medición.

Es deseable que la razón P/T sea pequeña para minimizar el efecto del error de medición. Se define el error de medición como un término estadístico que representa el efecto neto de todas las fuentes de variabilidad de la medición que causan que un valor observado se desvíe del valor principal.

Precisión/Variación Total (P/TV)

La variación de precisión/total (P/TV) es dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Razón P/TV} = 6\sigma_E / \text{Variación Total} =$$

$$\frac{\text{Variación de la medición}}{\text{Variación de la medición} + \text{Variación del producto}}$$

Es deseable minimizar el resultado de la razón de P/TV para reducir el efecto de la variación de la medición en las evaluaciones de la variación del proceso.

La razón de precisión/tolerancia (P/T) y la razón de variación de precisión/variación total (P/TV) son formas diferentes de evaluar si el sistema de medición es aceptable. Conforme P/T o P/TV aumentan, la capacidad de distinguir un cambio en el proceso

disminuye. Cuando el proceso de medición es inadecuado para detectar las variaciones de una parte a otra, entonces el sistema de medición no es adecuado

y debe utilizar un sistema con una variación de medición menor.

ANOVA

El *Manual de Referencia para el Análisis del Sistema de Medición* (MSA), proporciona un modelo matemático para el estudio de variables utilizando ANOVA. El valor observado es dado por:

Valor Observado = Promedio de la Parte + Sesgo + Efecto de la Parte + Efecto del Evaluador + Error de Réplica

O también: Valor Observado = Valor de Referencia + Desviación

en forma de ecuación: $y_{ijm} = x_i + \epsilon_{ijm}$

Dónde y_{ijm} es una medida tomada por el evaluador j en una parte cualquiera. Suponiendo que los datos representados por x_i son independientes y distribuidos normalmente con un promedio μ y una varianza σ^2 la varianza total es dada por:

$$\text{VAR}(y_{ijm}) = \sigma^2 + \omega^2 + \alpha^2 + \tau^2$$

Donde, ω^2 , σ^2 y τ^2 , son las varianzas producto del efecto de la parte, el efecto del evaluador, y el error de réplica, respectivamente.

3.9 Métodos de Gráficos de Control

El Análisis del Sistema de Medición (MSA) proporciona un modelo matemático para el estudio de variables utilizando el promedio y el rango. Este método requiere ya sean dos o tres réplicas, r , por dos o tres evaluadores, k , para 10 partes, n . El promedio de los rangos es dado por:

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{R_{ij}}{nk}$$

El valor promedio del rango es proporcional a la desviación estándar, y utilizando una constante de proporcionalidad, puede ser usado para estimar la desviación estándar del proceso.

Repetitividad y Reproducibilidad

Suponiendo que la exactitud y la sensibilidad del instrumento de medición puedan ser aseguradas, a menudo es deseable determinar los componentes de variación de un sistema de medición: repetitividad, reproducibilidad y proceso. Hay tres métodos utilizados ampliamente para cuantificar el error de la medición: el método del rango, el método del promedio y rango, y el método de ANOVA. A continuación, una breve descripción de cada uno:

Método del Rango

Reproducibilidad es la variabilidad introducida en el sistema de medición por las diferencias del sesgo o diferentes operadores. El método del rango no cuantifica la repetitividad y la reproducibilidad por separado. El método del rango es una forma simple de cuantificar la repetitividad y la reproducibilidad de un sistema de medición. Para separar la repetitividad y la reproducibilidad, deben utilizarse los métodos de promedio y rango o de análisis de varianza.

Método del Promedio y Rango

El método del promedio y rango calcula la variabilidad total del sistema de medición y permite que esta variabilidad sea separada en repetitividad, reproducibilidad y variación de las partes.

Método del Análisis de Varianza

El método de análisis de varianza (ANOVA) es el método más exacto para cuantificar repetitividad y reproducibilidad. Adicionalmente, el método de ANOVA permite determinar la variabilidad de la interacción entre los evaluadores y las partes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Northern	WTA	Pocono	Branson		Anova: Single Factor						
2	94	75	70	68								
3	90	68	73	70		SUMMARY						
4	85	77	76	72		Groups	Count	Sum	Average	Variance		
5	80	83	78	65		Northern	4	349	87.250	36.917		
6		88	80	74		WTA	5	381	76.200	58.700		
7			68	65		Pocono	7	510	72.857	30.143		
8			65			Branson	6	424	69.000	13.600		
9												
10						ANOVA						
11						Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
12						Between Groups	890.684	3	296.895	8.95	0.0007	3.160
13						Within Groups	594.407	13	33.023			
14						Total	1485.091	21				
15												

Analizando la Capacidad de Proceso

3.10 Estudios de Capacidad de Proceso

La capacidad de proceso es un patrón predecible de comportamiento estadísticamente estable, en el cual las causas aleatorias de variación son comparadas con las especificaciones de ingeniería. Un proceso capaz es un proceso cuyo ancho en la campana de distribución de datos es más angosto que el rango de tolerancia. Considere la siguiente figura, en donde LES (límite de especificación superior) y LEI (límite de especificación inferior)

son definidos como límite de especificación superior y límite de especificación inferior, respectivamente:

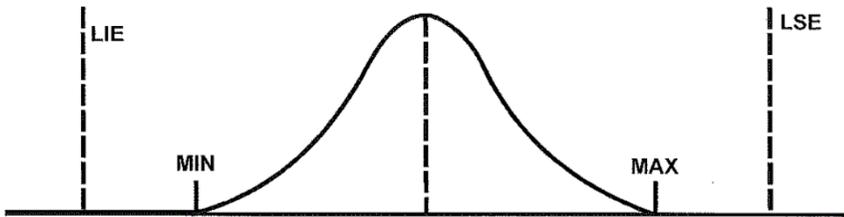


Figura 0.30 Una comparación del ancho del proceso con el Rango de tolerancia.

A menudo es necesario comparar la variación del proceso con las tolerancias de ingeniería o de especificaciones para determinar la idoneidad del proceso. El análisis de capacidad de proceso se ocupa de esta situación. Un estudio de capacidad de proceso incluye tres etapas:

- Planificar la recolección de datos.
- Recolectar los datos.
- Graficar y analizar los resultados.

Las aplicaciones de la capacidad de proceso incluyen las siguientes:

- La evaluación de equipo nuevo.
- Revisar las tolerancias con base en la variabilidad inherente al proceso.
- Asignar el equipo al producto (equipo más capaz para trabajos más difíciles).

- Auditorías de desempeño de proceso de rutina.
- Los efectos de ajustes durante el procesamiento.

Objetivos de los Estudios de Capacidad de Proceso

El objetivo de un estudio de capacidad de proceso es el de establecer un estado de control sobre el proceso de manufactura y luego mantener ese estado a través del tiempo. Las acciones que cambian o ajustan el proceso son frecuentemente el resultado de alguna forma de estudio de capacidad. Cuando los límites del proceso natural se comparan con el rango de especificación, puede dar como resultado cualquiera de los siguientes cursos de acción:

- No hacernada: Si los límites de proceso caben bien dentro de los límites de especificación, puede que no se requiera ninguna acción.
- Cambiar las especificaciones: En algunos casos, los límites de especificación pueden ser más ajustados de lo necesario. Se puede contactar al cliente para ver si las especificaciones pueden ser flexibilizadas o modificadas.
- Centrar el proceso: Cuando el ancho de proceso es aproximadamente el mismo que el ancho de las especificaciones, un ajuste para centrar el proceso puede hacer que el grueso de la producción caiga dentro de las especificaciones.
- Reducir la variabilidad: Puede ser posible dividir la variación (en la pieza, de un lote a otro, etc.) y trabajar en el problema más grande primero. Un diseño experimental puede ser utilizado para identificar la mayor fuente de variación.

- Aceptar las pérdidas: En algunos casos, la gerencia debe estar satisfecha con un alto índice de pérdida. Puede ser posible centrar o reducir la variación en alguna medida, pero el énfasis principal está en manejar el desecho y el reproceso en forma efectiva.

Identificar Características

La identificación de las características que van a ser medidas en un estudio de capacidad de proceso, debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- La característica debe ser indicativa de un factor clave en la calidad del producto o proceso.
- Debe ser posible el ajustar el valor de la característica.
- Las condiciones de operación que afectan la característica medida deben definirse y controlarse.

Si una parte tiene 14 dimensiones diferentes, la capacidad de proceso normalmente no se evaluará para todas estas dimensiones. Seleccionar una, o posiblemente dos, de estas dimensiones clave, proporcionará un método de evaluación de la capacidad de proceso que será más fácil de manejar. Por ejemplo, en el caso de una parte hecha a máquina, el largo total o el diámetro de un orificio puede ser la dimensión crítica. La característica seleccionada puede además ser determinada por el historial de la parte y por el parámetro que ha sido el más difícil de controlar o que ha presentado problemas en el siguiente nivel de ensamble.

Identificando Especificaciones/Tolerancias

Las especificaciones del proceso o tolerancias son determinadas por los requerimientos del cliente, los estándares de la industria, o por el departamento de ingeniería de la empresa.

El estudio de capacidad de proceso es utilizado para demostrar que el proceso está centrado dentro de los límites de especificación y que la variación del proceso predice si el proceso es capaz de producir partes dentro de los requerimientos de tolerancia.

Cuando el estudio de capacidad indica que un proceso no es capaz, la información es utilizada para evaluar y mejorar su desempeño para cumplir con los requerimientos de tolerancia. Pueden presentarse situaciones en las que las especificaciones o las tolerancias estén demasiado ajustadas en relación con la capacidad alcanzable. En estas circunstancias, la especificación debe reevaluarse. Si la especificación no puede abrirse, entonces el plan sería inspeccionar el 100% del proceso, siempre y cuando el proceso de inspección no sea destructivo.

Verificando Estabilidad y Normalidad

Si en el proceso solamente hay causas de variación común, entonces la salida forma una distribución que es estable en el tiempo y es predecible. Si el proceso presenta causas de variación especial, entonces la salida no es estable en el tiempo. También puede ser inestable si la media o la variación están fuera de control. La figura siguiente muestra un proceso inestable con el promedio y la variación fuera de control.



Figura 0.31 Proceso inestable, Promedio y Variación fuera de Control

Las causas comunes de variación se refieren a las muchas fuentes de variación dentro de un proceso que tiene una distribución estable y repetible en el tiempo. Esto se conoce como un estado de control estadístico y la salida del proceso es predecible. Las causas especiales se refieren a cualquier factor que causa variación y que no está siempre presente en el proceso. Si las causas especiales están presentes, la distribución cambia y el resultado no es estable en el tiempo. Cuando se visualiza un proceso en un gráfico de control, la ausencia de estabilidad puede mostrarse a través de varios tipos de patrones incluyendo: puntos fuera de los límites de control, tendencias, puntos en un solo lado de la línea central, ciclos, etc.

La validez del supuesto de normalidad puede ser probada utilizando la prueba de hipótesis chi-cuadrada. Para llevar a cabo

esta prueba, los datos son divididos en rangos de datos. El número de puntos de datos en cada rango es comparado luego con el número que ha sido predicho a partir de una distribución normal. Utilizando la prueba de hipótesis con un nivel de confianza seleccionado, puede concluirse si los datos siguen la distribución normal. La prueba de hipótesis chi-cuadrado es:

H_0 : Los datos siguen una distribución especificada.

H_1 : Los datos no siguen una distribución especificada.

y es probada utilizando la prueba:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Observe abajo que, en la figura, no todos los procesos están centrados. Por este motivo, el cliente puede desear conocer el C_{pk} ya que este cálculo toma en cuenta el centrado.

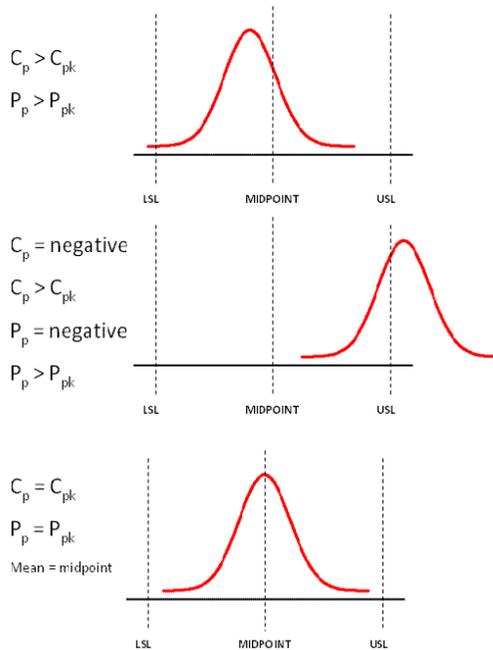


Figura 0.32 Ejemplos de Anchos de Proceso comparados con la tolerancia.

Tabla 0.4 Tasas de los Índices de Capacidad

Cp	ppm
0.33	317311
0.67	45500
1.00	2700
1.10	967
1.20	318
1.30	96
1.33	63
1.40	27
1.50	6.8
1.60	1.6
1.67	0.6

ppm: Partes por millón de no conformidad

- Para una especificación de dos colas.
- Variable continua, distribuida en forma normal.
- Suponer que la media está centrada en la especificación nominal.
- Sin desplazamientos de proceso (La mayoría de los análisis de Green Belt incluyen un desplazamiento de proceso de +/- 1.5 σ).

Tome nota que hay una conexión directa entre estas tasas de fallas y el gráfico normal estándar (valor Z). Un C_p de 1.0 es la pérdida sufrida al tener un valor Z de 3,0.

El Valor Z

El área afuera de especificación puede ser determinada por un "valor Z".

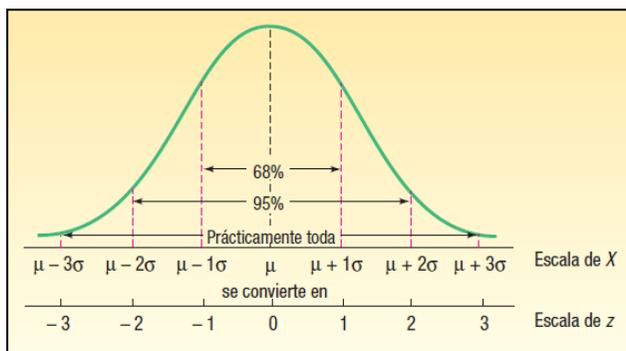


Figura 0.33 Valor Z

Al buscar el valor de Z en una tabla normal estándar se obtiene el área afuera de especificación. En el ejemplo de arriba, Z superior = 1,0. Por consiguiente, 15.9% está arriba del LSE.

La fórmula de transformación para Z es:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

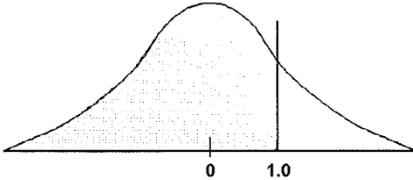
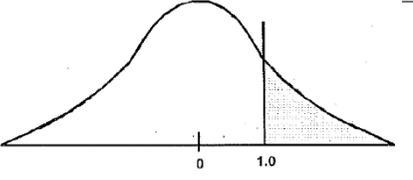
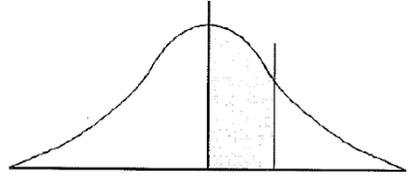
Donde: X = Valor del dato (el valor de interés).

μ = Promedio

σ = Desviación estándar

Esta transformación convertirá los valores originales al número de desviaciones estándar que se alejan del promedio. El resultado nos permite usar una sola tabla para describir las áreas bajo la curva (probabilidad de ocurrencia). Hay varias formas de mostrar la distribución normal (estandarizada).

Tabla 0.5 Distribución normal (estandarizada)

Distribución normal (estandarizada)	Descripción
 <p data-bbox="250 508 479 534">$P(z = -\infty \text{ hasta } 1) = 0.8413$</p>	<p data-bbox="681 361 918 482">Como un número debajo de la curva hasta el valor z.</p>
 <p data-bbox="242 770 463 796">$P(z = 1 \text{ hasta } +\infty) = 0.1587$</p>	<p data-bbox="681 628 918 749">Como un número más allá del valor z.</p>
 <p data-bbox="259 1031 469 1057">$P(z = 0 \text{ hasta } 1) = 0.3413$</p>	<p data-bbox="681 864 918 1038">Como un número debajo de la curva y a una distancia del promedio.</p>

3.11 Variación del Sistema

Para entender la variación, se debe reconocer la diferencia entre causas especiales y causas comunes. Las causas comunes ocurren en la mayoría de los procesos y pueden producir un sistema que es estable y predecible en sus salidas. Aproximadamente el 85% de todos los problemas de proceso se deben a causas comunes de variación. Para reducir la variación por causas comunes, generalmente se requiere de acciones correctivas gerenciales. Cambios fundamentales en el proceso

son necesarios para reducir o remover las causas comunes. Esto significa: cambiar equipo, maquinaria, métodos, materiales, u otros factores relacionados con el proceso.

El nivel gerencial a menudo invita a los empleados a "hacer las cosas bien desde la primera vez", y realiza intentos para motivar a la fuerza laboral a incrementar la productividad de la planta por medio de lemas. La administración está manipulando el sistema y esto generará resultados impredecibles. El tema de manipulación fue desarrollado por Walter Shewhart, y enfatizado fuertemente por el Dr. Deming, el Dr. Nelson, y otros.

Una de las mejores formas de ilustrar lo que sucede cuando un sistema estable es ajustado en forma inapropiada es a través del embudo de Nelson. Un embudo movable es colocado sobre una rejilla o cuadrícula y se deja caer una bola a través del embudo creando una "marca". La variación del sistema aumenta a medida que se realizan esfuerzos para ajustar el embudo de forma tal que la bola vuelva a caer en la marca.

3.12 Índices de Capacidad y Desempeño

Para determinar la capacidad de proceso, se necesita una estimación de sigma:

$$\sigma_R = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{ó} \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

σ_R es una estimación de la capacidad sigma del proceso. σ_i es una medida de la desviación estándar a partir del total de datos.

Los términos usados más ampliamente son índice de capacidad e índice de desempeño:

$$C_p = \frac{(LSE - LIE)}{6 \sigma_R} \qquad P_p = \frac{(LSE - LIE)}{6 \sigma_i}$$

$C_p > 1,33$, el proceso es capaz.

$C_p = 1,00$ a $1,33$, el proceso es capaz con mucho control.

$C_p < 1,00$, el proceso no es capaz.

C_p	Categoría proceso	Descripción proceso
$C_p \geq 2$	World Class	Seis Sigma
$1,33 \leq C_p < 2$	1	Adecuado
$1 \leq C_p < 1,33$	2	Requiere control estricto
$0,67 \leq C_p < 1$	3	Requiere modificaciones serias
$C_p < 0,67$	4	No adecuado

Capacidad de Corto Plazo vs. Capacidad de Largo Plazo

Hasta este punto, la capacidad de proceso ha sido discutida en términos de procesos estables, con causas asignables que han sido removidas. De hecho, el promedio de proceso y el ancho dependen de un número de unidades medidas o del tiempo durante el cual el proceso es medido.

Cuando una capacidad de proceso ha sido determinada, utilizando un operario en un turno de trabajo, con una pieza de equipo, y un suministro homogéneo de materiales, la variación de proceso es relativamente pequeña. Cuando se incluyen factores como tiempo, varios operarios, varios lotes de materiales, cambios en el ambiente, y otros, cada uno contribuye a

incrementar la variación del proceso. Los límites de control basados en una evaluación del sistema de corto plazo son más cercanos que los límites de control basados en el proceso a largo plazo.

Se describe una corrida corta con relación a tiempo y a una corrida pequeña, donde hay un número pequeño de piezas producidas. Cuando solo una pequeña cantidad de datos está disponible, a menudo hay menos variación que la que se encuentra en un número más grande de datos. Los límites de control basados en un número más pequeño de muestras serán más estrechos de lo que deberían ser, y los gráficos de control producirán patrones fuera de control falsos.

Capítulo 4.

Etapa: Analizar

“Si usted va por el mundo buscando la excelencia, en encontrará la excelencia; si va por el mundo buscando problemas, encontrará problemas. O, como dice el proverbio árabe: Lo que pueda significar un trozo de pan dependerá de que tengas hambre o no.”

- **John Grinder**

4.1 Análisis Multi-Variado

En el control estadístico de proceso, uno puede rastrear variables como presión, temperatura o pH, tomando muestras o mediciones en ciertos intervalos. El supuesto fundamental es que las variables tendrán aproximadamente un valor representativo al ser medidas. Con frecuencia este no es el caso. La temperatura en la sección transversal de una cocina variará y el grosor de una parte puede también variar dependiendo de dónde se tome la medida.

A menudo, la variación se da dentro de la pieza, y la fuente de esta variación es diferente de la variación de una pieza a otra o

de un momento en el tiempo a otro. El gráfico multi-variado, es una herramienta muy útil para analizar los tres tipos de variación. Los gráficos multi-variados se usan también para investigar la estabilidad o consistencia de un proceso. Consiste en una serie de líneas verticales, u otros esquemas apropiados, a lo largo de una escala de tiempo. La longitud de cada línea o forma esquemática representa el rango de valores encontrados en cada grupo de muestras.

Procedimiento del Plan de Muestreo para Análisis Multi-Variado

- Seleccione el proceso y la característica que va a ser investigada.
- Seleccione el tamaño de la muestra y frecuencia de tiempo.
- Utilice una hoja de tabulación para registrar el tiempo y los valores de cada grupo de muestras.
- Trace el gráfico con el tiempo o la secuencia a lo largo de la escala horizontal.
- Trace los valores medidos en la escala vertical.
- Una los valores observados usando las líneas apropiadas.
- Analice el gráfico para ver la variación dentro de la muestra, entre muestras y en el tiempo.
- Conduzca estudios adicionales. para concentrarse en las áreas problemáticas.

- Después de la mejora, repita el estudio para confirmar los resultados.

En la figura siguiente, se muestra la variación dentro de las muestras (cinco ubicaciones a lo ancho de la figura) a lo largo de cada línea vertical. La variación de muestra a muestra se establece de una línea vertical a la siguiente. En este ejemplo, se muestra una línea que conecta los valores medios para ayudar a identificar tendencias.

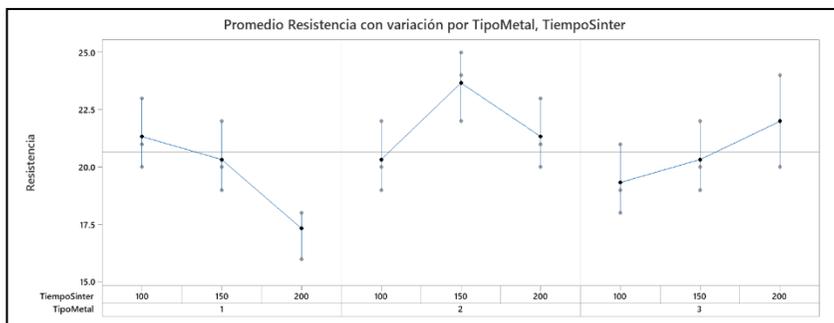


Figura 0.1 Variación de muestras

4.2 Modelo Lineal Simple

Un enfoque inicial para el análisis de los datos, es el trazar los puntos en un gráfico conocido como diagrama de dispersión. Uno puede observar que Y aparenta crecer conforme X crece. Un método para obtener una ecuación de predicción relacionando Y con X es el de colocar una regla en el gráfico y moverla hasta que parezca pasar a través de la mayor cantidad de puntos posible, ofreciendo de esta forma lo que se conoce como la línea de "mejor ajuste".

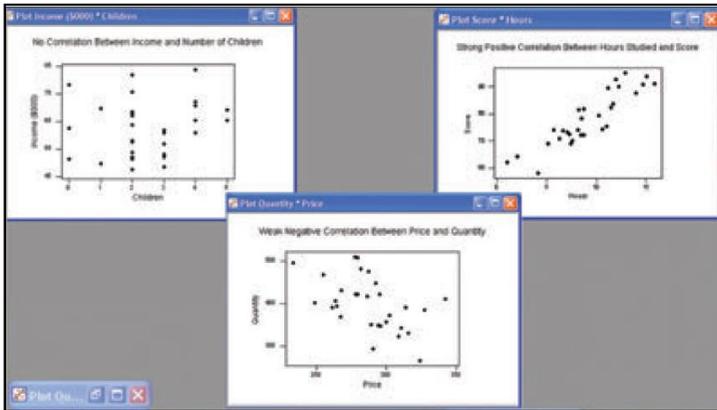


Figura 0.2 Diagramas de dispersión que representan una correlación cero, débil y fuerte

La idea básica del análisis de correlación es reportar la asociación entre dos variables. Por lo general, el primer paso es trazar los datos en un diagrama de dispersión.

4.3 Coeficiente de Correlación

El coeficiente de correlación, creado por Karl Pearson alrededor de 1900, describe la fuerza de la relación entre dos conjuntos de variables en escala de intervalo o de razón. Se designa con la letra r , y con frecuencia se le conoce como r de Pearson y coeficiente de correlación producto-momento. Puede adoptar cualquier valor de -1.00 a +1.00, inclusive. Un coeficiente de correlación de -1.00 o bien de +1.00 indica una correlación perfecta. Por ejemplo, un coeficiente de correlación para el caso anterior calculado a +1.00 indicaría que el número de llamadas de ventas y la cantidad de copiadoras que vende cada representante están perfectamente relacionados en un sentido lineal positivo. Un

valor calculado de -1.00 revela que las llamadas de ventas y el número de copadoras vendidas están perfectamente relacionados en un sentido lineal inverso. En la gráfica siguiente se muestra cómo aparecería el diagrama de dispersión si la relación entre los dos conjuntos de datos fuera lineal y perfecta.

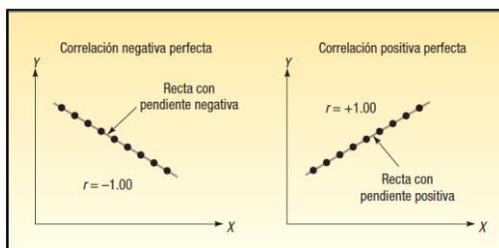


Figura 0.3 Diagramas de dispersión con correlación negativa perfecta y correlación positiva perfecta

Si no hay ninguna relación entre los dos conjuntos de variables, la r de Pearson es cero. Un coeficiente de correlación r cercano a 0 (sea $0,08$) indica que la relación lineal es muy débil. Se llega a la misma conclusión si $r = -0,08$. Los coeficientes de $-0,91$ y $+0,91$ tienen una fuerza igual; los dos indican una correlación muy fuerte entre las dos variables. Por lo tanto, la fuerza de la correlación no depende de la dirección (ya sea $-$ o bien $+$).

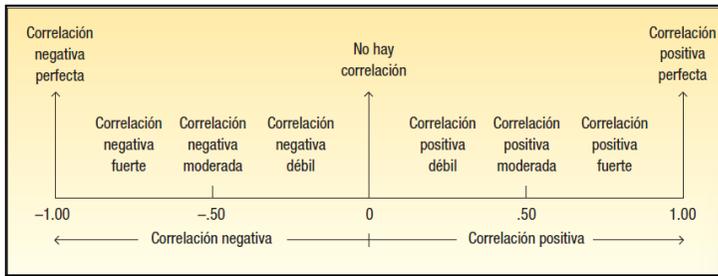


Figura 0.4 Valores de Correlación

4.4 Recomendaciones sobre el Análisis de Regresión

- Tenga cuidado con los errores de redondeo. La calculadora debe ser capaz de calcular un mínimo de 6 figuras significativas al computar las sumas de cuadrados o desviaciones.
- Siempre trace los puntos de datos y grafique la línea de mínimos cuadrados. Si la línea no ofrece un ajuste razonable a los puntos de datos, puede haber un error de cálculo.

Las características del coeficiente de correlación se resumen a continuación:

- CARACTERÍSTICAS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN**
1. El coeficiente de correlación de la muestra se identifica con la letra minúscula r .
 2. Muestra la dirección y fuerza de la relación lineal (recta) entre dos variables en escala de intervalo o en escala de razón.
 3. Varía de -1 hasta $+1$, inclusive.
 4. Un valor cercano a 0 indica que hay poca asociación entre las variables.
 5. Un valor cercano a 1 indica una asociación directa o positiva entre las variables.
 6. Un valor cercano a -1 indica una asociación inversa o negativa entre las variables.

Figura 0.5 Características de Coeficiente de Correlación

¿Cómo se determina el coeficiente de correlación? Como ejemplo, emplee los datos de Copier Sales of America, que se reportan en la siguiente tabla. Inicie con un diagrama de dispersión. Se traza una recta vertical con los valores de datos en la media de los valores X y una recta horizontal en la media de los valores Y.

Representantes de ventas	Llamadas de ventas (X)	Copadoras vendidas (Y)
Tom Keller	20	30
Jeff Hall	40	60
Brian Virost	20	40
Greg Fish	30	60
Susan Welch	10	30
Carlos Ramírez	10	40
Rich Niles	20	40
Mike Kiel	20	50
Mark Reynolds	20	30
Soni Jones	30	70
Total	220	450

Figura 0.6 Llamadas de ventas y copadoras vendidas de 10 vendedores

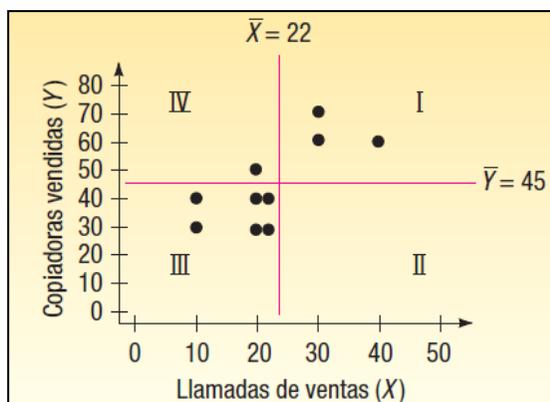


Figura 0.7 Cálculo del coeficiente de correlación

Dos variables tienen una relación positiva cuando el número de copadoras vendidas está por arriba de la media y el número de llamadas de ventas también se encuentra arriba de la media. Estos puntos aparecen en el cuadrante superior derecho (cuadrante I) de la gráfica.

4.5 p-Value (Valor p)

El enfoque tradicional para pruebas de hipótesis compara una prueba estadística con un valor de probabilidad crítica predeterminado, conocido como alfa (α). En la mayoría de los libros de texto, las tablas estadísticas para valores críticos se establecen al 1% ó 5% (distribución t, distribución X^2 , y distribución F). El uso de valores de tabla evita la necesidad de realizar cálculos manuales para determinar la probabilidad exacta.

VALOR p Probabilidad de observar un valor muestral tan extremo o más que el valor observado, si la hipótesis nula es verdadera.

Este proceso compara la probabilidad, denominada valor p, con el nivel de significancia. Si el valor p es menor que el nivel de significancia, H_0 se rechaza. Si es mayor que el nivel de significancia, H_0 no se rechaza.

La determinación del valor p no sólo da como resultado una decisión respecto de H_0 , sino que brinda la oportunidad de observar la fuerza de la decisión. Un valor p muy pequeño, como 0,0001, indica que existe poca probabilidad de que H_0 sea verdadera. Por otra parte, un valor p de 0,2033 significa que H_0 no se rechaza y que existe poca probabilidad de que sea falsa.

4.6 Pruebas de Hipótesis

Antes de discutir estos procedimientos específicos, vale la pena revisar una serie de términos de pruebas de hipótesis utilizados comúnmente.

Hipótesis Nula

Esta es la hipótesis que va a ser probada. La hipótesis nula se deriva directamente de la declaración del problema y es denotada como H_0 . Algunos ejemplos son:

- Si alguien está investigando si una semilla modificada va a resultar en un rendimiento diferente por acre, la hipótesis nula (de dos colas) asumiría que los rendimientos serán los mismos es decir $H_0: Y_a = Y_b$.
- Si se declara vehementemente que el promedio del proceso A es mayor que el promedio del proceso B, la hipótesis nula (de una cola) establecerá que el proceso A es \leq al proceso B. Esto se escribe como $H_0: A \leq B$.

El procedimiento empleado para probar la prueba de hipótesis es muy similar a un juicio en la corte. La teoría es que el acusado no es culpable hasta que se demuestre lo contrario. Sin embargo, el término inocente no aplica para la hipótesis nula. Una hipótesis nula solo puede ser rechazada, o dejar de ser rechazada, no puede ser aceptada debido a falta de evidencia para rechazarla. Si los promedios de las poblaciones son diferentes, la hipótesis nula de igualdad, puede ser rechazada si se recolectan suficientes

datos. Cuando se rechaza la hipótesis nula, la hipótesis alterna debe ser aceptada.

PRUEBA DE HIPÓTESIS Procedimiento basado en evidencia de la muestra y la teoría de la probabilidad para determinar si la hipótesis es una afirmación razonable.

Existe un procedimiento de cinco pasos que sistematiza la prueba de una hipótesis; al llegar al paso 5, se está en posibilidades de rechazar o no la hipótesis. Sin embargo, la prueba de hipótesis, como la emplean los especialistas en estadística, no prueba que algo es verdadero de la forma en que un matemático demuestra un enunciado. Más bien, proporciona un tipo de prueba más allá de toda duda razonable, como en el sistema judicial. De ahí que existan reglas específicas de evidencia, o procedimientos. En el siguiente diagrama aparecen los pasos. Analizaremos con detalle cada uno de ellos.



Figura 0.8 Pasos para Prueba de Hipótesis

Cabe hacer hincapié en que, si la hipótesis nula no se rechaza con base en los datos de la muestra, no es posible decir que la hipótesis nula sea verdadera. En otras palabras, el hecho de no rechazar una hipótesis no prueba que H_0 sea verdadera, sino que no rechazamos H_0 . Para probar sin lugar a dudas que la hipótesis nula es verdadera, sería necesario conocer el parámetro

poblacional. Para determinarlo, habría que probar, entrevistar o contar cada elemento de la población. Esto no resulta factible. La alternativa consiste en tomar una muestra de la población.

HIPÓTESIS NULA Enunciado relativo al valor de un parámetro poblacional que se formula con el fin de probar evidencia numérica.

La hipótesis alternativa describe lo que se concluirá si se rechaza la hipótesis nula. Se representa H_1 o H_a y se lee "H subíndice uno - a". También se le conoce como hipótesis de investigación. La hipótesis alternativa se acepta si la información de la muestra ofrece suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA Enunciado que se acepta si los datos de la muestra ofrecen suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

Después de establecer las hipótesis nula y alternativa, el siguiente paso consiste en determinar el nivel de significancia α .

NIVEL DE SIGNIFICANCIA Probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.

El nivel de significancia se expresa con la letra griega alfa, α . En ocasiones también se conoce como nivel de riesgo. Éste quizá sea un término más adecuado porque se trata del riesgo que se corre al rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.

En retrospectiva, el investigador no puede estudiar cada elemento o individuo de la población. Por lo tanto, existe la posibilidad de que se presenten dos clases de error: un error tipo I, en el que se rechaza la hipótesis nula cuando en realidad debe aceptarse, y un

error tipo II, en el que se acepta la hipótesis nula cuando en realidad debe rechazarse.

Con frecuencia se hace referencia a la probabilidad de cometer estos dos posibles errores como alfa, α , y beta, β . Alfa (α) es la probabilidad de cometer un error tipo I, y beta (β), la probabilidad de cometer un error tipo II.

La siguiente figura resume las decisiones que el investigador puede tomar y sus posibles consecuencias.

Hipótesis nula	Investigador	
	No rechaza H_0	Rechaza H_0
H_0 es verdadera	Decisión correcta	Error tipo I
H_0 es falsa	Error tipo II	Decisión correcta

Figura 0.9 Decisiones sobre Hipótesis

Hay muchos estadísticos de prueba, como z y t. Más adelante se explicarán los estadísticos de prueba F y X^2 (Chi Cuadrada).

ESTADÍSTICO DE PRUEBA Valor, determinado a partir de la información de la muestra, para determinar si se rechaza la hipótesis nula.

La prueba de hipótesis de la media (μ), cuando se conoce σ o el tamaño de la muestra es grande, es el estadístico de prueba z que se calcula de la siguiente manera:

PRUEBA DE LA MEDIA CUANDO SE CONOCE σ
$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

Una regla de decisión es un enunciado sobre las condiciones específicas en que se rechaza la hipótesis nula y aquellas en las que no se rechaza. La región o área de rechazo define la ubicación de todos esos valores que son tan grandes o tan pequeños que la probabilidad de que ocurran en una hipótesis nula verdadera es muy remota.

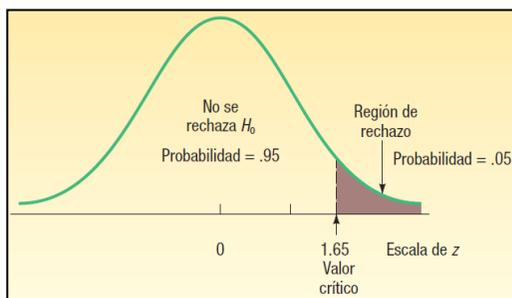


Figura 0.10 Distribución muestral de la estadística z ; prueba de una cola a la derecha; nivel de significancia de 0,05

Observe lo siguiente en la figura:

- El área en que se acepta la hipótesis nula se localiza a la izquierda de 1,65.
- El área de rechazo se encuentra a la derecha de 1,65.
- Se aplica una prueba de una sola cola (este hecho también se explicará más adelante).
- Se eligió el nivel de significancia de 0,05.
- La distribución muestral del estadístico z tiene una distribución normal.

- El valor 1,65 separa las regiones en que se rechaza la hipótesis nula y en la que se acepta.
- El valor de 1,65 es el valor crítico.

VALOR CRÍTICO Punto de división entre la región en que se rechaza la hipótesis nula y aquella en la que se acepta.

El quinto y último paso en la prueba de hipótesis consiste en calcular el estadístico de la prueba, comparándola con el valor crítico, y tomar la decisión de rechazar o no la hipótesis nula.

RESUMEN DE LOS PASOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

1. Se establecen la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).
2. Se selecciona el nivel de significancia, es decir, α .
3. Se selecciona un estadístico de prueba adecuado.
4. Se formula una regla de decisión con base en los pasos 1, 2 y 3 anteriores.
5. Se toma una decisión en lo que se refiere a la hipótesis nula con base en la información de la muestra. Se interpretan los resultados de la prueba.

Antes de llevar a cabo una prueba de hipótesis, es importante diferenciar entre una prueba de significancia de una cola y una prueba de dos colas.

La diferencia más importante se presenta en la hipótesis alternativa. Antes se enunció la hipótesis alternativa como "diferente de"; ahora se enuncia como "mayor que". En símbolos:

Prueba de dos colas:

$$H_0: \mu = 200$$

$$H_1: \mu \neq 200$$

Prueba de una cola:

$$H_0: \mu \leq 200$$

$$H_1: \mu > 200$$

Los valores críticos en una prueba de una cola son diferentes a los de una prueba de dos colas en el mismo nivel de significancia.

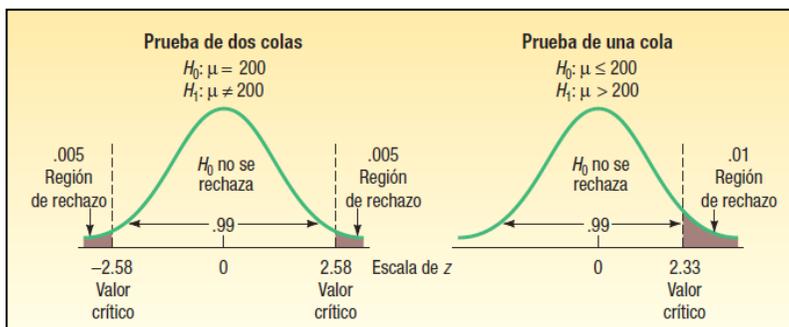


Figura 0.11 Regiones de rechazo de las pruebas de una y dos colas; $\alpha = 0,01$

4.7 Cálculo de la muestra

Una variable importante cuando se trabaja con intervalos de confianza es el tamaño de la muestra. Sin embargo, en la práctica, no es una variable, sino una decisión que se toma para que la estimación del parámetro de población sea bueno. Esta decisión se basa en tres variables:

1. El margen de error que tolerará el investigador.
2. El nivel de confianza deseado.
3. La variabilidad o dispersión de la población que se estudia.

La primera variable es el margen de error. El máximo error admisible, designado E, es la magnitud que se suma y resta de la media muestral (o proporción muestral) para determinar los puntos extremos del intervalo de confianza. El margen de error es la magnitud del error que se tolerará al estimar un parámetro poblacional. Quizás se pregunte por qué no elegir márgenes

pequeños de error. Existe una compensación entre el margen de error y el tamaño de la muestra. Un margen de error pequeño requiere de una muestra más grande y de más tiempo y dinero para recolectarla. Un margen de error más grande permitirá tener una muestra más pequeña y un intervalo de confianza más amplio.

La segunda elección es el nivel de confianza. Al trabajar con un intervalo de confianza, lógicamente se elegirán niveles de confianza relativamente altos como de 95 y 99%, que son los más comunes. Para calcular el tamaño de la muestra, se necesitará un estadístico z que corresponda al nivel de confianza elegido. El nivel de confianza de 95% corresponde al valor z de 1.96, y el nivel de confianza de 99%, a un valor z de 2.58. Note que las muestras más grandes (con su consecuente requerimiento de más tiempo y dinero para recolectarlas) corresponden a niveles de confianza más altos. Asimismo, observe que utilizamos un estadístico z .

El tercer factor en la determinación del tamaño de una muestra es la desviación estándar de la población. Si la población se encuentra muy dispersa, se requiere una muestra grande. Por el contrario, si se encuentra concentrada (homogénea), el tamaño de muestra que se requiere será menor. No obstante, puede ser necesario utilizar un estimador de la desviación estándar de la población.

Para calcular una media poblacional, se puede expresar la interacción entre estos tres factores y el tamaño de la muestra se expresa con la fórmula siguiente. Note que esta fórmula es el margen de error que se utiliza para calcular los puntos extremos de los intervalos de confianza para estimar una media poblacional.

$$E = z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Al despejar n en esta ecuación se obtiene el siguiente resultado:

**TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ESTIMAR
LA MEDIA DE LA POBLACIÓN**

$$n = \left(\frac{z\sigma}{E} \right)^2$$

donde:

n es el tamaño de la muestra.

z es el valor normal estándar correspondiente al nivel de confianza deseado.

σ es la desviación estándar de la población.

E es el error máximo admisible.

El resultado de este cálculo no siempre es un número entero. Cuando el resultado no es un entero, se acostumbra redondear cualquier resultado fraccionario. Por ejemplo, 201.21 se redondearía a 202.

4.8 Análisis de Varianza ANOVA

Anteriormente se presentaron técnicas para estimar y evaluar los valores del promedio de una sola población o la diferencia entre dos promedios (Prueba Z y Prueba t de Student). En muchas investigaciones (tales como los ensayos experimentales), es necesario comparar tres o más promedios de poblaciones en forma simultánea. Existen supuestos subyacentes en este análisis de varianza de promedios: la varianza es la misma para todos los tratamientos o niveles de los factores, las mediciones individuales dentro de cada tratamiento son distribuidas normalmente y el término de error es considerado un efecto aleatorio distribuido en forma normal e independiente.

4.9 La distribución F

La distribución F es una distribución de probabilidad, la cual debe su nombre a sir Ronald Fisher, uno de los pioneros de la estadística actual. Esta distribución de probabilidad sirve como la distribución del estadístico de prueba en varias situaciones. Con ella se pone a prueba si dos muestras provienen de poblaciones que tienen varianzas iguales, y también se aplica cuando se desea comparar varias medias poblacionales en forma simultánea. La comparación simultánea de varias medias poblacionales se denomina análisis de la varianza (ANOVA). En las dos situaciones, las poblaciones deben seguir una distribución normal, y los datos deben ser al menos de escala de intervalos.

¿Cuáles son las características de la distribución F?

1. Existe una familia de distribuciones F. Cada miembro de la familia se determina mediante dos parámetros: los grados de libertad del numerador y los grados de libertad del denominador. La forma de la distribución se ilustra en la siguiente gráfica. Observe que la forma de las curvas cambia cuando varían los grados de libertad.

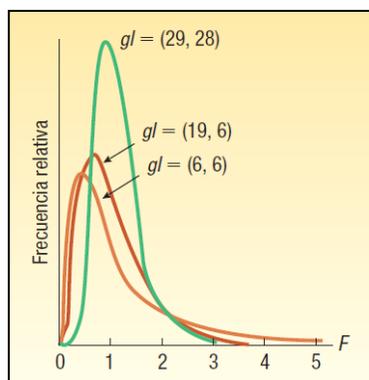


Figura 0.12 Distribución F

2. La distribución F es continua. Esto significa que se supone un número infinito de valores entre cero y el infinito positivo.

3. La distribución F no puede ser negativa. El menor valor que F puede tomar es 0.

4. Tiene sesgo positivo. La cola larga de la distribución es hacia el lado derecho. Cuando el número de grados de libertad

aumenta, tanto en el numerador como en el denominador, la distribución se aproxima a ser normal.

5. Es asintótica. Cuando los valores de X aumentan, la curva F se aproxima al eje X, pero nunca lo toca. Este caso es similar al comportamiento de la distribución de probabilidad normal.

La primera aplicación de la distribución F ocurre cuando se pone a prueba la hipótesis de que la varianza de una población normal es igual a la varianza de otra población normal. La distribución F también sirve para probar suposiciones de algunas pruebas estadísticas.

Sin importar si se desea determinar si una población varía más que otra o validar una suposición de una prueba estadística, primero se formula la hipótesis nula. La hipótesis nula es que la varianza de una población normal σ^2_1 , es igual a la varianza de otra población normal, σ^2_2 . La hipótesis alternativa podría ser que las varianzas difieren. En este caso, las hipótesis nula y alternativa son:

$$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2$$

$$H_1: \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$$

Para realizar la prueba, se selecciona una muestra aleatoria de n_1 observaciones de una población y una muestra aleatoria de n_2

observaciones de la segunda población. El estadístico de prueba se define como sigue:

ESTADÍSTICO DE PRUEBA PARA
COMPARAR DOS VARIANZAS

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

Los términos s_1^2 y s_2^2 son las varianzas muestrales respectivas. Si la hipótesis nula es verdadera, el estadístico de prueba sigue la distribución F con $n_1 - 1$ y $n_2 - 1$ grados de libertad. A fin de reducir el tamaño de la tabla de valores críticos, la varianza más grande de la muestra se coloca en el numerador; de aquí, la razón F que se indica en la tabla siempre es mayor que 1.00. Así, el valor crítico de la cola derecha es el único que se requiere. El valor crítico de F de una prueba de dos colas se determina dividiendo el nivel de significancia entre dos ($\alpha/2$) y después se consultan los grados de libertad apropiados.

4.10 Prueba Chi-Cuadrado (X^2)

La distribución Chi cuadrada, que se utiliza como el estadístico de prueba, tiene las características siguientes:

1. Los valores de Chi cuadrada nunca son negativos. Esta característica se debe a que la diferencia entre f_o (frecuencia observada en una categoría particular) y f_e (frecuencia esperada en una categoría particular) se eleva al cuadrado, es decir $(f_o - f_e)^2$.

2. Existe una familia de distribuciones de Chi cuadrada. Hay una distribución de Chi cuadrada para 1 grado de libertad, otra para 2, otra para 3 grados de libertad, etc. En este tipo de problema, el número de grados de libertad se determina mediante $k - 1$, donde k es el número de categorías. Por lo tanto, la forma de la distribución Chi cuadrada no depende del tamaño de la muestra, sino del número de categorías.

3. La distribución Chi cuadrada tiene un sesgo positivo. Sin embargo, a medida que aumenta el número de grados de libertad, la distribución comienza a aproximarse a la distribución normal. La gráfica siguiente muestra las distribuciones de grados de libertad seleccionados. Observe que, para los 10 grados de libertad, la curva se aproxima a una distribución normal.

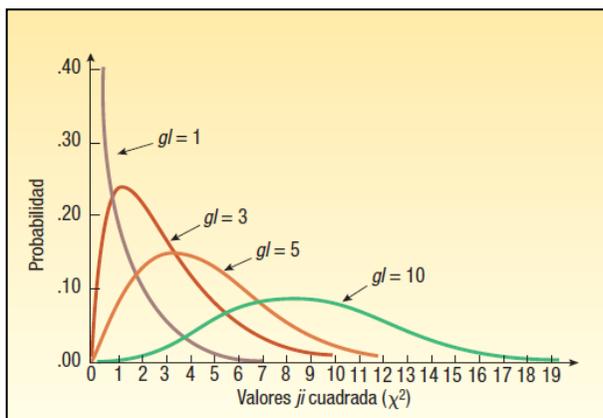


Figura 0.13 Distribución Chi Cuadrada

Capítulo 5.

Etapa: Mejorar

“Cuando examino mis métodos de pensamiento, llego a la conclusión de que el don de la fantasía me ha significado más que mi talento para absorber el conocimiento positivo.”

- **Albert Einstein**

5.1 Introducción

La experimentación clásica se enfoca en un 1FAV (un factor a la vez) a dos o tres niveles e intenta mantener todo lo demás constante (lo cual es imposible de hacer en un proceso complicado). Cuando el DOE (Design of Experiments, Diseño de Experimentos) es construido apropiadamente, se puede enfocar en un gran rango de factores o variables de entrada claves y determinará los niveles óptimos para cada factor.

El enfoque clásico a la experimentación, cambiar solamente un factor a la vez, tiene sus limitaciones, dentro de los que se encuentra la experimentación excesiva para estudiar los efectos de los factores estudiados, la combinación e interacción de los factores puede nunca ser determinada, así como se puede basar en variables todos los experimentos generando una pérdida de tiempo y esfuerzo.

Por otra parte, el Diseño de Experimentos supera estos problemas mediante cuidadosa experimentación, ya que permite estudiar

múltiples factores y aplicar conocimientos estadísticos profundos, permite la confiabilidad en los experimentos debido a que estos se encuentran balanceados, así mismo, si algún factor importante estudiado es pasado por alto, los resultados lo indicarán permitiendo su visibilidad y atención.

5.2 Aplicaciones del DOE

Situaciones, donde el diseño experimental se puede usar efectivamente incluyen:

- Escoger entre alternativas.
- Seleccionar los factores más importantes que afectan una respuesta.
- Modelos de Superficie de Respuestas para:
 - Lograr un resultado meta.
 - Reducir variación.
 - Maximizar o minimizar la respuesta.
 - Hacer un proceso robusto (a pesar de los factores no controlables).
 - Buscar múltiples metas.

Pasos del DOE

Para lograr grandes objetivos aplicando el DOE, se deben seguir los siguientes pasos:

- Fijar objetivos.
- Seleccionar las variables de proceso.
- Seleccionar un diseño experimental.
- Ejecutar el diseño.
- Verificar que los datos son consistentes con los supuestos experimentales.

- Analizar e interpretar los resultados.
- Usar/presentar los resultados (puede conducir a más corridas o DOEs).

Para la planeación y ejecución de experimentos es importante verificar el desempeño de los instrumentos utilizados para realizar mediciones, así como la factibilidad de las corridas de experimentación que se realizarán, procurar siempre apegarse a lo planeado y evitar cambios inesperados durante la experimentación, ya que esto puede alterar los resultados, así mismo, se debe registrar y anotar todo lo que sucede durante el experimento, así como todos los datos.

Por otra parte, se puede plantear una lista de verificación típica para experimentos bajo la metodología DOE, la cual, incluye:

- Defina los objetivos del experimento.
- El experimentador debe aprender tantos hechos como le sea posible sobre el proceso.
- Haga una lluvia de ideas de las variables independientes y dependientes más importantes con la gente con conocimiento del proceso y determine si estos factores se pueden controlar o medir.
- Ejecute "experimentos previos" donde sea necesario para depurar el equipo o determinar capacidad de medición.
- Asigne niveles para cada variable independiente a partir de todo el conocimiento disponible.
- Seleccione un plan estándar de DOE o desarrolle uno por medio de consulta.
- Ejecute los experimentos periódicamente en orden aleatorio y analice los resultados periódicamente.
- Formule conclusiones.

Selección y Escala de Variables de Proceso

Las variables de proceso incluyen tanto entradas como salidas — factores y respuestas, los equipos asignados al estudio de estas variables deben:

- Incluir todos los factores importantes.
- Ser audaz, pero no tonto, en la escogencia de los niveles bajo y alto de los factores.
- Evitar valores de los factores que resulten en combinaciones imprácticas o imposibles.
- Incluir todas las respuestas relevantes.
- Evitar el uso de respuestas que combinan dos o más mediciones de proceso.

El tipo de diseños de experimentos más popular es llamado diseño de dos niveles, debido a que son simples y económicos. Son ideales para experimentos de filtro, y dan la mayoría de la información requerida para hacer un diseño multi-nivel de superficie de respuestas, si se necesitara uno.

Objetivos Experimentales

La escogencia de un diseño experimental depende de los objetivos del experimento y el número de factores a ser investigado. Existen diferentes tipos de objetivos, los cuales, se mencionan a continuación:

1. Objetivo Comparativo: Si varios factores están bajo investigación, pero la meta primaria del experimento es concluir sobre si un factor es "significativo", entonces se tiene un problema comparativo y necesita una solución comparativa.

2. Objetivo de filtro: El propósito primario de este experimento es seleccionar y filtrar los pocos efectos principales importantes de los muchos menos importantes.
3. Objetivo (método) de superficies de respuesta: Este experimento es diseñado para estimar el efecto de interacciones, y, por lo tanto, dé una idea de la forma de la superficie de respuesta bajo investigación. Los diseños de superficie de respuesta se usan para:
 - Encontrar valores mejorados y óptimos de proceso.
 - Arreglar problemas de proceso y puntos débiles.
 - Hacer un producto o proceso más robusto contra las influencias externas.

Enfoque Iterativo del DOE

Es a menudo un error creer que "un gran experimento dará la respuesta". Un enfoque más práctico es reconocer que mientras el experimento puede dar resultados útiles, es más común hacer dos o tres, o tal vez más, experimentos antes de obtener una respuesta completa.

La razón por la que un enfoque iterativo frecuentemente trabaja mejor es porque es lógico moverse a través de etapas de experimentación, cada etapa suministrando una respuesta de tipo diferente.

Supuestos Experimentales

Cada experimento tendrá supuestos, los cuales, pueden ser de origen matemático y de ingeniería. Algunos ejemplos son los siguientes:

- ¿Son los sistemas de medición capaces para todas las respuestas?

Es aconsejable, especialmente si el experimento tarda un período largo, hacer una verificación de todos los dispositivos de medición desde el inicio hasta el final del experimento.

- ¿Es el proceso estable?

Las ejecuciones experimentales deben tener corridas de control que se hacen en el proceso "estándar", o al menos bajo algunas condiciones identificables de operación. Es recomendable experimentar en un proceso estable. Sin embargo, si esto no se puede hacer, entonces la inestabilidad del proceso se debe tomar en cuenta en el análisis.

- ¿Se comportan adecuadamente los residuos (la diferencia entre las predicciones del modelo y las observaciones reales)?

Los residuos son estimaciones del error experimental obtenidos de restar la respuesta observada menos la respuesta predicha. El patrón general de los residuos debe ser similar a un patrón con forma de campana cuando se grafica en un histograma. Los métodos gráficos se usan para determinar residuos.

Términos del DOE

Alias: ocurre cuando los efectos de dos factores están confundidos entre ellos.

Arreglo externo: en experimentos factoriales fraccionados del estilo Taguchi, estos son los factores que no pueden ser controlados en el proceso.

Arreglo interno: en experimentos factoriales fraccionados del estilo Taguchi, estos son los factores que pueden ser controlados en el proceso.

Bloque: Una subdivisión del experimento en unidades relativamente homogéneas.

Bloqueo: se usa para tomar en cuenta variables que el analista desea evitar.

Box-Behnken: Son diseños de tres factores altamente fraccionados.

Cobertura de la prueba: El porcentaje de todas las posibles combinaciones de factores de entrada en una prueba experimental.

Confundidos: Cuando el efecto de dos factores no se puede separar.

Colinealidad: ocurre cuando dos variables están totalmente correlacionadas.

Comparación pareada: es la base de una técnica para tratar datos ignorando la variabilidad de muestra a muestra y enfocándose más claramente en la variabilidad causada por un efecto específico de un factor.

Covariados: Cosas que cambian durante un experimento que no se planeó que cambiarán.

Curvatura: Se refiere a un comportamiento no lineal entre uno o más factores y la respuesta.

Diseños robustos: asociado a la experimentación de Taguchi, donde, variable de respuesta es considerada robusta o inmune a las variables de entrada que pueden ser difíciles o imposible de controlar.

Diseños simplex: diseño espacial usado para determinar la combinación más deseable (proporciones) de una mezcla.

EVOP: un término que describe la forma en que los diseños experimentales pueden hacerse para adaptarse el comportamiento del sistema aprendiendo de resultados presentes y proyectando futuros tratamientos para mejores respuestas.

Experimentos anidados: Un diseño de experimentos en el cual todas las pruebas no están totalmente aleatorizadas.

Experimento de filtro: técnica para descubrir los factores más importantes en un sistema de experimentación.

Experimento de mezclas: Experimentos en los cuales las variables se expresan como proporciones de un todo y suman 1.

Experimentos paralelos: se hacen al mismo tiempo, no uno después del otro.

Experimentos secuenciales: Los experimentos se realizan uno después del otro, no al mismo tiempo.

Factor de entrada: Una variable independiente que puede afectar a una variable de respuesta (dependiente).

Factorial completo: Describe el diseño experimental que contiene todas las combinaciones de todos los niveles de todos los factores.

Fraccionado: Un adjetivo que significa menos experimentos que el diseño completo.

Multicolinealidad: Esto ocurre cuando se espera que dos o más factores de entrada afecten independientemente el valor de un factor de salida, pero se encuentra que están altamente correlacionados.

Nivel: Un factor dado o un valor específico de un factor de entrada.

Optimización: Consiste en encontrar las combinaciones de tratamientos que dan la respuesta más deseada.

Ortogonal: un diseño es ortogonal si los efectos principales y los de interacciones se pueden estimar sin confundir los otros efectos principales o interacciones.

Pruebas aleatorizadas: Libera a un experimento del ambiente y elimina el sesgo.

Pruebas repetidas: Pruebas que se conducen para estimar el error experimental puro prueba a prueba

Residuos: diferencia entre respuestas experimentales y valores predichos por el modelo.

Resolución I: Un experimento en el cual las pruebas se conducen, ajustando un factor a la vez, esperando lo mejor.

Resolución II: Un experimento en el cual algunos efectos principales están confundidos.

Resolución III: los efectos principales y las interacciones de dos factores están confundidas.

Resolución IV: Un diseño factorial fraccionado en el cual no hay efectos principales ni interacciones, dos factores confundidos, pero las interacciones de dos factores están confundidas entre ellas.

Resolución V: Un diseño factorial fraccionado en el cual ni los efectos principales ni las interacciones de dos factores están confundidos. Sin embargo, las interacciones de dos factores pueden estar confundidas con interacciones de tres o mayores.

Factorial Completo Vs. Fraccionado

Un factorial completo es un diseño experimental que contiene todos los niveles de todos los factores. No se omiten posibles tratamientos. Un factorial fraccionado es un diseño experimental balanceado que contiene menos combinaciones de niveles y factores.

Tabla 0.1 Factorial Completa

Experimento	T	P	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-

4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Tabla 0.2 Factorial Fraccionado

Experimento	T	P	C
1	-	-	-
4	+	+	-
6	+	-	+
7	-	+	+

Interacciones

Una interacción ocurre cuando el efecto de un factor de entrada en el resultado depende del nivel de otro factor de entrada.

Las interacciones pueden ser examinadas directamente con experimentos factoriales completos. A menudo, las interacciones se pierden con los experimentos factoriales fraccionados.

Planes de Bloques Aleatorios

Cuando se comparan tratamientos de factores es deseable que todas las condiciones se mantengan tan constantes como sea posible. El número requerido de pruebas puede ser muy grande para ser hecho bajo condiciones similares. En estos casos, podemos dividir el experimento en bloques, o grupos homogéneos planeados. Cuando cada grupo en el experimento contiene exactamente una medición de cada tratamiento, el plan experimental es llamado un plan de bloques aleatorios.

Por ejemplo, un esquema experimental puede tomar varios días para ser completado. Si esperamos algunas diferencias sesgadas entre días, podemos planear medir cada ítem cada día, o conducir una prueba por día para cada ítem. Un día entonces representa un bloque. A continuación, se muestra un diseño de bloques aleatorios incompleto (la respuesta es tensión).

Tabla 0.3 **Ejemplo de diseño de bloques aleatorios**

Bloques (Días)	Tratamiento			
	A	B	C	D
1	-5	Omitido	-18	-10
2	Omitido	-27	-14	-5
3	-4	-14	-23	Omitido
4	-1	-22	Omitido	-12

Solamente los tratamientos A, C y D se ejecutan el primer día. B, C y D en el segundo día, etc. En todo el experimento, note que cada par de tratamientos, tales como BC ocurren dos veces juntos. El orden en que se ejecutan los tres experimentos en un día dado sigue una secuencia aleatoria.

Cuadrados Latinos

Un plan de cuadrados latinos es a menudo útil cuando se desea permitir dos fuentes sin homogeneidad en las condiciones que afectan los resultados.

En los diseños de cuadrados latinos, una tercera variable, el tratamiento experimental, se aplica a las variables fuente de una forma balanceada. El plan de cuadrados latinos está restringido por dos condiciones:

- El número de filas, columnas y tratamientos es el mismo.
- No debe haber interacciones esperadas entre factores de filas y columnas, dado que éstas no pueden ser medidas. Si las hubiera, la sensibilidad del experimento se reduce.

Diseños Greco Latinos

Los diseños greco latinos son algunas veces útiles para eliminar más de dos fuentes de variabilidad en un experimento. Un diseño greco latino es una extensión de los diseños latinos, pero se agrega una variable extra de bloqueo para un total de tres.

Cuadrados Híper Greco Latinos

Un diseño de cuadrados híper greco latino permite el estudio de tratamientos con más de tres variables de bloqueo.

Diseños de Plackett-Burman

Los diseños de Plackett-Burman se usan para experimentos de filtro. Los diseños PB son muy económicos. El número de corridas es un múltiplo de cuatro en lugar de una potencia de 2.

Los diseños PB geométricos son diseños de dos niveles con 4, 8, 16, 32 y 128 corridas y trabajan mejor como diseños de filtro. Cada efecto de interacción está confundido con exactamente un efecto principal.

Todos los otros experimentos PB de dos niveles (12, 20, 24, 28, etc.) son diseños no geométricos. En estos diseños una interacción de dos factores estará parcialmente confundida con cada uno de los efectos principales en el estudio.

5.3 Implementar y Validar Soluciones

Hay varias herramientas y técnicas que se pueden usar para asistir en la implementación y validación de soluciones, entre las cuales se encuentra:

Lluvia de Ideas

La lluvia de ideas es útil para la generación de ideas tanto simples (herramientas básicas de calidad) como de enfoque avanzado (DOE o ANOVA), en casos donde surjan nuevos enfoques durante el desarrollo de ideas de mejoramiento, se puede crear una nueva lluvia de ideas.

FMEA

Aplicar un análisis de modo y efecto de fallas para realizar estudios de oportunidades de mejora puede permitir visualizar

los resultados de la mejora, luego de ser implementada, así mismo, permite ayudar al equipo a enfocar los proyectos a través de la aplicación de estos análisis.

Re Análisis Multi Vari

El análisis Multi Vari permite al equipo de mejoramiento enfocarse en aquellos procesos que poseen una alta variación, y estudiar el comportamiento de esta, al implementar mejoras sobre las causas de esa variación permite mostrar los resultados y realizar comparación del antes y después de la situación.

Análisis de Capacidad Post-Mejora

El análisis de capacidad permite observar la variabilidad y dispersión de los procesos, por lo que permite realizar comparaciones antes y después de aplicar alguna mejora.

Superficies de Respuesta

Ciertos experimentos de superficie de respuesta son útiles para alcanzar el resultado óptimo con relativamente pocos experimentos. Sin embargo, hay riesgos experimentales que involucran potenciales pérdidas de producto usando estas técnicas.

Operación Evolutiva (EVOP)

EVOP usualmente requiere cambios incrementales pequeños de modo que haya poco o ningún desperdicio de proceso. Tamaños de muestra grandes se pueden requerir para determinar la

apropiada dirección del mejoramiento. Este método se puede extender a más de dos variables.

Análisis de Mejoramiento con DOE

A través de DOE, se puede analizar los factores que influyen y el efecto que poseen estos, así como su comportamiento al hacer ajustes durante los experimentos, lo que permite determinar las causas del problema y de poder dirigir las mejoras hacia estas.

Análisis del Sistema de Medición

La mejora de procesos a menudo resulta en variación reducida. Con un entendimiento aumentado del proceso, variación que antes se consideraba aleatoria se puede reducir. Los esfuerzos de mejoramiento continuo que resultan en reducción de la variación del proceso, pueden requerir una reevaluación del sistema de medición.

Cada organización necesita determinar sus requerimientos para el sistema de medición y evaluar si la capacidad del sistema de medición cumple esos requerimientos. Los requerimientos dependen de las especificaciones de los clientes, el uso que se le dará al producto, y los costos de implementación.

Capítulo 6.

Etapa: Control

“Un estado de control estadístico, no es un estado natural para un proceso de manufactura. Es, en cambio, un logro al cuál se llega al eliminar una a una, por un esfuerzo determinado, las causas especiales de variación excesiva.”

- W. Edwards Deming

6.1 Control Estadístico de Procesos

El Control Estadístico de Procesos (SPC) es una técnica para aplicar el análisis estadístico para medir, monitorear, y controlar los procesos. El mayor componente de SPC es el uso de métodos para graficar el control.

En SPC se asume que todos los procesos están sujetos a variación. Esta variación puede ser clasificada en uno de dos tipos: causas de variación aleatoria, o por casualidad y causas de variación asignable o especial.

Los objetivos del control estadístico de proceso son:

- Determinar la capacidad de proceso
- Monitorear los procesos
- Identificar si el proceso está operando como se espera, o si el proceso ha cambiado y se requiere acción correctiva.

Algunos beneficios del SPC son:

- Determinar el rango natural del proceso y para compararlo con el rango de tolerancia especificado. Si el rango natural es más ancho, entonces se debe ampliar el rango de especificación o el proceso requiere mejoras de ingeniería para reducir el rango natural.
- Demostrar que un proceso está en control y dentro de los límites de especificación, lo cual, ayuda, a eliminar los costos relacionados con la inspección.
- Puede ser utilizada como una herramienta predictiva para indicar que se requieren cambios antes de que se salga fuera de la tolerancia.
- Permite monitorear los esfuerzos de mejora continua al realizar cambios al proceso para reducir la variación.

Sub Grupos Racionales

La idea clave en el gráfico de control es la división de las observaciones en lo que se conoce como sub grupos racionales. El éxito de los gráficos depende en gran medida de la selección de estos sub grupos.

Generalmente, los sub grupos son seleccionados de forma que se logre que sean tan homogéneos como sea posible, y esto ofrece la máxima oportunidad de variación de un sub grupo a otro. Sin embargo, esta selección depende del conocimiento de los componentes del total de la variación del proceso.

Esquemas de Sub Agrupación

Para realizar la sub-agrupación se puede tener dos enfoques, los cuales son:

1. El primer sub grupo se compone de producto producido todo de una sola vez tan cercanamente como sea posible. Este método sigue la regla para la selección de sub grupos racionales al permitir una oportunidad mínima de variación dentro de un sub grupo y una máxima oportunidad de variación de un sub grupo a otro sub grupo.
2. Otra opción de sub agrupación se compone de producto que es representativo de toda la producción realizada durante un período de tiempo. El producto puede acumularse en el punto de producción, escogiendo una muestra aleatoria de todo el producto fabricado desde la última muestra.

El segundo método es a veces preferido cuando uno de los propósitos del gráfico de control es el influenciar las decisiones sobre la aceptación del producto. Así mismo, la escogencia del tamaño del sub grupo debe ser influenciada, en parte, por el atractivo de permitir una oportunidad mínima de variación dentro de un sub grupo.

Fuentes de Variabilidad

La variación de largo plazo en un producto, por conveniencia, será denominada el ancho del producto (o del proceso).

Habrá alguna diferencia entre el promedio del proceso y la variación de lote a lote, no obstante, reducir estas variaciones uno de los objetivos de la gráfica de control.

La corriente de distribución de productos de diferentes flujos puede producir variabilidades mayores que aquellos de flujos

individuales. Para eliminar esta fuente de variabilidad, puede ser necesario analizar cada canal de flujo a flujo por separado.

Otro objetivo principal de los gráficos de control es el de reducir la variación de tiempo a tiempo.

Las medidas de inspección física pueden ser tomadas en muchos puntos diferentes de una unidad dada. Tales diferencias son conocidas como variación dentro de la pieza.

Otra fuente de variabilidad es la variabilidad de pieza a pieza de una sola unidad de producción. A menudo, el error inherente de la medición es significativo.

La variabilidad restante es conocida como capacidad inherente al proceso. Es la reproducibilidad instantánea de una máquina y representa la capacidad máxima de operación bajo condiciones virtuales de laboratorio.

OBJETIVOS DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL VS FUENTES DE VARIABILIDAD EN PROCESO



Figura 0.1 Componentes de la variabilidad

6.2 Gráficos de Control

Los gráficos de control son las herramientas más poderosas para analizar la variación en la mayoría de los procesos.

Un proceso que está en control estadístico, tiene la mayoría de los puntos graficados distribuidos aleatoriamente alrededor de la media con menos puntos conforme uno se acerca a los límites de control. Los puntos que exceden los controles son muy pocos. Cuando un proceso está en control, es predecible.

Algunos tipos de gráficos de control son los siguientes:

6.3 Gráficos de Control para Variables

Grafica las mediciones específicas de una característica de un proceso (temperatura, tamaño, peso, volumen. de ventas, envíos, etc.), los tipos de los gráficos de control para variables son los siguientes:

- Gráficos $\bar{x} - R$
- Run charts
- Gráficos $M\bar{x} - MR$
- Gráficos $\bar{x} - MR$
- Gráficos $\bar{x} - S$
- Gráficos de Mediana
- Gráficos de corridas cortas

Los gráficos para variables son generalmente más costosos debido a que cada variable por separado (considerada importante), debe tener datos recogidos y analizados.

6.4 Gráficos de Control para Atributos

Grafica las mediciones del total del proceso (número de reclamos por orden, número de órdenes a tiempo, frecuencia de ausentismo, número de errores por carta, etc.), algunos de los tipos de los gráficos de control para atributos son los siguientes:

- Gráficos p: Fracción Defectuosa
- Gráficos np: Número de Defectuosos
- Gráficos c: Número de Defectos
- Gráficos u: Número de Defectos por Unidad

En algunos casos, los tamaños relativamente grandes de muestras asociadas con gráficos de atributos, pueden probar ser más caros.

6.5 Gráficos \bar{x} Barra R

Los pasos para construir una gráfica \bar{x} R son los siguientes:

1. Determine el tamaño de la muestra ($n = 3, 4, \text{ o } 5$) y la frecuencia del muestreo.
2. Recoja de 20 a 25 grupos de muestras en una secuencia de tiempo (60 a 100 datos).
3. Calcule el promedio para cada grupo de muestras, igual a \bar{x} .
4. Calcule el rango para cada grupo de muestras, igual a R.
5. Calcule el $\bar{\bar{x}}$ (el promedio de todos los promedios). Esta es la línea central del gráfico de \bar{x} .
6. Calcule el \bar{R} (el promedio de todos los Rs). Esta es la línea central del gráfico R.
7. Calcule los límites de control:

$$LSC_X = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC_X = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

Donde,

n= tamaño de muestra

X= Dato (lectura)

\bar{x} = Promedio de las lecturas de una muestra

$\bar{\bar{x}}$ = Promedio de todos los promedios

R= Rango de cada muestra

\bar{R} = Promedio de todos los rangos

6.6 Gráficos X Barra y Sigma

Los gráficos \bar{x} barra y sigma (S) a menudo se utilizan para incrementar la sensibilidad a la variación (especialmente cuando se utilizan muestras más grandes). Estos gráficos pueden ser más difíciles de trabajar en forma manual que los gráficos \bar{x} - R, debido a los tediosos cálculos de la desviación estándar de la muestra (S). A menudo, S viene del proceso automatizado del equipo, entonces el proceso de graficar es mucho más sencillo. La fórmula es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

Σ : Significa la sumatoria

X: es las mediciones individuales

\bar{x} : Promedio

n: es el tamaño de la muestra

El gráfico \bar{x} - S es construido de la misma forma que una gráfica XR, excepto que se utiliza sigma (S) para el cálculo de los límites de control, utilizando las siguientes fórmulas:

$$LSC_x = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \quad LIC_x = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s}$$

Donde,

$\bar{\bar{x}}$: es el gran promedio

A: es un factor basado en el tamaño de la muestra

• : es el promedio de desviación estándar de la muestra

Los límites de control para el gráfico sigma (S) son calculados utilizando las siguientes fórmulas:

$$LSC_S = B_4 \bar{x} \quad LIC_S = B_3 \bar{x}$$

en donde,

B_4 y B_3 : es un factor basado en el tamaño de muestra

6.7 Gráficos de Control de la Mediana

Hay diversas variedades de gráficos de control de la mediana. Un tipo grafica solamente los datos medidos en forma individual en un solo gráfico. El valor medio se encierra en un círculo. Los gráficos de mediana pueden utilizar un número impar de lecturas para hacer que el valor de la mediana sea más obvio (Quality Council of Indiana, 2010).

Otra variedad registra los datos y traza el valor de la mediana y del rango en dos gráficos separados. Se requieren muy pocos cálculos para cada sub grupo. Los límites de control para el gráfico de la mediana son calculados utilizando las mismas fórmulas que las del gráfico X - R:

$$LSC_x = \bar{x} + \bar{x}_2 \bar{R} \quad LIC_x = \bar{x} - \bar{x}_2 \bar{R}$$

Los valores \bar{x}_2 son un poco diferentes de los valores A_2 del gráfico X - R debido a que la mediana es menos eficiente y por consiguiente muestra más variación.

6.8 Gráficos \bar{x} -MR

Los gráficos de control que trazan lecturas individuales y un rango móvil, pueden ser utilizados para corridas cortas y en el caso de

pruebas destructivas. Los gráficos \bar{x} -MR son también conocidos como I-MR, gráficos de rango móvil individual. Los límites de control para gráficos individuales son calculados utilizando las siguientes fórmulas y factores:

$$LSC_x = \bar{X} + E_2 \overline{MR} \quad LIC_x = \bar{X} - E_2 \overline{MR}$$

Los límites de control para el gráfico de rango son calculados exactamente como los del gráfico \bar{X} - R.

El gráfico \bar{x} -MR (para individuos y rangos móviles), es el único gráfico de control que puede incluir límites de especificación.

6.9 Gráficos $M\bar{X}$ -MR

Los gráficos MI MR (promedio móvil-rango móvil) son una variación de los gráficos \bar{x} - R donde los datos tienen menor posibilidad de estar disponibles. Hay varias técnicas de construcción. Los límites de control son calculados utilizando las fórmulas y factores de \bar{x} -R.

6.10 Gráficos de Atributos

Un gráfico de atributos traza las características tales como bajo o alto, azul o café, pasa o no pasa, correcto o incorrecto, bueno o malo, etc. Los atributos son datos discretos, contados. A diferencia de los gráficos de variables, solamente un gráfico es trazado para atributos.

6.11 Fuera de Control

Si un proceso está "fuera de control", entonces las causas especiales de variación están presentes, ya sea en el gráfico de promedio, en el era de rango o en ambos. Estas causas especiales deben ser encontradas y eliminadas para lograr que el proceso

esté en control. Un proceso fuera de control es detectado en un gráfico de control, ya sea por tener un punto cualquiera fuera de los límites de control, o por patrones de variabilidad que no son naturales (Quality Council of Indiana, 2010).

Los límites de control son las fronteras establecidas por el proceso, los cuales indican la estabilidad y variabilidad del proceso. Los límites de control se encuentran a 3 desviaciones estándar hacia arriba y hacia abajo del gran promedio. Si el proceso está en control, el 99.73% de los promedios caerán dentro de estos límites. Lo mismo aplica para los límites de control del rango. Debido a que hay dos componentes para cada variable del gráfico de control —el gráfico de promedio y el gráfico de rango— pueden ocurrir cuatro posibles condiciones en el proceso (Quality Council of Indiana, 2014)

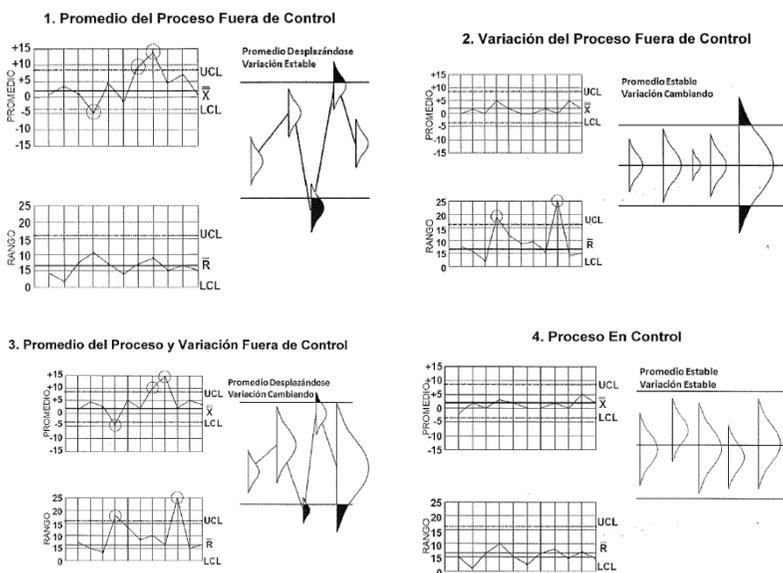


Figura 0.2 Ejemplo de cada una de las posibles variaciones.

(1) Promedio fuera de control y Rango en Control. **(2)** Promedio en control y Rango fuera de control. **(3)** Promedio y Rango fuera de control. **(4)** Promedio y Rango en control. (Quality Council of Indiana, 2014)

Cinco Reglas Comunes

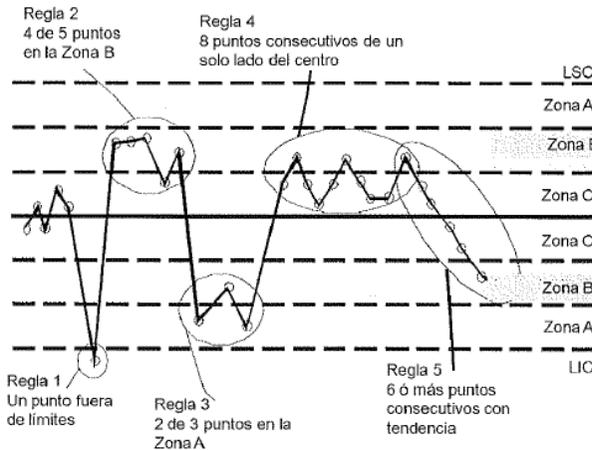


Figura 0.3 Interpretación de los gráficos de control

6.12 Planes de Control

Un plan de Control es un documento que describe las características críticas para la calidad, las X's o Y's críticas de la parte o del proceso. A través de este sistema de monitoreo y control, los requerimientos del cliente serán cumplidos y se reducirá la variación del proceso. Sin embargo, el plan de control no debe ser un sustituto de las instrucciones detalladas para el operador, que se entregarán en forma de instrucciones de trabajo o de procedimientos de producción estándar. Cada parte o proceso debe tener un plan de control.

Tipos de Planes de Control

Existen tres fases para los planes de control, los cuales son:

- Prototipo.
- Pre-lanzamiento.
- Producción.

Un plan de control prototipo es utilizado en las primeras fases del desarrollo cuando la parte o el proceso están siendo definidos o configurados. Este plan de control enlistará los controles sobre las medidas dimensionales necesarias, los tipos de materiales, y las pruebas de desempeño requeridas (Quality Council of Indiana, 2010).

Un plan de control de pre-lanzamiento es utilizado después de que se ha completado la fase de prototipo y antes de que se apruebe la producción completa. Esta fase enlista los controles sobre las medidas dimensionales necesarias, los tipos de materiales, y las pruebas de desempeño requeridas (Quality Council of Indiana, 2010).

Un plan de control de producción es utilizado para la producción completa de la parte. Contiene todas las partidas de un plan de control completo: características de la parte o del producto, controles del proceso, pruebas, análisis del sistema de medición, y planes de reacción (Quality Council of Indiana, 2010).

Organización del Plan de Control

El plan de control debe ser verdaderamente un "documento viviente" para que se mantenga como un mecanismo efectivo de monitoreo y control del proceso. Una persona responsable debe

ser puesta a cargo del plan de control. Esto asegura el monitoreo y actualización exitosos (Quality Council of Indiana, 2010).

Si el plan de control no se mantiene adecuadamente, los beneficios del proyecto pueden perderse lentamente. Los cambios frecuentes de dueños de proceso, combinado con grandes cantidades de proyectos de proceso, pueden resultar fácilmente en planes de control descuidados o abandonados (Quality Council of Indiana, 2010).

Fuentes de Entrada del Plan de Control

Un número de entradas o fuentes contribuyen a entender, producir y controlar la parte o el proceso. Muchas de las siguientes están incluidas:

- Diagramas de flujo de proceso.
- FMEAs, dFMEAs y pFMEAs del sistema.
- Análisis de Causa y Efecto.
- Características especiales del cliente.
- Datos históricos.
- Lecciones aprendidas.
- Conocimiento del proceso de equipo.
- Revisiones de diseño.
- Despliegue de la función de la calidad.
- Experimentos diseñados.
- Aplicaciones estadísticas.
- Estudios Multi-variados.
- Análisis de regresión.

Plan de Control Plan (Muestra)													
Plan de Control para:													
Número de control:				Miembros equipo:				Página:					
								Fecha original:					
Contacto (típicamente el dueño del proceso):							Fecha de revisión:						
Parte/ Proceso	Paso de Subproceso	Variable clave de entrada (X)	Variable clave de salida (Y)	Característica especial	Especificaciones	Técnica de Medición	Capacidad de instrumento	Tamaño de muestra	Frecuencia Muestreo	C. p. n Tu	Persona Responsable de la Medición	Método de Control	Plan de Reacción

Figura 0.4 Formato ilustrativo de un plan de control

A continuación, se describe los componentes que posee un plan de control y su descripción:

- Plan de Control: Proporcione un nombre para el plan de control.
- Número de control: Proporcione un número de referencia.
- Miembros del equipo: proporcione los nombres de los integrantes del equipo, si se involucra un equipo transversal.
- Persona de contacto: Este puede ser el green belt a cargo del proyecto, sin embargo, el nombre y el puesto del dueño de proceso es más importante.
- Página: Proporcione los números de página si el plan de control tiene más de una página.
- Fecha original: Indique la fecha de expedición del plan de control.
- Fecha de revisión: Proporcione la fecha de la última revisión del plan de control.

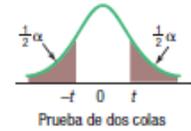
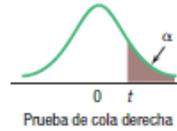
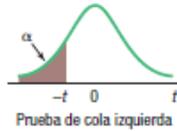
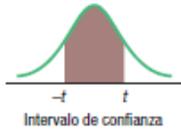
- Parte/Proceso: Enliste el número de parte o el flujo de proceso que se está trazando.
- Paso de sub proceso: Indique el paso del sub proceso que está siendo descrito (si aplica).
- Variable de entrada clave (KIV) (X): Anote la variable de entrada clave, cuando sea apropiado.
- Variable de salida clave (KOV) (Y): Anote la variable de salida clave, cuando sea apropiado.
- Anote las características especiales: indique si una característica especial debe ser monitoreada y controlada.
- Especificaciones: Para las aplicaciones de manufactura, las especificaciones de ingeniería para la parte deben ser monitoreadas y controladas.
- Técnica de instrumento de medición: La técnica de instrumento de medición debe ser descrita. El instrumento de medición, la herramienta, el artefacto o el dispositivo de prueba utilizado para la recolección de datos.
- Capacidad del instrumento: Proporcione la capacidad actual del sistema de medición.
- Tamaño de la muestra: Proporcione el tamaño de la muestra para cada sub grupo.
- Frecuencia de la muestra: Indique qué tan a menudo se requiere la inspección o monitoreo de la parte o del proceso.
- C_{pk} Inicial: Esto proporciona una indicación de la capacidad de proceso.
- Persona responsable de la medición: Indicar quién hará y registrará la medición.
- Método de control: Observe cómo se controlará esta variable X o Y.

- Plan de reacción: Describa qué va a pasar si la variable se sale de control.

Apéndices

Tablas estadísticas

- Distribución t de Student**



(continúa)

		Intervalo de confianza, c					
g	g	80%	90%	95%	98%	99%	99.9%
		Nivel de significancia para una prueba de una cola, α					
		0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
		Nivel de significancia para una prueba de dos colas, α					
		0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619	
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.599	
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924	
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610	
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869	
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959	
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408	
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041	
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781	
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587	
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437	
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318	
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221	
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140	
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073	
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015	
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965	
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922	
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883	
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850	
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819	
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792	
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.768	
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745	
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725	
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707	
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690	
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674	
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659	
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646	
31	1.309	1.696	2.040	2.453	2.744	3.633	
32	1.309	1.694	2.037	2.449	2.738	3.622	
33	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733	3.611	
34	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728	3.601	
35	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.591	

(continúa parte superior derecha)

		Intervalo de confianza, c					
g	g	80%	90%	95%	98%	99%	99.9%
		Nivel de significancia para una prueba de una cola, α					
		0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
		Nivel de significancia para una prueba de dos colas, α					
		0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
36	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719	3.582	
37	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715	3.574	
38	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712	3.566	
39	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708	3.558	
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551	
41	1.303	1.683	2.020	2.421	2.701	3.544	
42	1.302	1.682	2.018	2.418	2.698	3.538	
43	1.302	1.681	2.017	2.416	2.695	3.532	
44	1.301	1.680	2.015	2.414	2.692	3.526	
45	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	3.520	
46	1.300	1.679	2.013	2.410	2.687	3.515	
47	1.300	1.678	2.012	2.408	2.685	3.510	
48	1.299	1.677	2.011	2.407	2.682	3.505	
49	1.299	1.677	2.010	2.405	2.680	3.500	
50	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.496	
51	1.298	1.675	2.008	2.402	2.676	3.492	
52	1.298	1.675	2.007	2.400	2.674	3.488	
53	1.298	1.674	2.006	2.399	2.672	3.484	
54	1.297	1.674	2.005	2.397	2.670	3.480	
55	1.297	1.673	2.004	2.396	2.668	3.476	
56	1.297	1.673	2.003	2.395	2.667	3.473	
57	1.297	1.672	2.002	2.394	2.665	3.470	
58	1.296	1.672	2.002	2.392	2.663	3.466	
59	1.296	1.671	2.001	2.391	2.662	3.463	
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460	
61	1.296	1.670	2.000	2.389	2.659	3.457	
62	1.295	1.670	1.999	2.388	2.657	3.454	
63	1.295	1.669	1.998	2.387	2.656	3.452	
64	1.295	1.669	1.998	2.386	2.655	3.449	
65	1.295	1.669	1.997	2.385	2.654	3.447	
66	1.295	1.668	1.997	2.384	2.652	3.444	
67	1.294	1.668	1.996	2.383	2.651	3.442	
68	1.294	1.668	1.995	2.382	2.650	3.439	
69	1.294	1.667	1.995	2.382	2.649	3.437	
70	1.294	1.667	1.994	2.381	2.648	3.435	

(continúa)

(continúa)

g'	Intervalo de confianza, c					
	80%	90%	95%	98%	99%	99.9%
	Nivel de significancia para una prueba de una cola, α					
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
Nivel de significancia para una prueba de dos colas, α						
0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001	
71	1.294	1.667	1.994	2.380	2.647	3.433
72	1.293	1.666	1.993	2.379	2.646	3.431
73	1.293	1.666	1.993	2.379	2.645	3.429
74	1.293	1.666	1.993	2.378	2.644	3.427
75	1.293	1.665	1.992	2.377	2.643	3.425
76	1.293	1.665	1.992	2.376	2.642	3.423
77	1.293	1.665	1.991	2.376	2.641	3.421
78	1.292	1.665	1.991	2.375	2.640	3.420
79	1.292	1.664	1.990	2.374	2.640	3.418
80	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.416
81	1.292	1.664	1.990	2.373	2.638	3.415
82	1.292	1.664	1.989	2.373	2.637	3.413
83	1.292	1.663	1.989	2.372	2.636	3.412
84	1.292	1.663	1.989	2.372	2.636	3.410
85	1.292	1.663	1.988	2.371	2.635	3.409
86	1.291	1.663	1.988	2.370	2.634	3.407
87	1.291	1.663	1.988	2.370	2.634	3.406
88	1.291	1.662	1.987	2.369	2.633	3.405
89	1.291	1.662	1.987	2.369	2.632	3.403
90	1.291	1.662	1.987	2.368	2.632	3.402
91	1.291	1.662	1.986	2.368	2.631	3.401
92	1.291	1.662	1.986	2.368	2.630	3.399
93	1.291	1.661	1.986	2.367	2.630	3.398
94	1.291	1.661	1.986	2.367	2.629	3.397
95	1.291	1.661	1.985	2.366	2.629	3.396
96	1.290	1.661	1.985	2.366	2.628	3.395
97	1.290	1.661	1.985	2.365	2.627	3.394
98	1.290	1.661	1.984	2.365	2.627	3.393
99	1.290	1.660	1.984	2.365	2.626	3.392
100	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.390
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
140	1.288	1.656	1.977	2.353	2.611	3.361
160	1.287	1.654	1.975	2.350	2.607	3.352
180	1.286	1.653	1.973	2.347	2.603	3.345
200	1.286	1.653	1.972	2.345	2.601	3.340
*	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

- **Áreas bajo la curva normal (Distribución Z)**

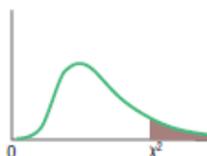
Ejemplo:
Si $z = 1.96$, entonces
 $P(0 \leq z) = 0.4750$.



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

- **Tabla valores Chi Cuadrado**

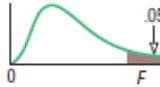
Esta tabla contiene los valores de χ^2 correspondientes a un área específica de la cola derecha y un número específico de grados de libertad.



Ejemplo: con 17
gl y un área de 0.02
en la cola superior,
 $\chi^2 = 30.995$

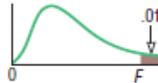
Grados de libertad, gl	Área de la cola derecha			
	0.10	0.05	0.02	0.01
1	2.706	3.841	5.412	6.635
2	4.605	5.991	7.824	9.210
3	6.251	7.815	9.837	11.345
4	7.779	9.488	11.668	13.277
5	9.236	11.070	13.388	15.086
6	10.645	12.592	15.033	16.812
7	12.017	14.067	16.622	18.475
8	13.362	15.507	18.168	20.090
9	14.684	16.919	19.679	21.666
10	15.987	18.307	21.161	23.209
11	17.275	19.675	22.618	24.725
12	18.549	21.026	24.054	26.217
13	19.812	22.362	25.472	27.688
14	21.064	23.685	26.873	29.141
15	22.307	24.996	28.259	30.578
16	23.542	26.296	29.633	32.000
17	24.769	27.587	30.995	33.409
18	25.989	28.869	32.346	34.805
19	27.204	30.144	33.687	36.191
20	28.412	31.410	35.020	37.566
21	29.615	32.671	36.343	38.932
22	30.813	33.924	37.659	40.289
23	32.007	35.172	38.968	41.638
24	33.196	36.415	40.270	42.980
25	34.382	37.652	41.566	44.314
26	35.563	38.885	42.856	45.642
27	36.741	40.113	44.140	46.963
28	37.916	41.337	45.419	48.278
29	39.087	42.557	46.693	49.588
30	40.256	43.773	47.962	50.892

- Valores críticos de la distribución F en un nivel de significancia de 5%



		Grados de libertad en el numerador															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40
Grados de libertad en el denominador	1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251
	2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5
	3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	

- **Valores críticos de la distribución F en un nivel de significancia de 1%**



		Grados de libertad en el numerador															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40
Grado de libertad en el denominador	1	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287
	2	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5
	3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	26.5	26.4
	4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.9	13.8	13.7
	5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29
	6	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14
	7	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91
	8	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12
	9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57
	10	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17
	11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86
	12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62
	13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43
	14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27
	15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13
	16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02
	17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92
	18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84
	19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76
	20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69
	21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64
	22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58
	23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54
	24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49
	25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	

- **Distribución de Poisson**

x	μ								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.9048	0.8187	0.7408	0.6703	0.6065	0.5488	0.4966	0.4493	0.4066
1	0.0905	0.1637	0.2222	0.2681	0.3033	0.3293	0.3476	0.3595	0.3659
2	0.0045	0.0164	0.0333	0.0536	0.0758	0.0988	0.1217	0.1438	0.1647
3	0.0002	0.0011	0.0033	0.0072	0.0126	0.0198	0.0284	0.0383	0.0494
4	0.0000	0.0001	0.0003	0.0007	0.0016	0.0030	0.0050	0.0077	0.0111
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0004	0.0007	0.0012	0.0020
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

x	μ								
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
0	0.3679	0.1353	0.0498	0.0183	0.0067	0.0025	0.0009	0.0003	0.0001
1	0.3679	0.2707	0.1494	0.0733	0.0337	0.0149	0.0064	0.0027	0.0011
2	0.1839	0.2707	0.2240	0.1465	0.0842	0.0446	0.0223	0.0107	0.0050
3	0.0613	0.1804	0.2240	0.1954	0.1404	0.0892	0.0521	0.0286	0.0150
4	0.0153	0.0902	0.1680	0.1954	0.1755	0.1339	0.0912	0.0573	0.0337
5	0.0031	0.0361	0.1008	0.1563	0.1755	0.1606	0.1277	0.0916	0.0607
6	0.0005	0.0120	0.0504	0.1042	0.1462	0.1606	0.1490	0.1221	0.0911
7	0.0001	0.0034	0.0216	0.0595	0.1044	0.1377	0.1490	0.1396	0.1171
8	0.0000	0.0009	0.0081	0.0288	0.0653	0.1033	0.1304	0.1396	0.1318
9	0.0000	0.0002	0.0027	0.0132	0.0363	0.0688	0.1014	0.1241	0.1318
10	0.0000	0.0000	0.0008	0.0053	0.0181	0.0413	0.0710	0.0993	0.1186
11	0.0000	0.0000	0.0002	0.0019	0.0082	0.0225	0.0452	0.0722	0.0970
12	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006	0.0034	0.0113	0.0263	0.0481	0.0728
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0013	0.0052	0.0142	0.0296	0.0504
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0022	0.0071	0.0169	0.0324
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0009	0.0033	0.0090	0.0194
16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0014	0.0045	0.0109
17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006	0.0021	0.0058
18	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0009	0.0029
19	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0014
20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0006
21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003
22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001

- Factores de las tablas de control

Número de elementos en la muestra, n	Tablas de promedios	Tablas de rangos		
	Factores de los límites de control	Factores de la línea central	Factores de los límites de control	
	A_2	d_2	D_3	D_4
2	1.880	1.128	0	3.267
3	1.023	1.693	0	2.575
4	.729	2.059	0	2.282
5	.577	2.326	0	2.115
6	.483	2.534	0	2.004
7	.419	2.704	.076	1.924
8	.373	2.847	.136	1.864
9	.337	2.970	.184	1.816
10	.308	3.078	.223	1.777
11	.285	3.173	.256	1.744
12	.266	3.258	.284	1.716
13	.249	3.336	.308	1.692
14	.235	3.407	.329	1.671
15	.223	3.472	.348	1.652

FUENTE: Adaptado de American Society for Testing and Materials, *Manual on Quality Control of Materials*, 1951, tabla B2, p. 115. Para una tabla y una explicación más detalladas, vea Acheson J. Duncan, *Quality Control and Industrial Statistics*, 3a ed., Homewood, Ill: Richard D. Irwin, 1974, tabla M, p. 927.

Bibliografía

- ASQ. (2009). *The Certified Quality Engineer Handbook* (3a ed.). Milwaukee, USA: Quality Press.
- Lind, A. M. (2012). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. México: Mc Graw Hill.
- Montgomery, D. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (7 ed.). Arizona, USA: Wiley.
- Pulido, H. G. (2013). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma* (3a ed.). México: McGraw Hill.
- Quality Council of Indiana. (2014). *The Six Sigma Green Belt Primer*.
- Quality Council of Indiana. (2014). *The Six Sigma Yellow Belt Primer* (1a ed.). Indiana, USA.



OPEX
MENTOR

www.opexmentor.com

info@opexmentor.com

+506 70331782



@opexmentor