



**GOBIERNO DE
MÉXICO**

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



DEPARTAMENTO ADSCRIPCIÓN
Ingeniería industrial

Programa y Modalidad

**B1.2 Elaboración de apuntes de asignatura(s): Estadística Inferencial II y
Control Estadístico de la Calidad**

Nombre del Docente:
MARCO ANTONIO GOMEZ VELEZ

No dictamen.

AS-2-277/2023

Nombre Personas Revisoras

America Ávila Hernández

Fecha:
31 DE AGOSTO DEL 2024

Apuntes de Control Estadístico de la Calidad

Contribución académica

Tema 1: Teoría general y herramientas básicas

El alumno aprende y aplica los conceptos básicos de las herramientas de calidad administrativas, con problemas prácticos de empresas establecidas y reconocidas; y más importante el conocimiento y aplicación de las herramientas estadísticas (las 7) de la calidad; como son: 1) Diagrama Causa-Efecto; que sirve para determinar la relación entre distintas variables de entrada con una variable regresora, la cual se usa en la mejora de procesos industriales de producción de bienes y/o servicios; 2) El Check list (u hoja de inspección); el cual es utilizado principalmente para el control de los procesos, 3) Los gráficos de control; Ayuda a descubrir si un proceso determinado tiene un comportamiento que podemos predecir, si es estable o no, 4) Estratificación; Es una técnica muy útil cuando manejamos muchos datos, ya que contribuye a clasificarlos o agruparlos en función de sus características comunes; 5) Histograma: Resulta especialmente útil para analizar el patrón de comportamiento en un proceso de un determinado fenómeno (por ejemplo: altura de la población femenil de México entre los 18 y 25 años), para calcular su frecuencia y su forma. Al tratarse de un Gráfico, es más sencillo descubrir pautas que de otro modo serían más complicadas de ver, 6) diagrama de Pareto: Es un gráfico basado en el principio de Pareto que, aplicado a la calidad, afirma que el 20% de las causas provocan el 80% de los problemas. Ordena cuestiones de mayor a menor frecuencia y nos sirve para revisar la frecuencia tanto de los problemas como de las causas. Es importante definir antes de comenzar qué aspectos se van a estudiar. Con este diagrama de barras verticales se puede fijar un orden de prioridades a la hora de tomar decisiones y aplicar medidas. 7) Diagrama de dispersión: El diagrama de dispersión o correlación se emplea para comprobar la relación que existe entre dos variables diferentes (X e Y), que pueden ser dos problemas o dos causas, y estableciendo que tipo de correlación puede ser (positiva o negativa, fuerte o débil).

TEMA 2: Graficas De Control Para Variables

El alumno aprende a identificar la variable de respuesta a medir en una escala continua para el control de los procesos productivos y/o de servicios; así como su correcta implementación en los mismos para monitorear y controlar la variabilidad a través del tiempo y de esta manera estimar sus índices de capacidad de proceso (C_p , C_{pk} ; P_p y P_{pk} ; corto y largo plazo, aunque existen otros: PPM, DPMO, Z), existiendo distintas cartas de control por variables: X-R, X-S y X-I (existen más,...); todo esto de forma manual y con la ayuda de algún paquete estadístico. Esto se realizará de forma manual y de forma computacional con la ayuda de algún paquete estadístico (Minitab, o algún otro...)

TEMA 3: Graficas De Control Para Atributos

El alumno aprende a identificar el atributo (por ej.: defectos) que representa la característica que se quiere controlar para cualquier proceso productivo y/o de servicios, así como a la implementación de este a lo largo del tiempo y controlar y monitorear la variabilidad del mismo, y de la misma forma estimar los parámetros del proceso a través de la determinación de los índices de capacidad de cada carta por atributos desarrollada (n , np , c y u), los cuales son el C_p , C_{pk} , P_p y P_{pk} ; corto y largo plazo). Esto se efectuará de forma manual; con cartas de control

elaboradas (como se dice a pie de proceso de puño y letra), determinando los límites $\pm 3\sigma$ y posteriormente con la ayuda de algún paquete estadístico (Minitab y/o algún otro...) y con ejercicios de cada una de ellas.

TEMA 4: Planes De Muestreo De Aceptación

El alumno aplicará y desarrollará los diferentes planes de aceptación en procesos industriales mediante el ejemplo de casos prácticos para variables y atributos usando las cartas de la MIL-STD de Dodge y Romig para los dos tipos de variables existentes: variables continuas y variables por atributos; de la misma forma aprenderá y aplicará los criterios de aceptación o rechazo de los lotes de producción o de materia prima en función de los niveles de calidad establecidos (AQL, LTPD, principalmente). Obviamente todo esto en función del tamaño de la muestra requerido para ambos tipos de planes por atributos y por variables. De la misma forma el alumno aprenderá con la ayuda de un paquete (Minitab y/o alguno otro) computacional a desarrollar los planes de muestreo, y de forma manual.

Se presenta en cada una de sus unidades los conocimientos necesarios teórico-prácticos sobre todo actuales en cada uno de sus unidades tanto administrativas como estadísticas desarrollando las competencias requeridas para los estudiantes, tengan una visión completa de las distintas herramientas estadísticas que se pueden aplicar en el control de los procesos, esta da una visión sistémica que se desarrolla en la asignatura, contribuye en la formación del Ingeniero Industrial, permitiéndole diseñar, implementar, mejorar, innovar, optimizar y controlar sistemas de calidad y de aseguramiento de calidad en las empresas de producciones de bienes y servicios y de en un entorno internacional, que les permita posicionarse de manera competitiva y adaptarse a los nuevos mercados, centrando su estrategia en la mejora continua.

Control Estadístico de la Calidad

Teoría general y herramientas básicas

1.1. Conceptos e importancia de la Calidad.	4
1.2. Costos de Calidad.	11
1.3. Cadena Cliente-Proveedor.	13
1.4. Recolección de datos.	15
1.5. Herramientas administrativas.	19
1.5.1. Diagrama afinidad.	20
1.5.2. Diagrama de relaciones.	21
1.5.3. Diagrama de árbol.	21
1.5.4. Diagrama matricial.	22
1.5.5. Diagrama de flujo.	23
1.5.6. Tormenta de ideas.	23
1.5.7. Porque- por qué.	24
1.5.8. Como-como.	25
1.5.9. W una H	26
1.6. Herramientas estadísticas.	28
1.6.1. Hojas de verificación.	28
1.6.2. Diagrama de Pareto.	32
1.6.3. Diagrama Causa-Efecto.	34
1.6.4. Histograma.	36
1.6.5. Diagrama de Dispersión.	38
1.6.6. Estratificación.	39
1.7. Habilidad y Capacidad del proceso Uso de software estadístico (Minitab)	40

Gráficas de Control para Variables

2.1. Conceptos generales y principios del CEP.	53
2.2. Elaboración e interpretación de gráficas para variables.	61
2.2.1. Gráfico X-R.	62
2.2.2. Gráfico X-S.	69
2.2.3. Gráfico X de individuales	75
2.3. Capacidad de proceso, Cp, Cpk, y Cpm.	79

Gráficas de Control para Atributos

3.1. Conceptos generales de Atributos.	90
3.2. Elaboración e interpretación de gráficas para Atributos.	92
3.2.1. Gráfico p.	93
3.2.2. Gráfico np.	96
3.2.3. Gráfico c.	101
3.2.4. Gráfico u.	103

3.3. Capacidad de proceso, Uso de software estadístico (Minitab).	106
---	-----

Planes de Muestreo de Aceptación

4.1. Conceptos Básicos del Muestreo de Aceptación.	114
4.2. Uso de Tablas de Muestreo (MIL-STD, 414, 105D y DODGE ROMING)	128
4.2.1. Plan de muestreo de Aceptación por atributos.	139
4.2.2. Plan de muestreo de aceptación por variables. Uso de software estadístico (Minitab).	142

Introducción

El Control Estadístico De La Calidad tiene importantes aplicaciones en la productividad y la Calidad que no son temas nuevos, sin embargo, son temas impactantes en todos los ámbitos, son de vital importancia y crítica ya que definen la razón de ser de las grandes organizaciones, que las diferencian; y que derivan en su nivel de competitividad en el mercado globalizado. De acuerdo con manufactura de clase mundial lo que distingue a estas compañías de otras es de que como visualizan sus mejoras; no como soluciones aisladas, sino como un conjunto integral de cambio. Y para poder hacer este cambio se ha llegado a desarrollar empresas inteligentes (empresas que aprenden) con diferentes, metodologías y/o filosofías; tales como: **Control Estadístico De La Calidad**, en esta última instancia, los fabricantes esperan tener piezas perfectas, procesos perfectos, diseños perfectos y entregas a tiempo. Para aspirar esta perfección, las empresas están desarrollando a la fabricación como un proceso impulsado por el rendimiento, es decir, establecen tasas de defectos específicas para cada paso del proceso. Los elementos de dichos programa incluyen medidas de desempeño, una filosofía de prueba y el Control Estadístico De La Calidad. Es esencial que los productos satisfagan los requisitos de los usuarios. Por lo tanto, la **Definición de Calidad es aptitud para el uso.** (Montgomery D.C. 1991, p.1). pero para **Walter A. Shewhart es un tema de interacción entre le producto, el usuario, sus expectativas y el servicio que pueda obtener en el caso de que el producto falle o requiera su mantenimiento.** Aunado a esto la calidad de un producto no necesariamente implica que tenga una calidad alta. Significa la mejora continua del proceso, para que los consumidores puedan confiar en la uniformidad de producto y comprarlo a bajo precio.

Como se mencionó anteriormente El Control Estadístico de la Calidad se utiliza en una variedad de campos para hacer predicciones y tomar decisiones; estos campos más específicamente son:

1. **Investigación científica:** La estadística inferencial es fundamental en la , donde se utilizan técnicas como pruebas de hipótesis y análisis de varianza para determinar si los resultados obtenidos de una muestra son representativos de la población de interés.
2. **En negocios:** Las empresas a menudo utilizan la estadística inferencial para tomar decisiones importantes, como determinar el tamaño de la muestra necesario para obtener resultados representativos, estimar la demanda de productos, analizar la satisfacción del cliente y evaluar el rendimiento de los empleados.
3. **En salud:** La estadística inferencial es fundamental en la investigación médica, donde se utilizan técnicas estadísticas para evaluar la eficacia de nuevos

tratamientos y medicamentos, así como para analizar los factores de riesgo para enfermedades.

4. **En política:** También se utiliza en política para hacer predicciones sobre el resultado de elecciones, encuestas de opinión pública, y para analizar los datos de votación.

Si se presenta de manera puntual o específica con respecto del programa académico que abarca cuatro temas de importancia: 1) Teoría General y Herramientas Básicas; Se organiza el temario, en cuatro temas, agrupando en el primer tema los contenidos conceptuales de la asignatura, así como las herramientas administrativas y estadísticas, se considera necesaria una aplicación práctica con solución de casos reales de empresas de la región. En el segundo y tercer tema abordan los gráficos de control tanto de variables como de atributos, haciendo un énfasis especial en el diagnóstico de la capacidad de proceso, así mismo se identifica una amplia relación con competencias adquiridas con anterioridad como son la teoría de la estimación y las pruebas de hipótesis para dar soporte y fiabilidad al gráfico de control, todo lo anterior en conjunto con las herramientas abordadas en la primera unidad servirán al profesionista para identificar y dar solución a los problemas de la organización y para conseguir la mejora continua en sus procesos. En el tema cuatro el contenido consiste en facultar al alumno para el diseño de planes de muestreo tanto de variables como de atributos, logrando una visión de conjunto al conocer y aplicar distintos métodos para el diseño de planes que van desde el uso de nomogramas hasta la aplicación de tablas Mil-Std, logrando un aprendizaje que permitirá realizar una toma de decisiones adecuada en lo que respecta a la aceptación o rechazo de lotes de acuerdo a tamaño, madurez y relación de la organización con sus proveedores. Se sugiere una actividad integradora en cada unidad, que permita aplicar los conceptos estudiados y los aprendizajes logrados, así como el empleo de software. Esto permite dar un cierre a la materia mostrándola como útil por sí misma en el desempeño profesional. El enfoque sugerido, requiere que las actividades prácticas promuevan el desarrollo de habilidades tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo, y propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis síntesis, con la intención de generar una actividad intelectual compleja; por esta razón varias de las 1 Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos actividades prácticas se han descrito como actividades previas al tratamiento teórico de los temas, de manera que no sean una mera corroboración de lo visto previamente en clase, sino una oportunidad para conceptualizar a partir de lo observado. En las actividades prácticas sugeridas, es conveniente que el profesor busque sólo guiar a sus alumnos para que ellos hagan la elección de las variables a controlar y registrar, para que aprendan a planificar, que no planifique el profesor todo por ellos, sino involucrarlos en el proceso de planeación. La lista de actividades de aprendizaje no tiene por objeto hacer más significativo y efectivo el aprendizaje. Algunas de las actividades sugeridas pueden hacerse como actividad extra-clase y comenzar el tratamiento en aula a partir de la discusión de los resultados de las observaciones. Se busca partir de experiencias concretas, cotidianas. Que el estudiante se acostumbre a reconocer la necesidad de identificar las variables críticas en un proceso e idear la forma de asegurar un control de estas y no solo en forma teórica. Es importante ofrecer escenarios distintos, ya sean reales o virtuales a través del estudio de casos. En las actividades de aprendizaje sugeridas, generalmente se propone la formalización de los conceptos a partir de experiencias concretas; se busca que el alumno tenga el primer contacto con el concepto en forma concreta y sea a través de la observación, la reflexión y la discusión que se dé la formalización; la resolución de problemas se hará después de este proceso, se sugiere que se diseñen problemas

con datos faltantes o sobrantes de manera que el alumno se ejercite en la identificación de cuáles de estos son relevantes y elabore supuestos a partir de su análisis. En el transcurso de las actividades programadas es muy importante que el estudiante aprenda a valorar las actividades que lleva a cabo y entienda que está construyendo su hacer futuro y en consecuencia actúe de una manera profesional; de igual manera, aprecie la importancia del conocimiento y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión y la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo y el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía.

TEMA 1: Teoría general y herramientas básicas

1.1 Conceptos e importancia de la calidad

El Control de Calidad es tan viejo como la propia industria. Desde el momento que en que el hombre comenzó a elaborar cosas con sus manos, o sea, a manufacturar, debió existir interés en la calidad de lo producido. Ya en la edad media los Gremios o hermandades de artesanos habían establecido un largo periodo de adiestramiento para los aprendices, y exigían quienes trataran de convertirse en maestros de un oficio, presentaran pruebas de aptitud y habilidad. Tales reglas estaban orientadas en parte, al mantenimiento de la Calidad. En los tiempos modernos la inspección en las fábricas, las leyes relativas a la pureza de los alimentos y medicamentos y las actividades sociales profesionales, ha buscado durante años asegurar la buena Calidad de la producción. El Control de Calidad tiene pues una larga historia.

Por otra parte, el control estadístico de Calidad no es cosa nueva. La propia ciencia estadística cuenta con dos o tres siglos de vida, y su desarrollo más importante se ha producido durante los últimos setenta años. Sus primeras aplicaciones se llevaron a cabo en astronomía, en física y en las ciencias sociales y biológicas, pero no fue sino hasta la década de los veinte, cuando la teoría estadística comenzó a ser aplicada en forma efectiva al Control de Calidad. Un factor del nacimiento del control estadístico de calidad en esa época fue el desarrollo, en los años inmediatos anteriores, de una teoría científica de muestreo.

El primero en aplicar los métodos estadísticos al problema de control de Calidad fue Walter A. Shewhart, de los Bell Telephone Laboratories. En un memorando escrito el 16 de mayo de 1924, Shewhart hizo el primer esbozo moderno de un “diagrama de control”. La nueva técnica fue posteriormente desarrollada por otros memorandos y artículos, y en 1931 publicó un libro acerca del control estadístico de Calidad. Con el título de *Economic Control of Quality of Manufactured Product* (Control económico de la calidad de productos manufacturados). Este libro fijo las normas para posteriores aplicaciones de los métodos estadísticos al control de procesos de fabricación. Otros nombres del Bell System, H.F Dodge y H.G. Roming, fueron los más destacados en el desarrollo de la aplicación de la teoría estadística a la inspección de muestras, siendo la culminación de su trabajo las ya bien conocidas “Sampling Inspection Tables” de “Dodge y Roming”. El trabajo de Shewhart, “Dodge y Roming” constituye la mayor parte de lo que hoy abarca en Control Estadístico de la Calidad.

En los primeros años de la década de 1930, estos investigadores de la “Bell Telephone System”, en colaboración con la “American Society for Testing and Materials” (ASTM), La “American Standards Association” (ASA) y la “American Society of Mechanical Engineers” (ASME), emprendieron la tarea de divulgar los nuevos métodos estadísticos en Estados Unidos.

- Las bases que actualmente sustentan la estandarización en los procesos industriales para producir partes intercambiables fueron desarrolladas por **Ely Whitney** y otros revolucionarios de los conceptos de Control de Calidad.
- En 1798 a raíz de que **Ely Whitney** gana un contrato con el gobierno de E. U. para la fabricación de mosquetones; él estaba convencido de que podría aplicar los conceptos de estandarización del proceso, fuera de hacer partes intercambiables para mosquetones de un modelo estandarizado.

- Hoy en día los conceptos de control estadístico y de estandarización pueden aplicarse a cualquier proceso especial, pero respaldar todo esto en aquella época era prácticamente imposible¹

Definiciones:

- La calidad de cualquier producto es la interacción entre el producto, el usuario, sus expectativas y el servicio que pueda obtener en el caso de que el producto falle o requiera mantenimiento.²
- La definición estadística de calidad. Como es de esperar, la definición estadística de calidad es un poco más precisa que otras definiciones, como el concepto basado en el cliente, y se basa en matemáticas. Cuando se mide la calidad estadísticamente, se busca una variación en una medida entre lo que el cliente pide y lo que usted produce. Cuanta menos variación tenga, mayor será la calidad de su producto o servicio. Todos los procesos tienen alguna variación natural; utiliza estadísticas para detectar variaciones anormales que podrían provocar que usted produzca un mal producto o servicio. También puedes utilizar estadísticas para evitar probar cada artículo que produzcas. Al probar una muestra de lo que usted fabrica o entrega, puede utilizar estadísticas para medir su calidad y descubrir si cumple con los requisitos del cliente.³
- Control de calidad: el proceso de mantener un nivel aceptable de calidad del producto.⁴
- El control de calidad es la actividad técnica y administrativa mediante la cual se miden las características de calidad de un producto, se comparan con especificaciones o requisitos y se toman acciones correctivas apropiadas cuando existe una discrepancia entre el funcionamiento real y el estándar.⁵
- El control estadístico de procesos CEP se define como la aplicación de los métodos estadísticos a la medición y análisis de la variación en cualquier proceso. Un proceso es una combinación única de máquinas, herramientas, materiales y personas que logran una producción de bienes, software o servicios.⁶

1.2 Costos de Calidad

¿Que son los costos de calidad?

Los costos de calidad en planta y compañías se contabilizan en formas que incluyen dos áreas principales:

- ❑ Costos de control:
 - ❑ Costos de prevención: que evitan que ocurran defectos e inconformidades y que incluyen los gastos de calidad para evitar que surjan productos

¹ Allen Bradley, **DataMyte Handbook**, 1984, p-1-2.

² W.A. Shewhart, **Control económico de la calidad de productos manufacturados**, p.4.

³ Larry Weber, Michael Wallace, **Quality control for Dummies**. P. 10.

⁴ Allen Bradley, **DataMyte Handbook**, 1984, D-17.

⁵ Montgomery Douglas C. **"Control Estadístico De La Calidad"**, Grupo editorial Iberoamérica, p. 2.

⁶ IBIDEM, pp. 1-8.

insatisfactorios en 1er. Lugar incluyen áreas como ingeniería y entrenamiento de calidad para los empleados, los cuales son:

- ☐ Planeación de la calidad
- ☐ Control de procesos
- ☐ Diseño y desarrollo de equipo de información de calidad
- ☐ Entrenamiento sobre calidad y desarrollo de la fuerza laboral
- ☐ Verificación del diseño del producto
- ☐ Desarrollo y administración del sistema
- ☐ Costos de evaluación incluyen los costos de mantener los niveles de calidad de la compañía por medio de evaluaciones formales de la calidad del producto. Tales como inspección, pruebas, investigaciones externas, auditorías de calidad y gastos similares, que son los siguientes:
 - ☐ Inspección y pruebas de materiales comprados
 - ☐ Laboratorio de pruebas de aceptación
 - ☐ Laboratorio de mediciones o de otros servicios inspección
 - ☐ Pruebas
 - ☐ Trabajo de cotejo
 - ☐ Preparación para pruebas e inspección
 - ☐ Material y equipo para pruebas e inspección y equipo de calidad menor
 - ☐ Auditoría de la calidad
 - ☐ Contratos con el exterior
 - ☐ Conservación y calibración del equipo de pruebas de inspección de información de la calidad
 - ☐ Revisión del producto por ingeniería y embarque del mismo
 - ☐ Pruebas de campo.
- ☐ Costos por falla en el control: Los costos por falla en el control, que son causados por los materiales y productos que no satisfacen los requisitos de calidad, se miden también en dos segmentos:
 - ☐ Costos por fallas internas: que incluyen los costos de calidad insatisfactoria dentro de la compañía, tales como. Desechos deterioro y material reabajado; que son:
 - ☐ Desperdicios
 - ☐ Reproceso
 - ☐ Costos por suministro de materiales
 - ☐ Consultas entre ingenieros de la fabrica
 - ☐ Costos por fallas externas: que incluyen los costos de calidad insatisfactoria fuera de la compañía, como fallas en el desempeño del producto y quejas de los clientes:

1.3 Cadena Cliente Proveedor⁸

La cadena cliente - proveedor es la interconexión de personas e instituciones que trabajan para alcanzar un objetivo y poder brindar una buena atención de calidad.

De la misma manera que otros dependen de nosotros para satisfacer sus necesidades, las empresas dependen de que otro se les provea cosas tales como información, capacitación, material y sistemas denominados proveedores internos.

Toda organización humana bajo el modelo de Calidad Total es una cadena de relaciones Cliente– Proveedor, Siendo el cliente/usuario externo el que orienta el sentido de las relaciones internas. Aun cuando la aplicabilidad de la cadena se extiende tanto a los clientes/usuarios externos como a los internos. La relación cliente-proveedor es un proceso racional que, siguiendo un método sistemático, conduce a los miembros de dos unidades funcionales a ponerse de acuerdo de manera formal:

Sobre los resultados (calidad, costo y plazo) a satisfacer dentro de la definición de necesidades del cliente/usuario.

Sobre las acciones a desarrollar en común para mejorar de forma continua la calidad de los procesos, productos y/o servicios intercambiados.

La estructura interna de la cadena cliente-proveedor se fundamenta en:

- **La confianza:** Capacidad de mantener los compromisos recíprocos respecto a los acuerdos y, repartición equitativa de los beneficios debidos a las mejoras de la productividad.
- **La paridad:** tener en cuenta el punto de vista de cada uno.
- **La concertación:** evaluación periódica de resultados, soluciones de dificultades y arreglo de litigios.
- **La comunicación:** intercambio de todas las informaciones útiles y adhesión de todos los empleados.
- **La sinergia:** adicionar las energías individuales que permitan al grupo: optimizar recursos, transferir tecnologías y experiencias.
- **Los desafíos:** la estructura y funcionamiento de las partes debe ser tal que facilite los procesos de:

⁷ D. C. Montgomery. **Control estadístico de la calidad**. Grupo editorial Iberoamérica P.4-8

⁸ Guillermo F. Neria Duran; **Control estadístico de la calidad**, <http://guillermoneria-controlestadistico.weebly.com/unidad-iv-plan-de-muestreo-de-aceptacion.html>.

Innovación: asociación para la definición, la concepción y la realización de un proceso, producto y/o servicio.

Calidad: orientada esencialmente hacia la supresión de controles de recepción/subcontratación de recursos (calidad concertada).

Gestión de inventarios: persecución de la eliminación de inventarios intermedios y la flexibilidad (JIT).

Información: reducción de plazos y optimización de equipos.

1.4 Recolección de datos

Comprender el verdadero estado de la calidad esto es, la determinación de los hechos- depende de la recolección de datos, de la observación y el escuchar detenidamente. Los datos actuales se juntan y analizan para establecer una base de información para la identificación del problema y generación de ideas. Muchos aspectos del sistema de información de la calidad – **incluyendo graficas de control, estudios de capacidad de los procesos, análisis de quejas de clientes y reclamaciones en garantía** – contribuyen a comprender el estado de calidad dentro de una organización.

1. ¿Por qué se toman datos?

Por ejemplo, cuándo usted va al sastre para hacerse un traje, lo primero que hace este es tomar algunas medidas, va al médico porque está enfermo y lo primero que hace este es efectuar algunas mediciones, para elaborar un diagnóstico. Los objetivos de realizar mediciones de estos dos casos diferentes representan los dos objetivos generales de hacer mediciones que consideran en nuestra explicación futura, estos son:

- **Obtener información cuantitativa**
- **Obtener una explicación causal de fenómenos observados.**

Las medidas para alcanzar el primer objetivo entran dentro de nuestra vida cotidiana porque todo lo compramos o vendemos por metros, kilos o cualquier otra unidad de medida cuantitativa. Estas medidas también desempeñan un papel importante en el trabajo científico. De hecho, hubo un tiempo no demasiado lejano en que se creía que las medidas físicas eran fundamentalmente de esta clase; como, por ejemplo, las llamadas constantes físicas como la carga del electrón, el coeficiente de dilatación de un material, etc. Naturalmente, las medidas para obtener información cuantitativa desempeñan un papel importante en la industria, especialmente en la inspección de la calidad de productos, donde es necesario disponer de información cuantitativa que desempeñan un papel importante en la industria, esencialmente en la inspección de la calidad de los productos, donde es necesario disponer de información cuantitativa que indique exactamente cuál es la calidad para un periodo dado. El segundo objetivo de tomar datos tiene, quizá, más importancia que el primero en el campo de la investigación y el desarrollo, porque aquí buscamos principios físicos que expliquen un fenómeno observado, para poder predecir el futuro en función del pasado. En el control de la calidad de productos manufacturados, una cosa es medir la calidad para ver si satisfacen o no determinados estándares, y otra cosa bastante diferente utilizar estas medidas para predecir y controlar la calidad en el futuro.

Se tendrá la ocasión de hacer hincapié en cuatro clases de interpretaciones causales, de las que son ejemplos típicos:

1) Observemos diferencias entre las calidades de varios entes de la misma clase, como manzanas de un árbol, producidas, hasta el momento que sepamos, en las mismas condiciones esenciales. La pregunta importante que haremos es: ¿Estas diferencias se deben al azar?

2) Si en un caso dado se ha llegado a la conclusión de que las diferencias en las calidades de un grupo de cosas son debidas al azar, querremos averiguar la distribución de las calidades que

podríamos esperar obtener a la larga. En los términos de nuestro sencillo ejemplo, queremos averiguar la distribución del tamaño de las manzanas que podemos esperar en las mismas condiciones esenciales a lo largo de un prolongado período de tiempo. El estudio de este problema implica el uso de alguna especie de imagen mental de la forma en que ciertas clases de sistemas de causas de azar actúan en la naturaleza.

3) Se puede haber tomado dos series de observaciones de determinada característica de la calidad en lo que pueden haber sido o no las mismas condiciones esenciales. Del análisis de los datos se nos puede pedir que determinemos si las condiciones eran esencialmente las mismas. Utilizando otra vez el ejemplo del manzano, podemos imaginarnos dos árboles de la misma clase tratados con fertilizantes diferentes. La pregunta que hay que considerar es: ¿Las diferencias en las características de la calidad de las manzanas de un árbol y las de las manzanas del otro indican que los fertilizantes ejercieron una influencia predominante?

4) Se toman conjuntos de observaciones de “m” características de la calidad de varios entes de la misma clase, y de aquéllos que se trata de determinar si existe o no alguna relación subyacente causal entre las características. Por ejemplo, se podría tratar de averiguar si el tamaño de una manzana está relacionado con su acidez.

- 2. El problema de la presentación:** Partiendo de los datos brutos, el problema de su presentación depende de la forma en que se vayan a utilizar los datos, o en otras palabras, la clase de información que se supone que darán. Por ejemplo, las medidas que toma el sastre para el traje se deben presentar prácticamente en la forma detallada en que se tomaron.

En general, sin embargo, ni es factible ni deseable, por alguna razón u otra, presentar los datos brutos con tanto detalle, como los mostrados en la Tabla 1:

Tabla 1: La calidad como relación

[illegible]

Tal presentación suele requerir mucho espacio. Además, en esta forma los datos no proporcionan la información cuantitativa que normalmente se desea, y no son interpretables directamente con respecto a las relaciones causales. El problema de la presentación implica el uso de métodos de análisis diseñados para extraer de los datos brutos toda la información esencial allí contenida y que responda a las preguntas que se puedan plantear para alcanzar el objetivo para el que se tomaron los datos.

Se examinará brevemente los métodos para presentar estos datos, en forma tabular y en forma gráfica, que sirven de ayuda para obtener la información presente en la serie original de observaciones. Veremos, sin embargo, que los resultados así obtenidos son cualitativos en su mayor parte, y por esta razón no sirven eficazmente para comparar conjuntos de datos. Para obtener la reducción cuantitativa de los datos, tenemos que introducir, por tanto, métodos para resumir series de valores de una característica de calidad dada por medio de unas pocas funciones simples que expresen cuantitativamente cosas como la tendencia central, la dispersión y la asimetría de la distribución de frecuencias observada de la característica de calidad. En particular, se necesitan medidas cuantitativas de la relación entre características de calidad.

Se verá que hay muchas maneras de llevar a cabo los detalles de dichos análisis, y que hay muchas funciones que miden características tales como la tendencia central, la dispersión y la

asimetría, algunas de las cuales son mucho más eficaces que otras para dar la información esencial.

3. Definición de información esencial: se toman datos para contestar preguntas concretas.

Se dirá que un conjunto de estadísticos para un conjunto dado de datos contiene la información esencial dada por esos datos cuando, por medio del uso de estos estadísticos, se pueda contestar dichas preguntas de tal modo que el análisis posterior de los datos no modifique prácticamente nuestras respuestas.

4. Descripción del problema general: Los datos brutos con los que tenemos que tratar normalmente están dados en una de las formas siguientes. Podemos tener una serie de n observaciones de la calidad de una única cosa, como n observaciones de la longitud de una varilla, la resistencia de un relé o la capacidad de un condensador; o podemos tener una serie de n observaciones que representan las observaciones unitarias de determinada característica de la calidad de n objetos diferentes, como las 1.370 observaciones del grosor de la albura dadas antes en la tabla 1.

En un caso se tiene n valores

$$X_1, X_2, \dots, X_I, \dots, X_N \quad (1)$$

que representan trayectorias medidas de la característica de un objeto, y en el otro caso se tienen n valores que representan la medida de la misma característica para cada uno de los n objetos.

De manera similar, se puede tener una serie de n valores observados sucesivamente de un grupo de m características de calidad de un solo objeto, o los valores observados de, por ejemplo, m características de cada uno de los n objetos. En ambos casos se tiene una serie de observaciones como:

[illegible]

Naturalmente, siempre tenemos determinado propósito cuando acumulamos estas series de datos, y el objetivo de las representaciones tabular y gráfica es ayudar en la interpretación de los datos brutos, en función del objetivo para el que se tomaron. Como ya se ha indicado, las distribuciones de los valores del grosor de la albura y de la penetración tal como aparecen en la

tabla 1 ilustran la primera forma (1) en que pueden aparecer los datos brutos. De manera similar, las dos distribuciones tomadas juntas ilustran la segunda forma (2). Más adelante tendremos ocasión de utilizar algunas concepciones geométricas sencillas en el estudio de las maneras de presentar datos. Por tanto, será conveniente que tengamos presente algunos de los problemas implicados en el análisis de datos, tanto desde el punto de vista de la presentación de hechos como del de la interpretación causal definida en función de estas concepciones geométricas. Por ejemplo, el problema de presentar una serie, como (2), de m características de cada uno de los n objetos puede considerarse como el de colocar un conjunto de n puntos en un espacio de m dimensiones con referencia a determinadas líneas, planos o hipersuperficies. Un ejemplo sencillo es el dado anteriormente en la figura 14, donde podemos pensar que los puntos están situados con respecto a los ejes coordenados en un caso y, con respecto a las líneas o a los planos de regresión en el otro. Hay muchas maneras en que podemos exponer este problema. Por ejemplo, en el caso de dos variables X e Y , es posible buscar una función $f(X, Y)$ tal que $f(X, Y)dXdY$ nos diga aproximadamente cuántos valores observados caen dentro del elemento de área $(X, X + dX; Y, Y + dY)$. Dicha función nos daría aproximadamente la densidad en el plano de los puntos observados. A veces, sin embargo, es más conveniente disponer de alguna medida de la concentración de los puntos alrededor de la curva $Y = f(X)$. Quizá sea suficiente con saber que aproximadamente determinado porcentaje de puntos caen dentro de cierta banda $f(X) + \epsilon$, como muestra la figura 1.

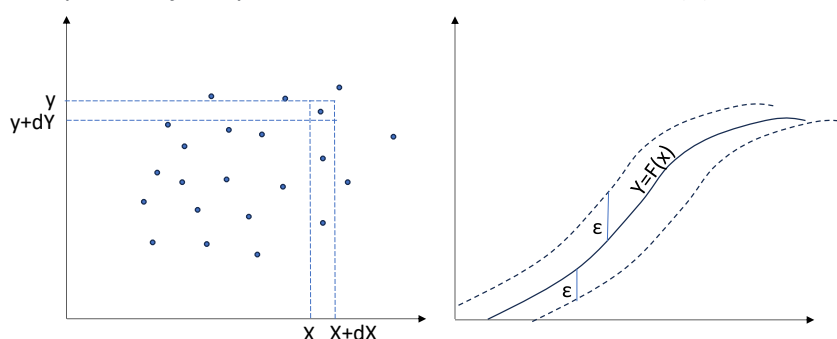


Figura 1: Dos métodos que representan los datos

Quizá sea interesante señalar cómo algunos de los problemas de la interpretación causal mencionados al principio de este capítulo se pueden expresar en función de determinadas representaciones geométricas de los datos. Así, si representamos una serie de a medidas de cierta característica de calidad por puntos a lo largo de una recta, nos interesará saber si el espaciado particular de los puntos indica que las causas de variación entre los valores observados son tales que se deben al azar o no (Fig. 2.a). Suponiendo que hayamos decidido que las causas de variación se deben al azar, nos interesará averiguar la distribución esperada de la variable si se deja que estas mismas causas operen durante un período indefinido de tiempo. En otras palabras, buscamos el universo de efectos para un sistema de causas dado (Fig. 2.b.). Es obvio que a los

demás problemas de la interpretación causal también se les puede dar una significación geométrica.⁹

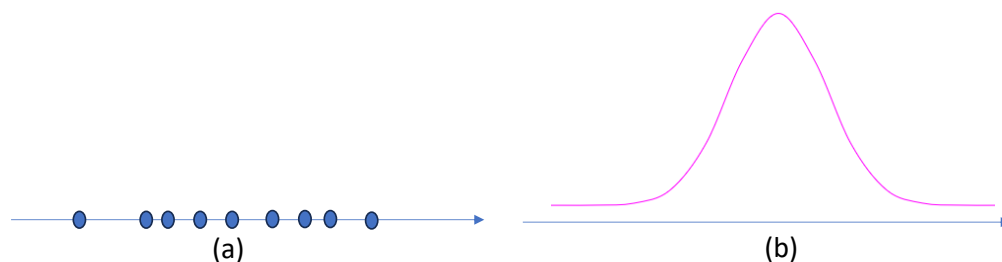


Figura 2. Relación esquemática entre muestra y universo

1.5 Herramientas administrativas

La necesidad de identificar y resolver problemas relacionados con la calidad de los productos y servicios de manera eficiente es esencial para cualquier organización que esté interesada en la mejora de sus procesos productivos. Con las siete herramientas básicas de calidad se puede administrar fácilmente la calidad del proceso o del producto. Las cuales se originaron por el profesor japonés de ingeniería Kaoru Ishikawa. Estas fueron implementadas en los programas de capacitación industrial de Japón durante el periodo después de la segunda guerra mundial, cuando el país recurrió al control estadístico de la calidad. Su principal objetivo era implementar herramientas básicas y fáciles de utilizar por los trabajadores de diversos orígenes y con distintos conjuntos de habilidades y conocimientos que se puedan implementar. Estas siete herramientas son: Hasta el día de hoy estas herramientas de administración de calidad siguen siendo consideradas para la solución de una variedad de diversos problemas. Estas se implementan dentro de la metodologías de mejora de procesos de la actualidad, como **Seis sigma, TQM y procesos de mejora continua y Manufactura Lean**.

1.5.1 Diagrama de afinidad: Desarrollado y utilizado por primera vez en la década de 1960 por Jiro Kawakita, el diagrama de afinidad es el producto de las actividades de lluvia de ideas y consenso de un equipo. Este proceso creativo Reúne grandes cantidades de datos (ideas, problemas, opiniones, hechos, etc.) y organiza en agrupaciones lógicas basadas en las relaciones naturales entre elementos.

Aplicaciones típicas:

- Ordenar por afinidad un gran volumen de datos.
- Identificar ideas claves para la mejora de procesos.
- Impulsar la creatividad y los avances.
- Determinar los requisitos para los planos de acción.
- Señalar posibles soluciones a los problemas.
- Identificar patrones entre factores aparentemente no relacionado.

Fase de resolución de problemas:

⁹ W.A. Shewhart, **Control económico de la calidad de productos manufacturados**, Editorial Diaz de Santos. España. p.51-56.

- Seleccionar y definir problema u oportunidad
- Identificar y analizar causas o cambios potenciales.
- Desarrollar y planificar posibles soluciones o cambios. Implementar y evaluar una solución o cambio. Mida e informe la solución o cambio los resultados, Reconocer y recompensar los esfuerzos del equipo.

normalmente esta herramienta es utilizada por Investigación/estadísticas

1 Creatividad/innovación, Ingeniería Gestión de proyectos, fabricación, marketing de ventas, Administración/documentación.

3 Servicio/soporte, Métricas de calidad/cliente.

2 Gestión del cambio

Sugerencias:

- 1.Utilice notas adhesivas para enumerar todas las ideas generadas (de la tormenta de ideas).
2. Haga que los participantes (entre 6 y 8) los clasifiquen en grupos por afinidad y agreguen títulos.

Repita las ideas según sea necesario.

3. Capture el diagrama de afinidad resultante en la hoja.¹⁰

Ejemplo:

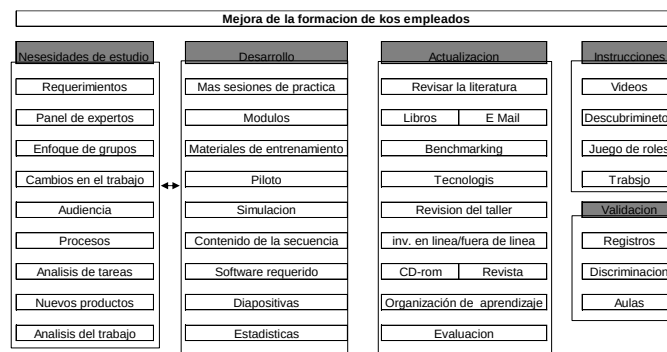


Figura 3: Ejemplo del diagrama de afinidad

1.5.2 Diagrama de relaciones: este diagrama es un esquema que muestra los vínculos causales entre los elementos de un sistema para analizar problemas complejos. O bien muestra un conjunto de partes interrelacionadas.

Como se muestra en la figura siguiente.¹¹

¹⁰ Six sigma Tool Navigator, W. J. Michalski, D. G. King, Productivity Press. 2003, p.21.

¹¹ IBIDEM, p.21.

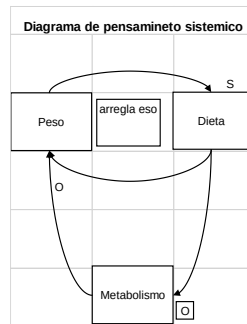


Figura 3. Diagrama de relaciones

1.5.3 Diagrama de árbol: Un diagrama de árbol dibuja sistemáticamente el detalle de las actividades más pequeñas necesarias para completar un proyecto o alcanzar una meta principal. Esta herramienta ayuda a romper la complejidad identificando lógicamente niveles inferiores de tareas o elementos. Como herramienta de planificación, Refleja todas las actividades necesarias y los medios de apoyo para implementar con éxito.

Aplicaciones típicas:

- Para ramificar o descender lógicamente niveles de detalle de proyectos, problemas o objetivos primarios.

Dividir actividades u objetivos grandes en tareas más pequeñas y específicas.¹²

Ejemplo:

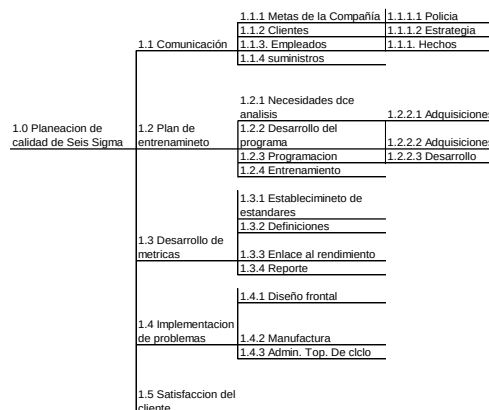


Figura 4. Planeación preliminar para la calidad seis sigma

1.5.4 Diagrama Matricial: este es una Herramienta de planificación y administración de proyectos que se usa para mostrar gráficamente las relaciones existentes complejas, y así analizar las interrelaciones entre distintos conjuntos de datos de un proyecto. O bien es una herramienta de planeación que despliega dos o más conjuntos de características, ideas, funciones, o entradas. Y compara los resultados de los elementos o interacciones de causa y efecto que son

¹² Six sigma Tool Navigator, W. J. Michalski, D. G. King, Productivity Press. 2003, p.553.

útiles e importantes en el análisis de problemas, o de oportunidades o de los requisitos de un tarea.

Usos típicos:

- Asignar responsabilidades por las ideas de acción.
- Identificar oportunidades de mejora.
- Buscar e identificar posibles causas del problema.
- Puede comparar las fortalezas de las distintas opciones.

Para hacer coincidir funciones con necesidades de recursos.¹³

Ejemplo en la figura 5:

	QFD	SPC	JIT	CTM	BPR	CSA	Suministros	DOE	IPD	Métricas
Investigación	○	○				○			△	
Planeación	⊗			○	⊗					△
Finanzas							△	○		⊗
Adim. proyectos		△	△							
Administración					⊗		△			⊗
Ingeniería	○	○	△	△	⊗		△			⊗
Manufactura		⊗				△			○	○
Calidad	⊗	⊗				⊗			△	⊗
Marketing	○		△			⊗	⊗	⊗	△	○
Ventas/servicio	○	△	△	△		⊗	⊗	⊗	△	○

Figura 5: Herramientas de mejora por aplicación y función

⊗	Alto	○	Medio	△	Bajo
---	------	---	-------	---	------

1.5.5 Diagrama de flujo: es un diagrama descriptivo de un proceso, o de un sistema o de un algoritmo matemático, que se usa en distintas áreas del conocimiento, los diagramas de flujo emplean rectángulos, óvalos, diamantes, y otras figuras para definir el tipo de paso, junto con flechas conectoras que determinan el flujo y la secuencia de las actividades. Estos fueron desarrollados por Frank y Lillian Gilberth en la década de los 20's, que presentaron el diagrama de flujo de procesos en la asociación americana de ingenieros mecánicos (ASME), y de ahí hay múltiples derivaciones que se dan por las distintas aplicaciones que se pueden efectuar con los diagramas.

Aplicaciones prácticas:

- Estandarizar un proceso para eficientizarlo.
- Documentar un proceso productivo y/o administrativo e informático
- Identificar cuellos de botella.
- planificar requisitos académicos y actividades del curso(s).
- Organizar proyectos individuales o grupales.
- Trazar el flujo de un proceso de encuesta.
- Difundir políticas de comunicación.

¹³ Six sigma Tool Navigator, W. J. Michalski, D. G. King, Productivity Press. 2003, p.290.

-

Ejemplo del diagrama de flujo: (Qi-Macros):

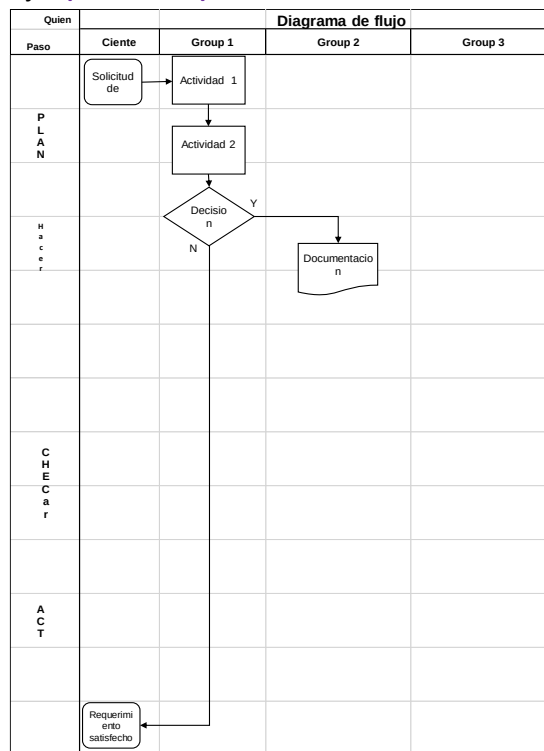


Figura 6: Diagrama de flujo de solicitud de cliente

1.5.6 Tormenta de ideas

Lluvia de ideas también conocido como Lluvia de ideas de Osborne, Lluvia de ideas de forma libre o generación de ideas: descripción de la herramienta La lluvia de ideas es una herramienta de generación de ideas ampliamente utilizada por los equipos para identificar problemas, soluciones alternativas a problemas u oportunidades de mejora.

Esta herramienta se originó en 1941 por Alex F. Osborne, cuando su búsqueda de ideas creativas resultó en un proceso grupal no estructurado de "lluvia de ideas" interactiva que generó más y mejores ideas de las que los individuos podían producir trabajando de forma independiente.

Aplicación típica:

- Desbloquear la creatividad en equipos.
- Es capaz de generar una gran lista de ideas para la solución de problemas o una lista de áreas que tiene problemas para tomar más fácilmente decisiones planificadas.
- Desarrollar soluciones alternativas creativas a los problemas encontrados mediante la clasificación de estos.
- Identificar oportunidades de mejora, para cualquier área de la organización tanto de manufactura como de servicios.

- Iniciar la innovación en procesos, productos y servicios a través de la participación del equipo.¹⁴

Ejemplo de aplicación (mejora de la calidad), ver tabla 1:

Tabla 1: Ejemplo de lluvia de ideas de mejora de la calidad

Rotafolio 1	Rotafolio 2
Sesión 8/19/2023	Sesión 8/19/2023
tópico: Mejora de la calidad	-Falta de herramientas adecuadas
-Más entrenamiento	-Baja satisfacción laboral
-Fechas de entrega cortas	-Especificaciones poco claras
-Inexperiencia	-Falta de instrucciones
-Sin comunicación	-Baja moral, motivación
-Información faltante	-Falta de métricas
-¿Qué es un defecto?	-Involucrar a los clientes
-Cambios constantes	-Trabajo estresante
-No hay inspecciones	-Problemas de equipo
-Demasiado trabajo	-Falta de datos
-Muchas interrupciones	-Necesita equipos de resolución de problemas
-Conflicto grupal	-No hay procedimientos
-Pruebas incorrectas	-fin de ideas

1.5.7 Poque-porque:

5 W (5 porques-1 como) H (como): es un método que sirve para guiar a las personas a pensar en las causas raíz de un problema, y evita que un equipo esté satisfecho con soluciones superficiales que no solucionará el problema a largo plazo.

Como usar los 5 porqués:

1. Seleccione cualquier causa (de un diagrama de causa y efecto, o una barra alta en una tabla de Pareto). Asegúrese de que todos tengan una posición común de lo que eso significa. ("Por qué 1").
2. Pregunte "¿Por qué ocurre este resultado? (Por qué 2).
3. Seleccione una de las razones del Por qué 2 y pregunte "¿por qué sucede eso?". (por qué 3) .
4. Continúe de esta manera hasta que sienta que ha alcanzado una causa de raíz potencial.¹⁵

Ejemplo de aplicación de los 5 porques se muestra en la figura 6.

¹⁴ Six sigma Tool Navigator, **W. J. Michalski, D. G. King**, Productivity Press. 2003, p.53-55.

¹⁵ Tool Book, M. George, D. Rowlands, M. Price, J. Maxey, **Lean Six Sigma Pocket**, Mc Graw Hill, 2005, E.U.A. p.145.

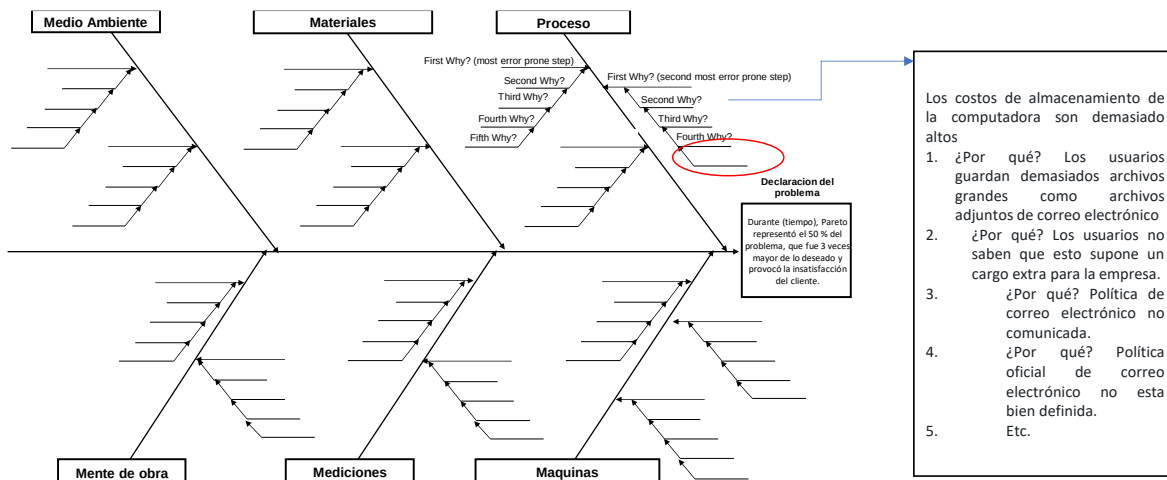


Figura 6: 5 porqués a través de un diagrama de Ishikawa

1.5.8, Como-Como

Esta herramienta constituye un complemento del por qué-por qué, dado que se combina con éste para encontrar solución a las causas previamente identificadas, ¿a través de preguntar 5 veces por qué? ¿Y después de preguntar Como?, este como da o termina por corregir el problema que se encontró de raíz.

- Método para incitar a la gente a pensar en las causas fundamentales
- Evita que un equipo esté satisfecho con soluciones superficiales que no solucionarán el problema a largo plazo.

Para utilizar los 5 porqués...

1. Seleccione cualquier causa (de un diagrama de causa y efecto o de una barra alta en un diagrama de Pareto). Asegúrese de que todos tengan un entendimiento común de lo que significa esa causa. ("Por qué 1).
2. Pregunte ¿por qué ocurre este resultado? (Por qué 2)
3. Seleccione una de las razones del Por qué 2 y pregunte "¿por qué ocurre eso?". (Por qué 3)
4. Continúe de esta manera hasta que sienta que ha alcanzado un nivel potencial. causa raíz inicial.

Consejos

- No hay nada sagrado sobre el número 5. A veces puedes llegar a la causa raíz después de dos o tres porqués, a veces puedes tener que bajar más de cinco capas.
- Deténgase cuando haya llegado a una causa potencial sobre la cual el equipo pueda actuar.

Ejemplo:

(1)¿Por qué? nos retrasamos en la entrega?"...

(2) ¿Por qué? Se atasca la fotocopidora...

(3)¿Por qué se atasca la fotocopidora?"... Debido a la alta humedad en la sala de la fotocopidora...

(4)¿Por qué la alta humedad causa atascos?"

(5)¿Porque el papel absorbe la humedad y se pega? Si no puede hacer nada con el papel que absorbe humedad, vuelva a resolver el problema de la alta humedad en la sala de la fotocopidora.

Como ¿Qué podemos hacer para controlar o reducir la humedad en la sala de la fotocopidora?¹⁶

1.5.9: 5 Porques, 1 Como

El 5W1H es un planteamiento de preguntas y un método de resolución de problemas que pretende ver las ideas desde varias perspectivas con el objetivo de comprender en profundidad una situación concreta. Se suele utilizar como un método de mejora continua de los procesos y se consigue respondiendo a todos los elementos básicos de un problema: qué, quién, dónde, cuándo, por qué y cómo.

El 5W1H, también conocido como el método Kipling, es un conjunto de preguntas utilizadas por Rudyard Kipling para responder ampliamente a las preguntas existentes y desencadenar ideas que podrían contribuir a la resolución de un problema. Con el tiempo, el concepto se incorporó a las prácticas empresariales para eliminar errores, aumentar la eficiencia y agilizar los procesos.

¿Qué son las preguntas 5W y 1H?

Los elementos incluidos en el método 5W1H permiten un análisis exhaustivo de la situación presentada y permiten detectar oportunidades de mejora. Responder a las preguntas de las 5W y la 1H, y ser lo más detallado posible, ayuda a identificar posibles soluciones que podrían aplicarse y observar su eficacia.

Este enfoque se basa en responder las preguntas de quién, qué, dónde, cuándo, por qué y cómo. Al plantear preguntas de primer inventario 4 y 5 paso, se busca obtener información clave para el desarrollo y éxito de un proyecto. Estas preguntas, como “¿Quiénes serán los responsables de ejecutar el proyecto?” y “¿Cómo se llevará a cabo la implementación?”, permiten identificar los recursos humanos necesarios, las tareas específicas a realizar, los plazos y los métodos de ejecución.

Pueden colocarse en diferente orden, pero debe asegurarse de que se incluyan las siguientes preguntas de 5W y 1H:

1) QUE instrumento?: El elemento “*qué*” debe describir claramente la situación, el problema específico o explicar básicamente el propósito del uso del método. Si es posible, también debería indicar el objetivo general de aplicación de la solución que se identifique.

2) QUIEN Persona(s): se refiere a las personas o grupos específicos relevantes para el tema o la situación. Debe incluir a la persona que descubrió el problema, a la que posiblemente pueda resolverlo y a la que será responsable de aplicar la posible solución.

¹⁶ M.I.George, D.Rowlands. M. Price. J. Maxey. **The Lean Six Sigma Pocket Tool Book**. Mc Graw Hill. 2005. Pp: 145.

3) DONDE (Lugar): El elemento *where* debe contener la ubicación o posición exacta del asunto reconocido. Puede ser un lugar, una instalación o incluso un proceso determinado en el que se vaya a aplicar la solución.

4) CUANDO (fecha): *El momento* debe incluir todos los componentes de la situación relativos a todo lo relacionado con las fechas. Debe indicar el calendario, el plazo, la duración o cualquier otro detalle que pueda ayudar a la resolución del problema.

5) PORQUE (Pregunta): Aunque cada uno de ellos es vital para lograr un enfoque eficaz de las preguntas, el *porqué* es probablemente uno de los elementos más importantes del método 5W1H. Explica en detalle la razón y los objetivos que hay detrás de la necesidad de actuar o por qué hay que hacer el método 5W1H en primer lugar. Esta última *W* también suele preguntarse cinco veces para descubrir la raíz de la situación y evitar que se repita. Este enfoque se denomina análisis de [los 5 porqués](#).

6) COMO (método): El *cómo*, como último elemento del método, especifica los pasos sobre cómo debe llevarse a cabo el/los plan/es identificado/s. También debe incluir todos los recursos, las herramientas, los métodos, los medios e incluso los gastos necesarios para que el esfuerzo sea eficaz.

En resumen, formular estas preguntas permite a los que van a utilizar el método 5W1H llegar al fondo de las cosas, estructurando sistemáticamente los pensamientos y destacando la información importante. En consecuencia, esto puede ayudar a reconocer los problemas potenciales y las posibles soluciones relacionadas con el escenario.¹⁷

¹⁷ SafetyCulture: <https://safetyculture.com/es/temas/5w1h/>

1.6 Herramientas estadísticas

La forma en que se analizan los datos depende del tipo de datos: por atributos y por variables y el propósito para recolectarlos. También existen varias formas de analizar datos para cualquier propósito. Es posible utilizar uno o todos los métodos:

1. Hojas de verificación
2. Diagrama de Pareto
3. Diagrama causa-efecto
4. Histograma
5. Diagrama de dispersión
6. Estratificación

1.6.1 Hojas de verificación

Las hojas de verificación son la forma más fácil y flexible de registrar datos. Una hoja de control bien diseñada mejora todo como un estudio.

1. En primer lugar, su diseño permite al auditor recopilar datos de manera eficiente. En la hoja se coloca información esencial como la identificación del estudio, fecha, turno y nombre del auditor. Si se requiere una ruta para recolectar los datos, se incluye una descripción de esta. Cada estación de recolección de datos está etiquetada por el:
 - a) tipo de medición,
 - b) el número de dígitos significativos,
 - c) la medición que se utilizará,
 - d) la frecuencia de la medición y,
 - e) posiblemente, el especificaciones altas y bajas.

Debe haber espacio en la hoja para registrar todos los datos e incluir notas sobre las condiciones cuando sea necesario. Un dibujo de piezas con puntos de medición claramente marcados también puede mejorar la hoja de verificación como herramienta eficaz de registro de datos.¹⁸

2. En segundo lugar, una hoja de verificación debe proporcionar algún método de análisis sobre el tema en cuestión para ayudar a minimizar el error de la medición; el auditor debe poder verificar que los datos que se recopilan son razonables. Esto no quiere decir que el auditor deba hacer juicios precipitados sobre si los datos indican un problema. Pero en el caso de mediciones críticas, donde no se pueden tolerar piezas fuera de las especificaciones, el auditor debería poder reconocer y marcar los datos de las piezas fuera de las especificaciones, o proceder de acuerdo con sus responsabilidades y obligaciones, y/o lo que marque su manual de aseguramiento de la calidad.
3. En tercer lugar, la hoja de verificación debería mejorar el análisis. La hoja debe diseñarse para minimizar los errores de transcripción. Estos errores ocurren con más

¹⁸ DataMate Handbook, Allen Bradley, 5ª Edición, 1984, EUA, pp: 2-19.

frecuencia al copiar o leer datos a lo largo de una línea horizontal que a lo largo de una columna vertical, por lo que las columnas deben usarse para registrar grupos de datos similares. Algunas hojas, especialmente las que se utilizan para marcar la frecuencia de ocurrencia, invitan al análisis directamente en la hoja al adoptar la apariencia de un histograma. Si se realizarán cálculos manuales después de recopilar los datos, proporcione el espacio y los parámetros para ello en el reverso de la hoja de verificación. De esta manera, la hoja se convierte en un registro completo del estudio. Si es necesario transferir los datos a una computadora, entonces la hoja debe permitir una fácil transcripción. En algunas situaciones, donde se analiza la desviación del nominal, o donde solo los dos últimos dígitos son significativos, la hoja de verificación podría usarse para registrar solo el número de desviación o los dos últimos dígitos significativos. El ordenador puede aportar el resto.

Las hojas de verificación tienen muchos usos, incluido proporcionar información para configurar una pieza de maquinaria complicada, probar todas las funciones de un producto y verificar que todas las piezas correctas estén en un contenedor de envío. Las siguientes párrafos analizan diferentes métodos disponibles para diseñar variables y hojas de verificación de atributos y Hojas de verificación para datos de variables.

Los datos de las variables se pueden registrar de dos maneras. Una forma es en columnas ordenadas por ruta y tipo de medición. Ver Figura 7. Esto permite realizar cálculos manuales o transcribirlos para su procesamiento por ordenador.

PRODUCTO: _____
 ETAPA: _____
 LOTE NO.: _____
 ESPECIFICACION: _____
 Auditor: _____
 FECHA: _____

	Válvula	Longitud del tallo	Longitud del diámetro
	1.233	4.003	0.191
	1.215	4.063	0.190
	1.231	4.051	0.193
	1.232	4.048	0.189
	1.230	4.055	0.187
Promedio	1.228	4.044	0.190
Rango	0.018	0.06	0.006

	Válvula	Longitud del tallo	Longitud del diámetro
	1.231	4.001	0.192
	1.235	4.050	1.191
	1.228	4.032	0.189
	1.234	4.053	0.190
	1.229	4.044	0.192
Promedio	1.231	4.036	0.191
Rango	0.007	0.052	0.003

Figura 7: Hoja de chequeo para datos por variables

Otra forma es utilizar una hoja de verificación para cada tipo de medición y etiquetar las columnas según las graduaciones de la escala de medición, como se muestra en la Figura 8. Esto le permite simplemente marcar la hoja donde cae cada medida. El resultado será un histograma. Un inconveniente de la hoja de verificación de histograma es que los datos se clasifican y su resolución está limitada por el número de columnas de la hoja.

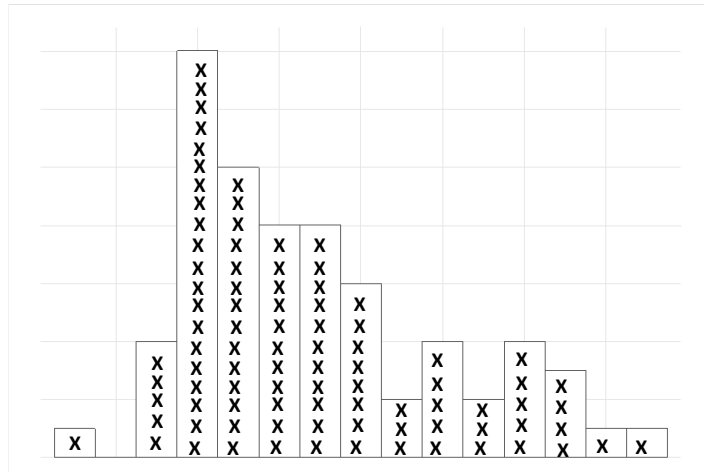


Figura 8. Hoja de chequeo para variables en la forma de histograma.

Hojas de verificación para datos de atributos Hay tres tipos básicos de hojas de verificación para datos de atributos (Ishikawa, 1976).

1º. Los defectos por artículo. Consulte la Figura 9. Los tipos de defectos se enumeran en el lado izquierdo y se realizan comprobaciones junto a ellos para cada tipo de defecto encontrado. Luego, los resultados se tabulan a la derecha. Este tipo de hoja se traduce muy fácilmente en un diagrama de Pareto.

El 2º. tipo es el defecto por ubicación. Ver Figura 10. Esta hoja es básicamente un dibujo de piezas con una lista de códigos para diferentes tipos de defectos. Luego, el inspector marca la ubicación en el dibujo con el código del defecto. Este tipo de hoja permite un análisis rápido de problemas en piezas o conjuntos grandes donde la ubicación de un defecto proporciona la clave de la causa de un problema. Puede resultar útil superponer una cuadrícula en el dibujo de las piezas para que la ubicación sea más clara.

Hoja de recuento de defectos		
Parte : OEX250		ESPECIFICACION: 1.62 ± 0.05
Descripción: PISTA DE RODAMINETO		NO DE INSPECCION: 105
Auditor: Amy Noyes		NO. ESP. ABAJO: 5
Fecha: 6/23/89		MO. ESP. ARRIBA: 11
Ruta: 101		NOTAS:
DEFECTO	NUMERO	TOTAL DE DEFECTO
PIEZA FALTANTE	### ### ###//	17
SUJETADOR SUELTO	### ### ### ### ### ###//	33
NO ENCEDE	### ### ### ### ###//	27
REPROCESO	### ### ### ### ### ###//	37
OTRO	### ### ###//	18
	GRAN TOTAL	132
PARTES RECHAZADAS		82

Figura 9. Hoja de chequeo en defectos por artículo

El 3er. tipo de hoja de verificación de defecto por causa. Ver Figura 10. Los defectos se registran contra una cuadrícula que resalta otras variables como la hora del día, el número de máquina y el trabajador. La frecuencia de los defectos atribuibles a estas variables puede comprobarse durante la recopilación de datos. Por diseño, esta hoja es muy similar a algunos gráficos de control. De hecho, esta hoja podría usarse para el control continuo de procesos, así como para la resolución de problemas temporales.

Hoja de analisis por defectos													
Fecha:									Inspector:				
Codigos:													
A= Relieves	B= mal formado		C= demasiado grande			D=Tamaño insuficiente			E=Roto				
		Lunes		Martes		Miercoles		Jueves		Viernes		Sabado	
Maquina	Operador	hoja 1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Fragua 1	Alex	AAB	CCEAA	CAAA	BACC	AAAABB	CCCA	BBAC	CCABB	CCCCBB	CCCA	AACCCC BB	AAAACB
	Harvy	AABD	AABCEE	BBBCCA A	AA	BBDD	AAA	CCCBBC A	BBB	DDDBE	DDE	AAB	BBBA
Fragua 2	Bert	AB	AAA	BBD	E	AAAABB	CCCA	BBAAAA	AAABBB	AAAA	BBAB	CBAD	CBADDE
	Ted	AAE	EED	EEDD	BBA	ACAA	AABB	BBAEE	EEE	DDDEE E	AAAEAA	AAABBB	AAAACB

Figura 10. Hoja de verificación de defecto por causa

1.6.2 Diagrama de Pareto

A fines del siglo XIX, Vilfredo Pareto, un matemático italiano, creó lo que se conoce como la regla 80-20, la cual cambió la forma de pensar sobre la vida y los negocios. Y sentó las bases para TQM y Six Sigma. Pareto observó que el 20% de la población poseía el 80% de la riqueza. El principio de Pareto también sugiere que incluso si la riqueza se redistribuyera por igual entre todos en la sociedad, en muy poco tiempo volvería a la distribución 80-20.

- La regla del 80/20 implica que el 80% del beneficio proviene del 20% de las causas. Del mismo modo, el 20% de un negocio provoca el 80% de los retrasos, defectos y lucro cesante. El objetivo de cualquier negocio es enfocarse en aumentar el 20 % de los clientes y las actividades comerciales que generan ingresos y enfocarse en reducir el 20 % del negocio que genera costos innecesarios. (Qi-macros).

Un diagrama de Pareto es un histograma especializado que se usa para agrupar y organizar los datos recopilados para que se pueda identificar fácilmente las mayores oportunidades de mejora.

Joseph Juran descubrió que la mayoría de las empresas desperdician entre el 25 y el 40 % de su presupuesto para encontrar y solucionar problemas.

Su principal utilidad es mostrar la importancia relativa de cada problema de calidad en un formato visual en forma gráfica, rápido y sencillo. En otras palabras, un diagrama de Pareto le ayuda a encontrar la "fruta madura" por así decirlo, que puede elegir fácilmente para realizar mejoras en su cualquier proceso productivo y de calidad.

Un diagrama de Pareto funciona mostrándole el tamaño relativo o la frecuencia del problema de calidad, lo que le permite centrarse en las cosas que tendrán el mayor impacto si se solucionan. Su valor se basa en la regla 80/20: el 20 por ciento de los insumos de producción causan el 80 por ciento de los problemas de salida de calidad de la producción.

Para crear un diagrama de Pareto, siga estos pasos:

1. Enumere los factores de calidad que le interesan.
2. Mida los factores de calidad utilizando la misma unidad de medida para cada factor (como defectos por 1000 artículos).
3. Ordene los factores de calidad según su medida de menor a mayor y grafique los datos.
4. Trabajar el factor de calidad que mayor impacto tiene en la calidad final del producto.¹⁹

Ejemplo ²⁰Un proyecto que buscaba reducir los retrasos en el envío tomó una muestra de 240 envíos retrasados y registró el motivo del retraso de cada artículo. Además, se registró si los

¹⁹ Quality control for Dummies, L. Weber, M. Wallace, Wiley Publishing, Inc. 2007, Indianapolis EUA. PP:127.

artículos tenían origen en una localidad rural o urbana. Hay dos opciones para registrar estos datos con el fin de construir un diagrama de Pareto, de la siguiente manera:

Opción 1: formato de datos sin procesar (preferido): En este formato **(en Minitab: estadísticas>Herramientas de calidad>Diagrama de Pareto)**, una sola columna contiene todos los resultados, con una fila para cada uno de los elementos retrasados (cuyas primeras siete filas se muestran a continuación, abajo) Para crear un único gráfico de Pareto de los retrasos en el envío, ingrese la columna que contiene los datos sin procesar en defectos o datos de atributos aquí mostrados en la figura 11; y en la figura 12 se muestra el resultado junto con su interpretación:

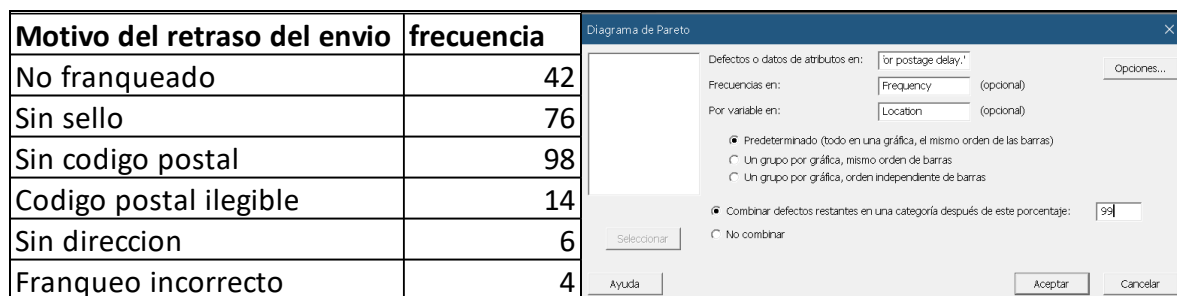


Figura 11: Ejemplo de Pareto creado en Minitab

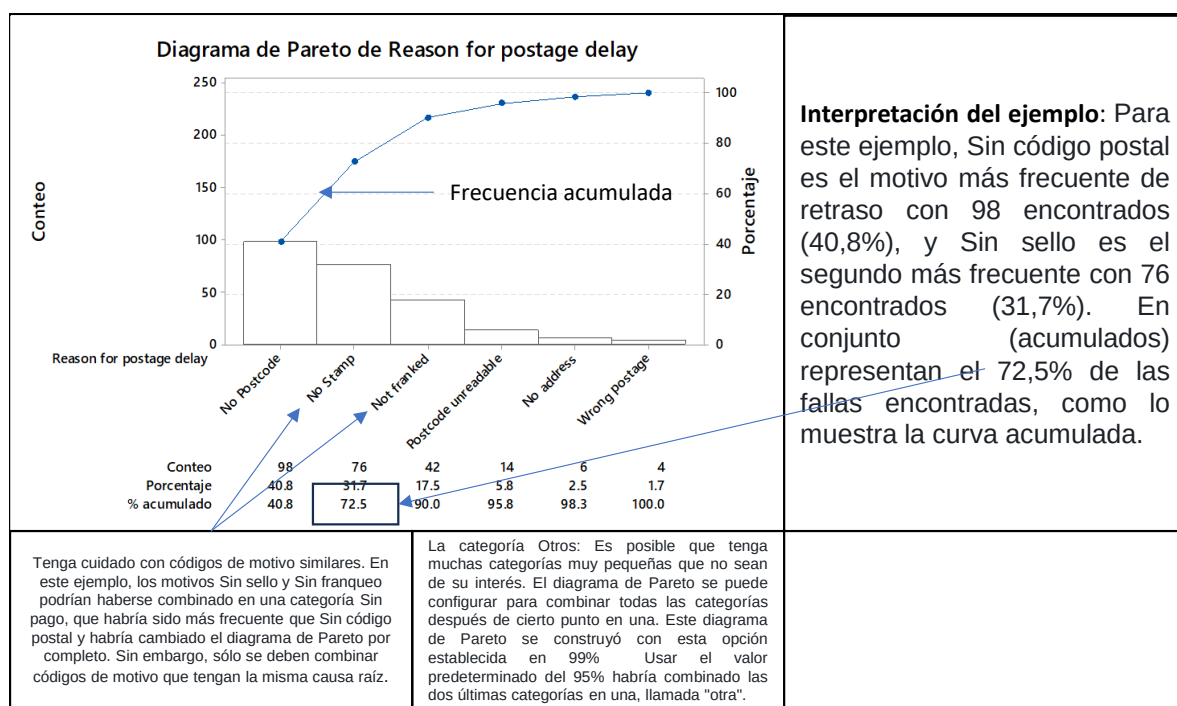


Figura 12. Resultado del ejemplo en Minitab, junto con la interpretación

²⁰ Lean Six Sigma and Minitab, **Quentin Brook, Opex Resources**, 4ª Edición, UK, 2014, pp: 133-135.

1.6.3 Diagrama causa-efecto

Cuando se quiere organizar las salidas de un proceso se puede efectuar a través de un Diagrama de Causa-efecto (diagrama de Ishikawa), se piensa en el grafico normalmente como una ecuación $Y=f(x)$ para medición de la variación con x y " y " para obtener información relevante del problema; La cabeza del pescado es la " Y " del proceso, y cada una de las "costillas" es una " x " y representa una de las principales fuentes de insumos. Este tipo de diagrama es una excelente herramienta para identificar en profundidad todo lo que interviene en un proceso productivo y/o administrativo. Estos diagramas son usados comúnmente durante la tormenta de ideas (Brainstorming), para identificar causas Raíz, ver figura 13²¹.

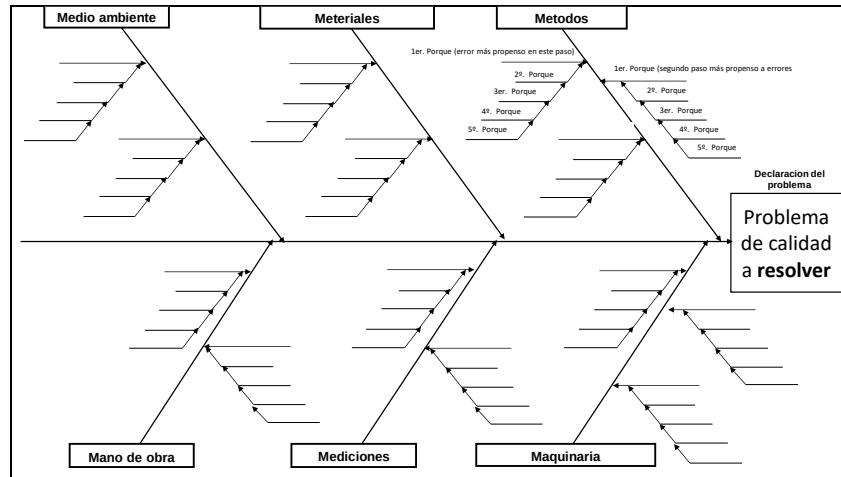


Figura 13: Diagrama de causa-efecto general

Para crear un gráfico de espina de pescado, siga estos pasos:

1. Dibuja una línea horizontal a lo largo de la hoja de papel y dibuja un cuadro en el lado derecho de la línea.
2. Escriba el objetivo del proceso en el "encabezado", como "Dirigir la cocina" (vista general) o "Hacer sopa" (vista del proceso específico).
3. Dibuje seis "espinas de pescado" en ángulo hacia la izquierda: tres líneas en la parte superior y tres en la parte inferior, espaciadas uniformemente. Se llenará este espacio con detalles, así que usa toda la página. Adjuntas una etiqueta a cada una de estas seis espinas de pescado. Los veteranos utilizan las 6 M (hombres, máquinas, materiales, Mediciones, método y Medio ambiente).
4. De cada una de las espinas de pescado, identifique las cosas que el proceso necesita para funcionar correctamente.

Por ejemplo, verá las siguientes espinas de pescado en la Figura 13:

- Hombres: Todo lo relacionado con la mano de obra utilizada en el proceso, como trabajadores calificados o capacitación.
- Máquinas: Todas las herramientas utilizadas en un proceso, como un transportador, un trapeador y un balde, etc.

²¹ Six sigma Tool Navigator, W. J. Michalski, D. G. King, Productivity Press. 2003, p.53-55.

- **Materiales:** Las "cosas" utilizadas en el proceso. Puede identificar un formulario de pedido (en papel o electrónico), un trozo de madera, etc. Generalmente, los trabajadores utilizan varios materiales en un paso del proceso.
- **Dinero:** esto podría incluir dinero del presupuesto, caja chica, capital compras, etcétera. **Método:** Los pasos del proceso que impulsan el proceso. Con suerte, los pasos están claramente documentados y disponibles para todos los que trabajan en los pasos del proceso. También incluye requisitos de seguridad, programación de mano de obra y todas las acciones tomadas para ejecutar esta tarea.
- **Medio ambiente (Madre Naturaleza):** Todos trabajamos en un entorno que directamente impacta el rendimiento. ¿El área de trabajo está bien iluminada, seca y en un lugar cómodo? temperatura agradable? ¿La instalación está en buen estado o desmoronándose? Continúe desglosando cada una de las entradas adjuntas a las espigas de pescado, siempre que la información sea útil. Si una de las espigas de pescado se llena demasiado (lo que se denomina espina de pescado que se convierte en hueso de ballena), divídala como su propio diagrama de espina de pescado. Algunas herramientas de diagramas de flujo, como el software Minitab, Qi-Macros, tienen diagramas de espina de pescado prediseñados para acelerar las cosas y hacer más fácil el trabajo.

1.6.4 Histograma

La recopilación de datos de calidad: Desarrollar gráficos con datos útiles como los cuadros y gráficos son un medio de comunicación muy importante. Se pueden usar para detectar relaciones dentro de los datos de calidad que se recopilan y que pueden no ser obvias. De lo contrario, los gráficos de calidad son útiles para detectar relaciones o patrones en los datos que pueden dar o mostrar una idea de la calidad del proceso de producción. Un patrón puede alertarle sobre un problema con un operador de máquina en particular, del cambio de un material, del desgaste de una herramienta, o de alguna condición que hace que el proceso varíe en su calidad. Por ejemplo, o una reducción en la productividad en un momento determinado del día. Los gráficos brindan una representación visual de los datos para ayudar a ver tendencias, valores atípicos y frecuencia, forma, promedio, dispersión u alguna otra medida de la distribución. Se Tienen varios tipos diferentes de gráficos al alcance para ayudar a gestionar el proceso de calidad.²²

Histogramas. Un histograma es un gráfico de uso común para mostrar el tipo de distribución de frecuencia. Una distribución de frecuencia es una permutación de valores (una permutación de valores es una ordenación de estos) que muestra con qué frecuencia ocurre cada valor único en un conjunto de datos. Por lo tanto, un histograma puede mostrar que consistentemente un proceso de producción y como se mantiene dentro de un rango de valores deseado; cuanto más se ajusten los atributos de alta frecuencia a las especificaciones del cliente, mejor. Se puede utilizar un diagrama para descubrir si el proceso de producción es capaz de cumplir las especificaciones del cliente de manera consistente (Determinar el Cp, Cpk,...). Funciona mejor cuando se usa para resumir grandes cantidades de datos que se han recopilado durante un período de tiempo, como en el ejemplo mostrado en la figura 14.

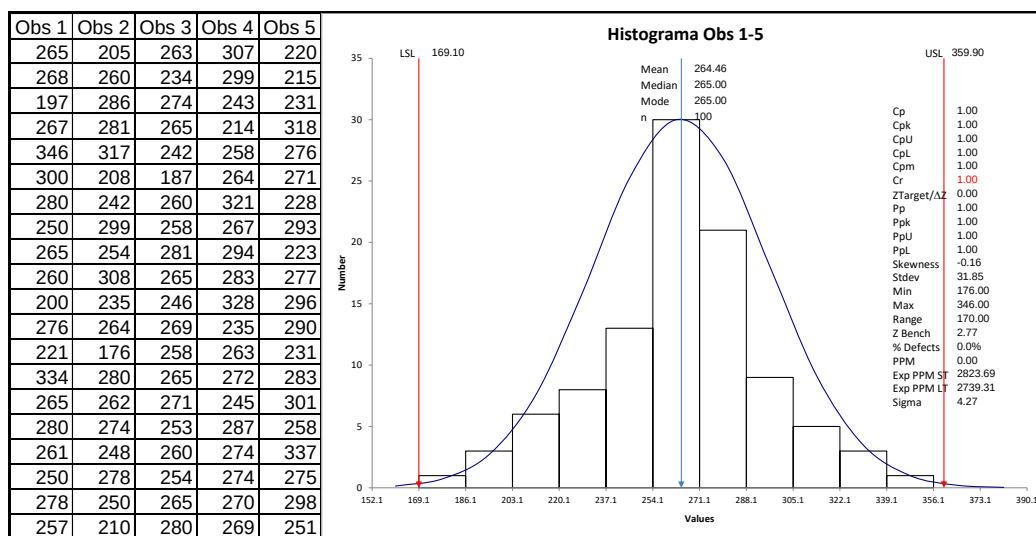


Figura 14: Ejemplo de Histograma

Como se puede observar se puede obtener mucha información de forma cuantitativa y de forma cualitativa con el histograma, entre las mas importantes esta su media, la cantidad de

²² L. Weber, M. Wallace, **Quality control for Dummies**, Wiley Publishing, Inc. 2007, Indianapolis EUA. PP:125-126.

datos, su desviación estándar, así como algunas de las medidas de calidad tales como el Cp, Cpk, Pp, Ppk el rango, el Z_{bench} , el porcentaje de defectos (% defectos) y las partes por millón (PPM) entre las más importantes, además de su forma que indica visualmente una distribución normal, además de los límites de la gráfica.

Además de mostrar la frecuencia relativa de cada valor de datos, un muestra el histograma La forma general de los datos (¿los datos tienen forma de campana o son planos?) La variación de los datos. La distribución de los datos. Para crear un histograma, siga estos pasos:

1. Decide qué quieres medir. Sus datos pueden ser atributos como tamaño, tiempo, peso, temperatura o velocidad, por ejemplo.
2. Recopile un gran conjunto de datos: al menos entre 50 y 100 muestras de datos. Asegúrese de recopilar los datos lo más aleatoriamente posible.
3. el eje Y muestra la frecuencia y el eje x puede mostrar los diferentes valores.

1.6.5 Diagrama de dispersión

Cuando se está investigando la relación existente entre dos factores, un diagrama de dispersión es el primer paso para analizar gráficamente los datos, esta relación se ve claramente en un patrón de tendencia ascendente o descendente si la relación es directa o de si la relación es inversa.

Un gráfico de dispersión que muestra cómo cambia un valor a lo largo del tiempo puede representar gráficamente cosas como el efecto del desgaste de una herramienta y ayudarlo a determinar con qué frecuencia se debe reemplazar la herramienta. Si dos variables que estás comparando y están relacionadas, podrás ver su efecto en la calidad y sus valores óptimos. Para crear un diagrama de dispersión, siga estos pasos:

1. Determina las dos variables que deseas comparar.
2. Traza el valor de la variable que cambiaste (conocida como variable independiente "X") en el eje X.
3. Trace el valor del valor medido (conocido como variable dependiente "Y") en el eje Y.
4. Busca una relación entre las dos variables viendo si puedes dibujar una línea relativamente recta que atraviese los puntos trazados. En el diagrama de dispersión de muestra de la Figura 15:

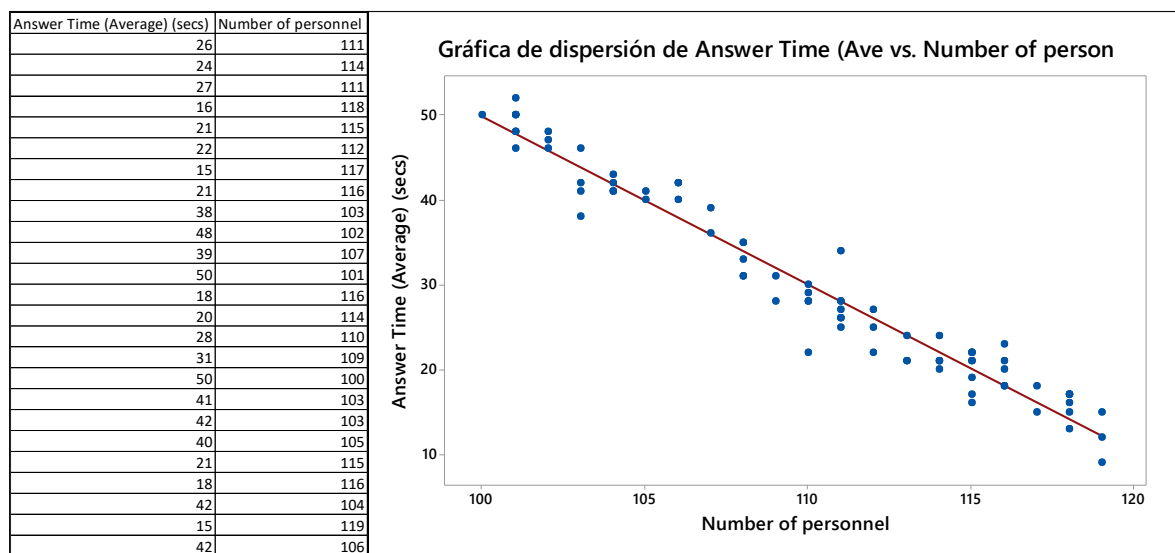


Figura 15: Ejemplo del diagrama de dispersión

Se encuentra una relación bastante buena entre el número de persona y la respuesta del tiempo promedio en segundos, que esta es inversamente proporcional (a mayor número de personas atendiendo es menor el tiempo de respuesta empleado en atender).²³ El presente ejemplo se desarrolló con el paquete de Minitab V20.

²³ Lean Six Sigma and Minitab, **Quentin Brook**, Opex Resources, 4ª Edición, UK, 2014, pp: 143.

1.6.6 Estratificación

La estratificación de datos es simplemente la separación de datos en categorías. Se puede usar la estratificación en diferentes categorías y niveles dentro de categorías para buscar patrones de comportamiento. Las categorías pueden consistir en una sola variable, como la producción por máquina, o múltiples variables, como turnos y líneas de montaje. Tener cuidado de no interpretar demasiado la estratificación al tomar demasiado en serio las pequeñas diferencias entre las distintas categorías. Sólo las diferencias más importantes merecen atención. Además, no asumir que cualquier diferencia que encuentre es automáticamente la causa del problema con su proceso; Es posible que las categorías que identifique no contengan el problema real, solo pistas sobre la causa real.

Literalmente la estratificación estratifica (separa) un conjunto de datos existentes en subgrupos, para determinar que efecto(s) tiene cada subgrupo de datos sobre un patrón anormal o condición de operación. Esta ayuda a aislar y desenmascarar la verdadera causa del problema. Los usos de esta herramienta son:

- Aísla anomalías entre conjuntos de datos.
- Analiza y desglosa distribuciones anormales de variación.
- Verifica los efectos de los subgrupos para identificar la(s) causa(s).
- Identifica las causas fundamentales de la variación del proceso total.
- Analiza datos para encontrar oportunidades de mejora de los procesos productivos y/o administrativos.²⁴
- Ejemplo: Recopilar y verificar los datos que se van a trazar. Ver ejemplo (figura 16) de errores de envío 8 semanas.

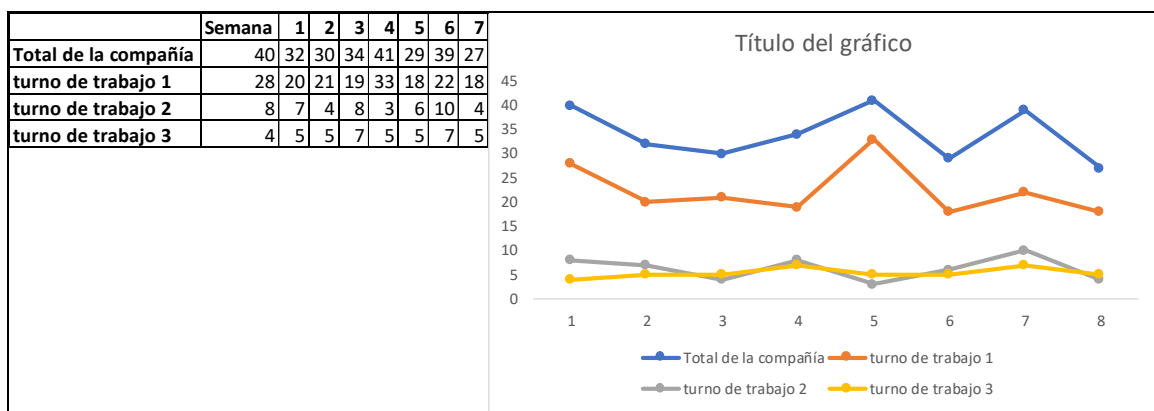


Figura 16: estratificación de errores de 8 semanas en los distintos turnos de trabajo

- Construya un gráfico de estratificación. La altura del eje vertical debe ser el 75 por ciento de la longitud (100 por ciento) del eje horizontal (3:4 regla de proporción).

²⁴ W. J. Michalski, D. G. King, *Six sigma Tool Navigator*, Productivity Press, 2003, p.516.

- Grafique los datos utilizando los totales de errores durante 8 semanas de los 3 turnos de trabajo. También trazar los totales de la empresa.
- Codifique los datos trazados, designe líneas y etiqueta ejes. Fecha de estratificación cuadro.

1.7 Habilidad y capacidad de proceso

Cuando se habla de capacidad del proceso, es necesario considerar dos conceptos algo contrastantes:

1. Capacidad de procesamiento
2. Rendimiento del proceso

La capacidad del proceso está determinada por la variación que proviene de causas comunes del proceso. Generalmente representa el mejor desempeño del proceso en sí en el corto plazo "Cp". Esto se demuestra cuando el proceso se opera en un estado de control estadístico independientemente de las especificaciones, esto es ausencia de causas especiales de variación.

Sin embargo, los clientes, internos o externos, suelen estar más preocupados por el desempeño del proceso; es decir, el resultado general del proceso y cómo se relaciona con sus requisitos (definidos por especificaciones), independientemente de la variación del proceso.

En general, dado que un proceso de control estadístico puede describirse mediante una distribución predecible, la proporción de productos dentro de las especificaciones puede estimarse o pronosticarse a partir de esta distribución. Mientras el proceso permanezca bajo control estadístico y no sufra cambios de ubicación (cambio de media), extensión o forma (dispersión), continuará produciendo la misma distribución con la misma media y la misma variación de piezas dentro de las especificaciones. Una vez que el proceso está en control estadístico, la primera acción sobre el proceso debería ser localizar el objetivo del proceso, y determinar la variación de este.

¿Qué Es La Capacidad Del Proceso?

La capacidad se refiere a la capacidad de un proceso para fabricar piezas que estén dentro de las especificaciones de ingeniería (del cliente). La Figura 17 muestra la distribución de partes de un proceso que es capaz. un estudio de capacidad responder a las preguntas: "¿Es necesario mejorar el proceso?" y ¿Cuánto necesita mejorarse el proceso? Para definir el estudio de la capacidad de un proceso desde otra perspectiva; un estudio de capacidad es una técnica para analizar la variabilidad aleatoria que se encuentra en un proceso de producción. En todo proceso de fabricación existe variabilidad. Esta variabilidad puede ser grande o pequeña, pero siempre está presente. Se puede dividir en dos tipos:

- Variabilidad debida a causas comunes (aleatoria).
- Variabilidad debida a causas asignables (especiales)

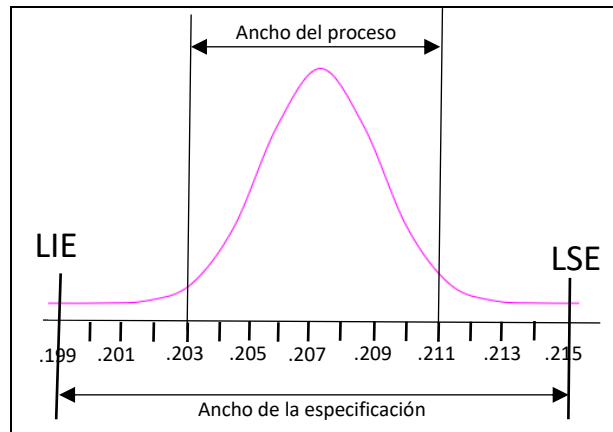


Figura 17: Que es la capacidad del proceso

Se puede esperar que el primer tipo de variabilidad ocurra naturalmente dentro de un proceso. Se atribuye a causas comunes que se comportan como un sistema constante de azares. Estas posibilidades forman una distribución única y descriptible. Esta variabilidad nunca podrá eliminarse por completo del proceso.

La variabilidad por causas asignables, por otro lado, se refiere a la variación que puede vincularse a causas específicas o especiales. Si estas causas o factores se modifican o controlan adecuadamente, se puede eliminar la variabilidad del proceso asociada con ellas. Las causas asignables no pueden describirse mediante una distribución única.

Un estudio de capacidad mide el potencial de desempeño de un proceso cuando no hay causas asignables (especiales) presentes (cuando está bajo control estadístico). Dado que la variabilidad inherente del proceso puede describirse mediante una distribución única, generalmente una distribución normal, la capacidad puede evaluarse utilizando las propiedades de esta distribución. En pocas palabras, la capacidad se expresa como la proporción de la salida del proceso dentro de las especificaciones respecto del total de entrada del proceso. Los cálculos de capacidad permiten hacer predicciones con respecto a la calidad, lo que permite a los fabricantes adoptar un enfoque preventivo ante los defectos.

Este enfoque estadístico contrasta la práctica tradicional de manufactura, como un proceso de dos pasos: el personal de producción que elabora el producto, y el personal de control de calidad que inspecciona y elimina aquellos productos que no cumplen con las especificaciones, que esto es un desperdicio y es costoso, ya que permite invertir tiempo y materiales en productos que no siempre son utilizables o bien no cumplen con las especificaciones del cliente. Tampoco es fiable, ya que incluso una inspección del 100% no detectaría todos los productos defectuosos.

Los límites de control no son una indicación de capacidad

Quienes son nuevos en SPC a menudo creen que no necesitan índices de capacidad. Piensan que pueden comparar los límites de control con los límites de especificación. Esto no es cierto, porque los límites de control analizan la distribución de promedios ($\bar{x}$) y los índices de capacidad analizan la distribución de individuos (x). La distribución de x siempre se extenderá más que la distribución de $\bar{x}$ Figura 18.

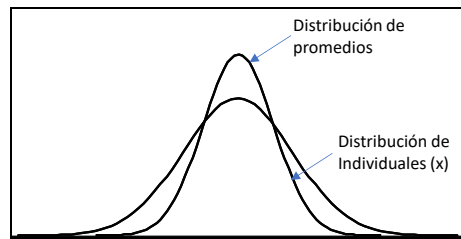


Figura 18: Distribución de promedios comparada con la distribución de datos individuales

Por lo tanto, los límites de control suelen estar dentro de los límites de especificación, pero la distribución de piezas $\pm 3\sigma$ no lo está. Los promedios de los subgrupos siguen más de cerca una distribución normal. Por eso se pueden crear cartas de control para procesos que normalmente no se distribuyen. Pero los promedios no pueden usarse para los cálculos de capacidad, porque la capacidad se refiere a partes individuales o muestras de un proceso. Después de todo, lo que se envían son piezas, no promedios.

Uso de estudios de capacidad

Los estudios de capacidad se utilizan con mayor frecuencia para determinar si el proceso puede cumplir con las especificaciones (superior, inferior o ambos) o bien cuántas piezas las excederán. Sin embargo, existen muchos otros usos prácticos para los estudios de capacidad, incluidos los siguientes:

- Estimación del porcentaje de piezas defectuosas que se esperan.
- Evaluación de compras de nuevos equipos.
- Predecir si se pueden cumplir las tolerancias de diseño.
- Asignación de equipos a producción.
- Verificaciones de control del proceso de planificación.
- Analizar las interrelaciones de procesos secuenciales.
- Hacer ajustes durante la fabricación.
- Configuración de especificaciones.
- Costeo de contratos.

Dado que un estudio de capacidad determina la reproducibilidad inherente de las piezas creadas en un proceso, se puede aplicar a problemas fuera del alcance de la fabricación, como la inspección, la administración y la ingeniería. Hay casos en los que las mediciones de capacidad son valiosas incluso cuando no es práctico determinar de antemano si el proceso está bajo control. Este tipo de análisis se denomina estudio de rendimiento (desempeño). Los estudios de desempeño pueden ser útiles para examinar lotes entrantes de materiales o series de producción únicas. En el caso de un lote entrante, un estudio de desempeño no puede decirnos si el proceso que produjo el material está bajo control; pero puede decirnos, por la forma de la distribución, qué porcentaje de las piezas están fuera de especificación o si la distribución fue truncada porque el proveedor seleccionó las piezas obviamente defectuosas.

Cómo establecer un estudio de capacidad

Antes de establecer un estudio de capacidad, debemos seleccionar la dimensión o variable crítica que se examinará. Esta dimensión debe cumplir con las especificaciones del producto. En el caso más simple, la dimensión del estudio es el resultado de un proceso único y directo. En estudios más complejos, la dimensión crítica puede ser el resultado de varios procesos. En estos casos puede resultar necesario realizar estudios de capacidad de cada proceso. Los estudios de procesos anticipados demuestran ser más valiosos que los estudios de procesos posteriores, ya que los procesos tempranos sientan las bases que pueden afectar las operaciones posteriores. Una vez seleccionada la dimensión crítica, se pueden recopilar mediciones de datos. Esto se puede lograr manualmente o mediante el uso de dispositivos de medición y accesorios automáticos vinculados a un dispositivo de recolección de datos. Al recopilar mediciones en una dimensión crítica, es importante que el instrumento de medición sea lo más preciso posible, preferiblemente un orden de magnitud más fino que la especificación. De lo contrario, el proceso de medición contribuirá con un exceso de variación a la dimensión. El uso de recolectores de datos portátiles con medidores automáticos ayudará a reducir los errores introducidos por el proceso de medición, el registro de datos y la transcripción para el posprocesamiento por computadora.

La situación ideal para la recopilación de datos es recopilar la mayor cantidad posible de datos, la mayor cantidad de datos posible durante un período de tiempo definido. Esta voluntad realizar un estudio de capacidad que es muy confiable, ya que se basa estrato sobre un tamaño de muestra grande.

En los 6 pasos de la mejora de procesos, determinar la capacidad del proceso es el Paso 5:

1. Recopilar datos del proceso
2. Trazar los datos en gráficos de control.
3. Encuentra los límites de control.
4. Identificar y eliminar las causas asignables.
5. Calcular la capacidad del proceso.
6. Si la capacidad del proceso no es suficiente, reduzca la variación de causa aleatoria y regrese al Paso 1.

El proceso debe estar bajo control

El proceso debe estar bajo control y distribuido normalmente antes de que se puedan tomar muestras para medir la capacidad del proceso. Todos los índices de capacidad estándar suponen que el proceso está bajo control y que los datos siguen una distribución normal. Si el proceso no está bajo control, los índices de capacidad no son válidos, incluso si indican que el proceso es capaz. Hay tres herramientas estadísticas que se utilizan para determinar si el proceso está bajo control y sigue una distribución normal (no se puede utilizar una sola herramienta; deben usarse todas juntas):

- Gráficos de control
- Análisis visual de un histograma.
- Análisis matemático de la distribución.

Los gráficos de control son el método más común para que los operadores mantengan el control estadístico del proceso. Con gráficos de control, como un gráfico X y R, todos los puntos deben estar dentro de los límites de control sin patrones o tendencias aparentes presentes.

El proceso debe ser inherentemente normal

Muchos procesos siguen naturalmente una curva en forma de campana (una distribución normal), pero otros no. Ejemplos de dimensiones anormales son la redondez, la cuadratura, la planitud y las tolerancias posicionales; tienen una barrera natural en 0. En estos casos, una medida perfecta es 0 (por ejemplo, sin ovalidad en la medida de redondez). Nunca puede haber un valor inferior a 0. Los índices de capacidad estándar son válidos para este tipo de distribuciones anormales.

Índices de capacidad

Terminología y nivel Sigma Actual versus Sigma estimado

Antes de describir los índices de capacidad en detalle, se deben definir varios términos. LSE significa límite de especificación superior y LIL significa límite de especificación inferior. El punto medio es el centro de los límites de la especificación. El punto medio a menudo se denomina valor nominal u objetivo. La tolerancia es la distancia entre los límites de especificación (TOLERANCIA= LSE-LIE).

La desviación estándar de la distribución de datos individuales, una variable importante en todos los cálculos es el índice de capacidad se puede determinar de dos maneras. Puede calcularse o estimarse.²⁵

La desviación estándar puede ser calculada usando la formula:

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

Donde:

σ simboliza de la desviación estándar de la población.

N es el tamaño de la población

x es una medición individual

Usualmente se trabaja con un muestra de la población, entonces la ecuación anterior se convierte en:

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

s simboliza la desviación estándar muestral

n es el tamaño de la muestra

De esta manera la desviación estándar puede ser estimada usando el rango promedio y las constantes desarrolladas por Shewhart:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ (para } n=1,2,3 \text{ o } 4)$$

²⁵ Allen Bradley, *DataMate Handbook*, 5ª Edición, 1984, EUA, pp: 5-8.

$$\sigma = \frac{\bar{s}}{c_4} \text{ para } n > 4$$

$\bar{s}$, es el promedio de las desviaciones estándar,
 c_4 es la constante basada en el tamaño de muestra.

Se acostumbra a considerar un ancho de seis sigmas en la distribución de la característica de calidad del producto como medida de la capacidad del proceso. En la figura 19 se muestra un proceso para el cual la característica de calidad tiene una distribución normal, con media μ y desviación estándar σ . Los límites superior e inferior de “Tolerancia Natural” del proceso se encuentran en $\mu+3\sigma$ y $\mu-3\sigma$, respectivamente, es decir:

$$\text{LSTN} = \mu + 3\sigma$$

$$\text{LITN} = \mu - 3\sigma$$

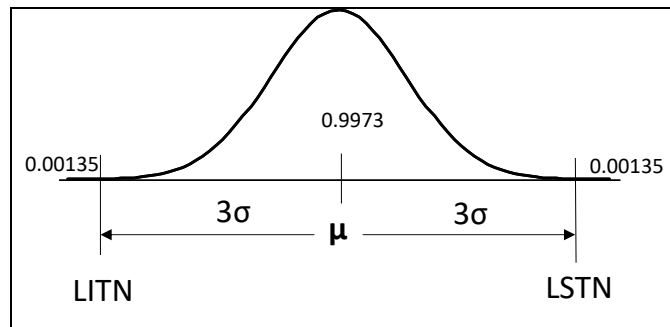


Figura 19: Límites superior e inferior de tolerancia natural en la distribución normal con $\pm 3\sigma$.

Esto es, para una distribución normal, los límites de tolerancia natural están a 99.73% ($\pm 3\sigma$) de la variable, o expresado solo 0.27% ($100 - 99.73 = 0.27$ para ambos lados) de la salida del proceso caerá fuera de los límites de tolerancia natural.

Índices Cp

La capacidad del proceso es la capacidad de un proceso para cumplir con los requerimientos del cliente. Se dice que un proceso es capaz cuando $\pm 3\sigma$ puntos de la distribución de las mediciones individuales quedan comprendidos dentro de los límites de especificación. Como se muestra en la figura 19. Existen cuatro posibles procesos estables: como se muestran en la siguiente figura 20:

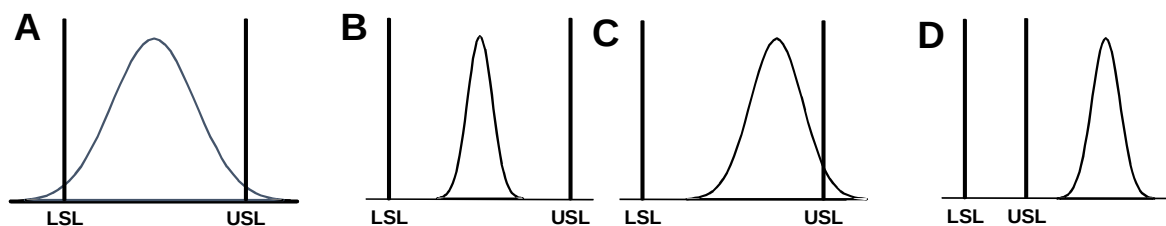


Figura 20. A: proceso Capaz, B: proceso muy capaz, C: proceso con corrimiento de media y D: proceso no capaz.

$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 * \sigma}$ y LSE-LIE = tolerancia del proceso, (donde “ σ o s ” es la desviación estándar basada en el tamaño del subgrupo). C_p es compara la especificación del proceso con la dispersión del proceso representada por 6 desviaciones estándar (o 99.73%) de un proceso distribuido normalmente. **Nota: Es importante mencionar que solo se pueden determinar los índices de capacidad de corto y largo plazo solo si el proceso está en control estadístico.**

Las métricas de la capacidad del proceso ayudan a comparar los procesos. Los valores calculados muestran a los dueños del proceso para determinar la necesidad de mejorar. La fórmula usada para un ejemplo con los siguientes datos es: LES = 5.0, LIE = 1.0, Media = 2.0, Tolerancia = 4.0, Desviación estándar = 0.5:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 * \sigma} = \frac{5.0 - 1.0}{6 * 0.5} = 1.33$$

Si se simulan 125 valores con los datos dados anteriormente se obtiene los índices siguientes mostrados en la figura 20:

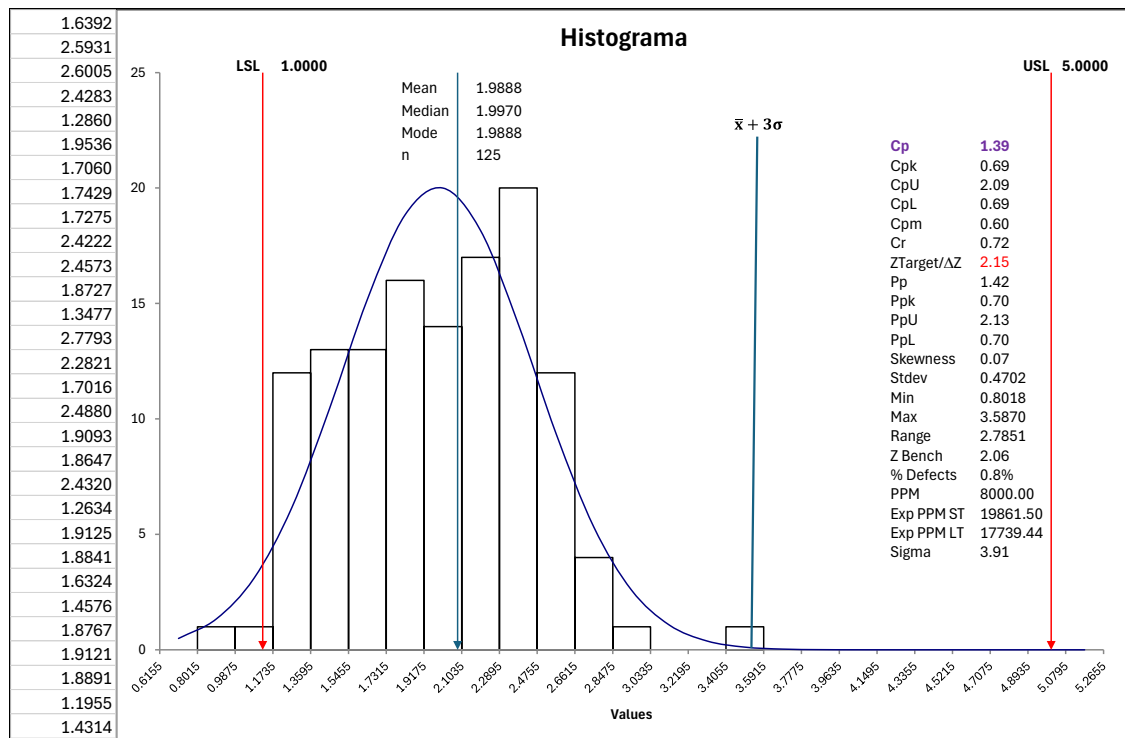


Figura 20. Histograma e índices de capacidad calculado mediante un paquete estadístico (Qi-Macros)

C_{pk}

Mientras que CP es sólo una medida de dispersión, C_{pk} es una medida tanto de dispersión como de centralidad. Es decir, la fórmula para C_{pk} tiene en cuenta tanto la extensión de la distribución como dónde se encuentra esa distribución con respecto al punto medio de la especificación. La fórmula es:

$$C_{pk} = \text{El menor de } \left(\frac{LSE - \text{Media}}{3\sigma} \text{ o } \frac{\text{Media} - LIE}{3\sigma} \right)$$

Debido a que elegimos el menor de los dos valores calculados, descubrimos qué tan capaz es nuestro proceso en el peor lado (la cola más cercana al límite de especificación). Utilizando el ejemplo utilizado en el cálculo de C_p anteriormente dado, el cálculo para el C_{pk} es:

$$C_{pk} = \frac{5.0 - 2.0}{1.5} \text{ o } \frac{2.0 - 1.0}{1.5} \text{ es: } 2.0 \text{ o } 0.67 = 0.67$$

Cuanto mayor sea el valor de C_{pk} , mejor. Un C_{pk} superior a 1,0 significa que la dispersión de 6σ ($\pm 3\sigma$) de los datos se encuentra completamente dentro de los límites de especificación. Un C_{pk} de 1,0 significa que un extremo de la extensión de 6μ cae dentro de un límite de especificación. Un C_{pk} entre 0 y 1 significa que parte del diferencial de 6σ queda fuera de los límites de especificación. Un C_{pk} negativo indica que la media de los datos no está entre los límites de especificación. Para ayudarle a visualizar lo que indica C_{pk} , la Figura 21 muestra las distribuciones para 4 valores diferentes de C_{pk} . Un valor pequeño de C_{pk} se debe a que un proceso está descentrado desde el punto medio de la especificación, el índice C_{pk} no indicará si el proceso está centrado por encima o por debajo del objetivo; Para ver esto, mire la media de las muestras en comparación con el punto medio (objetivo o nominal), O mire el histograma relativo a los límites de especificación.

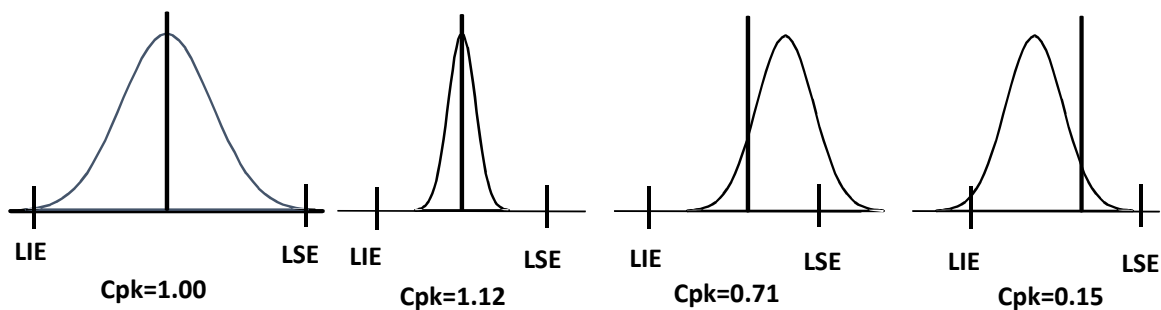


Figura 21: Cuanto mayor sea el valor de C_{pk} mejor. C_{pk} es una medida tanto de extensión como de descentramiento

Dado que un C_{pk} de 1,0 indica que el 99,73% de las piezas manufacturadas están dentro de los límites de especificación de $\pm 3\sigma$, en este proceso es probable que sólo alrededor de 3 de cada 1.000 necesiten ser desechados o rechazados. ¿Por qué molestarse en mejorar el proceso más allá de esto?²⁶

Estudios de corto plazo (C_p , C_{pk}) vs largo plazo (P_p , P_{pk})

Corto plazo: Cuando se evalúa la capacidad de un proceso (como se llama capacidad maquina), se realiza un estudio a corto plazo para determinar qué tan bueno puede ser dicho proceso. Se recolectan datos por un período corto de tiempo durante el cual el proceso se ve influenciado únicamente por causas aleatorias de variación.

- $\sigma_{dentro\ de}$ se calcula considerando la variación dentro del subgrupo. Opciones:

²⁶ Allen Bradley, *DataMate Handbook*, 5ª Edición, 1984, EUA, pp: 5-8, 5-10.

- Reunir las desviaciones estándar (basadas en la raíz cuadrada de la varianza promedio del subgrupo).
- Convertir la barra R (promedio de rangos del subgrupo) en σ .
- Convertir la barra S (promedio de las desviaciones estándar del subgrupo) en σ .

Largo plazo: Se realiza un estudio a largo plazo para determinar el desempeño real del proceso a largo plazo (capacidad del proceso). Se recolectan datos por un período lo suficientemente largo de tal manera que el proceso se ve afectado esencialmente por todas las causas, aleatorias y no-aleatorias,

→ σ_{total} se calcula considerando la variación del estudio completo (utiliza la ecuación de la desviación estándar muestra).

Como ejemplos: los datos recolectados de varios lotes, turnos, temporadas, etc., como se muestra gráficamente en la figura 22, representan gráficamente el corto y el largo plazo.

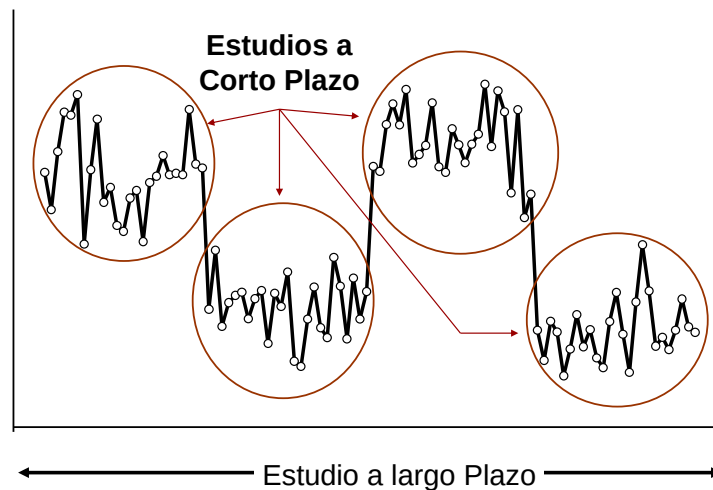


Figura 22. Estudios de corto plazo y de largo plazo de forma grafica

Como evaluar la capacidad del proceso

- Calcular el promedio y la desviación estándar del proceso (comúnmente se utilizan la datos de una gráfica de barra X o R). como se muestra en la figura 23.
 - $\bar{\bar{X}}$ (símbolo de la medias poblacional) se utilizará para calcular el Promedio del Proceso.
 - $\bar{R}$ (símbolo del rango medio) se utilizará para calcular la Desviación Estándar del Proceso

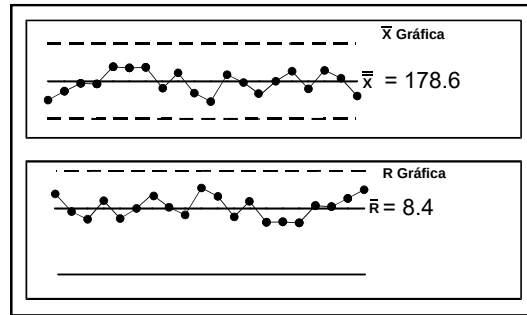


Figura 23: Grafica de medias y rangos.

Ejemplo: Para el ejemplo actual: El promedio de todos los datos = 178.6 y el rango promedio = 8.4 de una gráfica de control estable que utilizó una muestra de tamaño 5.

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{8.4}{2.326} = 3.6 \text{ (desviación estándar del proceso, la meta del proceso es 171)}$$

¿El proceso está centrado en la meta?

No – no está centrado en la meta; $178.6 - 171 = 7.6$ dos sigmas es decir (valor estimado de sigma) $3.6 \times 2 = 7.2$ excede a 2 desviaciones estándar.

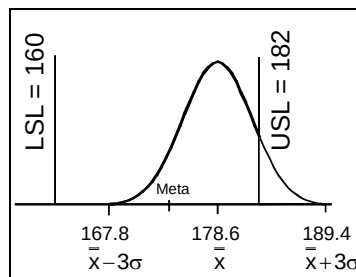


Figura 24: Forma gráfica del proceso, como media 178.6 y meta de 171

Variación del Proceso: se espera que el 99.73% de las veces, se produzca un producto que esté entre 167.8 y 189.4. De acuerdo con las especificaciones, queremos que todo el producto esté entre 160 y 182.

Para determinar la capacidad potencial del proceso (C_p): El índice C_p refleja el potencial del proceso si el promedio estuviera perfectamente concentrado entre los límites de especificación; entre mas grande es este índice el proceso es mejor.

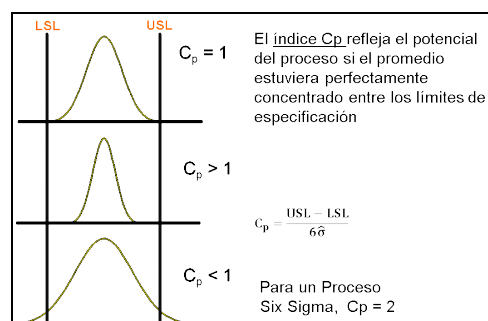


Figura 25. Grafica de valores de índice C_p

Si el proceso está centrado, entonces el $C_p = C_{pk}$. La meta es lograr que $C_p = C_{pk}$ (que no exista corrimiento de media); El proceso 6 sigma es $C_p = 2$: Superior ± 3 Sigma, Medio ± 6 Sigma, como se muestra en la figura 26.

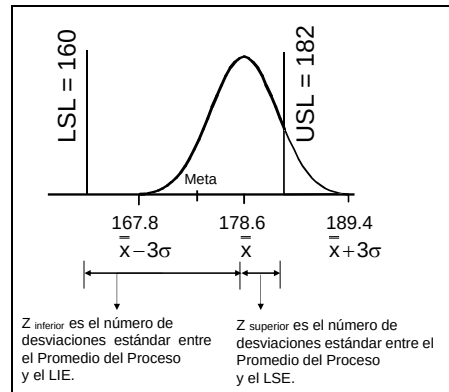


Figura 26: Calculo del porcentajes más allá de las especificaciones

Ahora se calculará los límites superior e inferior:

$$Z_{\text{superior}} = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{182.0 - 178.6}{3.6} = 0.94$$

$$Z_{\text{inferior}} = \frac{\bar{X} - LSE}{\hat{\sigma}} = \frac{178.6 - 160.0}{3.6} = 5.17$$

Y gráficamente con los valores calculados son mostrados en la figura 27:

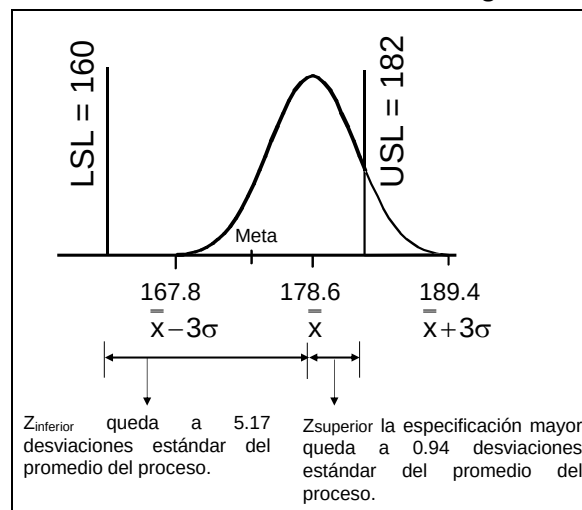


Figura 27: Z superior y Z inferior vistos de forma grafica

Entonces el valor de Z es el valor mínimo de Z superior, Z inferior: Cuanto mayor sea el valor de C_{pk} , mejor. Un C_{pk} superior a 1,0 significa que la dispersión de 6σ ($\pm 3\sigma$) de los datos se encuentra completamente dentro de los límites de especificación. Un C_{pk} de 1,0 significa que un

extremo del margen de 6μ cae dentro de un límite de especificación. Un C_{pk} entre 0 y 1 significa que parte del diferencial de 6σ queda fuera de los límites de especificación. Un C_{pk} negativo indica que la media de los datos no se encuentra entre los límites de especificación. Para ayudarle a visualizar lo que indica C_{pk} , la Figura 21 muestra las distribuciones para 4 valores diferentes de C_{pk} . Un valor pequeño de C_{pk} se debe a que un proceso está descentrado desde el punto medio de la especificación la dispersión o ambos, el índice C_{pk} no indicará si el proceso está centrado por encima o por debajo del objetivo; Para ver esto, mire la media de las muestras en comparación con el punto medio (objetivo nominal), o ver el histograma relativo a los límites de especificación. Dado que un C_{pk} de 1,0 indica que el 99,73% de las piezas producidas están dentro de los límites de especificación, en este proceso es probable que sólo alrededor de 3 de cada 1000 necesiten ser desechados o rechazados. ¿Por qué molestarse en mejorar el proceso más allá de este punto, ya que no producirá ninguna reducción en los costos de desechos o rechazos? Una mejora que vaya más allá del simple cumplimiento de las especificaciones puede mejorar en gran medida el rendimiento del producto, reducir los costos de garantía o evitar problemas de ensamblaje.

Muchas empresas por políticas de planta exigen índices C_{pk} de 1,33 o 2,0 (que este es el equivalente de seis sigma) en los productos de sus proveedores. Un C_{pk} de 1,33 significa que la diferencia entre la media y el LE es 4σ (ya que 1,33 es $4/3$). Con un C_{pk} de 1,33, el 99,994% (lo cual es mejor) del producto se encuentra dentro de las especificaciones. De manera similar, un C_{pk} de 2,0 es 6σ entre la media y el límite de especificación (ya que 2,0 es $6/3$). Esta mejora de 1,33 a 2,0 o mejor a veces se justifica para producir más producto cerca del objetivo óptimo. Dependiendo del proceso productivo o pieza, esto mejora el rendimiento del producto, su vida útil, la satisfacción del cliente y/o reducir los costos de garantía o los problemas de ensamble.

El objetivo no es alcanzar índices de C_{pk} cada vez más elevados para cada pieza o proceso, ya que esto casi nunca es económicamente justificable. Se recomienda realizar un análisis de costo/beneficio que incluya la satisfacción del cliente y otros costos reales de la calidad para determinar qué procesos deben mejorarse y cuánta mejora es económicamente atractiva.²⁷

²⁷Allen Bradley, *DataMate Handbook*, 5ª Edición, 1984, EUA, Pp: 5-8, 5-10.

TEMA 2: Graficas de Control para Variables

2.1 Conceptos generales y principios del CEP

El Dr. W. A. Shewhart de los “Bell Laboratories Telephone” desarrollo la teoría del Control Estadístico de la Calidad (CEC) y Control Estadístico del Proceso (CEP), que estos son algunas veces usados indistintamente, aunque en el medio significan diferentes cosas, sin introducirse en un debate de semántica, se podría decir que CEC es más amplio, que el CEP. Con esto Shewhart estudio muchos procesos diferentes y concluyo: **Todos los procesos de manufactura despliegan variaciones.** Shewhart identificó dos componentes en estas variaciones:

1. Un componente fijo inherente al proceso;
2. y un componente intermitente.

Una carta de control son un método estadístico utilizado principalmente para el estudio y control de procesos repetidos, su creador Shewhart, sugiere que el diagrama de control puede servir:

- En primer lugar, para definir la meta o el estándar del proceso que la gerencia desee alcanzar;
- En segundo lugar, puede ser utilizado como instrumento para alcanzar dicha meta;
- Y en tercer lugar puede servir como procedimiento para juzgar si la meta fue alcanzada.

El proceso de selección de las cartas de control para variables y para atributos es como se muestra en la siguiente figura:

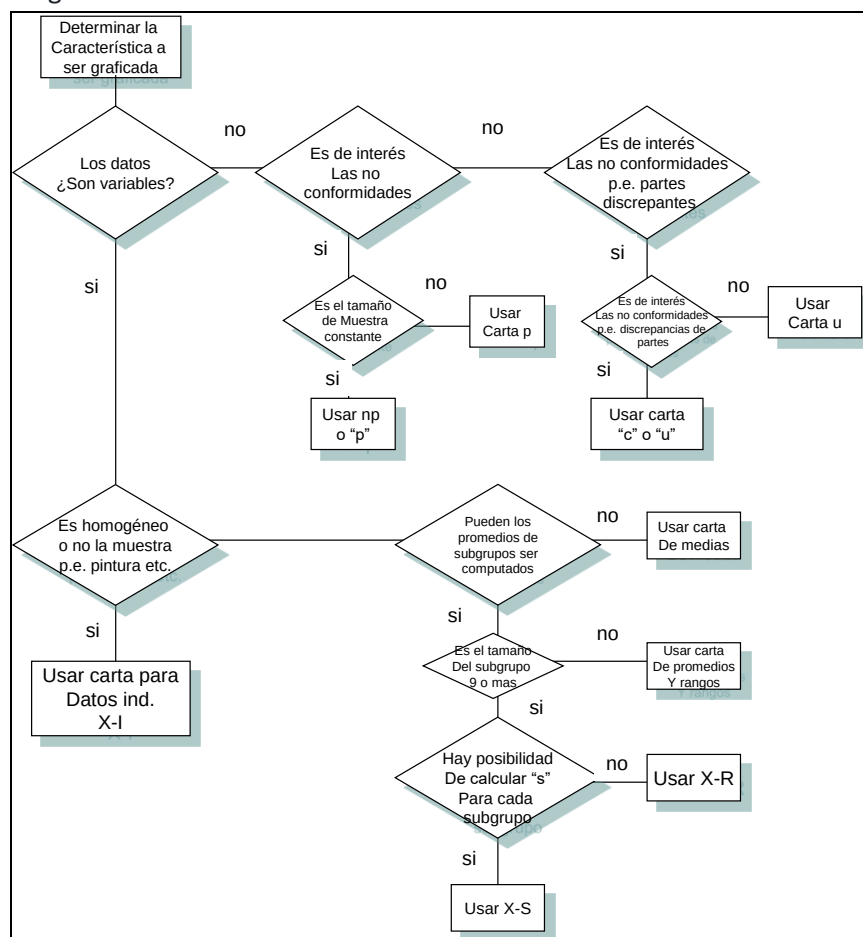


Figura 3.2: Procedimiento de selección de las gráficas de control por variables y por atributos

Resulta así un instrumento a utilizar en la especificación, producción e inspección, y cuando se le utiliza así reúne tres fases de la industria en un conjunto interdependiente. Para que un producto cumpla las especificaciones del cliente en forma consistente, debe ser producido por un proceso estable y repetible, con poca variación alrededor del valor nominal de las características de Calidad del producto.

“El control estadístico de procesos CEP se define como la aplicación de los métodos estadísticos a la medición y análisis de la variación en cualquier proceso. Un proceso es una combinación única de máquinas, herramientas, materiales y personas que logran una producción de bienes, software o servicios”.²⁸

Como Las herramientas principales del Control Estadístico del Proceso son:

- Histograma o grafico de tallos-hojas.
- Hojas de verificación.
- Grafica de Pareto.
- Diagrama causa-efecto.
- Diagrama de concentración de defectos.
- Diagramas de dispersión.

Cartas de control

Como identifico W. A. Shewhart dijo que existen dos tipos de causas de variación; la variabilidad natural siempre existe en cualquier proceso de producción, no importa que tan bien diseñado esté. **Esta variabilidad natural es denominada causas comunes o aleatorias de variabilidad**, un proceso que opera en estas condiciones se dice que está en control estadístico.

Existen otras fuentes de variabilidad que pueden ser causadas por maquinas, errores de operadores, materiales defectuosas. Esta variabilidad es muy grande en relación con la variabilidad natural y es originada por **causas especiales** haciendo que el proceso opere fuera de control estadístico.

O bien de otra manera:

- Las definió como causas comunes; las cuales se refieren a las fuentes de variación dentro de un proceso que está en control estadístico .
- Causas asignables o especiales (intermitentes) se refieren a cualquier factor que cause variación de alguien directamente relacionado con la operación; tales como maquinaria, errores de los operadores y materiales defectuosos. Como se muestra en la siguiente figura 2.1.

El objetivo del CEP es la detección oportuna de la ocurrencia de causas especiales para tomar acciones correctivas antes de que se produzcan unidades defectivas o no conformes, para esto se

²⁸ Juran J. M., Gryna F. M., *“Análisis y planeación de la calidad”*, Mc Graw Hill, Tercera edición, P. 376.

utilizan las cartas de control en línea (las cartas de Shewhart), permitiendo también la estimación de la capacidad o habilidad del proceso y la reducción continua de la variabilidad hasta donde sea posible.²⁹

El proceso de mejora usando las cartas de control es ilustrado en la figura 2.1:

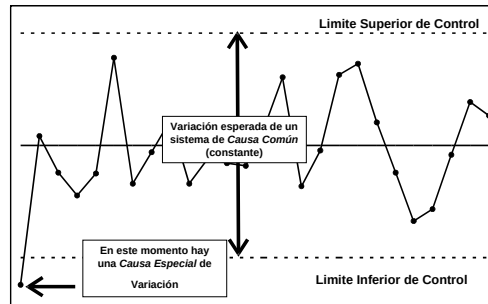


Figura 2.1: Carta de control de causas comunes y causas especiales.

Como se da esta variación, como se muestra en la figura 2.2; en esta se puede ver claramente como se forma un histograma de las dimensiones físicas tomadas y/o medidas, formándose un histograma:

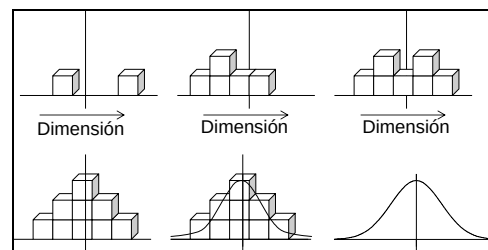


Figura 2.2: Elaboración de un histograma

Esto quiere decir que si solo las causas comunes están presentes el producto del proceso forma una distribución que es estable a través del tiempo y además predecible; como la representada en la figura 2.3; A) y si las causas especiales de variación están presentes, el producto del proceso no es estable a través del tiempo; grafica B).

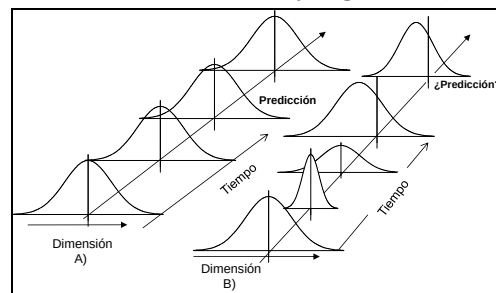


Figura 2.3: Representaciones gráficas de causas comunes y causas especiales

¿Pero que es el control de los procesos, que se muestra en la figura 2.4?

²⁹ Garbin M, Gregorio. Invrea, *"El Control de Calidad"*, Ediciones Deusto, Única Edición, Bilbao, España 1979, p.154.

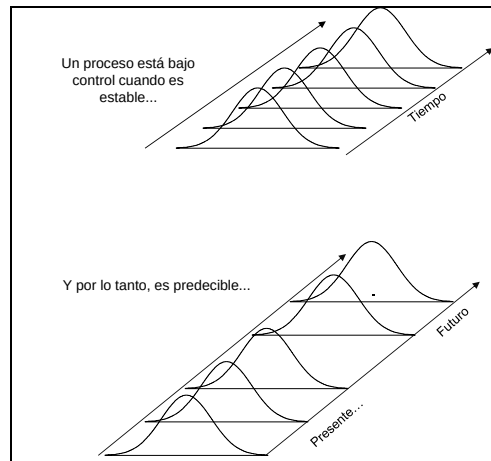


Figura 2.4: Procesos en control estadístico

Beneficios de las cartas de control

Ser usadas por operadores para llevar el control del proceso.

Ayuda al proceso a ser consistente y predecible en calidad y costo.

Permite al proceso alcanzar:

Alta calidad.

Bajo costo.

Alta capacidad efectiva

Provee de un lenguaje común para discutir el rendimiento del proceso

Distingue las causas especiales de las comunes de variación, como una guía para acciones locales y acciones del sistema

Bases estadísticas de las cartas de control

Si las variaciones casuales se ordenan en función del tiempo, se conducirán al azar. No mostrarán ciclos o tendencias, ni ninguna otra forma definida. Las variaciones futuras no podrán ser previstas con base en el conocimiento de las variaciones anteriores.

Por otra parte, la variación producida por las causas especiales sigue leyes estadísticas, por ejemplo: si 10 monedas son lanzadas al azar, la frecuencia relativa con la cual 0,1,2,3..., 10 águilas se presenten a medida que el lanzamiento de monedas continuó, se acercará a la frecuencia de una distribución binomial, en forma análoga, en el caso de muestras al azar de n unidades, cada una de ellas de un proceso que se lleva a cabo solo por causas casuales, la probabilidad de obtener 0,1,2... n unidades defectuosas vendrán dadas también por la distribución binomial. La variación producida por un sistema de causas fortuitas se puede pronosticar así para fenómenos en masa, aunque el efecto de cualquier causa particular no pueda ser determinado, ni tampoco pueda serlo la variación de sus elementos específicos.

El conocimiento de las variaciones casuales es el fundamento en que descansan los diagramas de control. Si se estudia un grupo de datos y se encuentra que sus variaciones se ajustan a una forma estadística que puede ser razonablemente producida por causas casuales, se supone que no presentes causas atribuibles. En consecuencia, se dice, que las condiciones que

producen esta variación están bajo control. Se encuentra en control bajo el sentido de si solo actúan causas casuales, la cantidad y carácter de la variación se podrán pronosticar para grandes números, y no es posible determinar que la variación en un caso específico obedezca a una causa en particular. Por otra parte, si las variaciones en los datos no se ajustan a una norma que pudiera ser tratada razonablemente consecuencia de las causas fortuitas, se llega a la conclusión de que está actuando una o más causas atribuibles. En este caso las condiciones que producen la variación se dice que está fuera de control.

Como se indicó antes, **un diagrama de control es un método para describir en forma concreta lo que es un estado de control estadístico; en segundo lugar es un medio para alcanzar el control; y en tercero, constituye un procedimiento para juzgar si se logró el control.**

La naturaleza del diagrama de control es como a continuación se explica: vamos a suponer que se toman muestras de una tamaño dado en el curso de un proceso con intervalos más o menos regulares, y que para cada muestra se calcula alguna estadística X . Esto puede ser la fracción defectuosa, la media o la amplitud ("rango") de la muestra. Siendo resultado de ésta, X estará sometida a las fluctuaciones del muestreo. Si no hay causas atribuibles presentes, estas fluctuaciones del muestreo en x se distribuirán en una forma estadística determinada, tal como en la siguiente figura 2.5:

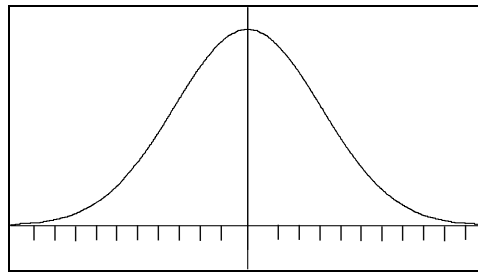


Figura 2.5: Distribución de las variaciones casuales en una medida de Calidad de una muestra.

Si se toman bastantes muestras es posible estimar la media y ciertos puntos extremos de esta distribución. Por ejemplo, supongamos que la teoría sugiere que la distribución de muestreo de X es normal en su forma. En tal caso, de la media de las muestras sería posible estimar la media de la distribución X y de las variaciones de la muestra la desviación estándar de X , y de ambas, se podrían determinar los puntos de probabilidad 0.001. si la escala vertical del diagrama se calibra en unidades de X y la escala horizontal se marca con relación al tiempo o cualquier otra base para ordenación de X , y si las líneas horizontales se trazan a través de la media estimada de X (véase la figura 2.6), el resultado sería un diagrama de control para X .

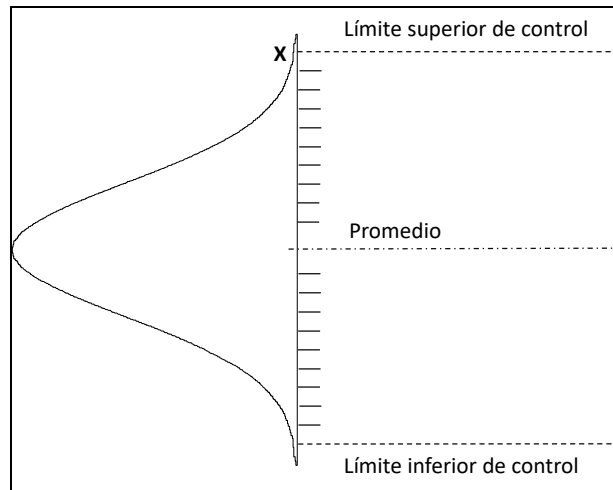


Figura 2.6: Ilustración de la base teórica de un diagrama de control,³⁰

Si se anotan los valores de muestra de X para una amplitud significativa en cuanto a la producción del tiempo, y todos esos valores caen dentro de los límites de control y no muestran ciclos o tendencias por encima o debajo del promedio, o tendencias que aumenten o disminuyan, se podrá decir que el proceso se encuentra en un estado de control estadístico al nivel diseñado con la relación a la medida dada de Calidad. En el empleo de los diagramas de control constituye una meta de la gerencia, el reducir las fluctuaciones en un proceso hasta que se encuentre en estado de control estadístico al nivel deseado.

Puede utilizarse así un diagrama de control para especificar las metas de la gerencia. Es también un instrumento para alcanzar las metas. Para ver si un proceso se encuentra bajo control. Se anotan en un diagrama de control los datos anteriores correspondientes al proceso. Si los datos se ajustan a la norma de la variación aleatoria dentro de los límites de control, se podrá afirmar que el proceso está en control a un nivel igual de la línea media del diagrama. Si los datos no se ajustan a esa norma, como es siempre en el caso al principio, las desviaciones en cuanto al diseño son investigadas, determinándose las causas atribuibles. Si una causa excepcional de variación se encuentra en el lado favorable, se hace lo posible para extender y perpetuar la causa que lo produce. De esta forma el proceso puede llegar a situarse próximo a un estado de control estadístico al nivel deseable. Después de que se ha alcanzado aproximadamente una situación de control, las desviaciones de dicha situación se pueden detectar con rapidez manteniendo un diagrama de control para la salida normal.

Pero como se indicó arriba un diagrama de control es solo un medio para especificar y lograr un estado de control estadístico, sino también es un procedimiento para juzgar si se ha logrado el estado de control; un diagrama de control se constituye de conformidad con la teoría estadística, y puede en consecuencia, ser utilizado para probar la hipótesis de control. De esta manera, si los valores de muestra de X cuando se les ordena en función del tiempo, o sobre cualquier otra base, caen todos dentro de los límites de control sin variar en una forma no

³⁰ Duncan Acheson. J, "*Control de Calidad y Estadística Industrial*", Alfaomega, 5ª, México, pp.410

aleatoria dentro de los límites, el proceso se puede juzgar que se encuentra bajo control en el nivel indicado por el diagrama. En forma análoga, si se considera que el proceso está bajo control, y los nuevos resultados del mismo proceso se anotan en el viejo diagrama de control, entonces si estos puntos continúan cayendo dentro de los límites del diagrama y no llevan a fluctuaciones no aleatorias en el grupo de puntos como conjunto, podrá considerarse que el proceso continuo en un estado de control estadístico al nivel dado.³¹

El Dr. W. A. Shewhart indica con insistencia que el proceso no deberá ser estimado como que está bajo control, a menos que la forma en que se han producido las variaciones aleatorias haya persistido durante algún tiempo y para una cantidad razonable de producción. El expresa:

El estado potencial de control económico se puede aproximar como solo un límite estadístico, incluso después de las causas atribuibles (especiales) de variabilidad han sido detectadas y eliminadas. Un control de este tipo no puede ser utilizado en un solo día. No se puede lograr en la producción de un elemento del cual solo se producen unas cuantas piezas. Sin embargo, se puede lograr científicamente en una producción continua masiva.³²

Más específico Shewhart afirma:

También se ha observado que rara vez una persona estaría justificada al determinar que se ha alcanzado un estado de control estadístico en una determinada operación o proceso de producción repetitiva hasta que haya obtenido, en condiciones que se presume que son en lo esencial iguales, una secuencia de no menos de veinticinco muestras de una de cada cuatro que satisfagan el criterio anterior.³³

Criterios fuera de control

Una carta típica representando un proceso en control estadístico como la de la página anterior, contiene una línea central que representa el valor promedio de la característica de Calidad correspondiente al estado **“en control”** y dos líneas adicionales llamadas límite inferior y límite superior de control (LIC y LSC), los cuales se seleccionan de tal forma que casi la totalidad de puntos se encuentren dentro de ellos. Si esto ocurre no se requiere tomar ninguna acción, como se muestra en la figura 2.7.

³¹ Duncan Acheson. J, *Control de Calidad y Estadística Industrial*, Alfaomega, 5ª, México, pp.407-411

³² Shewhart W. A., *“Statistical Method from the viewpoint of Quality Control”*, Washington D.C., Graduate school, Department of Agriculture, 1939, Cap.1

³³ Shewhart W.A., *“Economic Control of Quality of Manufactured Product”*, New York, D. Van Nostrand Company, Inc. 1980, pp. 145-149

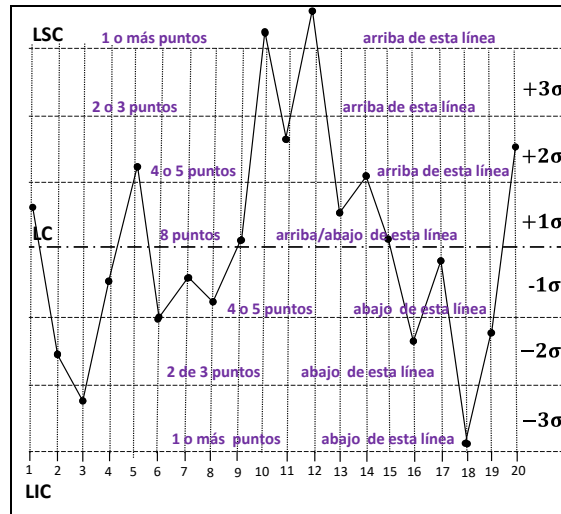


Figura 2.7: Reglas de estabilidad identificando condiciones de inestabilidad

Analizando la estabilidad

Las reglas de estabilidad identifican condiciones inestables: Una condición inestable (fuera de control) puede ser un punto o un conjunto de puntos (tendencia) en sus datos. Los límites de control (líneas sigma 1, 2 y 3) y las reglas de estabilidad se utilizan para determinar condiciones inestables. Existen distintas reglas de aplicación de las cartas de control, la más utilizada es la de Montgomery como se muestra en la figura 2.8:

Reglas de las cartas de control	n (points)	Westgard	Nelson-	Juran	AIAG	Montgom	ery	Western	Electric	Healthcar	e
1. Puntos por encima de UCL o por debajo de LCL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Zona A n de n + 1 puntos por encima/por debajo de 2 sigma	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3. zona B de n+1 puntos por encima/por debajo de 1 sigma	4			4	4		4	4			
4. n puntos en una renglon por encima o por debajo de la linea central	8	8	9	7		8	8				8
5. tendencias de n puntos seguidos que aumentan o disminuyen	6	7	6	6		6					6
6. Zona C - n puntos seguidos dentro de la zona C	15		15	15		15					15
7. n puntos seguidos alternando arriba y abajo	14		14	14		14					
8. Zona C - n puntos seguidos fuera de la zona C	8		8	8		8					
9. Zona B n puntos por encima/debajo de 1 sigma; 2 puntos, uno por encima y otro por debaj	4										

Figura 2.8: Reglas de las cartas de control

Si se visualiza cada patrón de comportamiento de forma individual que estos son dados en la figura 2.8, **el más usado es el de Montgomery**; los 8 patrones de comportamiento los 8 para que hay son para cartas por variables (del 1 al 8º.) y del 1 al 4º. Para cartas por atributos, como se muestra en la figura 2.9:

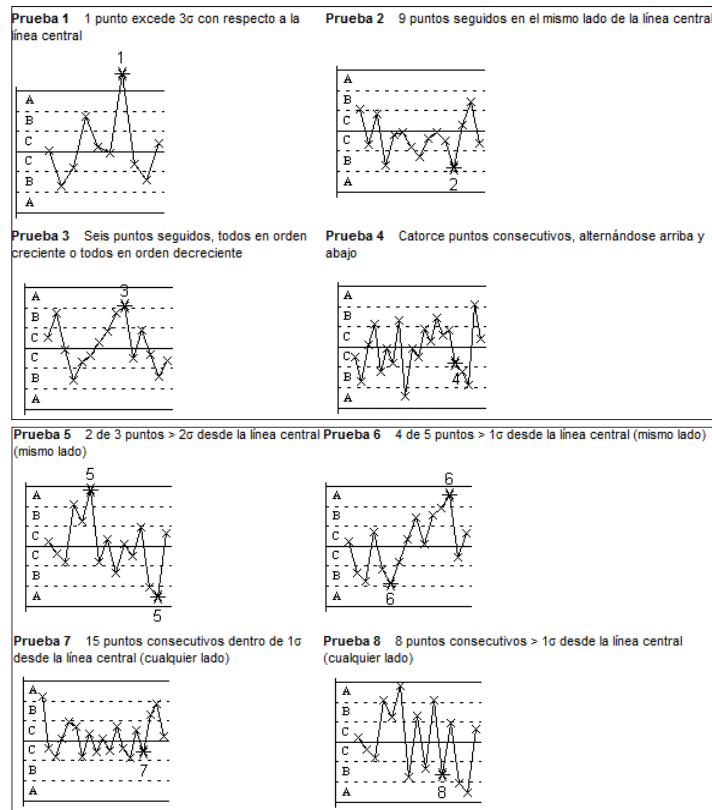


Figura 2.9: Patrones de comportamiento para cartas de control, de Montgomery.

2.2 Elaboración e interpretación de cartas de control

La naturaleza del diagrama de control es como a continuación se explica: vamos a suponer que se toman muestras de un tamaño dado en el curso de un proceso con intervalos más o menos regulares, y que para cada muestra se calcula alguna estadística X . Esto puede ser la fracción defectuosa, la media o la amplitud ("rango") de la muestra. Siendo resultado de ésta, X estará sometida a las fluctuaciones del muestreo. Si no hay causas especiales presentes, estas fluctuaciones del muestreo en x se distribuirán en una forma estadística determinada, tal como en la figura 2.10:

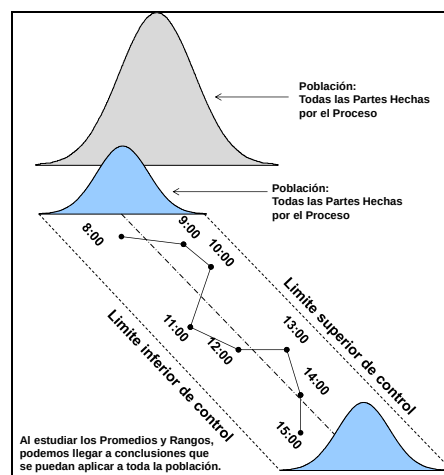


Figura 2.10: Elaboración de la carta de control a través del tiempo

Si se anotan los valores de muestra de X para una amplitud significativa en cuanto a la producción del tiempo, y todos esos valores caen dentro de los límites de control y no muestran ciclos o tendencias por encima o debajo del promedio, o tendencias que aumenten o disminuyan, se podrá decir que el proceso se encuentra en un estado de control estadístico al nivel diseñado con la relación a la medida dada de Calidad.

2.2.1 Grafico $\bar{\bar{X}} - \bar{R}$

Una carta $\bar{\bar{X}}$ muestra las variaciones en los promedios de las muestras. En el se cuenta con una línea central con limites superior e inferior de control. Esta carta es desarrollada desde la toma de las mediciones de una característica en particular la salida de un proceso u operación, estos datos son reportados en pequeños subgrupos de tamaño de muestra constante, comúnmente incluyen desde 3 hasta 5 piezas (para $n \geq 10$ el rango pierde eficiencia rápidamente ya que ignora los valores intermedios entre $X_{\max}$ y $X_{\min}$, sin embargo para valores pequeños de $n = 2,3,4,5$ o 6 empleados en las cartas es adecuado) consecutivas y los datos son tomados periódicamente. Esta grafica muestra tanto el valor medio (X) como el rango (R) de nuestro proceso. La parte donde se grafican los rangos nos muestran la variación de este.³⁴

Elaboración de las cartas de medias y rangos

1. Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra.

$\bar{\bar{X}}$ Para un estudio de un proceso, las muestras deben estar formadas por subgrupos de 3 a 5 piezas, los subgrupos deben estar tomados a intervalos de tiempo corto, para detectar si el proceso puede cambiar o mostrar inestabilidad en breves periodos de tiempo, los intervalos de tiempo pueden variar de acuerdo con las exigencias de la característica al checar. En cuanto al número de subgrupos éstos deben de estar al menos de 20 a 25 subgrupos.

2. Calcule el promedio X y el rango R para cada subgrupo

A. El promedio lo calculamos mediante la siguiente formula

$$\bar{\bar{X}} = \sum_{i=1}^n \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

B. el rango para cada subgrupo lo calculamos mediante la siguiente formula:

$$R = \text{Valor mayor} - \text{Valor menor}$$

El rango indica la variación (dispersión) que existe en el proceso y la diferencia que hay de una pieza a otra.

3. Registré los promedios X y los rangos R, en la gráfica de control; y seleccioné la escala para la carta de control.

4. Calcule los límites de control

A. Calcule la media de medias de X y el rango promedio R mediante las siguientes formulas:³⁵

³⁴ Duncan Acheson. J, *Control de Calidad y Estadística Industrial*, Alfaomega, 5ª, México, pp.470-474.

³⁵ Rath Strong, *Six Sigma Pocket Guide*, Editorial: AON; management consulting, Lexington, Massachusetts. 2002. Pp:185.

$$\bar{\bar{X}} = \sum_{i=1}^k \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_3}{k}$$

$$\bar{R} = \left(\sum_{i=1}^k \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{K} \right)$$

Donde: k es el número de subgrupos; $\bar{x}_1$ y R_1 son: el promedio y el rango del primer subgrupo, $\bar{x}_2$ y R_2 son el promedio y el rango del segundo subgrupo, etc.

5. Calcule los límites de control para la carta de medias y la carta de rangos:

$$LSC_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}; LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

Donde: LSC_x = límite superior de control para la media

LIC_x = límite inferior de control para la media

$$LSC_R = (D_4 \bar{R}); LIC = D_3 \bar{R}$$

Donde: LSC_R = Límite superior de control para el rango

LIC_R = Límite inferior de control para el rango

Las letras A_2 , D_3 , y D_4 son constantes que dependen del tamaño de la muestra, los valores para tamaños de muestra de 2 a 10 se muestran en la tabla siguiente 2.1, para cara de medias y rangos, y carta de medias y desviaciones estándar:

Tabla 2.1 Valores de constantes para cartas de control, Figura 7.³⁶

Valores de constantes para cartas de control, figura 7:																
Carta para promedios				Carta para desviaciones estándar						Carta para rangos						
Factores para límites de control				Factores para línea central		Factores para límites de control				Factores para línea central		Factores para límites de control				
n	A	A ₂	A ₃	C ₄	1/C ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	0.102	0.195	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	0.143	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	0.118	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	0.110	0.9550	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.240	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.755	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.182	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.446	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.981	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.919	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.71	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

6. Dibuje la media de medias $\bar{\bar{X}}$, el rango medio $\bar{R}$ y los límites de control para el promedio y para el rango en la grafica de control.

7. Interprete la carta de control.

³⁶ Allen Bradley Co, *DataMyte Handbook*, A practical guide to computerized data collection for Statistical Process Control, Editorial DataMyte Division, 5a. edition, Minnetonka, Minnesota Estados Unidos, Tabla A-1

El objetivo de analizar una gráfica de control es identificar cual es la variación del proceso. Las causas comunes y especiales de dicha variación y en función de éstas tomar alguna acción apropiada.

- Analice tanto la gráfica de rangos como la de promedios para ver si existe un patrón de comportamiento y si lo hay registre la causa que lo provoco y tome una acción correctiva de inmediato para corregir la falla y prevenir la ocurrencia
- El objetivo de analizar una gráfica de control es identificar cual es la variación del proceso. Las causas comunes y especiales de dicha variación y en función de éstas tomar alguna acción apropiada.
- El estado controlado del proceso es el estado en el cual el proceso es estable. Es decir, el promedio y la variación del proceso no cambian. Si el proceso está o no controlado se juzgan según los siguientes criterios a partir de la gráfica de control.

Analice primero la gráfica de rangos

- Patrones de comportamiento e inestabilidad con los cuales se analiza si el proceso es estable o no.

A. Puntos fuera de control

- La presencia de uno o más puntos fuera de los límites de control: es evidencia de inestabilidad del proceso. La variación de los puntos dentro de los límites de control es debida a causas comunes (fallas del sistema). Los puntos fuera de los límites de control se deben a causas especiales de variación (fallas locales). Un producto fuera de los límites de control requiere de un análisis inmediato para buscar la causa especial que lo provoco.
- Un punto fuera de control nos indica:
 - El límite de control está mal calculado
 - La variación de pieza a pieza ha empeorado
 - El punto está mal graficado
 - El sistema de medición ha cambiado. (diferente técnico o calibrador)

B. Corrida

Es la sucesión de 7 puntos o más por abajo o por arriba de la media.

Una corrida por arriba nos indica:

- Mayor dispersión de los resultados, lo cual puede venir de una causa irregular (tal como el funcionamiento del equipo)ó un cambio en la distribución de los materiales (un nuevo material), estos problemas requieren de una acción correctiva inmediata.
- Un cambio en el sistema de medición.

Una corrida por abajo nos indica:

- Menor variación del producto, lo cual es una buena condición que debe estudiarse para ampliar su aplicación.
- El sistema de medición fue modificado.

Una corrida por arriba o por abajo del promedio de promedios, en la grafica de promedios nos indica:

- La variación del proceso ha aumentado
- Hay presencia de causas especiales de variación. Las cuales hay que identificar y corregir de inmediato

C. Tendencia

Es la sucesión de 7 puntos o más ascendentes o descendentes a lo ancho de los límites de control. Las tendencias también se pueden encontrar arriba o abajo del proceso ya sea en la gráfica de rangos o en la de promedios, no necesariamente deben cruzar la media.

La presencia de una tendencia en la gráfica de rangos nos indica:

- a. Si la tendencia es ascendente es señal de que la variación de pieza a pieza ha empeorado y se debe de hacer una acción correctiva de inmediato.
- b. Si la tendencia es descendente es señal de que el proceso ha mejorado, ya que se acerca al límite inferior de control, lo cual quiere decir que la variación ha disminuido.

La presencia de una tendencia en la gráfica de promedios nos indica:

- a. Que el proceso ha empeorado ya que éste puede salir de control, si no hacemos una acción correctiva de inmediato.
- b. Si la tendencia empieza en LSCx o el LICx y se acerca a la media, quiere decir que hay una condición de mejora, la cual tenemos que analizar y documentar; pero si es al contrario o sea que la tendencia empiece de la media hacia el LSCx o el LICx es una condición anormal y debemos tomar las acciones apropiadas para corregir el proceso.

D. Adhesión a la media

Es cuando el 68% de los puntos graficados o 17 puntos caen en el tercio medio (T.M) cerca de la media

Para evaluar y poder decidir si hay adhesión a la media se procede de la siguiente manera:

Divida la distancia que hay entre la media y el LSC en 3 partes iguales, de la misma manera del lado del LIC, como se muestra en la figura anterior.

Si 2/3 (17 puntos de 25) de los puntos graficados se encuentran concentrados dentro del tercio medio, existe adhesión a la media.

Si existe adhesión a la media debemos verificar lo siguiente:

- A. Los límites de control han sido mal calculados
- B. Los puntos fueron mal graficados.
- C. Los datos no son reales. Han sido alterados.
- D. Se ha mezclado en el subgrupo un tipo diferente de datos o datos de factores diferentes (maquinas, materiales, mano de obra diferente, etc.)

E. Adhesión a los límites de control

Cuando el 30% de los puntos graficados o 2 de 3 puntos caen en el tercio superior o inferior cerca de los límites de control.

Para evaluar y poder decidir si hay adhesión a los límites de control se procede de la siguiente manera:

Divida la distancia que hay entre la media y el LSC en tres partes iguales, de la misma manera el LIC, como se muestra en la figura anterior.

Si una cantidad mayor de 1/3 de los puntos graficados (8 puntos de 25) o si 2 de 3 puntos consecutivos se encuentra dentro de los tercios cercanos a los límites de control, existe adhesión a los límites de control.

Si existe adhesión a los límites de control debemos verificar lo siguiente:

- Los límites de control han sido mal calculados.
- Los puntos fueron mal graficados.

- El proceso o el método de muestreo es tal, que los subgrupos contienen mediciones de dos o más factores diferentes.

F. Ciclos o periodos

Es cuando los puntos se mueven hacia arriba y hacia abajo repitiéndose a intervalos semejantes, los ciclos no necesariamente deben cruzar la media. También los podemos encontrar arriba o debajo de la media.

Debemos de tomar en cuenta que todos estos patrones de comportamiento e inestabilidad son malos para el proceso, ya que nos indican un comportamiento anormal, aunque estén dentro de control, éstos no deben de aparecer porque nos dan señales de que el proceso no es estable y debemos tomar acciones correctivas para eliminar estas variaciones.

Identifique y corrija las causas especiales de variación en la gráfica de rangos

Primero se analiza de carta de rangos, se debe hacer un análisis de la operación del proceso ante cada indicación de falta de control proveniente de la gráfica de rangos para determinar sus causas, corregir y prevenir su repetición. Cada que se encuentre un patrón de comportamiento e inestabilidad en la gráfica, éste se debe circular y anotar en la bitácora de la carta de control las causas que lo produjeron, así como la acción correctiva que se tomó en ese momento.

Hacer lo mismo para la gráfica de promedios

Recalcular los límites de control tanto para la gráfica de promedios como para la de rangos

Cuando las causas especiales de variación hayan sido identificadas y corregidas, elimine los puntos fuera de control debido a esas causas y calcule nuevamente los límites de control. Confirme que todos los puntos estén bajo control cuando se les compare con los nuevos límites

8. Cálculo e interpretación de la habilidad del proceso

A. Calcule la desviación estándar del proceso. (σ): Dado que la variación en el proceso de una pieza a otra se refleja en el rango del subgrupo. La estimación de la desviación estándar σ está basada en la media de rangos $\bar{R}$, calculándose con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

$\bar{R}$ = Rango medio.

d_2 = constante que cambia en función del tamaño de la muestra. Los valores de d_2 se indican en la siguiente tabla (ver la tabla 2.1).

La habilidad potencial del proceso (Cp) muestra la habilidad potencial que tiene el proceso para cumplir especificaciones y está definido como: la comparación entre la variación actual del proceso y la variación permitida por la especificación.

A. Calculé la habilidad potencial del proceso (Cp):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Donde: LSE = límite superior de especificación

LIE = límite inferior de especificación

σ = desviación estándar del proceso

Así un valor de:

$C_p = 1.00$ para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificación).

$C_p = 1.33$ para $\pm 4\sigma$ (99.99% de piezas dentro de especificación).

Son los requerimientos mínimos para decir que un proceso es potencialmente hábil.

A. Habilidad real del proceso. (Cpk)

La habilidad real del proceso esta descrita en términos de la distancia que hay entre el promedio del proceso y los límites de especificación. Para esto definiremos dichas distancias en unidades que llamaremos Z.

1. Cuando la tolerancia de especificación es unilateral, es decir hacia un solo lado tenemos que el valor de Z esta dado por la siguiente formula:

$$Z = \frac{LE - \bar{x}}{\sigma}$$

Donde:

LE = Limite de especificación.

$\bar{x}$ = Media del proceso.

σ = Desviación estándar.

Entonces la habilidad real del proceso (Cpk) está dada por:

$$C_{pk} = \frac{Z}{3}$$

Cuando la tolerancia es bilateral, es decir hacia ambos lados tenemos:

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{x}}{\sigma}; Z_i = \frac{\bar{x} - LIE}{\sigma}$$

Donde:

Zs = Z superior

Zi = Z inferior

LSE = Límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

$\bar{x}$ = Promedio del proceso

σ = Desviación estándar.

Entonces el C_{pk} está dado por:

$$C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3}$$

Z_{min} = Mínimo entre Z_s y Z_i .

Así un valor de $C_{pk} = 1.00$ para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificación)

Así un valor de $C_{pk} = 1.33$ para $\pm 4\sigma$ (99.99% de piezas dentro de especificación)

Son los requerimientos mínimos para decir que el proceso es hábil.

Otra forma de calcular la habilidad del proceso es por medio de los porcentajes de piezas fuera de especificación, donde los Z son usados en conjunto con la tabla de distribución normal, para estimar la fracción de piezas fuera de especificación.

Las fracciones de piezas fuera de especificación están dadas por:

PZ_s = Fracción defectuosa fuera del límite superior de especificación

PZ_i = Fracción defectuosa fuera del límite inferior de especificación

Entonces deberá buscar el valor de Z a lo largo de los bordes de la tabla de distribución normal. Los dígitos de unidades y decenas están colocados a lo largo de la columna izquierda y el de las centenas a lo largo del renglón superior.

El número que corresponde a la intersección de estas columnas y renglones, lo llamaremos P_z y representa la fracción de piezas fuera de especificación. En términos de porcentaje multiplicamos este valor por 100.

Para tolerancias bilaterales tenemos que encontrar PZ_s y PZ_i entonces el porcentaje fuera de especificación será:

$$PZ_T = (PZ_s + PZ_i) * 100$$

Tomando en consideración que un proceso puede considerarse hábil cuando el 99.73% de las piezas están dentro de especificación para $\pm 3\sigma$ y 99.99% para $\pm 4\sigma$ entonces la habilidad se determina como:

Tolerancia unilateral:

$$\text{Habilidad} = 100\% - PZ$$

$$\text{Habilidad} = 100\% - PZ_t$$

Gráficamente los Z y los PZ están representados en la siguiente figura 2.11:

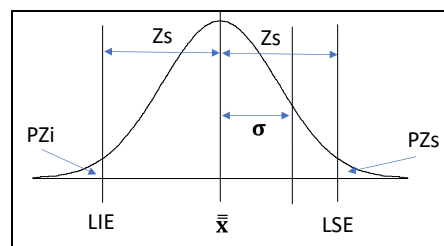


Figura 2.11. Valores para el cálculo del Cp

Ejemplo de carta de control de medias y rangos: una empresa comercializadora de acciones ha completado un proyecto que ha reducido el tiempo medio que tardan en negociarse su

instrucciones sobre acciones, hasta una media de 20.6 minutos³⁷. El cual se desarrollara en el software de Minitab, ver figura 2.12: cómo se puede observar, no presenta causas especiales de variación y el proceso está en control estadístico, por lo tanto de esta manera se puede calcular la capacidad del proceso.

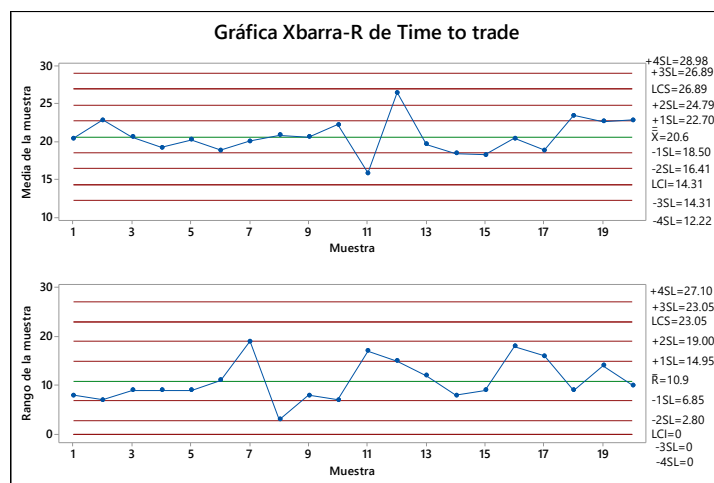


Figura 2.12: Grafica de medias y rangos, para el ejemplo dado

Capacidad

Tomado como límites de especificación LSE= 28.98 y LIE= 12.22 tenemos que los datos arrojados por Minitab para el cálculo de la capacidad normal mostrado en la figura 2.13, y esto se calcula por que el proceso está en control estadístico:

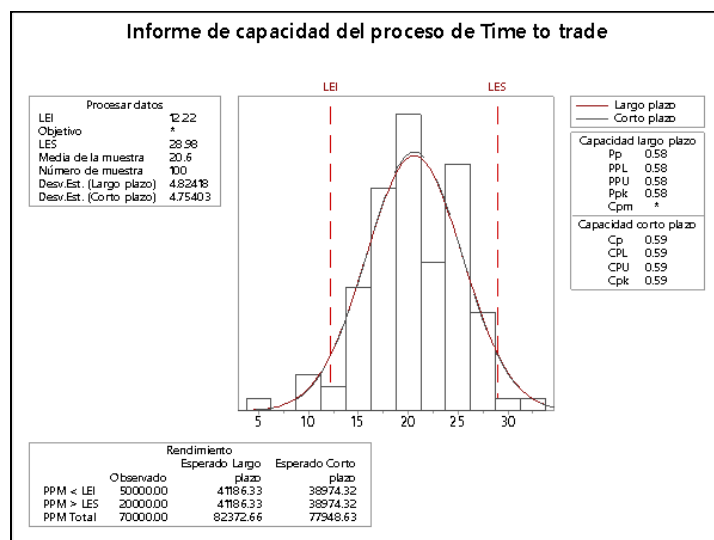


Figura 2.13: Capacidad de proceso normal para el ejemplo dado.

Como se puede observar la desviación estándar de corto plazo es de 4.75, y no existe corrimiento de media; por la tanto el C_p y el C_{pk} ; el P_p y el P_{pk} son aproximadamente iguales.

³⁷, Quentin Brook, "Six Sigma and Minitab" ed: OPEX RESOURCES, 3a. Edición. 2014. UK. Pp: 253.

2.2.2 Grafico $\bar{\bar{X}} - S$

Las cartas de promedios y desviaciones estándar al igual que el de medias y rangos, son desarrollados a partir de las mediciones que se hacen a la salida del proceso, y estas son usadas siempre como un par. Las cartas de rangos son desarrolladas como mediciones de la variación del proceso ya que el rango es fácil de calcular y es relativamente eficiente para tamaños de subgrupos pequeños (especialmente de 0 a 9). La desviación estándar es un indicador más eficiente de la variabilidad del proceso, especialmente con tamaños de muestra grandes. Como quiera que sea, esta es más compleja para calcular, y es menos sensitiva para detectar causas especiales de variación. Típicamente las cartas de $\bar{X} - S$ son usadas en lugar de las cartas $\bar{\bar{X}} - R$ cuando algunos de los siguientes puntos existen:

1. Los datos son recolectados y graficados por computadora, además de que el cálculo de la desviación estándar es automático.
2. Los cálculos se pueden hacer en una calculadora de bolsillo para encontrar la desviación estándar
3. Cuando el tamaño de los subgrupos es grande.

Los detalles de las instrucciones Para las cartas $\bar{\bar{X}} - S$ son muy similares a las cartas de medias y rangos, excepto en el cálculo de la desviación estándar³⁸³⁹.

Elaboración de las cartas de $\bar{\bar{X}} - S$

La elaboración de la carta es de la siguiente forma:

1. Colección de datos.

Cuando los renglones de los datos son muy grandes, estos frecuentemente son anotados por separado, en la carta solo aparece el promedio y la σ para cada subgrupo.

2. Calcular para cada subgrupo la desviación estándar usando la siguiente formula; si la desviación estándar desconocida de una distribución de probabilidad, con un estimador insesgado de σ^2 : será la varianza muestral.

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n_1 - 1}}$$

3. Determinar la escala de la carta.

³⁸ *Control Estadístico de la Calidad*, D. C. Montgomery, Grupo editorial Iberoamérica, 1991. Mexico, Pp: 172- 174

³⁹ *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*, H. G. Pulido, R. de la V. Salazar, Mc Graw Hill, 3ª. edición. 2013. México, Pp:185-187

Para realizar la escala en la carta $\bar{X}$, divídala según sea su LSCx y LICx, y trácelos
 Marque el $\bar{X}$ (el promedio), y trace la línea.

4. Cálculo de los límites de control

Promedio de promedios:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{n_1 \bar{x}_1 + n_2 \bar{x}_2 + \dots + n_k \bar{x}_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

5. Desviación estándar promedio:

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i$$

6. Límites para el promedio:

$$LSC_x = \bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}}; LC = \bar{\bar{X}}; LIC_x = \bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}}$$

7. Límites para la desviación estándar:

$$LSC = \bar{R} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}; LC = \bar{R}; LSC = \bar{R} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Donde C_4 , son constantes que dependen del tamaño de la muestra y se dan en la siguiente tabla (ver tabla 2.1).

5. Interpretación del proceso;

Ver punto 7A, pagina 57 pagina 63.

6. Cálculo de la habilidad del proceso:

1. Calcular la desviación estándar del proceso:

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma}}{c_4}$$

Donde: C_4 es una constante que depende del tamaño de la muestra y se obtiene en la tabla 2.1.

7. Calcule la habilidad potencial del proceso (C_p):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Donde: LSE = Límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

σ = Desviación estándar del proceso

Así un valor de:

$C_p = 1.00$ para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificación).

$C_p = 1.33$ para $\pm 4\sigma$ (99.99% de piezas dentro de especificación).

Son los requerimientos mínimos para decir que un proceso es potencialmente hábil.

8. Calcule la habilidad real del proceso (C_{pk})

La habilidad real del proceso esta descrita en términos de la distancia que hay entre el promedio del proceso y los límites de especificación. Para esto definiremos dichas distancias en unidades que llamaremos Z. Cuando la tolerancia de especificación es unilateral, es decir hacia un solo lado tenemos que el valor de Z esta dado por la siguiente formula:

$$Z = \frac{LE - \bar{X}}{\sigma}$$

Donde:

LE = Limite de especificación; X = Media del proceso y σ = Desviación estándar.

Entonces la habilidad real del proceso (C_{pk}) está dada por:

$$C_{pk} = \frac{Z}{3}$$

Cuando la tolerancia es bilateral, es decir hacia ambos lados tenemos:

$$Z_i = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma}; Z_{is} = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma}$$

Donde:

Zs = Z superior

Zi = Z inferior

LSE = límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

$\bar{X}$ = Promedio del proceso

σ = Desviación estándar.

Entonces el Cpk está dado por:

$$C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3}$$

Zmin = Mínimo entre Zs y Zi.

Así un valor de Cpk = 1.00 para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificación)

Así un valor de Cpk = 1.33 para $\pm 4\sigma$ (99.99% de piezas dentro de especificación)

Son los requerimientos mínimos para decir que el proceso es hábil.

Ejemplo: caso práctico:

Paso 1: Colección de los datos: para este análisis se toma los datos en la operación de biselado de bandas V. En la cual la característica a checar es el peso, y se tomara la especificación de algunos números de parte para este análisis, lo cual nos ayudara a llenar el encabezado de la carta de control.

- Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra: 5 bandas por tambor.
- Establezca la forma en que se registraran los datos: carta de control por variable X-R.
- Obtenga y registre los datos ver figura 2.14.

Paso 1B: Carta X-R		CARTA DE CONTROL POR VARIABLES (MEDIAS Y RANGOS)									
Producto: BANDA EN V		Característica a medir:				Depto:		Línea:		Máquina:	
No. de parte:		No. de gráfica:				Escala:		Escala:		Escala:	
Nominal:		Tolerancia:		Tem. de muestra:		Frec:		Escala:		Escala:	
XL		UR		Límite inferior de especificación		Límite superior de especificación		Límite inferior de especificación		Límite superior de especificación	
X2		X3		X4		X5		X6		X7	
X8		X9		X10		X11		X12		X13	
X14		X15		X16		X17		X18		X19	
X20		X21		X22		X23		X24		X25	
SUMA		PROMEDIO		RANGO		Cp		Cpk		Cp	
PROMEDIO		RANGO		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
RANGO		Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk		Cp		Cpk	
Cp		Cpk		Cp		Cpk					

figura 2.14: paso 1; caso A, B y C

Paso 2: calcule el promedio y el rango de cada subgrupo, figura 2.15:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5} = \frac{2 + 0 + 3 + 1 - 1}{5} = 1$$

$$R = \text{VALOR MAYOR} - \text{VALOR MENOR}$$

$$R = V_{\max} - V_{\min} = 3 - (-3) = 4, \text{ ver figura 2.14;}$$

CARTA DE CONTROL POR VARIABLES (MEDIAS Y RANGOS)																								
Producto: BANDA EN V										Depto: rld-out					Línea: besbntz									
No. De parte:										Característica a medir: rld-out					Operación: besbntz									
Descr. Operación: desbntz de banda UMI #2										No. De grafica: #235					Maquina: #2									
Nominal:										Tolerancia:					Tam. De muestra:					Frec: 5 bndas/cambior				
X1	2	1	-2	4	2	-2	2	1	2	2	2	2	2	2	0	2	-1	2	2	2	1	2	2	2
X2	0	0	3	1	2	2	2	2	3	1	1	0	2	2	3	4	1	1	0	2	2	1	2	2
X3	3	1	0	2	-1	2	2	2	3	1	1	0	2	2	3	4	1	1	0	2	2	1	2	2
X4	1	3	2	0	2	-1	2	2	1	2	2	2	2	2	0	3	1	2	2	3	1	1	0	2
X5	1	-1	0	0	1	1	1	1	2	2	2	0	0	3	-1	2	2	1	1	1	0	2	1	2
X6	1	-2	-1	0	1	1	-1	2	2	1	1	0	-1	0	-1	0	-1	2	1	-1	1	-1	-1	-1
SUMA	5	5	-5	3	5	-5	5	5	2	5	4	3	4	5	4	5	-5	5	3	3	3	5	5	2
PROMEDIO	1	1	-1	0.6	1	-1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	0.4
RANGO	4	2	4	5	2	4	4	2	4	2	2	3	2	4	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4

Figura 2.15: cálculo del promedio y rango de subgrupos

PASO 3: Seleccione la escala para la carta de control

PASO 4: Registre el promedio y los rangos y grafíquelos, ver figura 2.15 y 2.16

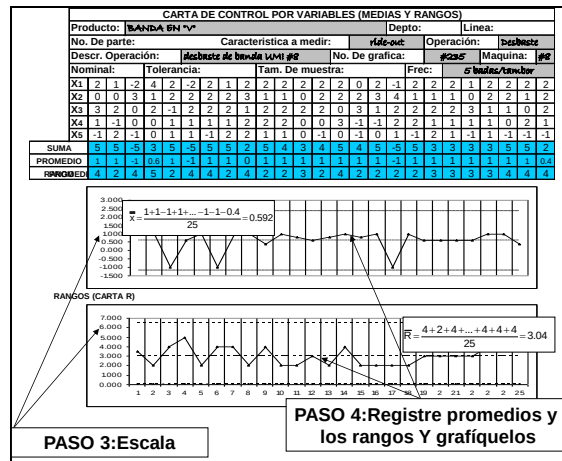


Figura 2.16: graficación de los pasos 4 y 5.

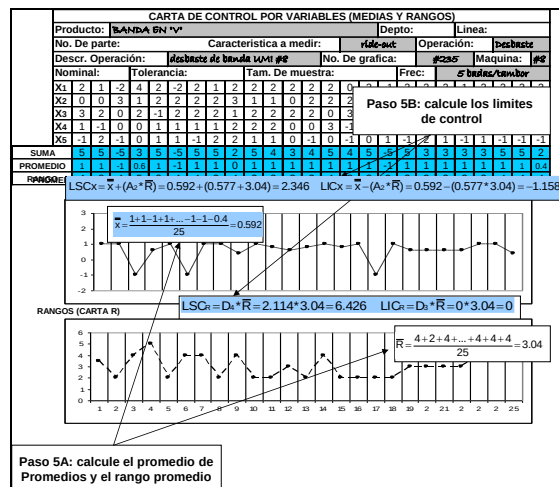


Figura 2.17: Graficación del promedio y el rango promedio

PASO 5: Calcule los límites de control

Paso 6: Dibuje el promedio de promedios, el rango promedio y los límites de control en la gráfica, ver figura 2.17.

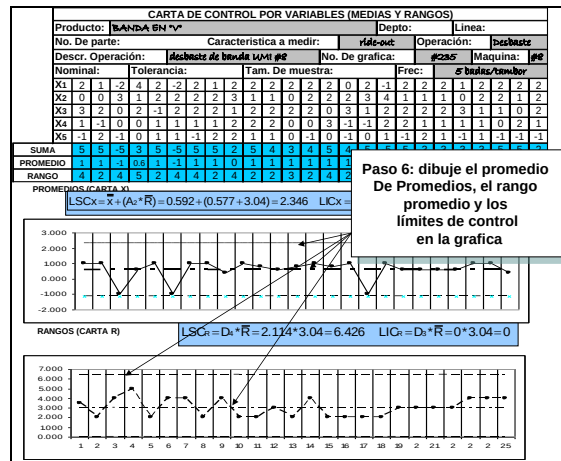


Figura 2.18: Dibujo el promedio de promedios y de los límites de control

Paso 7: Interprete la gráfica de control, ver figura 2.19

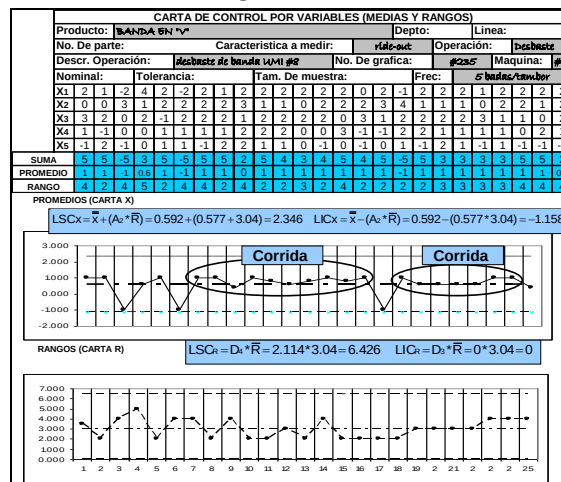


Figura 2.19: interpretación de las cartas de control identificando causas especiales

Paso 8: Calculo e interpretación de la habilidad del proceso.

1. Calcule la desviación estándar (σ)
2. De la tabla de constantes para d_2 encontramos que para un tamaño de muestra de 5 su valor es de $d_2=2.33$, entonces la desviación estándar es:

No. De parte	B-75	B-63	B-61	B-63
Valor central	319	311	301	311
Especificación	314/324	306/316	396/306	306/316
Tolerancia	± 5	± 5	± 5	± 5

3. Calcule la habilidad potencial (C_p):

Como es la tolerancia bilateral tenemos que: para todos los números de parte que se checaron en esta grafica las tolerancias son: Entonces la tolerancia será ± 5 , por lo tanto: $LSE=5$; $LIE=5$

Entonces el C_p es:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{5 - (-5)}{6 * 1.30} = 1.28$$

Ya que el $C_p > 1.00$ el proceso es hábil para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificaciones).

pero el proceso no es potencialmente hábil para $\pm 4\sigma$ ya que el $C_p < 1.33$
 por lo tanto, para los requerimientos de la empresa el proceso no es potencialmente hábil.

4. Calcule la habilidad real del proceso (C_{pk})

Como la tolerancia es bilateral calcularemos los Z (Z_s y Z_i) por tanto tenemos que:

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{x}}{\sigma} = \frac{5 - 0.592}{1.30} = 3.39; Z_i = \frac{\bar{x} - LIE}{\sigma} = \frac{0.592 - (-5)}{1.30} = 4.30$$

Por lo tanto, Z_{min} . Es: $Z_{min} = Z_s = 3.39$

$$\text{Entonces el } C_{pk}: C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3} = \frac{3.39}{3} = 1.13$$

Ya que el $C_{pk} > 1.00$ el proceso es realmente hábil para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificación).

Pero el proceso no es realmente hábil para $\pm 4\sigma$ ya que el C_{pk} es < 1.33

Por lo tanto, para los requerimientos de la corporación el proceso no es hábil

Ahora las fracciones de piezas defectuosas están determinadas por la suma de las áreas abajo del LIE y arriba del LSE. Estas se obtienen de la tabla de la distribución normal con la ayuda de las Z_s y Z_i .

Por lo tanto, de tablas tenemos que:

Para $Z_s = 3.39$ el $PZ_s = 0.00035 * 100 = 0.035\%$

Para $Z_i = 4.30$ el $PZ_i = 0\%$

Entonces el porcentaje total de piezas defectuosas fuera de especificación es:

$$PZ_t = (PZ_s - PZ_i) * 100 = (0.00035 + 0) * 100 = 0.035\%$$

Por lo tanto, la habilidad del proceso está dada por:

$$\text{Habilidad} = 100\% - PZ_t = 100 - 0.035 = 99.96\%$$

Gráficamente quedaría representado por presentado en la figura 2.19:

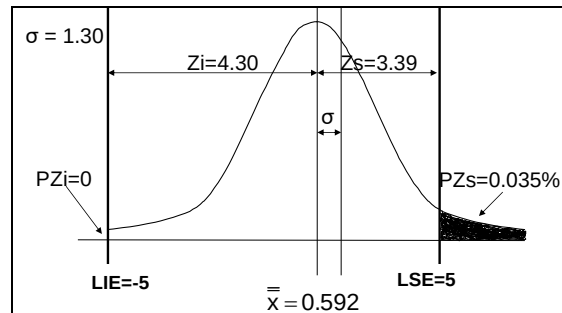


Figura 2.20: Forma gráfica de los valores de la capacidad del proceso del ejemplo

2.2.3 Grafica X de lecturas individuales (X-I)

En algunas ocasiones es más conveniente utilizar graficas de lecturas individuales, ya sea porque la medición es muy costosa (pruebas destructivas), o porque la característica analizada tiene cierta homogeneidad (concentración de sustancia).

Al llevar este tipo de grafica es importante tomar en cuenta que el rango que se utiliza es un rango movable, que resulta de la diferencia entre dos datos consecutivos.

Objetivos:

Obtener información acerca del proceso cuando la característica a medir es relativamente homogénea.

Estimar la variabilidad debida a causas especiales cuando se presentan las lecturas individuales que constituyen tendencias.

Desventajas

Las cartas X-I son poco sensibles a cambios

No proporcionan una información completa acerca de la variación del proceso.

Si se emplean menos de 100 datos las conclusiones son dudosas.

Los detalles de las cartas de control X-I son similares a las cartas de promedios y rangos con algunas diferencias.

Procedimiento

Paso 1: Llenar el encabezado de la carta.

Paso 2: Colección de datos

Seleccione la frecuencia de muestra.

Se colecta una lectura por subgrupo.

El rango móvil se calcula entre las lecturas individuales. Esta es la diferencia entre cada par sucesivo de lecturas (diferencia entre la 1ª. Y 2ª. Lectura, 2ª. Y 3ª. Etc.). A causa de esto habrá un rango móvil menos que las lecturas individuales: es decir: si hay 25 lecturas individuales habrá solo 24 rangos móviles.

La selección de la escala de la gráfica se hará de la misma manera que para la gráfica de promedios y rangos.

Paso 3: Calcule el rango móvil entre las lecturas individuales (en valor absoluto)

$$R_{n-1} = |X_n - X_{n-1}|; R_1 = |X_2 - X_1|; R_2 = |X_3 - X_2|, \dots$$

Paso 4: calcule el promedio del proceso y el rango promedio:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{K}; \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{K - 1}$$

Paso 5: Calcule los límites de control para las lecturas individuales y los rangos

$$LSC_x = \bar{\bar{X}} + (E_2 * \bar{R}); LIC_x = \bar{\bar{X}} - (E_2 * \bar{R})$$
$$LSC_R = D_4 * \bar{R}; LIC_R = D_3 * \bar{R}$$

donde E_2 , D_3 y D_4 son constantes que dependen del tamaño de muestra.

Paso 6: indique con puntos las lecturas individuales y los rangos de los subgrupos en la gráfica correspondiente, y una los con líneas para que observe el comportamiento del proceso

Paso 7: trace los límites de control para el promedio del proceso y el rango promedio.

Interpretación del proceso.

La secuencia es la misma que la gráfica X-R, pero se debe tener cuidado al interpretar las tendencias debido a que los rangos sucesivos están correlacionados (Tienen un punto en común)

Interpretación de la capacidad del proceso.

La interpretación es similar a la carta X-R

Ejemplo 2: caso práctico de la carta de medias y lecturas individuales:

Paso 1: Colección de datos

Paso 2: Obtenga el rango entre las lecturas individuales

Paso 3: Seleccione la escala para la carta de control

Paso 4: Calcule los límites de control, ver figuras:2.20,

Paso 5: indique los conjuntos de las lecturas individuales y los rangos de los subgrupos, figura 2.21

CARTA DE CONTROL POR VARIABLES X-I									
Producto:		Depto:		Unidad de medición:		0.001"			
No. De parte:		Frecuencia:		Operación:		desbaste			
Descr. Operación:		No. De grafica:		Maquina:		grinder			
Valor central:		Tam. De muestra:		Linea:					
X̄ =		Paso 1B: forma de registro y Llenado de encabezado		Paso 1A: Frecuencia					
R̄ =		Paso 1C: primeros subgrupos							
Cpk =									
NOTAS									
L. IND.	X	3	1	2	2	1	1	1	2
R. MOVIL	R	2	3	4	3	2	2	3	3
		1	2	3	4	5	6	7	8

Figura 2.21: paso 1,2,3,y 4

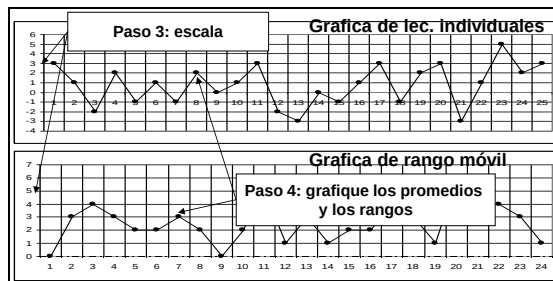


Figura 2.22: paso 5

Paso 6: Trace los límites de control para el promedio del proceso y el rango promedio

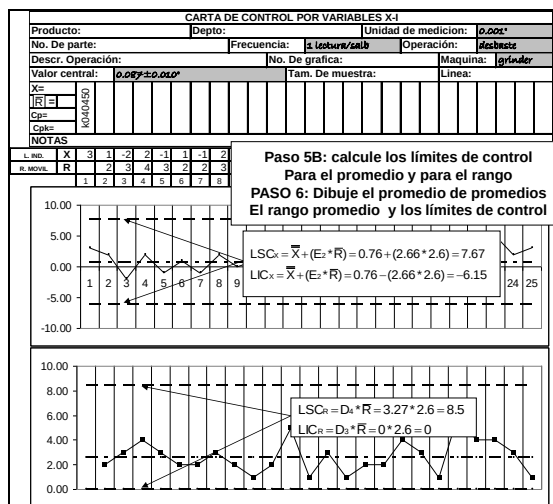


Figura 2.23: Paso 6

Paso 7: interprete la carta de control.

Analice tanto la gráfica de rangos como la de promedios para ver si existe algún patrón de comportamiento y si lo hay registre la causa que lo provoco y tome una acción correctiva de inmediato para corregir la falla y prevenir la ocurrencia.

Paso 8: Calculo e interpretación de la habilidad del proceso.

Paso 8A: de la tabla de constantes par d_2 encontramos que para un tamaño de muestra de 2 su valor es: 1.13

Entonces la desviación estándar es: $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{2.6}{1.13} = 2.3$

Paso 8B: calcule la habilidad potencial (C_p):

Como es tolerancia bilateral tenemos que: para todos los números de parte que se checaron en esta grafica las tolerancias son:

NO. DE PARTE	K040450	K040340	25,040,245
VALOR CENTRAL	0.087"	0.087"	0.087"
ESPECIFICACION	0.077/0.097	0.077/0.097	0.077/0.097
TOLERANCIA	± 10	± 10	± 10

entonces la tolerancia es de: ± 10 , por lo tanto:

Entonces el C_p es: $C_p = \frac{LSE-LIE}{6\sigma} = \frac{10-(-10)}{6 \cdot 2.30} = 1.44$

Ya que el $C_p > 1.00$ y $C_p > 1.33$ el proceso es hábil para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificaciones), y para $\pm 4\sigma$ (99.99% de piezas dentro de especificación).

Por lo tanto, para los requerimientos de la empresa el proceso es potencialmente hábil

Paso 8C: Calcule la habilidad real del proceso:

Como la tolerancia es bilateral calcularemos los Z (Z_s y Z_i), por lo tanto, tenemos:

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{x}}{\sigma} = \frac{10 - 0.76}{2.3} = 4.01; Z_i = \frac{\bar{x} - LIE}{\sigma} = \frac{0.076 - (-10)}{2.30} = 4.47$$

Por lo tanto, el Z_{min} , es: $Z_{min} = Z_s = 4.01$

Entonces el C_{pk} es: $C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3} = \frac{4.01}{3} = 1.33$

Ya que el $C_{pk} > 1.00$ y $C_{pk} > 1.33$ el proceso es hábil para $\pm 3\sigma$ y para $\pm 4\sigma$ por lo tanto para los requerimientos de la corporación el proceso es hábil.

2.3 Capacidad de proceso; C_p , C_{pk} , y C_{pm}

Como se mencionó en los puntos anteriores de las gráficas X-R, X-S y X-I; se desarrollarán los conceptos anteriores: se empezará a definir:

Capacidad de proceso: es la capacidad que tiene un proceso para cumplir con los requerimientos del cliente. (esto se refiere a la condición general del proceso para cumplir con las especificaciones).

Se realiza un estudio a **largo plazo** para determinar el desempeño real del proceso a largo plazo.

Se recolectan datos por un período lo suficientemente largo de tal manera que el proceso se ve afectado esencialmente por todas las causas, aleatorias y no-aleatorias, (ejemplos: datos recolectados de varios lotes, turnos, temporadas, etc., en Largo Plazo – en períodos más largos de tiempo hay más oportunidades de variación).

El análisis de capacidad de procesos identifica problemas de rendimiento... ¡y qué hacer al respecto!, a continuación, se presentan los cálculos que se requieren para el cálculo de la capacidad de procesos

Conceptos: C_p , C_{pk} y P_p , P_{pk} , que se muestran en la tabla 2.31

Métricas de capacidad de proceso C_p y C_{pk}	Métricas de capacidad de proceso P_p y P_{pk}
C_p mide qué tan bien encajarían los datos dentro de los límites de especificación (USL, LSL)	P_p mide Qué tan bien encajarían los datos dentro de los límites de especificación (USL, LSL).
C_{pk} mide qué tan centrados están los datos entre los límites de especificación.	P_{pk} mide Qué tan centrados están los datos entre los límites de especificación.
Use C_p C_{pk} cuando tenga una muestra, no la población, y esté probando la capacidad potencial de un proceso para satisfacer las necesidades del cliente.	Utilice P_p P_{pk} cuando tenga la población total y esté probando el rendimiento de un sistema para satisfacer las necesidades del cliente.
C_p C_{pk} Las fórmulas C_p C_{pk} utilizan el estimador Sigma	P_p P_{pk} Las fórmulas P_p P_{pk} utilizan la desviación estándar.

Tabla 2.3.1: métricas de capacidad de proceso: C_p , C_{pk} , P_p , y P_{pk}

Para realizar esto se requiere de profundizar: un proceso es capaz cuando cumple con los requisitos del cliente el 100 % del tiempo. Los requisitos del cliente se definen mediante un límite de especificación superior (USL) y un límite de especificación inferior (LSL). Piense en estos límites de especificación como postes de meta, como se ve en la figura: 2.23.

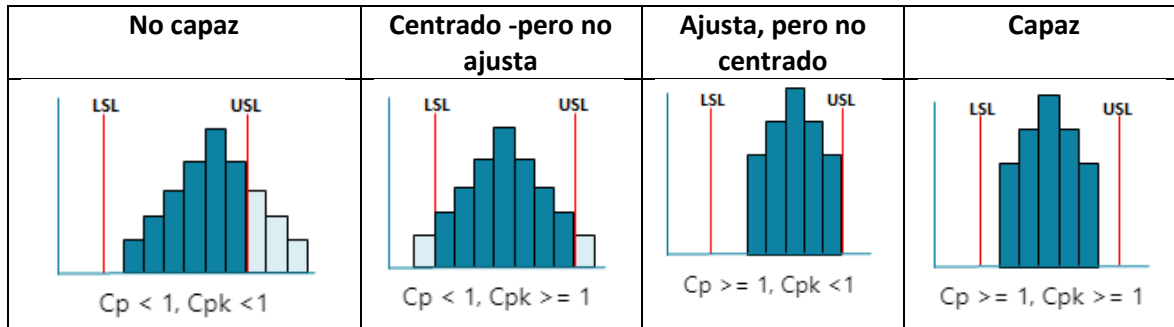


Figura 2.23: forma gráfica de representación de los índices de capacidad del C_p

Las métricas de capacidad del proceso C_p , C_{pk} y P_p , P_{pk} determinan qué tan bien un proceso es estable y cumple con estas especificaciones.

C_p vs C_{pk} ejemplos se muestran en la tabla 2.3.2

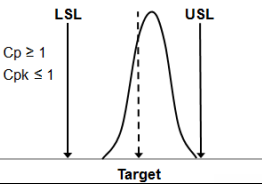
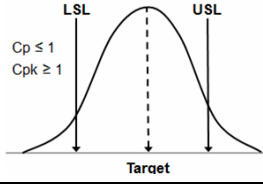
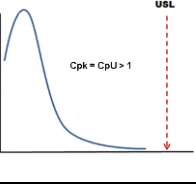
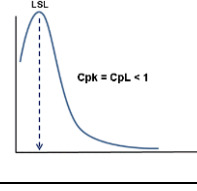
Se ajusta, pero no está centrado	Centrada pero no ajusta	Límite de especificación unilateral	Límite de especificación unilateral
 $C_p \geq 1$ $C_{pk} \leq 1$	 $C_p \leq 1$ $C_{pk} \geq 1$	 $C_{pk} = C_{pu} > 1$	 $C_{pk} = C_{pl} < 1$
El objetivo de la mejora del proceso es acercar el resultado al objetivo sin aumentar la variación.	El objetivo de la mejora del proceso es reducir la variación para que el proceso se ajuste a los límites de las especificaciones.	No confunda un "límite estricto" (es decir, cero) con un "límite de especificación". No lo es. En este caso, C_{pk} usa C_{pu} , lo que significa que $C_{pk} > 1$.	Si ingresa un LSL de cero, C_{pk} usa C_{pl} , lo que significa $C_{pk} < 1$ porque la media está más cerca de cero.

Tabla 2.3.2: Ejemplos de C_p vs C_{pk}

A continuación, se dan las métricas de análisis de capacidad y las Reglas generales de estas:

- $C_p > 1$ El proceso es capaz (el producto ajustara entre los límites de especificación superior e inferior del cliente si el proceso está centrado).
- $C_{pk} > 1$ El proceso es capaz y está centrado entre LSL y USL.
- Si $C_p = C_{pk}$ el proceso se centra en el punto medio de los límites de especificación.
- Si $C_p > C_{pk}$ el proceso está descentrado.
- C_p y C_{pk} deben tener un valor cercano a P_p y P_{pk} .

- Si C_p y C_{pk} son mucho mayores que P_p o P_{pk} (33 % más), es posible que su proceso no sea lo suficientemente estable para realizar un análisis de capacidad. Utilice gráficos de control para evaluar la estabilidad de su proceso.

Cálculos con las Fórmulas de C_p y C_{pk} , P_p y P_{pk}

❖ Fórmulas para C_p y C_{pk}

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

$$C_{pSup} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$C_{pinf} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}$$

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pSup}, C_{pinf})$$

❖ Fórmulas para P_p y P_{pk}

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

$$P_{pSup} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$P_{pinf} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}$$

$$P_{pk} = \text{Min}(P_{pSup}, P_{pinf})$$

❖ Otra vista de las fórmulas dadas en la tabla: 2.3.4

C_p	P_p
$\frac{LSE - LIE}{6 * \text{estimador de sigma}}$	$\frac{LSE - LIE}{6 * \text{desviacion estandar}}$
Se usa cuando se tiene una muestra	Se usa cuando se tiene la población completa

Tabla 2.3.4: C_p y P_p

❖ Fórmulas de C_{pk} y P_{pk} dadas en la tabla 2.3.5

	C_{pk}		P_{pk}
	Minimo del C_{pSup} y C_{pinf}		Minimo del P_{pSup} y P_{pinf}
C_{pSup}	$\frac{LSE - \bar{X}}{3 * \text{estimador de sigma}}$	P_{pSup}	$\frac{LSE - \bar{X}}{3 * \text{desviacion estandar}}$
C_{pinf}	$\frac{\bar{X} - LIE}{3 * \text{estimador de sigma}}$	P_{pinf}	$\frac{\bar{X} - LIE}{3 * \text{desviacion estandar}}$
	Usar cuando tienes una muestra		Usar cuando tienes una población
Puntos importantes • $\bar{X} = \sum X/n$ el promedio de los puntos • Cambiar los límites de especificación cambiara, C_p y C_{pk} • C_p y C_{pk} usan el estimador sigma porque asumen que sus datos representan una muestra de la población. • P_p y P_{pk} usan la desviación estándar por que asumen que sus datos representan la población total.			

Tabla 2.3.5 P_p y P_{pk}

A continuación, se presentan otros conceptos importantes en el calculo de los valores de Cp:

❖ **Fórmulas para el estimador de sigma**

La desviación estándar de la población puede ser estimada a partir del promedio de los subgrupos en cada muestra. del rango promedio Estos son usados para calcular Cp, Cpk:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}; \text{ para } n=1,2,3,4$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}; \text{ para } n > 4$$

❖ **Otra vista de las fórmulas, dadas en la tabla 2.3.6**

Tamaño de subgrupo	Formula del estimador de sigma	Definiciones
1 a 4	$\frac{\bar{R}}{d_2}$	$\bar{R}$ promedio de los rangos d_2 es una constante basada en el tamaño de la muestra
5 o mas	$\frac{\bar{s}}{c_4}$	$\bar{s}$ promedio de las desviaciones estandar c_4 es la constante basada en el tamaño de la muestra

❖ **Fórmulas para un lado de los límites de especificación**

LSE solamente	LSE solamente
$C_p = C_{pk} = C_{pinf}$ $P_p = P_{pk} = P_{pinf}$	$C_p = C_{pk} = C_{psup}$ $P_p = P_{pk} = P_{psup}$

Table 2.3.6: Formulas limites unilaterales

❖ **Fórmula para defectos en partes por millón PPM, dadas en la tabla 2.3.7**

Actual	Estimado para la población
$\frac{\# \text{ de no conformidades} * 1000000}{\# \text{ de partes}}$	$PPM_{sup} = NORMSDIST(Z_{sup}) * 1000000 + PPM_{inf} = NORMSDIST(Z_{inf}) * 1000000$

Tabla 2.3.7: Fórmulas de PPM

❖ **Fórmulas para Z**

Usted puede utilizar los valores de nivel Z en lugar de los índices de capacidad Cp y Pp para describir la capacidad sigma de un proceso con los datos de las mediciones. El marcador Z ayuda a estimar las PPM no conformes, el marcador Z ayudan estandarizan $\pm 3\sigma$ los valores del estimador. Se da en la tabla 2.3.9:

Z inferior	$(LIE - \bar{X})/\text{estimador de sigma}$
Z superior	$(\bar{X} - LSE)/\text{estimador de sigma}$
Z _{bench} es el marcador Z para las PPM esperadas	INV.NORM.ESTAND (1-(PPM esperada/1000000)) INV.NORM.ESTAND = Muestra el valor de la función de distribución normal estándar inversa de un valor especificado
Z _{Target (meta)} = Cpk para un valor objetivo en algún lugar del LSE o LIE. Si no está definido, utilice el punto medio entre el LSE y LIE.	$(\bar{X} - meta)/(3 * \hat{\sigma})$ $\hat{\sigma}$ = estimador de sigma

Tabla 2.3.9: Cálculos del valor de Z

Ejemplo: calculo; LSE= 346; LIE=200, para las observaciones dadas en la tabla del lado izquierdo. Figura 2.24:

Sample	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Bursting Strength of Bottles	SBAR	PROM
S1	265	205	263	307	220	Verified and Validated using Montgomery, Intro to SPC, 4th Ed., pgs. 353-358	40.46	252.00
S2	268	260	234	299	215	To order this book from Amazon.com go to:	32.29	255.20
S3	197	286	274	243	231	http://www.amazon.com/exec/obidos/ASIN/0471316482/quantuicom-20	35.42	246.20
S4	267	281	265	214	318	USL=346	37.38	269.00
S5	346	317	242	258	276	LSL=200	42.91	287.80
S6	300	208	187	264	271	DES STD	46.88	246.00
S7	280	242	260	321	228	TODOS LOS	36.32	266.20
S8	250	299	258	267	293	DATOS	21.59	273.40
S9	265	254	281	294	223	PROMEDIO	27.25	263.40
S10	260	308	265	283	277		18.82	278.60
S11	200	235	246	328	296		50.83	261.00
S12	276	264	269	235	290		20.29	266.80
S13	221	176	258	263	231		34.90	229.80
S14	334	280	265	272	283		27.31	286.80
S15	265	262	271	245	301		20.43	268.80
S16	280	274	253	287	258		14.47	270.40
S17	261	248	260	274	337		35.32	276.00
S18	250	278	254	274	275		13.12	266.20
S19	278	250	265	270	298		17.67	272.20
S20	257	210	280	269	251		26.71	253.40

- Ya que son 5 subgrupos, el estimador de sigma que se usa la formula estimador de $\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}(sbar)}{c_4}$; para $n > 4$;
- Si miramos la tabla anterior, la constante para el subgrupo de 5 es 0.94
- Otros cálculos para este conjunto de datos son:
 - $\bar{X} = \frac{265+205+263+\dots+251}{100} = 264.46$
 - Desviación estándar(σ)=

$$desv\ std = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (265-264.446)^2 + \dots + \sum (251-264.446)^2}{100-1}} = 31.85$$
 - Estimador de sigma $\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}(sbar)}{c_4} = \frac{40.45+32.29+35.42+\dots+26.71}{0.94} = \frac{30.02}{0.94} = 31.93$; donde $\bar{s} = 30.02$ des std por grupos; y $c_4 = 0.94$: donde

$$\bar{s}_{subgrupo\ 1} = \sqrt{\frac{\sum (265-252)^2 + (205-252)^2 + (263-252)^2 + (307-252)^2 + (220-252)^2}{5-1}} = 40.46$$
; lo mismo para los 29 subgrupos restantes
 - Si se está calculando esto manualmente, usar la función estadística en Excel para calcular: desviación estándar, normdist e INV.NORM.ESTAND.
 - $desv\ std = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (265-264.446)^2 + \dots + \sum (251-264.446)^2}{100-1}} = 31.85$

Figura 2.24: Datos y cálculos de los valores de la media y de la desviación estándar

	Formula	Calculo	Calculo	Valor
	LSE = 346, LIE = 200, des std = 31.85; $c_4 = 0.94$, $\bar{X} = 264.46$, $\bar{s} = 30.02$ y $\hat{\sigma}(\text{est sigma}) = 31.93$			
C_p	$\frac{LSE - LIE}{6 * (\bar{s}/c_4)}$	$\frac{346 - 200}{6 * (\frac{30.02}{0.94})}$	$\frac{146}{191.61}$	0.761
P_p	$\frac{LSE - LIE}{6 * \text{desviacion estandar}}$	$\frac{346 - 200}{6 * 31.85}$	$\frac{146}{6 * 31.847}$	0.764
C_{psup}	$\frac{LSE - \bar{X}}{3 * (\bar{s}/c_4)}$	$\frac{346 - 264.46}{3 * (30.02/0.94)}$	$\frac{81.54}{95.80}$	0.851
C_{pinf}	$\frac{\bar{X} - LIE}{3 * (\bar{s}/c_4)}$	$\frac{264.46 - 200}{3 * (30.02/0.94)}$	$\frac{64.46}{95.80}$	0.672
C_{pk}	$\text{Min}(C_{psup}, C_{pinf})$	$\text{Min}(0.851, 0.672)$		0.672
P_{psup}	$\frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$	$\frac{346 - 264.46}{3 * 31.85}$	$\frac{81.54}{95.55}$	0.853
P_{pinf}	$\frac{\bar{X} - LIE}{3 * \sigma}$	$\frac{264.46 - 200}{3 * 31.85}$	$\frac{64.46}{95.55}$	0.674
P_{pk}	$\text{Min}(C_{psup}, C_{pinf})$	$\text{Min}(0.853, 0.674)$		0.674
Actual PPM	$\frac{\# \text{ de no conformidades} * \# \text{ de partes}}{100}$	$\frac{3}{100} (\text{son } 197, 187, 176)$	$0.03 * 1000000$	300000
Z	LSE-Media	$346 - 264.46$		
Z_{sup}	$(\bar{X} - LSE) / (\bar{s}/c_4)$	$\frac{(346 - 264.46)}{30.02/0.94}$	$\frac{81.54}{31.93}$	2.55
Z_{inf}	$(LIE - \bar{X}) / (\bar{s}/c_4)$	$\frac{(200 - 264.46) / (\frac{30.02}{0.94})}{31.93}$	$\frac{-64.46}{31.93}$	-2.01
Z_{bench}	$\text{INV.NORM.ESTAND}(1 - (\text{PPM esperada}/1000000))$	$\text{INV.NORM.ESTAND}(1 - (27610/1000000))$	$\text{INV.NORM.ESTAND}(1 - 0.027610) = \text{INV.NORM.ESTAND}(0.97239)$	1.93151 EXCELL
Esperado PPM (sup + inf)	$\text{PPMsup} + \text{PPMinf} = \text{NORMDIST}(Z_{sup}) * 1000000 + \text{NORMDIST}(Z_{inf}) * 1000000$	$\text{PPMsup} + \text{PPMinf} = 1 - \text{NORMDIST}(2.55) * 1000000 + 1 - \text{NORMDIST}(-2.01) * 1000000$	$\frac{22215.6}{5386.15} (\text{con Excel})$ $5390 + 22220$	2761.75
PPM Esperadas (sup)	$1 - \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(2.55, \text{VERDADERO}) * 100$	$(1 - 0.99461) * 1000000$	5386.15	5386.15
PPM Esperadas (inf)	$1 - \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(2.01, \text{VERDADERO}) * 100$	$(1 - 0.97778) * 1000000$	22215.6	22215.6
Meta	utilice el punto medio entre el LSE y LIE.	$LSE = 346; LIE = 200$	$(346 + 200)/2$	273
Z_{meta}	$\frac{\text{abs}(\bar{X} - \text{meta})}{3 * \hat{\sigma}}$	$\frac{\text{abs}(264.46 - 273)}{3 * 31.93}$	0.0891	≈0.09

Tabla 2.3.10: Cálculos realizados con fórmulas de las distintas métricas de capacidad

C_p	0.762
C_{pk}	0.673
P_p	0.764
P_{pk}	0.675
PPM	30,000
Est PPM	27,610
Z_{bench}	1.93
T_{target}	0.09

Tabla 2.3.11: Resultados de los índices de capacidad

Realizando el ejemplo con el software de **Qi-macros: Histogramas y capacidad**>histograma C_p y C_{pk} (entre/dentro (LSE=346, LIE=200; número de barras = 10); figura 2.25

Con Minitab los mismos datos, mostrados en la figura 2.26.



Figura 2.26: Graficas y cálculo de los valores de los índices de capacidad

La interpretación de los valores en Z bench (o el nivel sigma) las PPM, DPMO, % de defectos y Probabilidad de defectos en una tabla de la distribución normal, vista en la figura 2.27

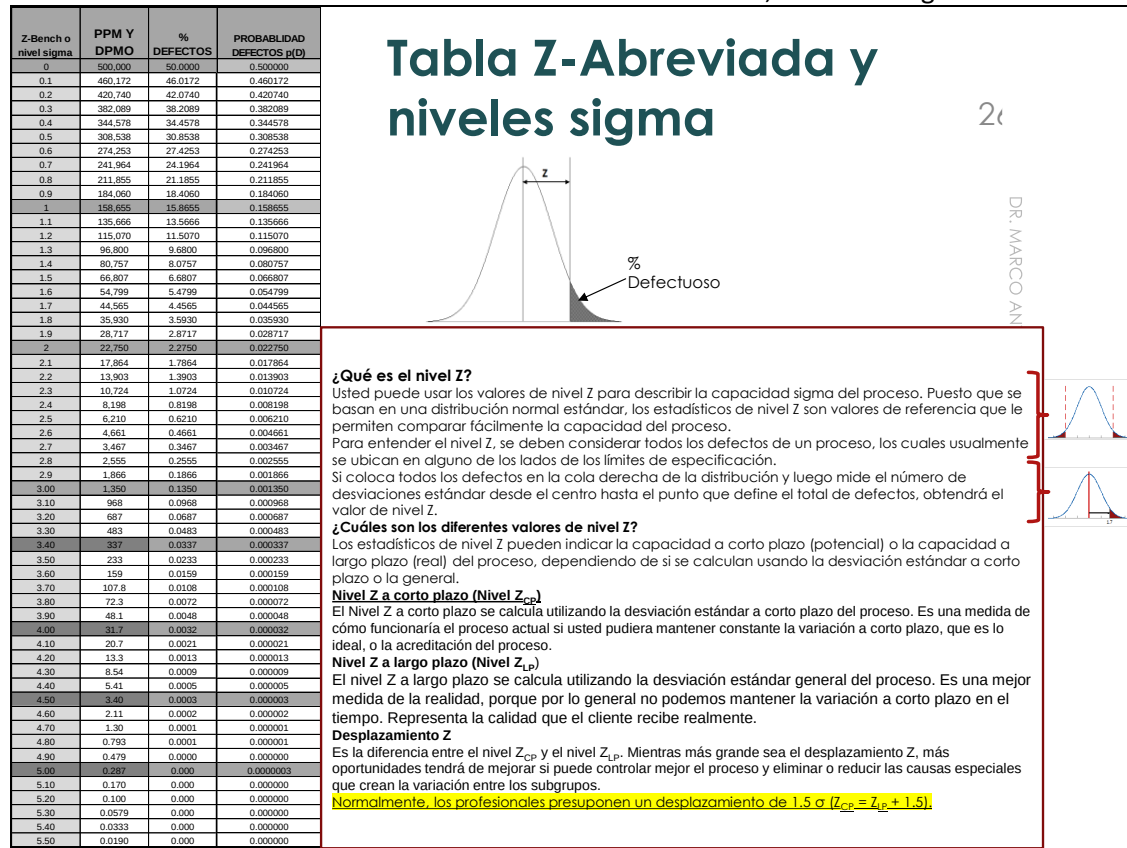


Figura 2.27: Cálculo de las métrica hechas en Excel

❖ Constantes para cálculos del estimador de sigma

n	Carta para promedios			Carta para desviaciones estándar						Carta para rangos						
	Factores para límites de control			Factores para línea central		Factores para límites de control				Factores para línea central		Factores para límites de control				
	A	A ₂	A ₃	C ₄	1/C ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	0.102	0.195	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	0.143	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114

6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	0.118	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	0.110	0.9550	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	0.100	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.240	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.755	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653

16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.182	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.446	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.981	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585

21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.919	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.71	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

Tema 3: Gráficas de control por atributos

3.1 Conceptos generales de atributos

Existen muchas características de calidad de la forma pasa no pasa, cuando un producto es cualificado como defectuoso o no defectuoso, (esto es un producto conforme o no conforme), dependiendo de si cumple con las especificaciones del cliente (la calidad que el cliente desea). En estos casos, si el producto no tiene la calidad deseada no se permite que pase a la siguiente etapa de manufactura del proceso; es asegurado en un área de cuarentena y se le denomina producto defectuoso, para posteriormente determinar si es totalmente un producto defectuoso o se puede volver a manufacturar. Con W. A. Shewhart dejó **Todos los procesos de manufactura despliegan variaciones**; con las cartas de control que se usan en línea que a su vez estas permiten la estimación de la capacidad o habilidad del proceso y la reducción continua de la variabilidad hasta donde sea posible. El proceso de mejora usando las cartas de control es ilustrado en la figura 3.1⁴⁰:

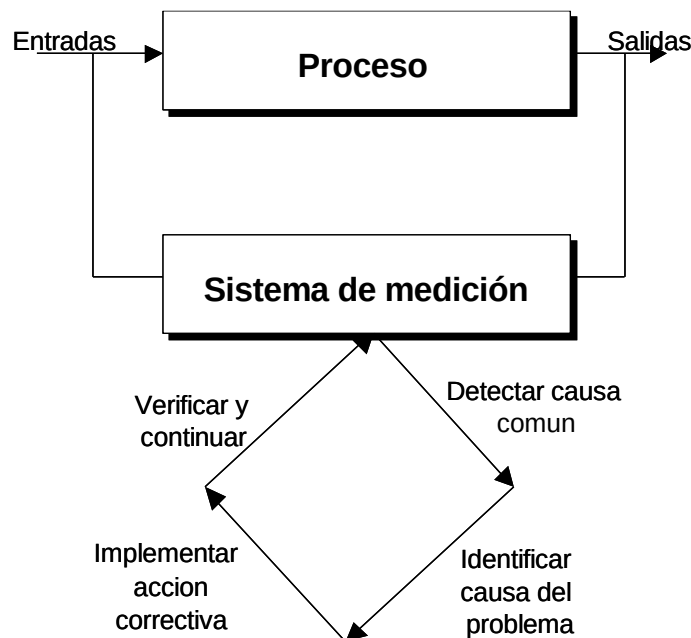


Fig. 3.1 Proceso de mejora utilizando las cartas de control.⁴¹

Como se indicó antes, **“un diagrama de control es un método para describir en forma concreta lo que es un estado de control estadístico; en segundo lugar, es un medio para alcanzar el control; y en tercero, constituye un procedimiento para juzgar si se logró el control.”**

⁴⁰ Montgomery Douglas C. *“Introduction to Statistical Quality Control”*, John Wiley & Sons, 3a. Edition, p.136.

⁴¹ IBIDEM, p. 136.

El Dr. W. A. Shewhart indica con insistencia que el proceso no deberá ser estimado como que está bajo control, a menos que la forma en que se han producido las variaciones aleatorias haya persistido durante algún tiempo y para una cantidad razonable de producción. El expresa:

El estado potencial de control económico se puede aproximar como solo un límite estadístico, incluso después de las causas atribuibles de variabilidad han sido detectadas y eliminadas. Un control de este tipo no puede ser utilizado en un solo día. No se puede lograr en la producción de un elemento del cual solo se producen unas cuantas piezas. Sin embargo, se puede lograr científicamente en una producción continua masiva⁴²

Criterios fuera de control

Una carta típica representando un proceso en control estadístico como la de la página anterior, contiene una línea central que representa el valor promedio de la característica de Calidad correspondiente al estado “en control” y dos líneas adicionales llamadas límite inferior y límite superior de control (LIC y LSC), los cuales se seleccionan de tal forma que casi la totalidad de puntos se encuentren dentro de ellos. Si esto ocurre no se requiere tomar ninguna acción⁴³. Dentro de los criterios que se manejan para control estadístico se manejan los siguientes en la figura 3.2:

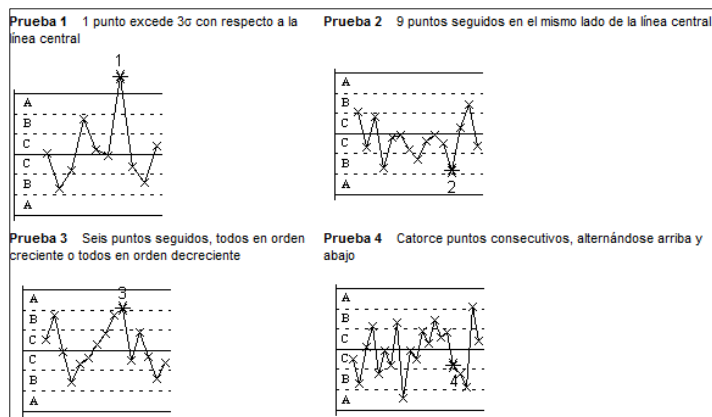


Figura 3.2: Patrones de comportamiento para cartas de control por atributos

El uso más importante de la carta de control es la mejora del proceso, a través del monitoreo, al principio se observará que los procesos no están en control estadístico, sin embargo, con las cartas de control se podrán identificar causas especiales que, al ser eliminadas, resulten en una reducción de la variabilidad mejorando el proceso. Este proceso de mejora requiere la acción de supervisión, operador e ingeniería, ya que la carta solo detecta causas especiales o asignables. Se puede observar lo siguiente: si no hay puntos que caigan fuera de los límites de control, y no hay pruebas de variaciones no aleatorias dentro de los límites, esto no significa que no hallan

⁴² Shewhart W. A., *“Statistical Method from the viewpoint of Quality Control”*, Washington D.C., Graduate school, Department of Agriculture, 1939, Cap.1

⁴³ Shewhart W.A., *“Economic Control of Quality of Manufactured Product”*, New York, D. Van Nostrand Company, Inc. 1980, pp. 145-149

presentes causas atribuibles. Simplemente significa que la hipótesis de que las causas casuales se encuentren funcionando es una hipótesis aceptable, y que es probable que no resulte útil buscar causas atribuibles especiales. Así se aplica únicamente el principio científico de conservar la explicación de los fenómenos tan simple como resulte posible. Si las causas casuales pueden explicar razonablemente nuestros resultados, no debemos investigar más. Insistiendo una vez más, si un diagrama de control muestra que un proceso se encuentra “bajo control”, esto significa que la hipótesis de variación aleatoria es razonable para que se adopte para propósitos gerenciales. Cuando el diagrama no muestra control será bueno llevar a cabo otras acciones⁴⁴. Como las mencionadas anteriormente.

Dentro de las cartas de control que existen, para los atributos, las más comunes usadas se muestran en la tabla 3.1:

Tipo de carta	Parámetros trazados	Usos típicos	Ventajas	Desventajas
p	Razón de artículos defectuosos	Muestreo de inspección, inspección final	Determina la cantidad de unidades defectivas para tamaño constante.	Los atributos no son siempre los detalles del análisis individual de las características.
np	Número actual de artículos defectuosos vs. Total inspeccionado	Muestreo de inspección, inspección final.	Fácil de comprender	Los atributos no nos indican el grado de los defectuosos.
c	No. Defectos sobre un artículo de tamaño constante.	Muestreo de inspección, inspección final.	Es útil para ensambles complicados.	La cantidad de defectos que pueden ser encontrados en una unidad puede ser grande.
u	% de no. Conf. Sobre artículo de muestra variable.	Muestreo de inspección, inspección final.	Los puntos trazados representan el promedio de no conformidades por unidad.	El tamaño de los subgrupos no es constante.

Tabla 3.1 Usos y aplicaciones de las cartas de control por atributos⁴⁵

3.2 Elaboración de las cartas de control por atributos

La elaboración de las cartas de control por atributos es como se explicó anteriormente en el punto 2.2 de las cartas de control por variables, sin ahondar más en ello se elaborará de manera en cómo se presentó en la tabla 3.1.

⁴⁴ Existen otras reglas que son aplicadas a las cartas de Shewhart para causas especiales, ver Lloyd S. Nelson, *Technical Aids, Journal of Quality Technology*, Vol. 16, No. 4, octubre 1984.

⁴⁵ Allen Bradley Co, *DataMyte Handbook*, A practical guide to Computerized Data Collection for Statistical Process Control, Editorial DataMyte Division, 5a. edition, Minnetonka, Minnesota Estados Unidos, p.1.

3.2.1 Grafico p

Un diagrama p muestra variaciones en la fracción defectuosa, la línea central del diagrama es una estimación de la fracción defectuosa del proceso, y los límites de control inferior y superior son por lo general límites de $\pm 3\sigma$.

Los detalles de las instrucciones para las cartas p por atributos son similares a las cartas de medias y rangos con solo algunas diferencias.

La elaboración de las cartas p se da a continuación:

1. Recolectar los datos.
2. Calcular p y n

$$\bar{p} = \frac{\text{numero total de defectivos}}{\text{numero total de unidades}} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

Donde:

$n_1 + n_2 + \dots + n_k$ = numero de partes inspeccionadas de cada subgrupo
 $np_1 + np_2 + \dots + np_k$ = número de partes defectuosos de cada subgrupos

$$\bar{n} = \frac{\text{numero total de unidades}}{\text{numero total de muestras}}$$

- 3 Calcular los límites de control

$$LSCp = \left[\bar{p} + 3 \sqrt{\left(\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n} \right)} \right]$$

$$LICp = \left[\bar{p} - 3 \sqrt{\left(\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n} \right)} \right]$$

4. Obtención de la escala de la grafica

- ❑ Para realizar la escala en la carta $\bar{p}$, divídala según sea su LSCp y LICp, y trázelos
- ❑ Marque el $\bar{p}$ (el promedio), trace la línea

5. Indiqué con puntos los rangos de los subgrupos en la carta correspondiente, únalos con líneas para que observase el comportamiento del proceso.

6. Trace los límites de control de $\bar{p}$ dados en el paso 3.

7. Interpretación de la carta de control. La interpretación es semejante a la dada por la descrita anteriormente por variables.

8. Identifique y corrija causas especiales

Si se identifica una condición de falta de control en el proceso debe encontrar la causa y determinar la acción correctiva para evitar la repetición del problema.

9. Recalcule los límites de control.

Cuando las causas especiales de variación se hayan identificado y corregido, elimine los puntos fuera de control provocados por esas causas.

- Recalcule y grafique el promedio del proceso y los límites de control.
10. Calcule e interprete la habilidad del proceso.

$$C_p = 1 - p$$

Y no es más que el porcentaje de artículos dentro de especificación

11. Interprete la capacidad del proceso

La interpretación es similar a la cara de promedios y rangos dada en la sección 2.2.

Caso practico

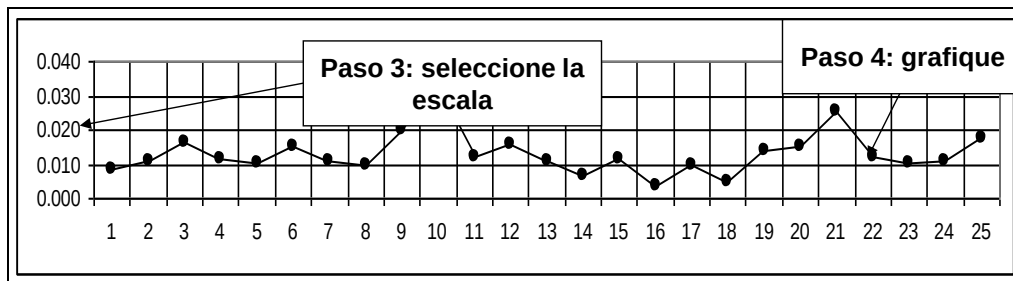
Paso 1: Seleccione la frecuencia y el tamaño de muestra

CARTA DE CONTROL POR ATRIBUTOS																											
Producto:	manguera envuelta				Tipo de grafica:	p				np	c	u	Linea:														
No. De parte:					Característica a medir:					no. De grafica					Operación:												
Descr. Operación:					Maquina:					Frecuencia:	semanal				Σn=	29858											
Depto:	LIC				LCC	LSC				Tam. De muestra:	variable				Σnp=	356											
Tipo de defecto																											
Paso 1: frecuencia y tamaño de muestra (semanal, variable)																											
Paso 2: calcule el porcentaje defectuoso																											
Fecha:																											
Turno:																											
Muestra:	n	968	1216	804	1401	1376	995	1202	1028	1184	542	1326	1066	1721	1305	1190	2306	1366	973	1058	1244	392	1433	1226	1362	1187	
No. Defectos	np/c	8	13	13	16	14	15											9	13	5	15	19	10	17	13	15	21
% defectuoso	pu	0.008	0.011	0.016	0.011	0.010												0.004	0.010	0.005	0.014	0.015	0.008	0.012	0.011	0.017	
		1	2	3	4	5	6											16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

$p = \frac{np}{n} = \frac{8}{968} = 0.008$

Paso 2: Porcentaje defectuoso de los subgrupos

Paso 3: Seleccione la escala



Paso 4: Grafique los porcentajes defectuosos en la carta de control

Paso 5: Calcule los límites de control

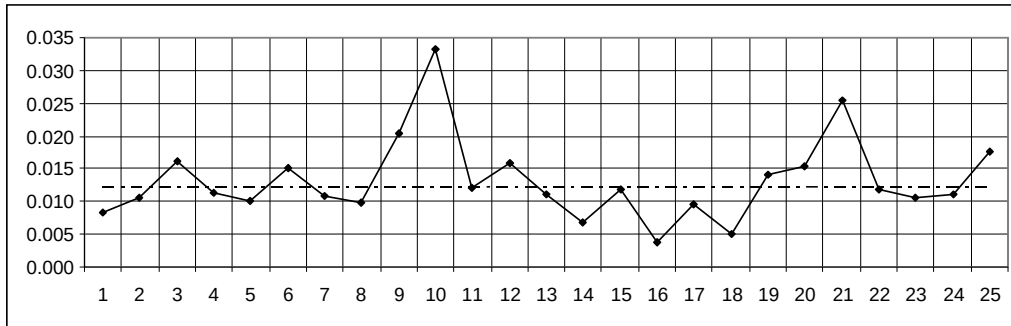
Paso 5A: Porcentaje defectuosos promedio

procentaje defectuosos promedio

$$\bar{p} = \frac{np1 + np2 + \dots + npk}{n1 + n2 + \dots + nk} = \frac{8 + 13 + 13 + \dots + 15 + 21}{968 + 1216 + \dots + 1187} = \frac{356}{29858} = 0.012$$

Paso 5B: Tamaño de muestra promedio

$$\bar{n} = \frac{\text{numero de partes inspeccionadas}}{\text{numero de muestras}} = \frac{29858}{25} = 1194$$



Cuando el tamaño de muestra es variable los límites cambian y estos serán calculados para cada subgrupo. Para propósitos prácticos los límites de control son calculados con un tamaño de muestra promedio

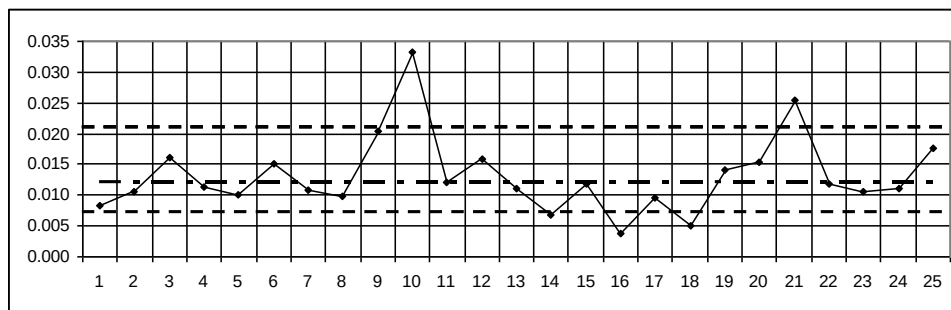
($\bar{n}$ promedio), esto es como se calculó en el paso 5B.:

Si el tamaño de muestra tiene una variación mayor al 25% respecto al subgrupo promedio, deben calcularse límites de control para cada subgrupo

$$LSCn = 1.25 * \bar{n}; LICn = 1.25 * \bar{n}$$

Entonces los límites cambiarán a:

$$LSCp = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}; LICp = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$$



Paso 5C: Límites de control

$$LSCp = \bar{p} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0.012 + 3 * \sqrt{\frac{0.012(1-0.012)}{1194}} = 0.0215$$

$$LICp = \bar{p} - 3 * \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0.012 - 3 * \sqrt{\frac{0.012(1-0.012)}{1194}} = 0.0025$$

Estos límites son para el tamaño de muestra entre 895 y 1493 o sea $1194 \pm 25\%$

Para los puntos que se salen del rango se tienen que calcular los límites de manera individual para cada tamaño de muestra fuera del rango. Por lo tanto, tenemos

$$n = 804$$

$$LSCp = \bar{p} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{p} * (1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0.012 + 3 * \sqrt{\frac{0.012 * (1-0.012)}{804}} = 0.012 \pm 0.115$$

$$n = 542$$

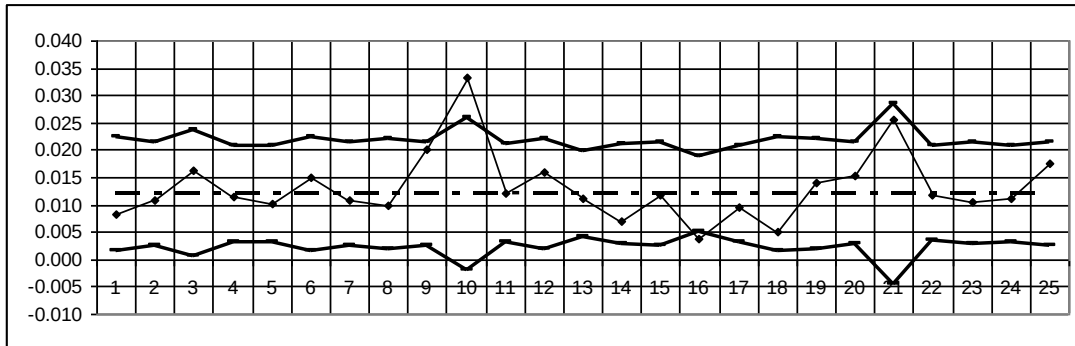
$$LSCp = \bar{p} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{p} * (1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0.012 + 3 * \sqrt{\frac{0.012 * (1-0.012)}{542}} = 0.012 \pm 0.0140$$

$$n = 2306$$

$$LSCp = \bar{p} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{p} * (1 - \bar{p})}{\bar{n}}} = 0.012 + 3 * \sqrt{\frac{0.012 * (1 - 0.012)}{2306}} = 0.012 \pm 0.0068$$

$$n = 392$$

$$LSCp = \bar{p} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{p} * (1 - \bar{p})}{\bar{n}}} = 0.012 + 3 * \sqrt{\frac{0.012 * (1 - 0.012)}{392}} = 0.012 \pm 0.0165$$



Paso 6: Calcule la habilidad

$$\text{Capacidad del proceso: } Cp = (1 - \bar{p}) = (1 - 0.012) * 100 = 98.8\%$$

3.2.2 Grafica de control np (número de unidades defectuosas)

Cuando el interés es determinar la cantidad de defectos por unidad y los datos son coleccionados por subgrupos que son de tamaño constante⁴⁶.

Elaboración de la carta $n\bar{p}$:

1. Recolectar los datos.
2. Calcular $n\bar{p}$:

$$n\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_3}{k}$$

3. Calcular los límites de control:

$$LSCn\bar{p} = n\bar{p} + 3 * \sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})}; LICn\bar{p} = n\bar{p} - 3 * \sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})}$$

4. Decidir una escala para la carta de control:

- ☐ Para realizar la escala en la carta $n\bar{p}$, divídala según sea su $LSCn\bar{p}$ y $LICn\bar{p}$, y trácelos
- ☐ Marque el $n\bar{p}$ (el promedio), trace la línea.

5. Trazar cada $n\bar{p}$, y sumar los límites de control.

6. Interpretación de la carta de control.

⁴⁶ Allen Bradley Co. *DataMyte Handbook. A practical Guide to Computerized Data collection for Statistical process Control*. Editorial DataMyte Division, 5a. Edition, Minnetonka, Minnesota, E.U. p. 3-36.

Ver carta de control de medias y rangos.

7. Identifique y corrija causas especiales.

Si se identifica una condición de falta de control en el proceso se debe encontrar la causa y determinar la acción correctiva para evitar la repetición del problema.

8. Recalcule los límites de control.

Cuando las causas especiales de variación se hayan identificado y corregido, elimine los puntos fuera de control provocados por esas causas. Recalcule y grafique el promedio del proceso y los límites de control.

9. Calcule e interprete la habilidad del proceso.

La habilidad potencial del proceso (Cp) muestra la habilidad potencial que tiene el proceso para cumplir especificaciones y está definido como: la comparación entre la variación actual del proceso y la variación permitida por la especificación. (Ver figuras de página 29).

A. Calcule la habilidad potencial del proceso (Cp):

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Donde: LSE = Límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

σ = Desviación estándar del proceso

Así un valor de:

Cp = 1.00 para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificación).

Cp = 1.33 para $\pm 4\sigma$ (99.99% de piezas dentro de especificación).

Son los requerimientos mínimos para decir que un proceso es potencialmente hábil.

B. Habilidad real del proceso. (Cpk)

La habilidad real del proceso esta descrita en términos de la distancia que hay entre el promedio del proceso y los límites de especificación. Para esto definiremos dichas distancias en unidades que llamaremos Z.

Cuando la tolerancia de especificación es unilateral, es decir hacia un solo lado tenemos que el valor de Z esta dado por la siguiente formula:

$$Z = \frac{LE - \bar{\bar{x}}}{\sigma}$$

Donde:

LE = Limite de especificación.

X = Media del proceso.

σ = Desviación estándar.

Entonces la habilidad real del proceso (Cpk) está dada por:

$$Cpk = \frac{Z}{3}$$

Cuando la tolerancia es bilateral, es decir hacia ambos lados tenemos:

$$Z_{sup} = \frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{\sigma}; Z_{inf} = \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{\sigma}$$

Donde:

Zs = Z superior

Zi = Z inferior

LSE = Límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

$\bar{\bar{x}}$ = Promedio del proceso

σ = Desviación estándar.

Y

$$\mu_{di} = n\bar{p}; \sigma_{di} = \sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

Donde n es el tamaño de subgrupo y $\bar{x}$ es la proporción promedio de artículos defectuosos.

El Cpk está dado por:

$$Cpk = \frac{Zmin}{3}$$

Zmin = Mínimo entre Zs y Zi.

Así un valor de Cpk = 1.00 para $\pm 3\sigma$ (99.73% de piezas dentro de especificación)

Así un valor de Cpk = 1.33 para $\pm 4\sigma$ (99.99% de piezas dentro de especificación)

Son los requerimientos mínimos para decir que el proceso es hábil.

Otra forma de calcular la habilidad del proceso es por medio de los porcentajes de piezas fuera de especificación, donde los Z son usados en conjunto con la tabla de distribución normal, para estimar la fracción de piezas fuera de especificación.

Las fracciones de piezas fuera de especificación están dadas por:

PZs = Fracción de piezas fuera del límite superior de especificación

PZi = Fracción de piezas fuera del límite inferior de especificación

Entonces deberá buscar el valor de Z a lo largo de los bordes de la tabla de distribución normal. Los dígitos de unidades y decenas están colocados a lo largo de la columna izquierda y el de las centenas a lo largo del renglón superior.

El número que corresponde a la intersección de estas columnas y renglones, lo llamaremos PZ y representa la fracción de piezas fuera de especificación. En términos de porcentaje multiplicamos este valor por 100.

Para tolerancias bilaterales tenemos que encontrar PZs y PZi entonces el porcentaje fuera de especificación será:

$$Pzt = (Pzs + Pzi) \times 100$$

Tomando en consideración que un proceso puede considerarse hábil cuando el 99.73% de las piezas están dentro de especificación para $\pm 3\sigma$ y 99.99% para $\pm 4\sigma$ entonces la habilidad se determina como:

Tolerancia unilateral:

$$\text{Habilidad} = 100\% - PZ$$

Tolerancia bilateral:

$$\text{Habilidad} = 100\% - PZt$$

Gráficamente los Z y los Pz están representados en la siguiente forma de la figura 3.1:

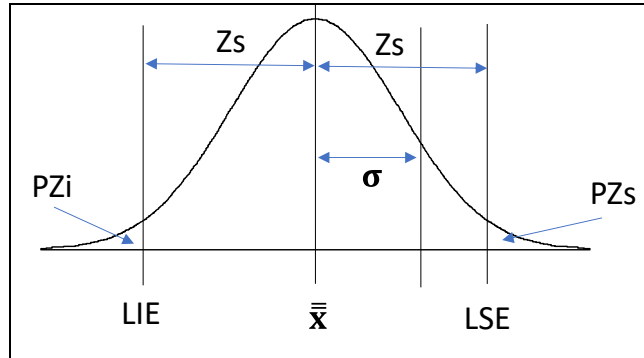


Figura 3.1 Valores de Z y los Pz representados gráficamente

Caso práctico:

Paso 1: Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra. El tamaño de muestra es constante y “np” el número de defectos o unidades no conformes.

CARTA DE CONTROL POR ATRIBUTOS																										
Producto:	copas de café				Tipo de grafica:	p	np	c	u	Linea:																
No. De parte:					Característica a medir:	caca rota				no. De grafica:					Operación:											
Descr. Operación:					Frecuencia:	lote				Tam. De muestra:	constante															
Depto:					Paso 1: por lote											Paso 2: registrar np										
Muestra:	n	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60		
No. Defectos	np	2	4	3	5	1	1	0	5	3	2	6	7													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Paso 2: Registre el número de defectos de cada subgrupo (np).

Paso 3: Calcule el número de defectos promedio.

$$\bar{np} = \frac{98}{25} = 3.9$$

$$\bar{p} = \frac{3.9}{60} = 0.065$$

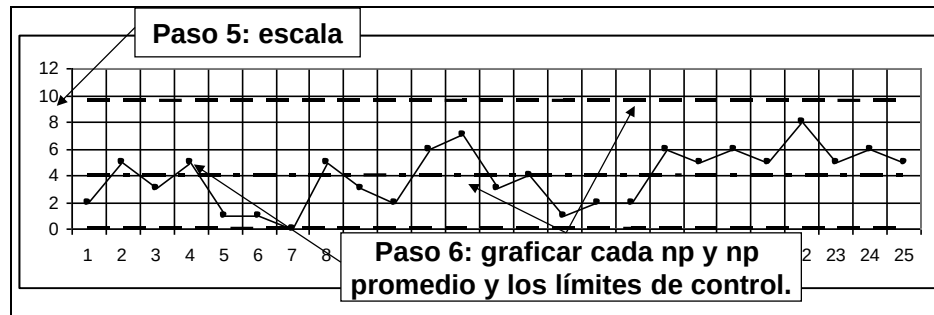
Paso 4: Calcule los límites de control:

$$LSCnp = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})} = 3.9 + 3\sqrt{3.9(1 - 0.065)} = 9.6$$

$$LICnp = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})} = 3.9 - 3\sqrt{3.9(1 - 0.065)} = -1.8 (\cong 0)$$

Paso 5: Decidir la escala de la carta

Paso 6: Graficar cada np y np promedio y los límites de control.



Paso 7: Interpretación de la carta de control.

El proceso está en control estadístico

Paso 8: Identifique y corrija las causas especiales.

No existen causas de variación

Paso 9: Recalcule los límites de control.

No es necesarios, ya que existe control

3.2.3 Grafico c

La carta “c” determina la cantidad de defectos que hay en una muestra de producción. En esta carta el tamaño de la muestra es constante. Las aplicaciones de estas cartas son:

1. Donde los defectos se distribuyen de una manera más o menos continua en el producto.
2. Donde los defectos que vienen de diferentes líneas, operaciones, etc. Pueden ser encontrados en un artículo que se inspecciona⁴⁷.

La elaboración de las cartas “c” es como a continuación se presenta:

1. Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra es constante y “c” representa la ocurrencia de defectos.

2. Registre el número de defectos de cada subgrupo.
3. Calcule el numero promedio de defectos.

$$\bar{c} = \frac{\text{Total de defectos encontrados}}{\text{numero de subgrupos}}$$

Calcule los límites de control⁴⁸

$$LSCc = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LICc = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

5. Seleccione la escala para la gráfica de control.
6. Grafiqué la cantidad de defectos “c” en la carta de control.
7. Indique el promedio “c” y los límites de control de la carta.
8. Interpretación de la carta de control.

La interpretación de una gráfica de control por atributos es igual a la descrita anteriormente por variables de la de medias y rangos dada anteriormente.

9. Identifique y corrija causas especiales.

Si se identifica una condición de falta de control en el proceso debe encontrar la causa y determinar la acción correctiva para evitar la repetición del problema.

10. Recalcule los límites de control.

Cuando las causas especiales de variación se hayan identificado y corregido, elimine los puntos fuera de control provocados por esas causas; recalcule y grafique el promedio del proceso y los límites de control.

11. Calcule e interprete la habilidad del proceso.

La habilidad del proceso es c o sea la cantidad promedio de defectos en muestras de igual tamaño (n)

$$\text{habilidad del proceso} = (1 - \bar{c}) \times 100$$

⁴⁷ Allen Bradley Co. *DataMyte Handbook. A practical Guide to Computerized Data collection for Statistical process Control*. Editorial DataMyte Division, 5a. Edition, Minnetonka, Minnesota, E.U. p. 3-36.

⁴⁸ IBIDEM. p.3-36.

Caso práctico:

Paso 1:

Colección de los datos: para este análisis se toma los datos en los errores del ensamble en un circuito impreso. Lo cual nos ayudara a llenar el encabezado de la carta de control.

1. Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra: 10 tarjetas por hora
2. Establezca la forma en que se registraran los datos: carta de control por atributos "c".
3. Obtenga y registre los datos.

CARTA DE CONTROL POR ATRIBUTOS																										
Producto:	circuitos impresos										Tipo de grafica:	p	np	c	Paso 1A: frecuencia											
No. De parte:											Medir:	no. de grafica										Operacion:				
Descr. Operación											Frecuencia:	hora														
Depto:	LIC										LCC	LSC	Tam. De muestra:										10 circuitos			
Muestra:	n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
No. Defectos	np/c	1	7	3	6	4	2	3	10	3	5	8	5	6	10	9	11	6	8	5	6	10	9	11		
% defectuoso	pu	0.1	0.7	0.3	0.6	0.4	0.2	0.3	1.0	0.3	0.5	0.8	0.5	0.6	1.0	0.9	1.1	0.6	0.8	0.5	0.6	1.0	0.9	1.1		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Paso 2: numero de defectos de cada subgrupo (c).																										

Paso 2: Registre el número de defectos de cada subgrupo (c).

Paso 3: Calcule el número de defectos promedio.

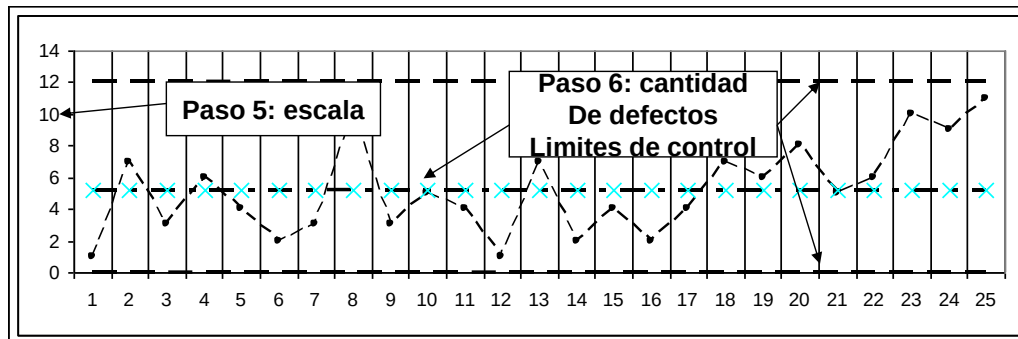
$$\bar{c} = \frac{1 + 7 + 3 + \dots + 10 + 9 + 11}{25} = 5.2$$

Paso 4: Calcule los límites de control

$$LSCc = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 5.2 + 3\sqrt{5.2} = 12.04$$

$$LICc = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 5.2 - 3\sqrt{5.2} = 0$$

Paso 5: Seleccione la escala para la gráfica de control.



Paso 6: Grafique la cantidad de defectos (c) en la carta de control.

Paso 7: Indique el promedio de c y los límites de control en la carta.

Paso 9: Interpretación de la carta de control: dentro de control estadístico

Paso 11: Calcule e interprete la habilidad del proceso

La habilidad del proceso es el promedio de c o sea la cantidad promedio de defectos en muestras de igual tamaño (n)

3.2.4 Grafico u

La grafica “u” es similar a la carta “c” con la diferencia de que la cantidad de artículos defectuosos se expresa en una base unitaria⁴⁹.

Elaboración de la carta “u”:

Paso 1: Seleccione la frecuencia y el tamaño de muestra (el tamaño de la muestra puede ser variable”

Paso 2: Registre el número de defectos por unidad de cada subgrupo (u).

$$u = \frac{c}{n}$$

Donde

c= cantidad de defectos encontrados en la muestra

n = tamaño de la muestra

Paso 3: Calcule la cantidad de defectos promedio por unidad del proceso:

$$\bar{u} = \frac{\text{Total de defectos encontrados}}{\text{Total de unidades inspeccionadas}}$$

Paso 4. Calcule los límites de control.

$$LSCx = \bar{u} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}; SCx = \bar{u} - 3 * \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

Paso 5. Seleccione la escala para la carta de control.

- ❑ Para realizar la escala en la carta u, divídala según sea su LSCp y LICp, y trácelos
- ❑ Marque el $\bar{u}$ (el promedio), trace la línea.

Paso 6. Grafique la Cantidad de defectos por unidad de los subgrupos, grafique los valores de “u” de cada subgrupo.

Paso 7. Indique el promedio de u y los límites de control de la carta.

Paso 8. Interpretación de la carta de control.

La interpretación de una carta por atributos u es similar a la descrita anteriormente en las gráficas por variables dadas de la gráfica de medias y rangos.

Paso 9. Identifique y corrija las causas especiales.

Si se identifica una condición de falta de control en el proceso debe encontrar la causa y determinar la acción correctiva para evitar la repetición del problema.

Paso 10. Recalcule los límites de control.

⁴⁹ Allen Bradley Co. *DataMyte Handbook. A practical Guide to Computerized Data collection for Statistical process Control*. Editorial DataMyte División, 5a. Edition, Minnetonka, Minnesota, E.U. p. 3-36.

Cuando las causas especiales de variación se hayan identificado y corregido, elimine los puntos fuera de control provocados por esas causas. Recalcule y grafique el promedio del proceso y los límites de control.

Paso 11. Calcule e interprete la habilidad del proceso.

La habilidad del proceso es u , que es el numero promedio de defectos por unidad.

Cuando el tamaño de la muestra es variable, los límites cambian y estos serán calculados para cada subgrupo. Para propósitos prácticos los límites de control son calculados con un tamaño de muestra promedio.

Si el tamaño de los subgrupos tiene una variación mayor del 25% respecto al tamaño del subgrupo promedio, deberán calcularse límites de control para cada subgrupo.

$$SCn = 1.25 * \bar{n}; LSCn = 0.75 * \bar{n}$$

Y los límites de control serán:

$$LSCu = \bar{u} + 3 \left[\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \right]; LICu = \bar{u} - 3 \left[\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \right]$$

El procedimiento que sigue es el mismo dado desde el paso 8.

Caso práctico:

Paso 1:

Colección de los datos: para este análisis se toma abolladuras por capota de los automóviles convertibles es como se indica. Lo cual nos ayudara a llenar el encabezado de la carta de control.

- Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra: 10 tarjetas por hora
- Establezca la forma en que se registraran los datos: carta de control por atributos "u".
- Obtenga y registre los datos.

CONTROL POR ATRIBUTOS																										
Producto:	Paso 1C: registro De datos										Paso 1B: grafica "u"															
No. De parte:	Característica a medir:	no. De grafica:	p	np	c	u	Linea:																			
Descr. Operación:	Maquina:	Frecuencia:	dia																							
Depto:	LIC	LCC	LSC	Tam. De muestra: 9 en promedio																						
Muestra:	n	10	9	8	9	9	7	8	8	8	8	10	7	11	9	8	10	8	9	9	10	8	8	9	8	9
No. Defectos	C	25	13	28	35	27	25	20	32	16	20	40	18	39	36	24	16	19	15	11	30	30	13	10	10	13
% defectuoso	u	2.5	1.4	3.2	3.8	3.0	2.8	2.5	4.0	2.0	2.5	4.0	2.2	4.3	4.0	2.4	1.8	2.1	1.7	1.2	3.3	3.3	1.5	1.2	1.2	1.4
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Paso 1A: frecuencia									
Paso 2: numero de defectos de cada subgrupo (u).																										

Paso 2: Registre el número de defectos por unidad de cada subgrupo (u).

$$u1 = \frac{25}{10} = 2.5, \dots, u25 = \frac{13}{9} = 1.4$$

Paso 3: Calcule la cantidad de defectos promedio por unidad del proceso:

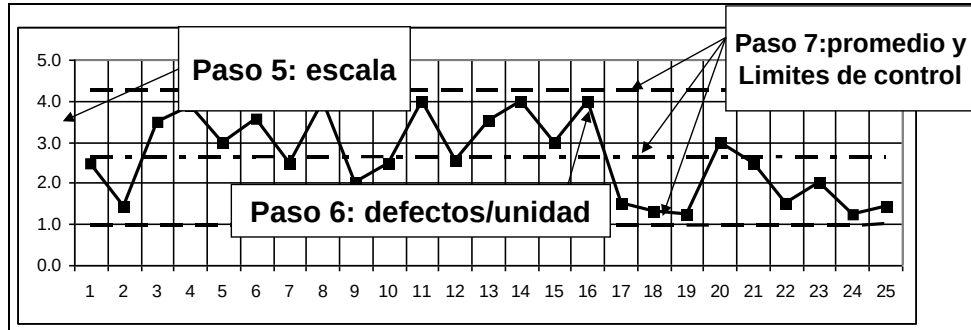
$$\bar{u} = \frac{25 + 13 + 28 + \dots + 18 + 10 + 13}{10 + 9 + 8 + \dots + 9 + 8 + 9} = 8.7$$

Paso 4: Calcule los límites de control:

$$LSCu = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} = 2.7 + 3 * \sqrt{\frac{2.7}{8.7}} = 4.36$$

$$LICu = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} = 2.7 - 3 * \sqrt{\frac{2.7}{8.7}} = 1.0$$

Paso 5: Seleccione la escala para la gráfica de control



Paso 6: Grafique la cantidad de defectos por unidad de los subgrupos.

Paso 7: Indique el promedio de "u" y los límites de control de la carta.

Paso 8: Interpretación de la carta de control.

dentro de control estadístico

Paso 9: Identifique y corrija las causas especiales.

No existen

Paso 10: Recalcule los límites de control.

No es necesario

Paso 11: Calcule e interprete la habilidad del proceso

3.3 Capacidad de proceso, uso de software estadístico (Minitab)

Ejemplo 1:

Grafica p: Los tornillos para un "kit" de un mueble son producidos de forma continua en cierto proceso industrial. Un operario va tomando aleatoriamente tornillos de la cadena de producción y va comprobando si son defectuosos o aceptables. Como la cadena no tiene un ritmo de producción constante (sigue un ritmo de producción denominado just-in-time, donde el ritmo de la cadena se va determinando según el nivel de stock final e intermedio), el ritmo de inspección no es tampoco constante. El operario, por tanto, no toma siempre la misma cantidad de diodos para realizar la inspección. La tabla muestra el tamaño de las muestras recogidas y el número de tornillos que resultaron defectuosos, que se muestran en la tabla 3.3.1:

Tabla 3.3.1: datos del ejemplo

Muestra	Tornillos inspeccionados	Tornillos defectuosos	
1	126	8	0.063
2	118	10	0.085
3	122	10	0.082
4	129	9	0.070
5	124	10	0.081
6	136	10	0.074
7	119	9	0.076
8	127	9	0.071
9	114	20	0.175
10	127	11	0.087
11	119	12	0.101
12	115	5	0.043
13	110	11	0.100
14	103	6	0.058
15	108	10	0.093
16	116	4	0.034
17	119	7	0.059
18	118	8	0.068
19	107	10	0.093
20	113	13	0.115
Total :	2370	192	1,628

Con Minitab: **estadísticas>herramientas de calidad>análisis de capacidad>Poisson:** Ventana de cuadro de dialogo: defectos (tornillos defectuosos); utilizar tamaños en (tornillos inspeccionados); pruebas: realizar las cuatro pruebas: Aceptar, como se muestran los resultados en la figura 3.3.1:

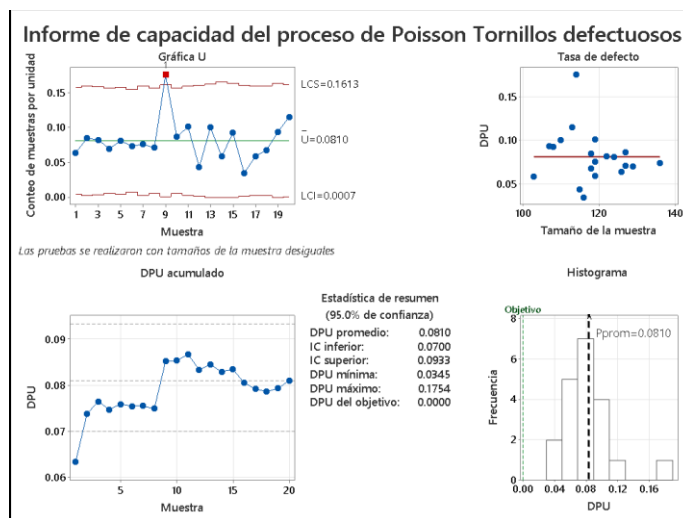


Figura 3.3.1: Análisis de capacidad: como se observa es el $\bar{P}$

Ejemplo 2

Grafica np: Se desea construir un gráfico de control NP para controlar un proceso que fabrica un chip que se insertará en una tarjeta de telefonía. Se tienen 25 muestras, cada una formada por 50 chips. El número de chips defectuosos en cada una de las muestras se muestra en la tabla 3.3.2:

Tabla 3.3.2 Datos del ejemplo

Muestra	Número de Artículos	Artículos Defectuosos
1	50	3
2	50	5
3	50	5
4	50	1
5	50	10
6	50	4
7	50	2
8	50	5
9	50	6
10	50	4
11	50	1
12	50	0
13	50	4
14	50	6
15	50	2
16	50	2
17	50	3
18	50	4
19	50	2
20	50	5
21	50	4
22	50	5
23	50	2
24	50	4
25	50	2

Como el tamaño del subgrupo es contante se realiza exactamente de la misma forma que la carta p: **estadísticas>herramientas de calidad>análisis de capacidad>Poisson: Ventana de cuadro de dialogo: defectos (tornillos defectuosos); utilizar tamaños en (tornillos inspeccionados); pruebas: realizar las cuatro pruebas: aceptar, como se muestran los resultados en la figura 3.3.2:**

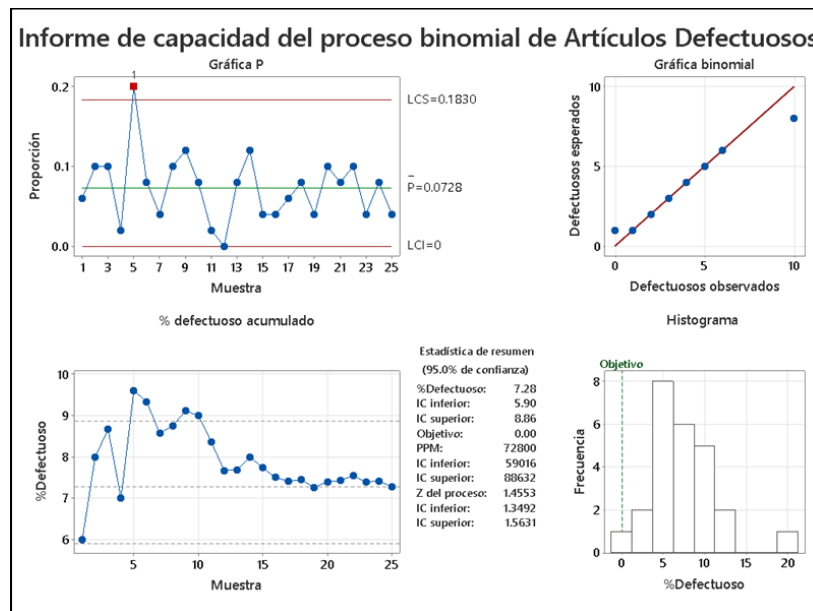


Figura 3.3.2: Grafica np: muestra el numero promedio de porcentaje de defectuosos 7.28

Ejemplo 3

Grafica c: en una fábrica se inspecciona a detalle el acabado de las mesas cuando salen del departamento de laca. la cantidad de defectos que son encontrados en cada mesa son registrados con el fin de conocer y mejorar el proceso. en la tabla 3.3.3 se muestran los defectos encontrados en las últimas 30 mesas. es claro que se está ante una variable que debe ser analizada con la carta c, debido a que un misma mesa puede tener diferentes tipos de defectos; además, los defectos son relativamente menores, y aunque influyen en la calidad del producto final, no causan que la mesa sea rechazada⁵⁰:

Tabla 3.3: datos de prueba del ejemplo 3.3

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

Cálculo de la capacidad de proceso para la carta u, con Minitab: **estadísticas>herramientas de calidad>análisis de capacidad>Poisson: Ventana de cuadro de dialogo: defectos (c); utilizar tamaños constante 1; pruebas: realizar las cuatro pruebas: aceptar, como se muestran los resultados en la figura 3.3.3 (con distribución de Poisson):**

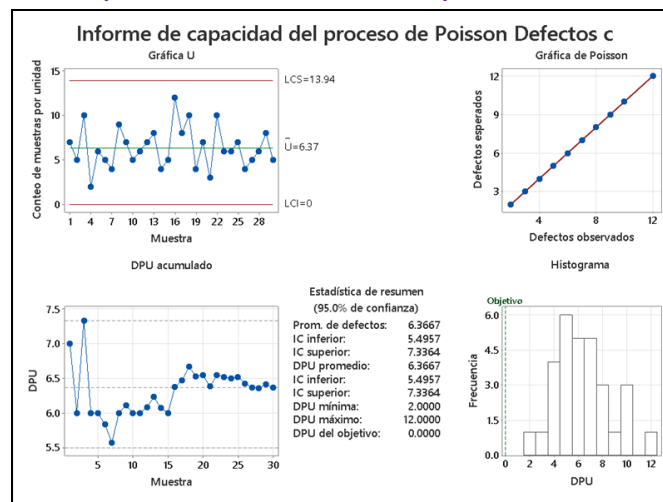


Figura 3.3.3: Capacidad de la carta es de $\bar{u} = 6.37$

⁵⁰ H. G. Pulido, R. de la Vega Zalazar, *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*, Mc Graw Hill.3ª. edición, 2013, México. Pp: 221.

Ejemplo 4

Grafica U: En una fábrica se ensamblan artículos electrónicos y al final del proceso se hace una inspección por muestreo para detectar defectos relativamente menores. en la tabla 84 presenta el número de defectos observados en muestreos realizados en 24 lotes consecutivos de piezas electrónicas el número de piezas inspeccionadas en cada lote es variable, por lo que no es apropiado aplicar la carta c. es mejor analizar el número promedio de defecto por pieza, $\bar{u}$, mediante la carta u. para calcular los límites de control a partir de la tabla 3.3.4, se tiene que: $\bar{u} = \frac{549}{525} = 1.04$ como el tamaño de subgrupo o muestra es variable, se tienen dos alternativas: usar el tamaño de subgrupo promedio o construir una carta con límites variables, como se muestran los datos en la tabla 3.3.4.⁵¹

Tabla 3.3.4: Datos del ejemplo para la carta $\bar{u}$

Lote	Tamaño de muestra	Defectos encontrados c _j
1	20	17
2	20	24
3	20	16
4	20	26
5	15	15
6	15	15
7	15	20
8	25	18
9	25	26
10	25	10
11	25	25
12	30	21
13	30	40
14	30	24
15	30	46
16	30	32
17	30	30
18	30	34
19	15	11
20	15	14
21	15	30
22	15	17
23	15	18
24	15	20

En la figura 3.3.4 se muestran la carta de control hecha con Minitab, así como su capacidad de proceso (para un proceso Poisson), **estadísticas>herramientas de calidad>análisis de capacidad>Poisson: Ventana de cuadro de dialogo: defectos (u); utilizar tamaños constante 1; pruebas: realizar las cuatro pruebas: aceptar, como se muestran los resultados en la figura 3.3.4 (con distribución de Poisson):**

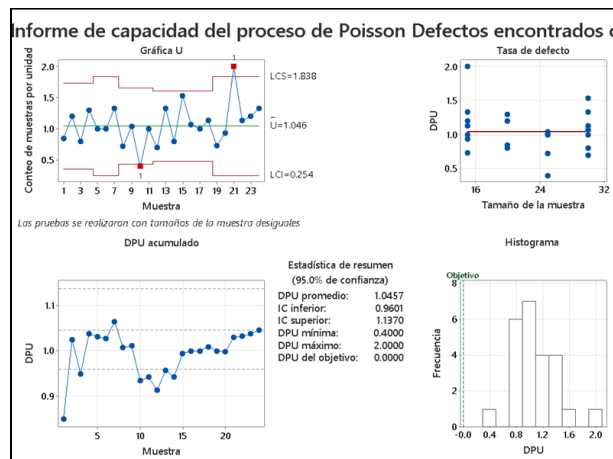


Figura 3.3.4: carta de control y capacidad de proceso $\bar{u} = \frac{549}{525} = 1.04 = \text{DPU}$; defectos por unidad promedio

⁵¹ H. G. Pulido, R. de la Vega Zalazar, *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*, Mc Graw Hill.3ª. edición, 2013, México. Pp: 223

Ejercicios para desarrollar; Carta X-R, X-I, X-S, n, np, c, u:

P1: una fábrica de focos desea medir la duración de sus filamentos; ha observado en su carta X-R que su proceso es estable, por lo que desea simplificar su control a través de su grafico de media y rangos, para tal efecto toma 25 muestra de 5 focos cada una, y los datos son:

x1	x2	x3	x4	x5
95	96	99	98	102
96	95	99	101	101
97	98	96	99	101
101	101	99	96	102
100	100	100	99	97
99	98	97	99	97
99	101	101	98	98
101	99	99	101	99
100	98	99	100	99
99	98	99	102	99
100	99	98	99	96
101	101	98	97	100
98	99	103	102	99
99	97	99	98	100
98	99	101	100	101
98	101	102	99	98
101	98	105	99	101
100	99	99	98	102
102	99	102	98	102
101	99	98	100	99
100	101	99	98	99
101	102	99	98	97
98	99	97	99	98
99	100	101	98	98
101	99	98	99	99

P2 la línea de preparación A del departamento 7, tiene como trabajo preparar agua a baja temperatura con una solución de ácido al 9% mínimo, para que la calidad del producto tratado sea adecuada, de cada preparado se toma una muestra con probeta y se examina para determinar el porcentaje de concentración. Las observaciones durante dos días consecutivos son las siguientes, elabora la carta X-I, los límites de tolerancia son de ± 2 .

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25
n	8	8.5	7.4	10.5	9.3	11.3	10.4	9.4	9	10	11.7	10.3	16.2	11.6	11.5	11	12	11	11	10.2	10.1	103	11.5	11.1	11.3

P3: en una fábrica, se requiere comparar la resistencia y la uniformidad de la varilla fabricada por nueve maquinas aparentemente idénticas. Se hacen pruebas y los resultados se muestran en la siguiente tabla, elabore una carta X-S:

Maquina	n	Resistencia media	Desviación estándar
1	128	743	63
2	127	695	47
3	126	711	67
4	114	668	51
5	126	736	80
6	126	791	58
7	126	686	50
8	111	801	92
9	119	604	64

P4: Durante 4 meses la inspección diaria al 100% de una sola característica crítica de una parte para un aparato eléctrico, se tomaron los porcentajes para la fracción defectuosa diaria, al final de cada mes se calculó el promedio de las fracciones defectuosas y se establecieron los límites de control para inspecciones futuras, a continuación, se dan los datos recopilados durante el mes, estimar el gráfico p.

Fecha	Numero de inspeccionados n	Numero de defectuosos np
1	3350	31
2	3354	113
3	1509	28
4	2086	1
5	1572	22
6	2190	20
7	2678	35
8	3382	17
9	3252	68
10	2993	3
11	2679	25
12	4642	339
13	925	9
14	3694	14
15	3052	8
16	1830	9
17	2441	3
18	2992	3
19	3043	70
20	3477	27
21	3380	17
22	4053	44
23	1624	12
24	1573	22
25	3043	35

P5: en el departamento de control de producto terminado de lavadoras, se inspecciona el funcionamiento de las lavadoras y se clasifican en aceptadas o rechazadas, para ello se ha dispuesto la verificación de 100 de los lotes de 50 lavadoras cada lote. Determine la carta np

Fecha	Numero de inspeccionados n
1	4
2	2
3	6
4	2
5	6
6	3
7	0
8	1
9	7
10	3
11	2
12	1
13	2
14	2
15	4
16	2
17	2
18	1
19	5
20	3
21	2
22	4
23	7
24	5
25	3

P6: los datos recopilados que se presentan a continuación proporcionen el número de errores de alineación en la inspección de un modelo de aeroplano, elabora la carta c:

Numero de aeroplano	No. De defectos
1	7
2	6
3	6
4	7
5	4
6	7
7	8
8	12
9	9
10	9
11	8
12	5
13	5
14	9
15	8
16	15
17	6
18	4
19	13
20	7
21	8
22	15
23	6
24	6
25	10

P7: después de la inspección de 20 días consecutivos de las abrazaderas metálicas listas para el envío, en el departamento de calidad certificada en la planta de productos metálicos, se estimó la media del proceso considerando los defectos que se encontraron. Elabora la carta u.

Tamaño de la muestra	Defecto c
8	7
8	17
9	14
11	17
7	21
8	16
7	14
9	23
8	13
7	15
7	12
6	14
8	24
4	12
8	11
9	13
6	18
7	11
6	12
8	11

Tema 4: Planes de Muestreo de Aceptación

4.1 Conceptos básicos de muestreo de aceptación

Uno de los campos más amplios del control de calidad estadístico es el muestreo de aceptación. Una compañía recibe el embarque, y de acuerdo con las normas, lo acepta o lo rechaza. Si es rechazado por encontrarse debajo de las normas, puede ser devuelto o conservado, dependiendo de las necesidades que se tenga de la mercancía, o de los acuerdos que se hayan tenido con el proveedor.

Debe insistirse en que el propósito del muestreo de aceptación es el de determinar la manera de actuar, y no el de encontrar la calidad del lote. El muestreo de aceptación determina un procedimiento que si se aplica a una serie de lotes que dará un riesgo especificado en cuanto a la aceptación de lotes de calidad dada. En otras palabras, el muestreo de aceptación da un margen de seguridad en cuanto a la calidad.

El término "inspección" se relaciona estrictamente con las actividades del personal que informa a la organización de inspección formal y no incluye ni la verificación del proceso ni la clasificación del producto cuando lo realice la entidad que recibe el producto. El propósito de esta Sección es explicar la relación entre inspección y control de procesos, y enfatizar la diferencia entre los procedimientos de aceptación y rechazo utilizados por la Inspección y la "clasificación operativa" que puede realizar el taller. Si bien la inspección no es el propósito principal de un programa de control de calidad, se pueden derivar importantes beneficios de la aplicación de los principios de control de calidad a la planificación de la inspección. Un subproducto importante es la reducción de la cantidad necesaria de inspección. Otra es el hecho de que, con una inspección debidamente planificada, la entidad productora se convierte en realidad en responsable de la calidad de sus productos.

⁵²El término "inspección" tal como se utiliza aquí significa "inspección de aceptación", que consiste en examinar una cantidad específica de producto para proporcionar una base para tomar medidas con respecto a ese producto en particular; es decir, decidir si el producto debe ser aceptado y traspasado al usuario, o si se debe realizar alguna otra acción que puede ser tomada como scrap, reparación, etc.

La inspección de aceptación proporciona, en efecto, una verificación de la idoneidad de los controles del proceso. Si el proceso ha sido controlado satisfactoriamente por Operaciones e Ingeniería, el producto debería pasar la inspección de aceptación sin problemas ni demoras. Por otro lado, si los controles del proceso han fallado, la inspección debe intervenir y brindar protección de emergencia instalando una "pantalla" e intentando, lo más efectivamente posible, e impedir que el producto defectuoso salga. La inspección de emergencia casi nunca es económica. Parte de la ciencia de la planificación de la inspección consiste en mantener la inspección a un nivel económico bajo durante condiciones normales y minimizar la cantidad de tiempo durante el cual la inspección debe proporcionar protección de emergencia. Cuanto mejor sea el control del proceso, menos frecuentes y más cortos serán los períodos en los que se necesite protección de emergencia. Por lo tanto, existe una conexión definida entre la economía de inspección y control de procesos.

⁵² Western Electric, SQC *"Statistical Quality Control Handbook"*, 1956, "2a. edition. USA, pp: 244,

Porque la inspección nunca puede ser eliminada completamente

Uno de los objetivos principales de un programa de control de calidad es **reducir o minimizar la cantidad de inspecciones realizadas**. Sin embargo, nunca es posible eliminar por completo la inspección. La organización de inspección tiene responsabilidades de certificación que no pueden delegarse a ninguna otra organización. Una de ellas es la responsabilidad de certificar la cantidad y calidad del producto para efectos de pago de Operación. Esto debe ser realizado por una organización separada de la responsable de fabricar el producto. Además, la inspección representa al usuario. ejem. El usuario puede ser otra organización operativa o puede ser el cliente final. La aceptación o el rechazo del producto antes de que abandone el grupo operativo puede eliminar una manipulación y negociación extensas que podrían resultar más adelante si el usuario realizara su propia inspección. Por lo tanto, la inspección debe (1) garantizar que la organización operativa haya desempeñado sus funciones correctamente y (2) proporcionar salvaguardias adecuadas contra el envío de productos defectuosos. Esto se puede lograr examinando cada unidad de producto en detalle. Esto se llama inspección al 100% o "detallada". Los mismos fines también podrán lograrse adoptando la decisión de aceptar o rechazar el producto después de examinar sólo una parte de este. **Esto se llama inspección por muestreo**. El muestreo en la inspección es, por regla general, el procedimiento más económico.

Lote, Muestra

Llamaremos **lote** a un conjunto de artículos del que se tiene que decidir si se adquiere o se rechaza en función de la proporción de artículos defectuosos que tenga. Se llamará **muestra** al conjunto de artículos que se extraen del lote y que serán los únicos que se examinan para ver si son defectuosos o aceptables.

Esta es con frecuencia la situación en el suministro de artículos manufacturados. Los artículos son suministrados en lotes, los cuales pueden ser examinados bien por el fabricante antes de su envío, o bien por el comprador antes de aceptarlos. Esta inspección consiste en examinar una muestra o un conjunto de muestras de los lotes y tomar una decisión en función de la evidencia observada en la muestra. En este tema estudiaremos la selección de este tamaño muestral de manera que las conclusiones que se obtengan del análisis de la muestra puedan ser extendidas al lote entero con cierta fiabilidad. Por tanto, tomaremos una decisión sobre el lote completo en función de lo que observemos de la muestra. En la mayoría de los procedimientos supondremos que el lote es muy grande comparado con el tamaño de la muestra, y, por tanto, a efectos prácticos podría considerarse que el lote es una población de tamaño infinito.

Existe una gran variedad de procedimientos para la realización de este muestreo de aceptación. Básicamente existen tres posibilidades para evaluar un lote:

- Aceptar el lote sin inspeccionar.
- Extraer una muestra y sacar una conclusión sobre el lote completo (control por muestreo o muestreo de aceptación).
- Inspeccionar la totalidad de los individuos del lote (inspección 100%).

Teoría del muestreo de aceptación

El muestreo de aceptación es la práctica de inspeccionar una pequeña cantidad de piezas de un lote para verificar su conformidad con las especificaciones. Luego se toma la decisión de aceptar o rechazar el lote basándose en los resultados de la muestra⁵³.

La justificación del muestreo de aceptación es que proporciona una Minimización del costo total de inspección y reparación para la prueba de lo contrario de W.E. Deming. Los ahorros de costos son el resultado de menos tiempo necesario para inspeccionar una muestra y la necesidad de menos inspectores. Sin embargo, existe el gasto adicional y los gastos generales necesarios para diseñar y administrar los planes de muestreo.

El muestreo de aceptación se define (ISO 3534-2) como el muestreo por el que se toma la decisión de aceptar un lote o un grupo de productos, materiales o servicios en función de los resultados de la muestra.

Ventajas del muestreo de aceptación:

- Mayor velocidad: se pueden evaluar más lotes más rápido y lo bueno separado de lo malo para la junta de revisión de materiales.
- Manipulación minimizada: al inspeccionar solo una muestra, menos artículos están sujetos al posible daño que a veces ocurre en la manipulación o medición durante el proceso de inspección.
- Mayor precisión: el problema del error del inspector debido se minimiza la monotonía. Con menos elementos para inspeccionar se puede utilizar más tiempo para garantizar la integridad y exactitud.
- Acción correctiva más rápida: el rechazo de lotes debido al muestreo tiende a dramatizar las deficiencias de calidad y a acelerar las acciones correctivas por encima del 100% de clasificación.

Las desventajas del muestreo de aceptación son:

- Costos administrativos,
- Riesgos de muestreo y el hecho de que las decisiones deben hacerse con menos información de la que se proporciona con inspección 100% o gráficos de control de procesos proporcionados por el proveedor.

El muestreo de aceptación debe usarse cuando la inspección al 100% está causando grandes problemas debido a la monotonía, cuando se utilizan pruebas destructivas, cuando el costo de la inspección es alto en relación con el costo resultante de pasar un defecto y cuando un parámetro en particular es buen indicador de la calidad general de un lote.

⁵³ Allen Bradley Co. *DataMyte Handbook. A practical Guide to Computerized Data collection for Statistical process Control*. Editorial DataMyte Division, 5a. Edition, Minnetonka, Minnesota, E.U. p. 7-2.

Defectos y características

Existen dos listas de características que deben evaluarse: una es la **lista de características de calidad** derivada de las especificaciones. La otra es la **lista de defectos**, es decir, los síntomas de no conformidad durante la manufactura y de las fallas en campo durante el uso.

Definiciones de defectos⁵⁴

1. Crítico.

- a. Es aquel que el juicio y la experiencia indican que puede transformarse en una situación peligrosa o de poca seguridad para los individuos que lo usen, mantengan, o dependan del producto.

2. Mayor.

- a. Es aquel que, no siendo crítico, puede convertirse en fallas o reducir en forma considerable la utilidad de la unidad del producto para el propósito previsto.

3. Menor.

- a. Es aquel que no reducirá en forma importante la utilidad de la unidad en cuanto a su finalidad, o que se separará de las normas establecidas, teniendo poca relación con el uso u operación eficaz de la unidad.

Formación de lotes

- Para inspección de lotes, estos deben cumplir las características siguientes:
 - Deben ser homogéneos: las unidades deben ser producidas por las mismas corridas de producción, en condiciones similares. Es difícil tomar acciones correctivas para lotes mezclados.
 - Lotes grandes son preferibles a lotes pequeños, dado que la inspección es más eficiente.
 - Los lotes deben manejarse de forma similar con el proveedor y con el cliente, las partes deben estar empacadas adecuadamente para evitar riesgos de daño y permitir la selección de muestra en forma más sencilla.

Muestreo aleatorio⁵⁵

Las unidades del lote seleccionadas para inspección deberán elegirse al azar, y deberán ser representativas de todos los artículos del lote. El concepto de muestreo aleatorio es en extremo importante en el muestreo de aceptación. A menos que se empleen muestras aleatorias, se introducirá sesgo. Por ejemplo: el proveedor puede asegurarse de que las unidades empacadas en la parte superior del lote sean de calidad extremadamente buena, a sabiendas de que el inspector seleccionará la muestra de la parte superior. “sazonar” un lote de esta manera no es una práctica común, pero si ocurre. Con esto se destruirá la efectividad del proceso de inspección.

⁵⁴ Military Standard, “*Sampling procedures and tables for Inspection by Attributes*”, Departamento of Defense, 1963. Pp: 2

⁵⁵ Douglas Montgomery. “*Control Estadístico de La Calidad*” Grupo editorial Iberoamérica. 1ª. edición. 1991. Estados Unidos de America. Pp: 306

- La técnica sugerida comúnmente para sacar una muestra aleatoria es asignar primero un número a cada artículo del lote. Después se sacan n números aleatorios, donde el rango de estos números aleatorios del 1 al número máximo de unidades del lote. Esta secuencia de números aleatorios determina que unidades del lote construirán la muestra. Si los productos tienen un número de serie u otros números codificados. Estos números pueden usarse para evitar el proceso de asignar realmente números a cada unidad. Otra posibilidad es usar un número aleatorio de tres dígitos para representar el largo, el ancho y el fondo del contenedor.
- En las situaciones en que no es posible asignar un número a cada unidad, utilizar un número de serie codificado, o determinar aleatoriamente la localización de la muestra, debe emplearse alguna otra técnica para asegurarse de que la muestra sea aleatoria y representativa. En ocasiones el inspector puede estratificar el lote. Esto consiste en dividir el lote en estratos o capas y después subdividir cada estrato en cubos, como se muestra en la figura. Entonces se seccionan las unidades interiores del cubo.
- Si se usan métodos basados en criterios discrecionales o personales para seleccionar la muestra, se pierde la base estadística del procedimiento de muestreo de aceptación.

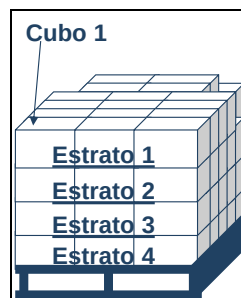


Figura 4.4.5: Ejemplo de muestreo aleatorio

Tipos de muestreo

Existen dos conceptos importantes que no debemos olvidar para garantizar las decisiones correctas mediante el muestreo de aceptación: el individuo y la aleatoriedad en el muestreo. El lote ideal debe estar formado por unidades o individuos homogéneos, fabricados en ausencia de causas especiales de variación que produzca heterogeneidad. Esto implica que todos los individuos sean iguales, sino que estén sujetos solo a variaciones debidas a causas comunes. Por otro lado, cuando se realiza la extracción o muestreo del lote hay que poner especial atención a la hora de no favorecer o influir las posibilidades de ciertos individuos frente a otros. En especial hay que huir de tomar los individuos más accesibles o los que presentan alguna característica aparente distintiva⁵⁶.

El muestreo de aceptación puede dividirse en dos tipos de muestreo según la característica observada:

⁵⁶ H. G. Pulido, R. de la Vega Zalazar, *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*, Mc Graw Hill. 3ª. edición, 2013, México. Pp: 306.

- **Muestreo por atributos:** cuando la inspección en los artículos se divide en defectuosos y no defectuosos, según cumplan con un conjunto de requerimientos, ver figura 4.4.

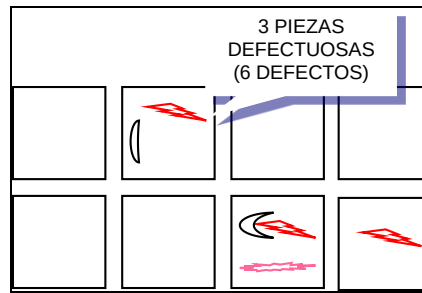


Figura 4.4.6: ejemplo del muestreo por atributos

- **Muestreo por variables:** en la inspección mide una variable cuantitativa: longitudes, pesos, rugosidades... y se evalúa la distancia entre dicha cantidad y la requerida en las especificaciones, ver figura 4.4.7.

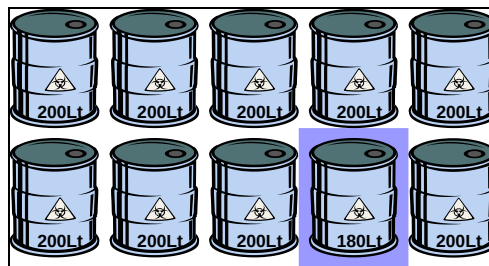


Figura 4.4.7: ejemplo del muestreo por variables

Existen también otras clasificaciones en un plan de recepción según el número de muestras a extraer:

- Un plan de **muestreo simple:** se basa en la toma de una muestra aleatoria de n individuos y toma la decisión en base a estos.
- Un plan de **muestreo doble:** se basa en la toma de una primera muestra de tamaño n_1 a partir de la que se decide (1) aceptar el lote o (2) rechazar el lote o (3) extraer una segunda muestra se combina toda la información de ambas para decidir aceptar o rechazar el lote.
- Un plan de **muestreo múltiple:** es una extensión del muestreo doble donde se puede tomar de 1 a m muestras antes de la decisión. Los tamaños de muestras son más pequeños que en el muestreo doble.
- Un plan de **muestreo secuencial o progresivo** es un caso extremo del muestreo múltiple donde se van extrayendo una a una las unidades y en cada momento se puede decidir aceptar, rechazar el lote o tomar de nuevo otra muestra.

En resumen, el plan de muestreo se define por:

- El tipo de control efectuado (por atributos o por variables).
- El esquema de muestreo (una varias muestras aleatorias).
- El tamaño de la muestra (o muestras) a tomar y controlar.

- La regla de decisión en función de los resultados posibles de la muestra (o muestras).

Procedimientos de muestreo de aceptación; de acuerdo con el tipo de muestreo a realizar, así como de alguna de las condiciones de este como se muestra en la tabla 4.1.1:

Tabla 4.1.1: distintos procedimientos de muestreo de aceptación

OBJETIVOS	PROCEDIMIENTO POR ATRIBUTOS	PROCEDIMIENTO POR VARIABLES
1. ASEGURAR NIVELES DE CALIDAD PARA EL PRODUTOR Y EL CONSUMIDOR	PLAN ESPECIFICO EN BASE A LA CURVA OC	PLAN ESPECIFICO EN BASE A LA CURVA OC
2. MANTENER LA CALIDAD EN EL OBJETIVO	SISTEMA DE AQL MIL-STD.105E	SISTEMA AQL MIL-STD-414
3. ASEGURAR EL NIVEL DE CALIDAD DE SALIDA	SISTEMA AOQL DE DODGE-ROMING	SISTEMA DE AOQL
4. REDUCIR LA INSPECCIÓN CON TAMAÑO DE MUESTRA PEQUEÑO, BUEN HISTORIAL	MUESTREO EN CADENA	MEDICION DE LIMITE
5. REDUCIR LA INSPECCIÓN DESPUES DE UN BUEN HISTORIAL	MUESTREO DE LOTES SALTEADOS	MUESTREO DE LOTES SALTEADOS
6. ASEGURA LA CALIDAD NO MENOR QUE EL OBJETIVO	PLANES LTPD DE DODGE-ROMING	PLANES LTPD CON PRUEBA DE HIPOTESIS

Definición del plan de muestreo⁵⁷

Un plan de muestreo de aceptación de lote (LASP) es un esquema de muestreo y un conjunto de reglas para la toma de decisiones. La decisión, basada al contar el número de defectos en una muestra, puede ser aceptar el lote, rechazar el lote, o incluso, por múltiples o secuenciales esquemas de muestreo, para tomar otra muestra y luego repetir el proceso de decisión.

Inspección y pruebas

- Por lo general la inspección y pruebas incluyen la medición de la producción y la comparación de las requerimientos específicos para determinar conformancia.
- La inspección se realiza por un amplia variedad de motivos, por ejemplo: hacer una distinción entre productos buenos y malos, determinar si un proceso está cambiando, medir la habilidad del proceso, calificar la calidad del producto, asegurar la información del diseño del producto, calificar la exactitud de los inspectores y determinar la precisión de los instrumentos de medición.
- La inspección casi siempre es realizada bajo condiciones estáticas sobre artículos tales como componentes, puede variar de un sencillo examen visual a una serie de mediciones completas.
- La importancia de la inspección estriba en determinar la conformancia con el estándar.

En la siguiente figura 4.4.8 se intenta mostrar esquemáticamente algunas de las consideraciones generales mas destacadas que deben tenerse en cuenta al establecer una configuración adecuada

⁵⁷ NSFI, *¿What kinds of lot Acceptance Sampling Plans (LAPs) are There?*, Engineering Statistics Handbook, <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/tooluids/pff/pmc.pdf>

para cualquier problema que busque determinar de inspección. Las inspecciones varían ampliamente en propósito, tipo y carácter. **Su propósito general es el control de calidad**, los pasos difieren. Por ejemplo, el objetivo de un paso que puede ser asegurar para controlar la calidad, los objetos inmediatos de las tendencias de inspección individuales en el desempeño, que serían de información que ayudará directamente a controlar el proceso de fabricación mediante la detección de errores o se volverán problemáticas si se permite que persistan sin control. En otros lugares, el objetivo inmediato puede ser determinar la aceptabilidad de los lotes definitivos o malos respecto de los buenos. Con estos objetos a la vista se escrutan materiales, piezas en proceso y cantidades de producto o que sirven de pantalla para clasificar las piezas defectuosas, unidades terminadas. Dependiendo de las circunstancias, el carácter y la integridad de las inspecciones varían desde el examen visual de pequeñas muestras hasta la medición o prueba cuidadosa de cada pieza⁵⁸.

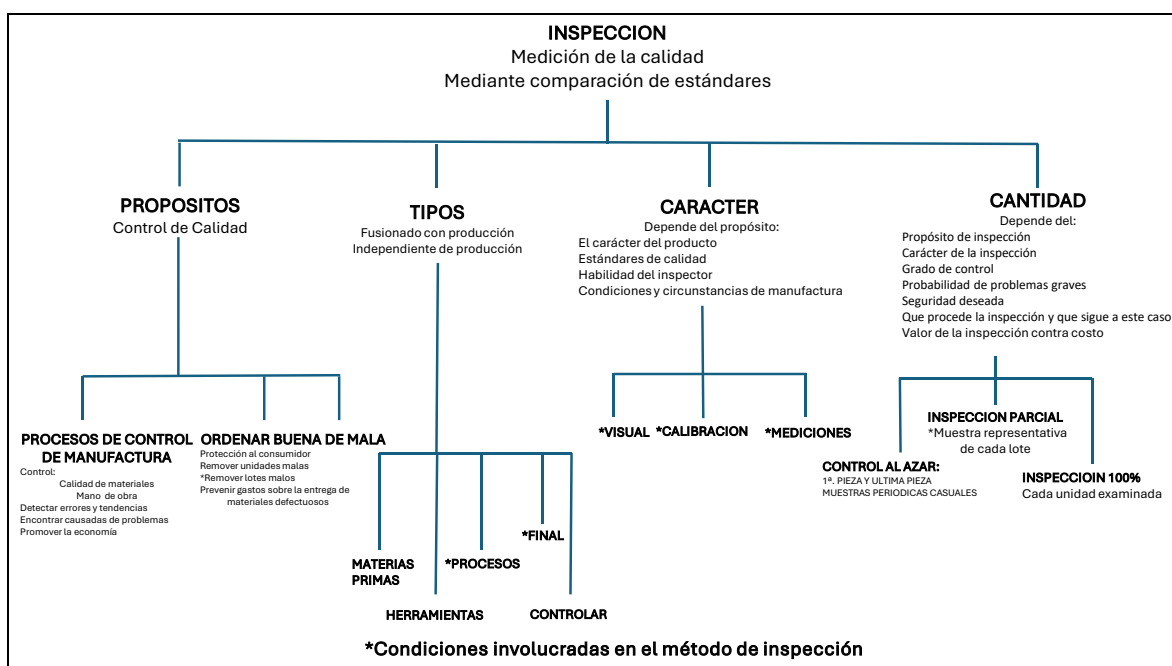


Figura 4.4.8: Flujo de algunos de los factores a ser considerados en el establecimiento de un plan de inspección

Las condiciones bajo las cuales este método aplica: Una gran parte del trabajo de inspección industrial consiste en comparar piezas individuales con un estándar, como medir una dimensión o medir una propiedad eléctrica, para determinar si las piezas cumplen o no con los requisitos establecidos en las especificaciones. A esto se le suele denominar inspección por el "método de los atributos". La consideración se centrará aquí en el caso en que se realice una inspección por muestreo no destructiva de este tipo en lotes discretos de producto con el fin de determinar su aceptabilidad. Desde el punto de vista de la teoría del muestreo, uno de los requisitos generales es que cada lote esté compuesto por piezas producidas en las mismas condiciones esenciales. En la práctica, esto significa que se debe intentar evitar agrupar lotes de material que, debido a las condiciones o métodos de fabricación, puedan diferir en calidad. Por supuesto, se supone que la muestra extraída de cualquier lote será aleatoria, de modo que pueda representar de manera

⁵⁸ H.F. DODGE, H.G. ROMIG, *Sampling Inspection Tables Single and double Sampling*, Inc Chapman and Hall, LTD, 4a. Impresión, E.U.A. 1944. Pp: 6-10.

justa la calidad del lote completo. Resumiendo las condiciones generales para las que se busca una solución, asumimos:

(1) El propósito de la inspección es determinar la aceptabilidad de los lotes individuales presentados para inspección, es decir, clasificar la mercancía “los lotes” en lotes buenos o lotes malos.

(2) La inspección se realiza mediante el “método de atributos” para determinar la conformidad con un requisito particular, es decir, cada pieza cumple o no con los límites especificados.

(3) Un lote es de calidad homogénea y la muestra de este es una muestra aleatoria. Los elementos destacados en la Fig. 4.4.8 indican el conjunto de condiciones involucradas en nuestro problema.

Características de protección y economía del método

La adopción de la inspección por muestreo en cualquier etapa de la fabricación, lleva consigo la premisa de que el producto que surge de este punto no tiene que cumplir al 100 por ciento los requisitos de especificación. A menudo es más económico, considerando todos los aspectos, permitir que un pequeño porcentaje de piezas defectuosas pasen a etapas posteriores de montaje o inspecciones para su posterior rechazo que asumir el gasto de una inspección del 100 por ciento. En estas condiciones, el estado de la inspección puede aclararse estableciendo una tolerancia definida para los defectos de los lotes presentados al inspector para su aceptación. Esto puede especificarse como un porcentaje permitido de defectos, cifra que puede considerarse como la línea divisoria entre un lote satisfactorio y uno insatisfactorio. Por lo tanto, si el porcentaje de defectos es mayor que este “porcentaje de defectos de tolerancia”, el lote no es satisfactorio y debe rechazarse. Decimos “debería” rechazarse, pero esto no se puede lograr con absoluta certeza si sólo se examina una muestra. La inspección por muestreo implica correr riesgos, ya que no se conoce la calidad exacta de un lote cuando solo se inspecciona una parte. De acuerdo con las leyes del azar, una muestra ocasionalmente dará indicaciones favorables para lotes malos que resultarán en la aprobación. para su entrega a los consumidores.

- El 1er requisito del método será, por tanto, la forma de un seguro definitivo contra la aprobación de cualquier lote insatisfactorio que se presente para inspección.
- El 2º. requisito que se impondrá es que el gasto de inspección sea mínimo, sujeto al grado de protección que otorga el primer requisito.

Para el primer requisito, se debe especificar desde el principio un valor de tolerancia en por ciento de defectos, así como un límite a la posibilidad de aceptar cualquier lote presentado de calidad insatisfactoria. Este último, por conveniencia, se ha denominado **Riesgo del Consumidor** y se define; numéricamente, como la probabilidad de aprobar cualquier lote presentado para inspección que contenga el número de tolerancia de defectos.

Como se mostrará más adelante, el primer requisito puede satisfacerse con un gran número de combinaciones diferentes de tamaños de muestra y criterios de aceptación. Para satisfacer el segundo requisito, es necesario entonces determinar la cantidad esperada de inspección para una variedad de planes de inspección, determinar el costo de examinar o probar, sumar los costos distintos de los incurridos en el simple proceso de examinar muestras y elegir entre estos planes aquello que implica un mínimo gastos de inspección.

Por supuesto, existen varios métodos generales posibles de procedimiento de inspección, como muestreo simple, muestreo doble, muestreo múltiple, etc., que permiten el examen de una sola muestra, de dos muestras o de más de dos muestras antes de realizar una disposición prescrita de todo el lote. Para cada uno de estos métodos generales, se pueden encontrar diferentes combinaciones de tamaños de muestra y criterios de aceptación que satisfarán el primer requisito. Ahora prescribimos que cualquier lote que no cumpla con los requisitos de muestreo deberá ser inspeccionado por completo, al 100%. Bajo esta condición, una de las combinaciones mencionadas anteriormente dará una menor cantidad de inspección que el resto. Como un elemento de costo importante es el asociado con la cantidad de inspección, analizaremos en detalle el problema de encontrar la combinación que dará como resultado la cantidad mínima de inspección para un método general simple de inspección⁵⁹.

Importancia de una muestra aleatoria

Una muestra aleatoria es aquella en la que todos los elementos de la población tienen las mismas posibilidades de ser elegidos. El concepto de muestreo se basa en la idea de que se elige aleatoriamente una cantidad suficiente de elementos, y la muestra debe contener todas las características de la población total.

Riesgos asociadas con el muestreo⁶⁰

En el muestreo, existen ciertos riesgos inherentes que deben abordarse y comprenderse. Estos riesgos se pueden dividir en los dos tipos siguientes:

Estimación de los riesgos del muestreo

La estimación del **Riesgo del Productor** de un plan de muestreo incluye los siguientes pasos:

- Trazar una curva OC para el plan de muestreo en cuestión. Las curvas OC se describen en la siguiente sección.
- Encuentre el porcentaje defectuoso en el proceso cuando se ejecuta en capacidad.
- Estímelo, si es necesario, pero si se desea una mayor precisión, se debe realizar un estudio de capacidad del proceso.
- Encuentre el porcentaje de capacidad del proceso en la curva OC y sígalo para determinar la probabilidad de aceptación.
- Resta esta probabilidad de aceptación de 1,0. Este número es el riesgo del productor para el plan de muestreo.

Para estimar el **Riesgo del Consumidor** se procede de la siguiente manera:

- Trazar la curva OC para el plan de muestreo en cuestión.

⁵⁹ H.F. DODGE, H.G. ROMIG, *Sampling Inspection Tables Single and double Sampling*. Inc Chapman and Hall, LTD, 4a. Impresión, E.U.A. 1944. Pp: 11-12.

⁶⁰ Allen Bradley Co. *DataMyte Handbook. A practical Guide to Computerized Data collection for Statistical process Control*. Editorial DataMyte Division, 5a. Edition, Minnetonka, Minnesota, E.U. p. 7-4.

- Encuentre el porcentaje de defectuosos que el consumidor quiere rechazar. Esto puede entenderse como la peor calidad que el cliente aceptará.
- Encuentre este valor en la escala horizontal de la escala de la curva OC. Haga un seguimiento para determinar la probabilidad de aceptación. Este número será su riesgo de aceptar mala calidad de material.

CURVAS OC

Curvas características de operación -La curva OC es un medio para cuantificar el riesgo del productor y del consumidor. La curva OC para un plan de atributos es una gráfica del porcentaje de defectos en un lote versus la probabilidad de que el plan de muestreo acepte el lote. Se debe indicar la probabilidad para todos los valores de "P" (porcentaje de defectuosos), ya que "P" es desconocida. Se supone que se producirá un número infinito de lotes.

La curva OC de un plan proporciona un plan de definición del rendimiento potencial del mismo, mediante el cálculo de probabilidad de aceptar o rechazar un lote que tiene determinada calidad. Por ejemplo: suponga que una fábrica se producen lotes grandes y que antes de enviarlos al cliente se les aplica un muestreo simple por atributos definido por $n=60$, $c=1$. Con esto, si en una muestra aleatoria de 60 piezas se encuentra "0" o a lo más "1" defectuoso, entonces ese lote será aceptado y se envió al cliente, pero si se encuentran "2" o más productos defectuosos, el lote será rechazado y se debe realizar una inspección 100% "o detallada". Sin duda es importante preguntarse que tipo de calidad garantiza esta plan de muestreo y cuál es el nivel de calidad que no tolera. La respuesta a esta pregunta es la elaboración de la gráfica OC⁶¹.

La curva característica es un gráfico que expresa, para un plan de muestreo concreto, la probabilidad de aceptar un lote en función del porcentaje "p" de artículos defectuosos existentes en el lote.

Es característico de los planes de muestreo que la probabilidad de aceptación sea alta mientras la calidad del producto sea buena, pero disminuye a medida que la calidad del producto empeora. En la Figura 4.1.1 se muestra un ejemplo de una curva OC óptima. Supongamos que deseamos aceptar todos los lotes con menos del 2% de defectos y rechazar todos los lotes con más del 2% de defectos. Todos los lotes con menos del 2% de defectos tienen una probabilidad de aceptación de 1,0 (certidumbre), y todos los lotes con más del 2% de defectos tienen una probabilidad de aceptación del 0%. Sin embargo, en realidad no existen planes de muestreo que sean perfectos. Siempre habrá alguna posibilidad de que se rechace un buen lote o se acepte uno malo. El principal objetivo al desarrollar un plan de muestreo debería ser lograr que la aceptación de lotes buenos sea más probable que la aceptación de lotes malos.

⁶¹ Western Electric, *SQC "Statistical Quality Control Handbook"*, 1956, "2a. Edition. USA, pp: 244.

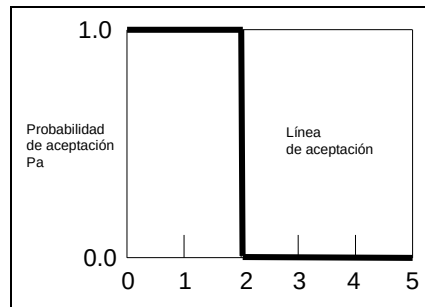


Figura 4.1.1: Rendimiento de un plan de muestreo optimo

- Esta curva muestra que la probabilidad de aceptar un lote que varía con la calidad del material sometido a inspección.
- La curva característica de operación (OC) para un plan de muestreo cuantifica estos riesgos (α, β). La curva OC para un plan de atributos es una gráfica de porcentaje de unidades defectuosas en un lote contra la probabilidad de que el plan de muestreo acepte el lote.

Conceptos importantes del muestreo de aceptación^{62, 63}:

1. Nivel de calidad aceptable (AQL)⁶⁴

Se define como el porcentaje máximo de unidades que no cumplen con la calidad especificada, que para propósitos de inspección por muestreo se considera como satisfactorio o aceptable como un promedio del proceso, (al AQL también se le conoce como nivel de calidad del productor). De acuerdo con lo anterior, si un lote tiene un nivel de calidad igual al NCA, entonces la probabilidad de aceptarlo debe ser alta (0.90, 0.95) (vea la figura 4.1.2), y a esa probabilidad se le designa con $1-\alpha$. Note que la probabilidad de aceptar lotes con un AQL un nivel de calidad satisfactorio. A este riesgo que tiene una probabilidad igual AQL no es igual a 1 y por lo tanto hay un riesgo de aceptar lo que se considera a α , por lo general pequeña (0.05, 0.10), se le conoce como riesgo del productor. Debido a este riesgo, el AQL debe ser un nivel de calidad de referencia para el proceso de producción del productor y de ninguna manera un valor objetivo. Más aún, el productor debe buscar que su proceso opere con un mejor nivel que el AQL.

2. Proporción defectuosa tolerable en el lote (LTPD) o Nivel de calidad limite, NCL

Es el nivel de calidad que se considera como no satisfactorio y que los lotes que tengan este tipo de calidad casi siempre deben ser rechazados. El LTPD en algunos planos específicos (por ejemplo, los "Planes de muestreo Dodge-Roming" que se explican más adelante) se conoce como porcentaje defectuoso tolerado del lote, LTPD (Lot Tolerance Percent Defective). Por lo antes dicho, si un lote tiene calidad igual al NCL entonces la probabilidad de aceptarlo debe ser muy baja

⁶² H. G. Pulido, R. de la Vega Zalazar, *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*, Mc Graw Hill. 3ª. edición, 2013, México. Pp: 312.

⁶³ NIST, *¿What kinds of lot Acceptance Sampling Plans (LAPs) are There?* Engineering Statistics Handbook, <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/tool aids/pff/pmc.pdf>. 6.2.2

⁶⁴ Military Standard, *"Sampling procedures and tables for Inspection by Attributes"*, Departamento of Defense, 1963. Pp: 3

(por lo general de 0.05, 0.10), y a esta probabilidad se le designa con la letra β (vea la figura 12.9) que la probabilidad de aceptar lotes de calidad no satisfactoria (NCL) no es cero y, por lo tanto, hay un riesgo de no rechazar este tipo de lotes. A este riesgo, que tiene probabilidad igual a β , se le conoce como riesgo del consumidor.

3. El Riesgo del Productor (también conocido como Riesgo “ α ”) Error Tipo I (Riesgo del Productor)

Esta es la probabilidad, para un plan de muestreo (n, c) dado, de rechazar un lote que tiene un nivel de defecto igual al AQL. El productor sufre cuando esto ocurre, porque mucho con aceptable La calidad fue rechazada. El símbolo se usa comúnmente. para el error **Tipo I y valores típicos para el rango de 0,2 a 0,01.**

4. El riesgo del consumidor (también conocido como riesgo “ β ”) Error Tipo II (Riesgo del consumidor)

Este es el probabilidad, para un plan de muestreo dado (n, c), de aceptar un lote con un nivel de defecto igual al LTPD. El consumidor sufre cuando esto ocurre, porque mucho con calidad inaceptable fue aceptado. El símbolo se utiliza comúnmente para el error tipo II y típico los valores oscilan entre 0,2 y 0,01.

5. Curva característica de operación OC

Esta curva traza la probabilidad de aceptar el lote (eje Y) versus la fracción de lote o porcentaje de defectuosos (eje X). La curva OC es la herramienta principal para mostrar e investigar las propiedades de un LASP.

6. Calidad promedio de salida, CPS o AOQ (Average Outgoing Quality).

Es la calidad promedio que se alcanza después de aplicar el proceso de inspección. Es un procedimiento común es el procedimiento, cuando el muestreo y las pruebas no son destructivos, es inspeccionar al 100% los lotes rechazados y reemplazarlos todos los defectuosos con unidades buenas. En este caso, todos rechazaron Los lotes se hacen perfectos y los únicos defectos que quedan son aquellos en lotes que fueron aceptados. Los AOQ se refieren al largo plazo. Nivel de defecto para este LASP combinado y 100% Proceso de inspección de lotes rechazados. Si entran todos los lotes con un nivel de defecto de exactamente p, y la curva OC para el LASP (n, c) el elegido indica una probabilidad P_a de aceptar tanto, a largo plazo el AOQ puede fácilmente se puede demostrar que es:

$$AOQ = \frac{P_a p (N - n)}{N}; N \text{ es el tamaño del lote}$$

De esta manera, independientemente de si el lote es aceptado o rechazado, la calidad que llega al cliente tiende a ser mejor que la que tenían los lotes antes de ser inspeccionados figura 4.1.3.

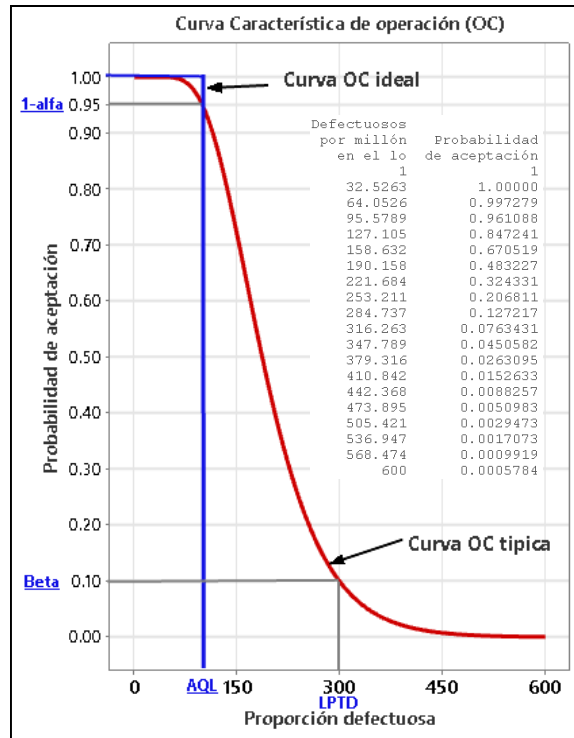


Figura 4.1.2: Curva OC, ideal y típica

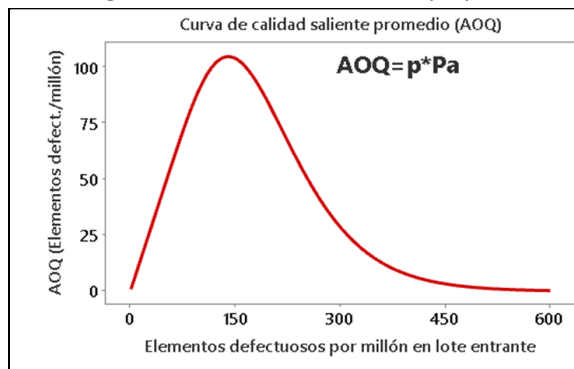


Figura 4.1.3: Curva AOQ

7. Nivel de calidad promedio de salida (AOQL)

Un gráfico del AOQ (eje Y) versus el lote entrante p (eje X) comience en 0 para $p = 0$ y regrese a 0 para $p = 1$ (donde cada lote es 100% inspeccionado y rectificado). Entre, subirá a un máximo. Este máximo, que es el peor AOQ posible a largo plazo se denomina AOQL.

8. Inspección Total Promedio (ATI)

Cuando los lotes rechazados son 100% inspeccionados, es fácil calcular el ATI si hay lotes que vienen consistentemente con un nivel de defecto de p . Para un LASP (n, c) con probabilidad P_a de aceptar un lote con defecto nivel p , se tiene:

$$ATI = n + (1 - P_a)(N - n); \text{ donde } N \text{ es el tamaño de muestra}$$

9. Número de muestra promedio (ASN):

Para un solo muestreo LASP (n, c) se sabe que todos y cada uno de los lotes tienen una muestra de tamaño n tomadas e inspeccionadas o probadas. Por doble, múltiple o secuencial LASP, la cantidad

de muestreo varía dependiendo del número de defectos observados. Para cualquier plan doble, múltiple o secuencial, un El ASN a largo plazo se puede calcular asumiendo que todos los lotes vienen con un nivel de defecto de p . Un gráfico del ASN, versus el nivel de defecto entrante p , describe el muestreo eficiencia de un esquema LASP determinado.

Métodos para calcular la probabilidad de aceptación⁶⁵

Para los planes de muestreo de atributos, donde cada unidad de producto se clasifica simplemente como defectuosa o no defectuosa, existen tres ecuaciones que pueden usarse para calcular la probabilidad de aceptación. Estos son:

a. La Hipergeométrica.

b. La D. Binomial

c. La Distribución de Poisson.

Las discusiones sobre estas ecuaciones y sus usos se pueden encontrar en los textos estándar. La ecuación de Poisson es la más utilizada de estas tres. Se utiliza, con ciertas restricciones, no sólo cuando el inspector cuenta las unidades defectuosas, sino también cuando cuenta el número real de defectos. Dado que la ecuación de Poisson se utiliza en muchas de las situaciones que se encuentran en el trabajo práctico, todos los ejemplos de probabilidades de aceptación en este Manual, a menos que se indique lo contrario, serán probabilidades de Poisson.

Las probabilidades de Poisson se pueden encontrar en tablas y curvas publicadas convenientemente. Dos fuentes útiles son las siguientes:

(1) Las probabilidades numéricas, llevadas a 6 decimales, se dan en el libro "Poisson's Exponential Binomial Limit" de E. C. Molina (D. Van Nostrand Company, Nueva York, 1947). Se proporcionan dos tablas: términos individuales en la Tabla I y términos acumulativos en la Tabla II.

(2) Las probabilidades también se pueden leer de manera más aproximada a partir de un conjunto de curvas basadas en la ecuación de Poisson. En la Figura 4.1.4 se muestra un conjunto de curvas de Poisson.

Para determinar la probabilidad de aceptación, utilizando las tablas o curvas de Poisson, se comienza determinando:

" n " (el tamaño de la muestra).

" p " (la proporción de defectos o defectos en el producto).

" c o Ac " (el número de aceptación que utilizará el inspector).

No es necesario conocer p y n individualmente si conocemos el producto de estos dos, el "número esperado de defectos", pn . En las tablas de Molina el producto de $n \times p$ se llama " α ". En las curvas de la Figura 4.1.4, el producto de $n \times p$ se llama " pn ".

Para Minitab: Por opción predeterminada, Minitab utiliza la distribución binomial para crear planes de muestreo y comparar planes de muestreo para los datos pasa/no pasa. Para utilizar correctamente la distribución binomial, Minitab presupone que la muestra proviene de un lote

⁶⁵ Western Electric, *SQC "Statistical Quality Control Handbook"*, 1956, "2a. edition. USA, pp: 239.

grande (el tamaño del lote es, por lo menos, 10 veces más grande que el tamaño de la muestra) o de un flujo de lotes seleccionados aleatoriamente de un proceso en curso. Muchas de las aplicaciones de muestreo pudieran satisfacer este supuesto.

Sin embargo, si el lote de productos del cual está recabando la muestra es un lote aislado de tamaño finito (p. ej, si se recibe un embarque de un pedido especial de 500 etiquetas), entonces la distribución exacta para calcular la probabilidad de aceptación es la distribución hipergeométrica. Esta aplicación no es tan común como en el caso de un lote grande o un lote continuo; sin embargo, podrían presentarse ocasiones en las que necesite especificar la distribución hipergeométrica.

Recordar, esta opción solamente está disponible cuando tiene datos pasa/no pasa (defectuosos) y cuando especifica el tamaño del lote. Minitab utiliza la distribución de Poisson cuando usted cuenta el número de defectos,⁶⁶.

En Minitab

Para crear un plan de muestreo por variables con Minitab, se sigue el siguiente procedimiento (Menú de Minitab): **Estadísticas>Herramientas de calidad>Muestreo de aceptación por variables>crear**

⁶⁶ Minitab; <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/acceptance-sampling/supporting-topics/which-distribution-should-i-use/>

Cómo utilizar las Tablas de Molina

Para calcular la probabilidad de aceptación de un plan de muestreo único (es decir, un plan que le dice al inspector que acepte o rechace basándose en una sola muestra), proceda de la siguiente manera:

(1) Comience con la combinación de tamaño de muestra y número de aceptación que desea estudiar. Llame al tamaño de muestra " n " y al número de aceptación " c "

(2) Tome cualquier porcentaje de valor defectuoso que le interese. Exprésalo como decimal. Llámelo " p ."

(3) Multiplique $n \times p$ para obtener " a ".

(4) Consultar Cuadro II de Molina (Términos Acumulados). Busque el valor de " a " obtenido en el paso 3. Siga la tabla hasta llegar a $c+1$ defectos. Por ejemplo, si el número de aceptación en su plan de muestreo es 4, siga la tabla hasta llegar a 5. La probabilidad frente a los defectos $c + 1$ es la probabilidad de rechazo.

(5) Finalmente calcule la probabilidad de aceptación. Esto es siempre 1 menos el probabilidad de rechazo. Ejemplo: Para el plan de muestreo $n=100$, $c=5$, Encuentre la probabilidad de aceptación donde:

$$p=8\%. Nxp=100 \times 0.08=8$$

Busque "un 8" en la Tabla II de Molina. Siga hacia abajo en la tabla hasta llegar a $5+1$ (o 6) defectos. La probabilidad de rechazo es 0.808764.

Restando esto de 1, obtenemos 0.191236. Ésta es la probabilidad de aceptación. También se puede expresar como 19,1% (que es muy baja).

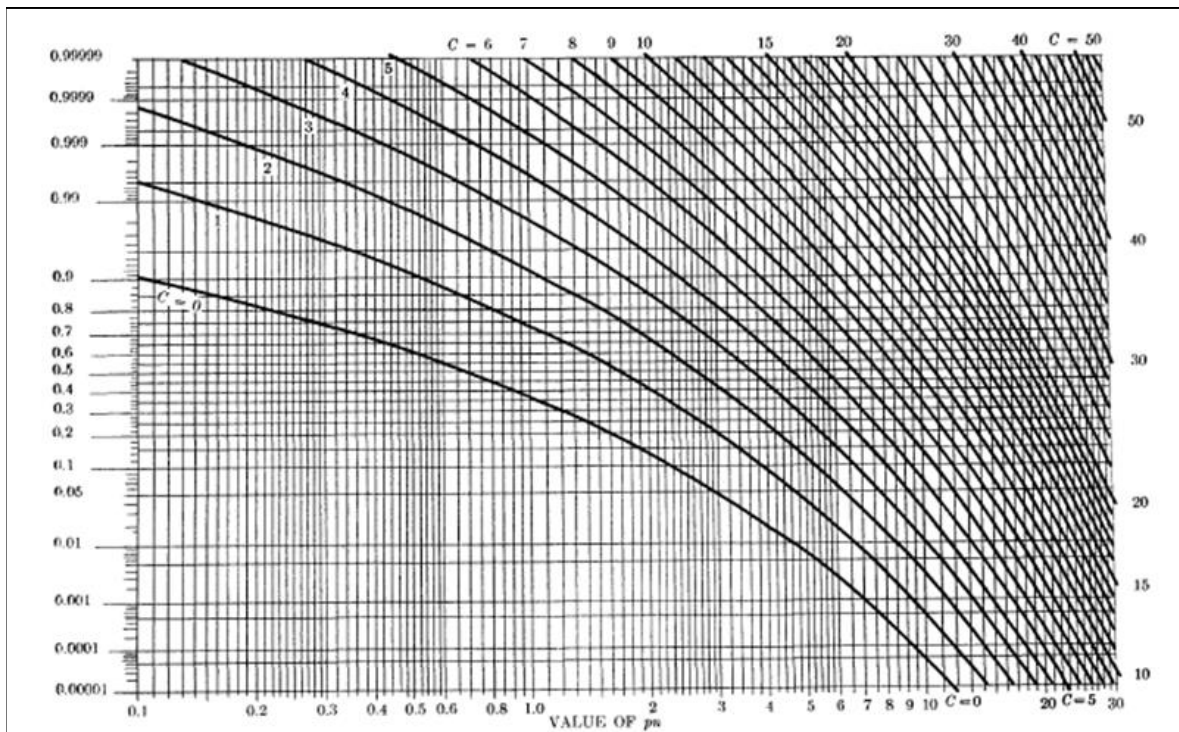


Figura 4.1.1: Curvas de Poisson

Calculando y trazando la curva OC

Para trazar una curva OC para un plan simple de muestreo se procede como sigue:

(1) configure una tabla de varios valores de porcentajes defectuosos como se muestra en la tabla 4.1.1:

Figura 4.1.1: Cálculos requeridos para trazar la curva OC

Plan de muestreo para $n=100$, $c=5$		
p	"pn" o "a"	P. de aceptación
0.01	1	0.999
0.02	2	0.983
0.03	3	0.916
0.04	4	0.785
0.05	5	0.616
0.06	6	0.446
0.07	7	0.301
0.08	8	0.191
0.09	9	0.116
0.1	10	0.067
0.11	11	0.048
0.12	12	0.2
0.13	13	0.011

Expresé "p" (el porcentaje de defectuosos) como una fracción decimal. Hacer que los valores de "p" cubran un rango adecuado de productos buenos y malos.

(2) Complete la segunda columna de la tabla multiplicando cada uno de los valores enumerados de "p" por "n". Si "n" es 100, los valores de la segunda columna serán 1, 2, 3, etc.

(3) Encuentre la probabilidad de aceptación utilizando las tablas de Molina o la curva de la Figura 4.1.1.

(4) Trace la probabilidad de aceptación correspondiente a cada valor de "p" como se muestra en la Figura 4.1.2. Si se van a comparar varias curvas OC, asegúrese de utilizar las mismas escalas horizontales y verticales.

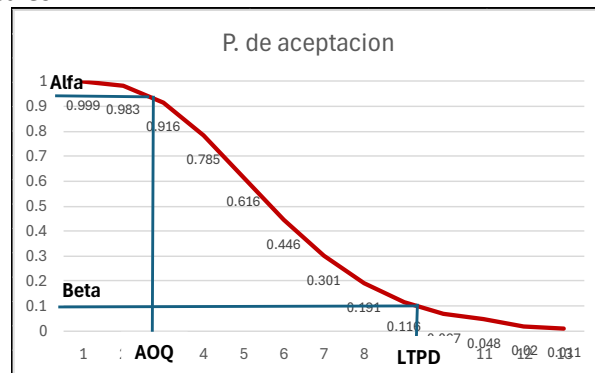


Figura 4.1.2 Grafica de aceptación

4.2 Uso de las tablas de muestreo (MIL -STD, 414, 105D y DODGE ROMING)

A) MLT SDT 414: Las tablas más importantes de la MIL STD 414 se reproducen en las tablas 4.4.4, 4.4.5, 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8.⁶⁷

⁶⁷ Military Standard, "Sampling procedures and tables for inspection by variables for percent defective". Department of Defense. Washington 25. D.C. 1957. Pp: 41-47.

Tabla 4.4.4: Tabla MIL STD 414

Tabla MIL STD 414 letras de código para el tamaño de muestra					
Tamaño del lote	Niveles de inspección				
	I	II	III	IV	V
3 a 8	B	B	B	B	C
9 a 15	B	B	B	B	D
16 a 25	B	B	B	C	E
26 a 40	B	B	B	D	F
41 a 65	B	B	C	E	G
66 a 110	B	B	D	F	H
110 a 180	B	C	E	G	I
181 a 300	B	D	F	H	J
301 a 500	C	E	G	I	K
501 a 800	D	F	H	J	L
801 a 1300	E	G	I	K	L
1301 a 3200	F	H	J	L	M
3201 a 8000	G	I	L	M	N
8001 a 22000	H	J	M	N	O
22001 a 110000	I	K	N	O	P
110001 a 550000	I	K	O	P	Q
550001 en adelante	I	K	P	Q	Q

Ejemplo 4.1: Considere la embotelladora de gaseosas de los dos ejemplos anteriores, que compra bote un proveedor. El límite inferior de especificación para la resistencia a la presión interna 225 lb/plg², Supóngase que el NCA para este límite de especificación es 1%. Además, considérese que se embarcan lotes de tamaño 100 000, Se desea obtener un plan de muestreo por variables que utilizan el Procedimiento 2 de la MIL STD 414, admitiendo que se desconoce la separación estándar del lote. A partir de la Tabla 4.4.4, y usando el nivel de inspección IV, se obtiene la letra código para el tamaño de muestra O. En la Tabla 4.4.7(tabla B-3) se encuentra que la letra de código para el tamaño de muestra O implica un tamaño muestral de n = 100. A un nivel de calidad aceptable de 1%, el valor de M es 2.20 para la inspección normal. Si se aplica la inspección estricta, el valor apropiado de M será 1.53%. Obsérvese que para la inspección normal y la estricta se utilizan las mismas tablas. Los valores del NCA para la normal se indican en la parte superior de la tabla, mientras que los valores para la estricta se encuentran en la parte inferior de la tabla.

Tabla 4.4.5: Tabla MIL STD 414, variabilidad desconocida, método de la desviación estándar, límite de especificación simple

TABLE B-1 Master Table For Normal and Tightened Inspection for Plans Based on Variability Unknown (Single Specification Limit—Form 1)														
Sample size code letter	Sample size	Acceptable Quality Levels (normal inspection)												
		.04 k	.065 k	.10 k	.15 k	.25 k	.40 k	.65 k	1.00 k	1.50 k	2.50 k	4.00 k	6.50 k	10.00 k
B	3										1.12	.958	.765	.565
C	4								1.45	1.34	1.17	1.01	.814	.617
D	5							1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	.874	.675
E	7					2.09	1.88	1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	.955	.755
F	10			2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	.828	.611
G	15	2.64	2.53	2.42	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09	.886
H	20	2.69	2.58	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	.917
I	25	2.72	2.61	2.50	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14	.936
J	30	2.73	2.61	2.51	2.41	2.28	2.15	2.00	1.86	1.73	1.55	1.36	1.15	.946
K	35	2.77	2.65	2.54	2.45	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.57	1.39	1.18	.969
L	40	2.77	2.66	2.55	2.44	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.58	1.39	1.18	.971
M	50	2.83	2.71	2.60	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21	1.00
N	75	2.90	2.77	2.66	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24	1.03
O	100	2.92	2.80	2.69	2.58	2.43	2.29	2.14	2.00	1.86	1.67	1.48	1.26	1.05
P	150	2.96	2.84	2.73	2.61	2.47	2.33	2.18	2.03	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07
Q	200	2.97	2.85	2.73	2.62	2.47	2.33	2.18	2.04	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07
		.065 k	.10 k	.15 k	.25 k	.40 k	.65 k	1.00 k	1.50 k	2.50 k	4.00 k	6.50 k	10.00 k	15.00 k
Acceptable Quality Levels (tightened inspection)														
All AQL values are in percent defective. Use first sampling plan below arrow, that is, both sample size as well as k value. When sample size equals or exceeds lot size, every item in the lot must be inspected.														

Tabla 4.4.6: Tabla MIL STD 414:

		TABLE B-2 Master Table for Reduced Inspection for Plans Based on Variability Unknown (Single Specification Limit—Form 1)																Standard Deviation Method		
Sample size code letter	Sample size	Acceptable Quality Levels																k	k	
		.04	.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00						
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k						
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.12	.958	.765	.566	.341					1.12	.958
C	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.12	.958	.765	.566	.341						
D	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.12	.958	.765	.566	.341					1.12	.958
E	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.12	.958	.765	.566	.341						
F	4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.45	1.34	1.17	1.01	.814	.617	.393					1.45	1.34
G	5	↓	↓	↓	↓	↓	1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	.874	.675	.455						
H	7	↓	↓	↓	2.00	1.88	1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	.955	.755	.536					2.00	1.88
I	10	↓	↓	2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	.828	.611						
J	10	↓	↓	2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	.828	.611					2.24	2.11
K	15	2.53	2.42	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09	.886	.664						
L	20	2.58	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	.917	.695					2.58	2.47
M	20	2.58	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	.917	.695						
N	25	2.61	2.50	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14	.936	.712					2.61	2.50
O	30	2.61	2.51	2.41	2.28	2.15	2.00	1.86	1.73	1.55	1.36	1.15	.946	.723						
P	50	2.71	2.60	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21	1.00	.774					2.71	2.60
Q	75	2.77	2.66	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24	1.03	.804						

All AQL values are in percent defective.
 Use first sampling plan below arrow, that is, both sample size as well as k value. When sample size equals or exceeds k value, every item in the lot must be inspected.

Tabla 4.4.7: Tabla MIL STD 414: variabilidad desconocida, método de la desviación estándar, límite de especificación doble y forma 2.

		TABLE B-3																Standard Deviation Method			
		Master Table for Normal and Tightened Inspection for Plans Based on Variability Unknown (Double Specification Limit and Form 2—Single Specification Limit)																			
Sample size code letter	Sample size	Acceptable Quality Levels (normal inspection)																M	M		
		.04	.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00						
		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M						
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.50	18.86	26.94	33.69	40.47						
C	4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.53	5.50	10.92	16.45	22.86	29.49	36.90							
D	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.33	3.32	5.83	9.80	14.39	20.19	26.36	33.99						
E	7	↓	↓	↓	0.422	1.06	2.14	3.55	5.35	8.40	12.20	17.35	23.29	30.50							
F	10	↓	↓	0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.94	15.37	20.74	27.57							
G	15	0.289	0.186	0.112	0.093	0.058	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61						
H	20	0.135	0.128	0.105	0.104	0.046	1.29	2.05	2.95	4.09	6.13	8.92	12.99	18.03	24.33						
I	25	0.155	0.150	0.100	0.101	0.077	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97						
J	30	0.179	0.200	0.113	0.101	0.079	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.50						
K	35	0.170	0.204	0.108	0.105	0.067	1.23	1.87	2.68	3.70	5.57	8.10	11.87	16.65	22.91						
L	40	0.179	0.219	0.102	0.106	0.073	1.28	1.89	2.73	3.72	5.58	8.09	11.89	16.83	22.80						
M	50	0.163	0.216	0.103	0.103	0.069	1.17	1.71	2.47	3.45	5.24	7.63	11.23	16.07	22.00						
N	75	0.147	0.226	0.100	0.107	0.070	1.07	1.60	2.29	3.22	4.87	7.15	10.43	15.13	21.11						
O	100	0.145	0.220	0.117	0.107	0.069	1.02	1.55	2.20	3.07	4.69	6.91	10.32	14.75	20.64						
P	150	0.134	0.203	0.103	0.103	0.068	0.949	1.43	2.05	2.89	4.43	6.57	9.88	14.00	20.02						
Q	200	0.135	0.204	0.104	0.104	0.065	0.945	1.42	2.04	2.87	4.40	6.51	9.81	14.12	20.02						
		Acceptable Quality Levels (tightened inspection)																			
		.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00							

All AQL and table values are in percent defective.

Use first sampling plan below arrow, that is, both sample size as well as M value. When sample size equals or exceeds M value, every item in the lot must be inspected.

Tabla 4.4.8: Tabla MIL STD 414

		TABLE B-4 Master Table for Reduced Inspection for Plans Based on Variability Unknown (Double Specification Limit and Form 2-Single Specification Limit)												Standard Deviation Method	
Sample size code letter	Sample size	Acceptable Quality Levels													
		.04	.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	
		A ^a	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.49	40.47
C	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.49	40.47
D	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.49	40.47
E	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.49	40.47
F	4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.53	5.50	10.92	16.45	21.86	29.45	36.90	
G	5	↓	↓	↓	↓	↓	1.13	3.32	5.83	9.80	14.35	19.19	24.56	30.99	
H	7	↓	↓	↓	0.423	1.06	2.14	3.55	5.35	8.40	12.20	17.35	23.29	30.90	
I	10	↓	↓	0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.94	15.17	20.74	27.87	
J	10	↓	↓	0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.94	15.17	20.74	27.87	
K	15	0.186	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.54	9.44	13.71	18.94	25.61	
L	20	0.228	0.363	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.05	6.17	9.02	12.99	18.03	24.53	
M	20	0.228	0.363	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.05	6.17	9.02	12.99	18.03	24.53	
N	25	0.310	0.500	0.751	1.19	2.00	2.86	3.97	5.57	8.63	12.57	17.51	23.97		
O	30	0.380	0.613	0.901	1.39	2.18	3.03	4.31	6.17	9.02	12.99	18.03	24.53		
P	50	0.510	0.813	1.20	1.89	2.71	3.71	5.00	6.90	9.50	13.00	17.50	23.00		
Q	75	0.610	1.00	1.50	2.25	3.35	4.65	6.35	8.75	12.00	16.50	22.00			

All AQL and table values are in percent defective.
Use first sampling plan below arrow, that is, both sample size as well as AQL value. When sample size equals or exceeds 300 values, every item in the lot must be inspected.

B) MLT STD 105D⁶⁸: a continuación, se presenta un procedimiento para por paso para el uso de esta norma:

1. Elegir la AOQ o NCA.
2. Seleccionar el nivel de inspección.
3. Determinar el tamaño del lote
4. Hallar la letra código del tamaño de la muestra adecuada en la Tabla 4.4.9
5. Determinar el tipo adecuado del plan de muestreo que se va a utilizar (simple, doble, múltiple).
6. Emplear la tabla apropiada para encontrar el tipo de plan que habrá de utilizar.
7. Determinar los planos de inspección normales y reducidos correspondientes para su uso cuando sea necesario.

⁶⁸ Douglas Montgomery. "Control Estadístico de La Calidad" Grupo editorial Iberoamérica. 1ª. edición. 1991. Estados Unidos de America. Pp: 336.

Tabla 4.4.9: Letras de código para tamaño de muestra (MIL STD 105D)

TABLE I										TABLE II-A																			
Sample size code letters										Single sampling plans for normal inspection (Master table)																			
Lot or batch size	General inspection levels		III	Sample size code letter	Sample size	Acceptable Quality Levels (normal inspection)																							
	I	Level Normally Used II				0.010 0.015 0.025 0.040 0.065 0.10 0.15 0.25 0.40 0.65 1.0 1.5 2.5 4.0 6.5 10 15 25																							
						Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
2 to 8	A	A	B	C	2																								
9 to 15	A	B	C	D	3																								
16 to 25	B	C	D	E	5																								
26 to 50	C	D	E	F	8																								
51 to 90	C	E	F	G	13																								
91 to 150	D	F	G	H	20																								
151 to 280	E	G	H	I	32																								
281 to 500	F	H	I	J	50																								
501 to 1200	G	I	J	K	80																								
1201 to 3200	H	J	K	L	125																								
3201 to 10000	I	L	M	N	200																								
10001 to 35000	J	M	N	O	315																								
35001 to 150000	L	N	P	Q	500																								
150001 to 500000	M	P	Q	R	800																								
500001 and over	N	Q	R		1250																								
				R	2000																								

Ac Acceptance number.

Re Rejection number.

Use first sampling plan below arrow. If sample size equals, or exceeds, lot or batch size, do 100 percent inspection.

Use first sampling plan above arrow.

En la Tabla 4.4.9 se presentan las letras código del tamaño de la muestra para la MIL STD 105D. Las Tablas 4.4.10, 4.4.11 y 4.4.12 presentan los planes de muestreo simples para la inspección normal, estricta y reducida, respectivamente.

Tabla 4.4.10: Tabla muestra para inspección normal: muestreo simple (MIL STD 105D)

		MIL II-A. Inspección normal																															
c	n	Valores de p_a - AQL																															
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000						
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re				
A	2																																
B	3																																
C	5																																
D	8																																
E	13																																
F	20																																
G	32																																
H	50																																
J	80																																
K	125																																
L	200																																
M	315																																
N	500																																
P	800																																
Q	1250																																
R	2000																																

n = tamaño muestral; c = letra código obtenida de tabla 7.5; Ac = número de defectuosos para aceptar; Re = número para rechazar.

Los valores de AQL entre 0.01 y 10 representan % de elementos defectuosos o, si las unidades pueden tener más de un defecto, defectos por 100 unidades. A partir del valor 10 son sólo número de defectos por 100 unidades.

Tabla 4.4.11: Tabla muestra para Inspección estricta: muestreo simple (MIL STD 105D)

[illegible]

Tabla 4.4.12: Tabla muestra para *inspección reducida*: muestreo simple (MIL STD 105D)

MIL II-C. Inspección reducida

		Valores de $p_A = AQL$																																									
c	n																																										
		0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100	150	200	250	400	650	1.000															
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2																																										
B	2																																										
C	2																																										
D	3																																										
E	3																																										
F	8																																										
G	13																																										
H	20																																										
J	32																																										
K	50																																										
L	80																																										
M	125																																										
N	200																																										
P	315																																										
Q	500																																										
R	800																																										

n = tamaño muestral; c = letra código obtenida de tabla 7.5; Ac = número de defectuosos para aceptar; Re = número para rechazar.

Los valores de AQL entre 0.0 y 10 representan % de elementos defectuosos o, si las unidades pueden tener más de un defecto, defectos por 100 unidades. A partir del valor 10 se solo número de defectos por 100 unidades.

Si se excede el número de aceptación pero no se alcanza el de rechazo se acepta el lote, pero se vuelve a la inspección normal. También se volverá a la inspección normal al rechazar un lote o una partida.

Ejemplo 4.2: A fin de ilustrar el uso de la MIL STD 105D, Supóngase que se suministra un producto lotes de $N=2000$. El nivel de calidad aceptable es 0.65%. Se usará la norma con objeto generar planes de muestreo simple normal, estricto y reducido para este caso. Para lotes de tamaño 2000, con el nivel II de inspección general, la Tabla 4.4.9 indica que la letra código del tamaño de muestra adecuado es K. Por lo tanto, en la Tabla 4.4.10, para planes de muestreo simple con inspección normal, el plan de inspección normal es $n=125$, $c=2$. La Tabla 4.4.11 indica que el plan de inspección estricto correspondiente es $n=125$, $c=1$. Observe que, cambiando de la inspección normal a la inspección estricta, el tamaño de muestral permanece igual, pero que el número de aceptación se reduce en una unidad. Se usa esta estrategia general en toda la MIL STD 105D para una transición hacia la inspección estricta. Si el número de aceptación de la inspección normal es 1, 2 o 3, el número de aceptación para el plan de inspección estricto correspondiente se reducirá en una unidad. Si el número de aceptación de la inspección normal es 5, 7, 10 o 14, la reducción en el número de aceptación para la inspección estricta es de dos unidades. Para un número de aceptación normal de 21, la reducción es de tres unidades. La Tabla 4.4.12 indica que, para la inspección reducida, el tamaño muestral para este ejemplo sería $n=50$, el número de aceptación sería $c=1$ y el número de rechazo sería $r=3$. De modo que, si se encontrarán

dos artículos defectuosos , se aceptaría el lote, pero se inspeccionaría el siguiente con la inspección normal.

Al examinar las tablas se debe observar que, si se encuentra una flecha vertical, se tendrá que utilizar el primer plan de muestreo por arriba o por debajo de la flecha. Cuando esto suceda, la letra de código del tamaño de la muestra y el tamaño muestral cambiarán. Por ejemplo, si se señala un plan de muestreo simple con NCA de 1.5% y con letra código del tamaño de la muestra F, la letra código cambiará a G, y el tamaño muestral cambiará de 20 a 32.

C) DODGE y ROMIG⁶⁹

Planes de muestreo de DODGE-ROMIG LF. Dodge y H.G. Romig desarrollaron un conjunto de tablas de inspección muestral para la **inspección lote por lote por atributos de productos**. Estos planes se desarrollaron en la década de 1920, y gozan de un amplio uso industrial. En las tablas se presentan dos tipos de planes de muestreo -planes para la protección del porcentaje defectuoso tolerable por lote (PDTL), y planes que proporcionan un límite de la calidad media de salida (LCMS) especificada. Existen tablas para el muestreo simple y doble en cada uno de estos métodos para el diseño de planos de muestreo.

Los planes de muestreo que destacan la protección del (LTPD) PDTL, como los planes de Dodge Romig y los de conformidad sensible a los lotes de la sección anterior, a menudo se prefieren sobre los orientados hacia el NCA, como los planes de la MIL STD 105D, particularmente para componentes y partes críticas. Muchos fabricantes creen que en el pasado dependían demasiado de los NCA, y ahora ponen de relieve otras medidas del funcionamiento, como partes defectuosas por millón (ppm). Considere lo siguiente:

<u>NCA</u>	<u>PPM</u>
10%	100000
1%	10000
0.1%	1000
0.01%	100
0.001%	10
0.0001%	1

Así, incluso los NCA muy pequeñas implican un gran número de ppm defectuosos. En productos complicados, el efecto de esto puede ser catastrófico. Por ejemplo, Supóngase que una tarjeta de un circuito impreso contiene 100 elementos, producidos cada uno por un proceso que trabaja con 0,5% de defectuosos. Si los NCA para todos estos elementos son 0.5%, y todos los elementos en la tarjeta del circuito impreso tienen que funcionar para que la tarjeta funcione adecuadamente, entonces la probabilidad de que ésta funcione será igual a:

$$P(\text{funciona adecuadamente}) = (0.995)^{100} = 0.6058.$$

Así, existe una evidente necesidad de planos de muestreo que pongan de manifiesta la protección del PDTL, aun cuando el rechazo medio del proceso sea bajo. Los aviones de Dodge-Romig hijo con frecuencia útil en estas situaciones.

⁶⁹ Douglas Montgomery. *"Control Estadístico de la Calidad"* Grupo editorial Iberoamérica. 1ª. edición. 1991. Estados Unidos de America. Pp: 357-267.

Los planes (LTPD) o LCMS emplearon el término “Porcentaje de defecto de tolerancia de un lote (LTPD)” se usa en lugar del Nivel de Calidad Aceptable, A de Dodge-Romig se diseñan con el objeto de minimizar la inspección total de medios para un LCMS dado y un medio del proceso p especificado. De modo semejante, los planos PDTL se diseñan para minimizar la inspección total media, Esto hace que los planos de Dodge Romig sean muy útiles para la inspección en fábrica de productos semiterminados.

Los planes de Dodge-Romig se aplican sólo a programas que a veces los lotes rechazados a una inspección del 100%. El concepto del Límite de calidad promedio de salida o LCMS (AOQL) no tiene sentido, a menos que se aplique la inspección rectificadora. Además, para poder utilizar los planes, hay que conocer la media del proceso, es decir, la fracción media disconforme del producto que llega. Por lo regular no se sabe cuál es el rechazo del proceso de un proveedor relativamente nuevo. A veces es posible estimarlo a partir de una muestra preliminar, o de datos proporcionados por el proveedor. Se podría utilizar como alternativa el medio del proceso más alto posible en la tabla, hasta generar suficiente información para ofrecer una estimación más exacta del rechazo del proceso del proveedor. El obtener una estimación más exacta de la fracción disconforme que llega, o de la media del proceso.

Planes de AOQL (LCMS “Limite de Calidad Medio de Salida”)

Las tablas de Dodge-Romig (1959) indican los planes de muestreo del LCMS para valores del LCMS de 0,1%, 0,25%, 0,75%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, 4%, 5%, 7% y 10%. Para cada uno de estos valores del LCMS, se especifican seis clases de valores para la media del proceso. Se proporcionan tablas para el muestreo simple y doble, a la vez.⁷⁰

En las Tablas 9.6, presenta una selección de los planes de muestreo de Dodge - Romig. Las Tablas 10-9 a 10-21 son planes de muestreo simples para valores del LCMS de 2%, 2.5% y 3%. La Tabla 10-22 es de muestreo doble para un LCMS de 3%.

Para ilustrar el uso de las tablas del LCMS de Dodge-Romig, supongamos que se inspeccionan los elementos de memoria LSI de una computadora personal, y que se remita los elementos en lotes de tamaño $N=5\ 000$. El rechazo medio del proceso del proveedor es de 1% de disconformes. Se quiere encontrar un plan de muestreo simple con LCMS 3%. De la Tabla 10-21 se obtiene que el plan es:

$$n=65 \text{ y } c=3$$

⁷⁰ Harold F. Dodge. *“Sampling Inspection Tables, Single and Double Sampling.”* Ed. John Wiley and Sons, Inc Chapman and Hall, LTD, USA, 1949. Pp: 70-101

Tabla 4.4.13 de inspección de Dodge y Romig: planes de muestreo simple. AOQL(LCMS)

TABLA 9-7 Tabla de inspección de lotes por muestreo simple de Dodge-Romig, basada en el límite de calidad media de salida, LCMS = 3.0%.

TAMAÑO DEL LOTE		PROMEDIO DEL PROCESO %															
		0-0.06		0.07-0.60		0.61-1.20		1.21-1.80		1.81-2.40		2.41-3.00					
		n	c	NCL (%)		n	c	NCL (%)		n	c	NCL (%)		n	c	NCL (%)	
1-10	All	0	—	—	All	0	—	—	All	0	—	—	All	0	—	—	—
11-50	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	19.0
51-100	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	22	16.4
101-200	12	0	17.0	12	0	17.0	12	0	17.0	25	1	15.1	25	1	15.1	25	15.1
201-300	12	0	17.0	12	0	17.0	26	1	14.6	26	1	14.6	26	1	14.6	40	12.8
301-400	12	0	17.1	12	0	17.1	26	1	14.7	26	1	14.7	41	2	12.7	41	12.7
401-500	12	0	17.2	27	1	14.1	27	1	14.1	42	2	12.4	42	2	12.4	42	12.4
501-600	12	0	17.3	27	1	14.2	27	1	14.2	42	2	12.4	42	2	12.4	60	10.8
601-800	12	0	17.3	27	1	14.2	27	1	14.2	43	2	12.1	60	3	10.9	60	10.9
801-1,000	12	0	17.4	27	1	14.2	44	2	11.8	44	2	11.8	60	3	11.0	80	9.8
1,001-2,000	12	0	17.5	28	1	13.8	45	2	11.7	65	3	10.2	80	4	9.8	100	9.1
2,001-3,000	12	0	17.5	28	1	13.8	45	2	11.7	65	3	10.2	100	5	9.1	140	7.8
3,001-4,000	12	0	17.5	28	1	13.8	65	3	10.3	85	4	9.5	125	6	8.4	165	7.8
4,001-5,000	28	1	13.8	28	1	13.8	65	3	10.3	85	4	9.5	125	6	8.4	210	7.4
5,001-7,000	28	1	13.8	45	2	11.8	65	3	10.3	105	5	8.8	145	7	8.1	235	7.1
7,001-10,000	28	1	13.9	46	2	11.6	65	3	10.3	105	5	8.8	170	8	7.6	280	6.8
10,001-20,000	28	1	13.9	46	2	11.7	85	4	9.5	125	6	8.4	215	10	7.2	380	6.2
20,001-50,000	28	1	13.9	65	3	10.3	105	5	8.8	170	8	7.6	310	14	6.5	560	5.7
50,001-100,000	28	1	13.9	65	3	10.3	125	6	8.4	215	10	7.2	385	17	6.2	690	5.4

* En tamaño de muestra (la entrada "Todo" indica que se inspecciona cada una de las piezas del lote), n, número de aceptación de la muestra; NCL, nivel de calidad límite, correspondiente a un riesgo de consumo del (α) = 0.10.

* n, tamaño de la muestra (la entrada "Todo" indica que se inspecciona cada una de las piezas del lote); c, número de aceptación de la muestra; NCL, nivel de calidad límite, correspondiente a un riesgo de consumidor (β) = 0.10.

La Tabla 4.4.13 también indica que el PDTL para este plan de muestreo es 10.3%. Este es el punto en la curva CO para el cual $P_a=0.10$. Por lo tanto, el plan de muestreo $n=65$, $c=3$ corresponde a un LCMS de 3% de disconformes y da una seguridad de que serán rechazados 90% de los lotes que llegan hasta con 10.3% de defectuosos. La inspección total media para este plan, suponiendo que la calidad a la llegada es igual al promedio del proceso y que la probabilidad de la aceptación del lote a este nivel de calidad es $P = 0.9957$, es

$$ITM = n + (1 - P)(N - n) = 65 + (1 - 0.9957)(5000 - 65) = 86,22$$

De manera que se inspeccionarán aproximadamente 86 artículos, en promedio, para juzgar un lote.

Tablas de muestreo simple 4.4.14: LPTD = 0.5% y Alfa=0.05 y 0.10⁷¹

TABLE I: SINGLE SAMPLING LOT INSPECTION TABLES—BASED ON
STATED VALUES OF "LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE" AND
CONSUMER'S RISK = 0.10

TABLE SL-0.5
LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE = 0.5%

Process Average %	0-.005			.006-.050			.051-.100			.101-.150			.151-.200			.201-.250		
Lot Size	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-180	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
181-210	180	0	.02	180	0	.02	180	0	.02	180	0	.02	180	0	.02	180	0	.02
211-250	210	0	.03	210	0	.03	210	0	.03	210	0	.03	210	0	.03	210	0	.03
251-300	240	0	.03	240	0	.03	240	0	.03	240	0	.03	240	0	.03	240	0	.03
301-400	275	0	.04	275	0	.04	275	0	.04	275	0	.04	275	0	.04	275	0	.04
401-500	300	0	.05	300	0	.05	300	0	.05	300	0	.05	300	0	.05	300	0	.05
501-600	320	0	.05	320	0	.05	320	0	.05	320	0	.05	320	0	.05	320	0	.05
601-800	350	0	.06	350	0	.06	350	0	.06	350	0	.06	350	0	.06	350	0	.06
801-1000	365	0	.06	365	0	.06	365	0	.06	365	0	.06	365	0	.06	365	0	.06
1001-2000	410	0	.07	410	0	.07	410	0	.07	670	1	.08	670	1	.08	670	1	.08
2001-3000	430	0	.07	430	0	.07	705	1	.09	705	1	.09	955	2	.10	955	2	.10
3001-4000	440	0	.07	440	0	.07	730	1	.09	985	2	.10	1230	3	.11	1230	3	.11
4001-5000	445	0	.08	740	1	.10	1000	2	.11	1000	2	.11	1250	3	.12	1480	4	.12
5001-7000	450	0	.08	750	1	.10	1020	2	.12	1280	3	.12	1510	4	.13	1760	5	.14
7001-10,000	455	0	.08	760	1	.10	1040	2	.12	1530	4	.14	1790	5	.14	2240	7	.16
10,001-20,000	460	0	.08	775	1	.10	1330	3	.14	1820	5	.16	2300	7	.17	2780	9	.18
20,001-50,000	775	1	.11	1050	2	.13	1600	4	.15	2080	5	.18	3060	10	.20	4200	15	.22
50,001-100,000	780	1	.11	1060	2	.13	1840	5	.17	2590	8	.19	3780	13	.22	5140	19	.24

TABLE SL
LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE = 1.0%

Process Average %	0-.010			.011-.10			.11-.20			.21-.30			.31-.40			.41-.50		
Lot Size	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-120	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
121-150	120	0	.06	120	0	.06	120	0	.06	120	0	.06	120	0	.06	120	0	.06
151-200	140	0	.08	140	0	.08	140	0	.08	140	0	.08	140	0	.08	140	0	.08
201-300	165	0	.10	165	0	.10	165	0	.10	165	0	.10	165	0	.10	165	0	.10
301-400	175	0	.12	175	0	.12	175	0	.12	175	0	.12	175	0	.12	175	0	.12
401-500	180	0	.13	180	0	.13	180	0	.13	180	0	.13	180	0	.13	180	0	.13
501-600	190	0	.13	190	0	.13	190	0	.13	190	0	.13	190	0	.13	305	1	.14
601-800	200	0	.14	200	0	.14	200	0	.14	330	1	.15	330	1	.15	330	1	.15
801-1000	205	0	.14	205	0	.14	205	0	.14	335	1	.17	335	1	.17	335	1	.17
1001-2000	220	0	.15	220	0	.15	360	1	.19	490	2	.21	490	2	.21	610	3	.22
2001-3000	220	0	.15	375	1	.20	505	2	.23	630	3	.24	745	4	.26	870	5	.26
3001-4000	225	0	.15	380	1	.20	510	2	.24	645	3	.25	880	5	.28	1000	6	.29
4001-5000	225	0	.16	380	1	.20	520	2	.24	770	4	.28	895	5	.29	1120	7	.31
5001-7000	230	0	.15	385	1	.21	655	3	.27	780	4	.29	1020	6	.32	1260	8	.34
7001-10,000	230	0	.16	520	2	.25	660	3	.28	910	5	.32	1150	7	.34	1500	10	.37
10,001-20,000	390	1	.21	525	2	.26	785	4	.31	1040	6	.35	1400	9	.39	1980	14	.43
20,001-50,000	390	1	.21	530	2	.26	920	5	.34	1300	8	.39	1890	13	.44	2570	19	.48
50,001-100,000	390	1	.21	670	3	.29	1040	6	.36	1420	9	.41	2120	15	.47	3150	23	.50

n = Size of Sample; entry of "All" indicates that each piece in lot is to be inspected.
c = Allowable Defect Number for Sample.
AOQL = Average Outgoing Quality Limit.

⁷¹ Harold F. Dodge. "Sampling Inspection Tables, Single and Double Sampling." Ed. John Wiley and Sons, Inc Chapman and Hall, LTD, USA, 1949. Pp: 70-101

Tablas de muestreo simple 4.4.15: LPTD = 2.0% y 3.0% y Alfa=0.10

TABLE I CONT'D: SINGLE SAMPLING LOT INSPECTION TABLES—BASED ON
STATED VALUES OF "LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE" AND
CONSUMER'S RISK = 0.10

TABLE SL-2
LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE = 2.0%

Process Average %	0-.02			.03-.20			.21-.40			.41-.60			.61-.80			.81-1.00		
Lot Size	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-75	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
76-100	70	0	.16	70	0	.16	70	0	.16	70	0	.16	70	0	.16	70	0	.16
101-200	85	0	.23	85	0	.23	85	0	.23	85	0	.23	85	0	.23	85	0	.23
201-300	95	0	.26	95	0	.26	95	0	.26	95	0	.26	95	0	.26	95	0	.26
301-400	100	0	.28	100	0	.28	100	0	.28	100	1	.32	160	1	.32	160	1	.32
401-500	105	0	.28	105	0	.28	105	0	.28	165	1	.34	165	1	.34	165	1	.34
501-600	105	0	.29	105	0	.29	175	1	.34	175	1	.34	175	1	.34	235	2	.36
601-800	110	0	.29	110	0	.29	180	1	.36	240	2	.40	240	2	.40	300	3	.41
801-1000	115	0	.28	115	0	.28	185	1	.37	245	2	.42	305	3	.44	305	3	.44
1001-2000	115	0	.30	190	1	.40	255	2	.47	325	3	.50	380	4	.54	440	5	.56
2001-3000	115	0	.31	190	1	.41	260	2	.48	385	4	.58	450	5	.60	565	7	.64
3001-4000	115	0	.31	195	1	.41	330	3	.54	450	5	.63	510	6	.65	690	9	.70
4001-5000	195	1	.41	260	2	.50	335	3	.54	455	5	.63	575	7	.69	750	10	.74
5001-7000	195	1	.42	265	2	.50	335	3	.55	515	6	.69	640	8	.73	870	12	.80
7001-10,000	195	1	.42	265	2	.50	395	4	.62	520	6	.69	760	10	.79	1050	15	.86
10,001-20,000	200	1	.42	265	2	.51	460	5	.67	650	8	.77	885	12	.86	1230	18	.94
20,001-50,000	200	1	.42	335	3	.58	520	6	.73	710	9	.81	1060	15	.93	1520	23	1.0
50,001-100,000	200	1	.42	335	3	.58	585	7	.76	770	10	.84	1180	17	.97	1690	26	1.1

TABLE SL-3
LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE = 3.0%

Process Average %	0-.03			.04-.30			.31-.60			.61-.90			.91-1.20			1.21-1.50		
Lot Size	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-40	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
41-55	40	0	.18	40	0	.18	40	0	.18	40	0	.18	40	0	.18	40	0	.18
56-100	55	0	.30	55	0	.30	55	0	.30	55	0	.30	55	0	.30	55	0	.30
101-200	65	0	.38	65	0	.38	65	0	.38	65	0	.38	65	0	.38	65	0	.38
201-300	70	0	.40	70	0	.40	70	0	.40	110	1	.48	110	1	.48	110	1	.48
301-400	70	0	.43	70	0	.43	115	1	.52	115	1	.52	115	1	.52	135	2	.54
401-500	70	0	.45	70	0	.45	120	1	.53	120	1	.53	160	2	.58	160	2	.58
501-600	75	0	.43	75	0	.43	120	1	.56	160	2	.63	160	2	.63	200	3	.65
601-800	75	0	.44	125	1	.57	125	1	.57	165	2	.66	205	3	.71	240	4	.74
801-1000	75	0	.45	125	1	.59	170	2	.67	210	3	.73	250	4	.76	290	5	.78
1001-2000	75	0	.47	130	1	.60	175	2	.72	260	4	.85	300	5	.90	380	7	.95
2001-3000	75	0	.48	130	1	.62	220	3	.82	300	5	.95	385	7	1.0	460	9	1.1
3001-4000	130	1	.63	175	2	.75	220	3	.84	305	5	.96	425	8	1.1	540	11	1.2
4001-5000	130	1	.63	175	2	.76	260	4	.91	345	6	1.0	465	9	1.1	620	13	1.2
5001-7000	130	1	.63	175	2	.76	265	4	.92	390	7	1.1	505	10	1.2	700	15	1.3
7001-10,000	130	1	.64	175	2	.77	265	4	.93	390	7	1.1	550	11	1.2	775	17	1.4
10,001-20,000	130	1	.64	175	2	.78	305	5	1.0	430	8	1.2	630	13	1.3	900	20	1.5
20,001-50,000	130	1	.65	225	3	.86	350	6	1.1	520	10	1.2	750	16	1.4	1090	25	1.6
50,001-100,000	130	1	.65	265	4	.96	390	7	1.1	590	12	1.3	830	18	1.5	1215	28	1.6

n = Size of Sample; entry of "All" indicates that each piece in lot is to be inspected.
c = Allowable Defect Number for Sample.
AOQL = Average Outgoing Quality Limit.

Tablas de muestreo simple 4.4.16: LPTD = 4.0% y 5.0% y Alfa=0.10

TABLE I CONT'D: SINGLE SAMPLING LOT INSPECTION TABLES—BASED ON
STATED VALUES OF "LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE" AND
CONSUMER'S RISK = 0.10

TABLE SI-4
LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE = 4.0%

Process Average %	0-.04			.05-.40			.41-.80			.81-1.20			1.21-1.60			1.61-2.00		
Lot Size	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-35	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
36-50	34	0	.35	34	0	.35	34	0	.35	34	0	.35	34	0	.35	34	0	.35
51-100	44	0	.47	44	0	.47	44	0	.47	44	0	.47	44	0	.47	44	0	.47
101-200	50	0	.55	50	0	.55	50	0	.55	50	0	.55	50	0	.55	50	0	.55
201-300	55	0	.57	55	0	.57	85	1	.71	85	1	.71	85	1	.71	85	1	.71
301-400	55	0	.58	55	0	.58	90	1	.73	130	2	.80	120	2	.80	145	3	.86
401-500	55	0	.60	55	0	.60	90	1	.77	120	2	.87	130	3	.93	150	3	.91
501-600	55	0	.61	95	1	.76	125	2	.87	125	2	.87	155	3	.93	185	4	.95
601-800	55	0	.62	95	1	.78	125	2	.93	160	3	.97	190	4	1.0	220	5	1.0
801-1000	55	0	.63	95	1	.80	130	2	.92	165	3	.98	220	5	1.1	255	6	1.1
1001-2000	55	0	.65	95	1	.84	165	3	1.1	195	4	1.2	255	6	1.2	315	8	1.4
2001-3000	95	1	.86	130	2	1.0	165	3	1.1	220	5	1.3	320	8	1.4	405	11	1.6
3001-4000	95	1	.86	130	2	1.0	195	4	1.2	260	6	1.4	350	9	1.5	465	13	1.6
4001-5000	95	1	.87	130	2	1.0	195	4	1.2	290	7	1.4	380	10	1.6	520	15	1.7
5001-7000	95	1	.87	130	2	1.0	200	4	1.2	290	7	1.5	410	11	1.7	575	17	1.9
7001-10,000	95	1	.88	130	2	1.1	330	5	1.4	325	8	1.5	440	12	1.7	645	19	1.9
10,001-20,000	95	1	.88	165	3	1.2	365	6	1.4	355	9	1.6	500	14	1.8	730	22	2.0
20,001-50,000	95	1	.88	165	3	1.2	385	7	1.5	390	10	1.7	590	17	2.0	870	26	2.1
50,001-100,000	95	1	.88	200	4	1.3	425	8	1.6	410	11	1.8	630	18	2.0	925	29	2.2

TABLE SI-5
LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE = 5.0%

Process Average %	0-.05			.06-.50			.51-1.00			1.01-1.50			1.51-2.00			2.01-2.50		
Lot Size	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-30	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
31-50	30	0	.49	30	0	.49	30	0	.49	30	0	.49	30	0	.49	30	0	.49
51-100	37	0	.63	37	0	.63	37	0	.63	37	0	.63	37	0	.63	37	0	.63
101-200	40	0	.74	40	0	.74	40	0	.74	40	0	.74	40	0	.74	40	0	.74
201-300	43	0	.74	43	0	.74	70	1	.92	70	1	.92	85	2	.99	95	2	.99
301-400	44	0	.74	44	0	.74	70	1	.99	100	2	1.0	120	3	1.1	145	4	1.1
401-500	45	0	.75	75	1	.95	100	2	1.1	100	2	1.1	135	3	1.2	150	4	1.2
501-600	45	0	.76	75	1	.98	100	2	1.1	125	3	1.2	150	4	1.3	175	5	1.3
601-800	45	0	.77	75	1	1.0	100	2	1.2	130	3	1.2	175	5	1.4	200	6	1.4
801-1000	45	0	.78	75	1	1.0	105	2	1.2	155	4	1.4	180	5	1.4	225	7	1.5
1001-2000	45	0	.80	75	1	1.0	130	3	1.4	180	5	1.6	230	7	1.7	280	9	1.8
2001-3000	75	1	1.1	105	2	1.3	135	3	1.4	210	6	1.7	280	9	1.9	330	11	2.1
3001-4000	75	1	1.1	105	2	1.3	160	4	1.5	210	6	1.7	340	10	2.0	420	13	2.1
4001-5000	75	1	1.1	105	2	1.3	160	4	1.5	235	7	1.8	330	11	2.0	440	16	2.2
5001-7000	75	1	1.1	105	2	1.3	185	5	1.7	260	8	1.9	350	12	2.2	490	18	2.4
7001-10,000	75	1	1.1	105	2	1.3	185	5	1.7	260	8	1.9	380	13	2.2	535	20	2.5
10,001-20,000	75	1	1.1	135	3	1.4	210	6	1.8	285	9	2.0	420	13	2.3	600	23	2.4
20,001-50,000	75	1	1.1	135	3	1.4	235	7	1.9	335	10	2.1	470	17	2.4	700	27	2.7
50,001-100,000	75	1	1.1	160	4	1.6	235	7	1.9	335	12	2.2	515	19	2.5	770	30	2.8

n = Size of Sample; entry of "All" indicates that each piece in lot is to be inspected.
c = Allowable Defect Number for Sample.
AOQL = Average Outgoing Quality Limit.

Tablas de muestreo simple 4.4.17: LPTD = 7.0% y 10.0% y Alfa=0.10

TABLE I CONT'D: SINGLE SAMPLING LOT INSPECTION TABLES—BASED ON
STATED VALUES OF "LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE" AND
CONSUMER'S RISK = 0.10

TABLE SL-7
LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE = 7.0%

Process Average %	0-.07			.08-.70			.71-1.40			1.41-2.10			2.11-2.80			2.81-3.50		
Lot Size	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-25	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
26-50	24	0	.80	24	0	.80	24	0	.80	24	0	.80	24	0	.80	24	0	.80
51-100	28	0	.95	28	0	.95	28	0	.95	28	0	.95	28	0	.95	28	0	.95
101-200	30	0	1.0	30	0	1.0	49	1	1.3	49	1	1.3	49	1	1.3	65	2	1.4
201-300	31	0	1.1	31	0	1.1	50	1	1.4	70	2	1.5	85	3	1.6	85	3	1.6
301-400	32	0	1.1	35	1	1.4	70	2	1.6	90	3	1.7	105	4	1.8	125	5	1.8
401-500	32	0	1.1	35	1	1.4	75	2	1.6	90	3	1.8	110	4	1.9	140	6	2.0
501-600	32	0	1.1	35	1	1.4	75	2	1.7	95	3	1.8	125	5	2.0	145	6	2.1
601-800	32	0	1.1	35	1	1.4	75	2	1.7	110	4	2.0	130	5	2.1	160	7	2.2
801-1000	33	0	1.1	35	1	1.4	95	3	1.9	110	4	2.1	145	6	2.2	180	8	2.4
1001-2000	55	1	1.5	75	2	1.8	95	3	2.0	130	5	2.3	185	8	2.5	230	11	2.8
2001-3000	55	1	1.5	75	2	1.8	115	4	2.1	150	6	2.4	215	10	2.8	300	15	3.0
3001-4000	55	1	1.5	75	2	1.8	115	4	2.2	165	7	2.6	235	11	2.9	330	17	3.2
4001-5000	55	1	1.5	75	2	1.8	130	5	2.4	185	8	2.7	250	12	3.0	350	18	3.3
5001-7000	55	1	1.5	75	2	1.8	130	5	2.4	185	8	2.7	270	13	3.1	385	20	3.4
7001-10,000	55	1	1.5	95	3	2.0	150	6	2.5	200	9	2.9	285	14	3.2	415	22	3.6
10,001-20,000	55	1	1.5	95	3	2.0	150	6	2.5	220	10	2.9	320	16	3.3	470	25	3.7
20,001-50,000	55	1	1.5	115	4	2.2	170	7	2.6	235	11	3.1	355	18	3.5	530	29	3.9
50,001-100,000	55	1	1.5	115	4	2.2	185	8	2.7	270	13	3.1	370	19	3.5	530	29	3.9

TABLE SL-10
LOT TOLERANCE PER CENT DEFECTIVE = 10.0%

Process Average %	0-1.0			1.1-1.00			1.01-2.00			2.01-3.00			3.01-4.00			4.01-5.00		
Lot Size	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-20	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
21-50	17	0	1.3	17	0	1.3	17	0	1.3	17	0	1.3	17	0	1.3	17	0	1.3
51-100	20	0	1.5	20	0	1.5	20	0	1.5	33	1	1.7	33	1	1.7	33	1	1.7
101-200	22	0	1.5	22	0	1.5	35	1	2.0	48	2	2.2	48	2	2.2	60	3	2.4
201-300	23	0	1.5	38	1	1.9	50	2	2.3	65	3	2.4	75	4	2.6	85	5	2.7
301-400	23	0	1.5	38	1	2.0	50	2	2.4	65	3	2.5	90	5	2.7	100	6	2.9
401-500	23	0	1.5	38	1	2.0	50	2	2.5	75	4	2.8	90	5	2.9	110	7	3.2
501-600	23	0	1.5	38	1	2.1	65	3	2.7	80	4	3.0	100	6	3.2	125	8	3.3
601-800	23	0	1.6	38	1	2.1	65	3	2.8	90	5	3.1	100	6	3.3	140	9	3.4
801-1000	39	1	2.1	50	2	2.6	65	3	2.8	90	5	3.2	115	7	3.4	150	10	3.7
1001-2000	39	1	2.1	50	2	2.6	80	4	3.1	105	6	3.4	140	9	3.9	195	14	4.4
2001-3000	39	1	2.1	50	2	2.6	80	4	3.1	115	7	3.7	165	11	4.1	230	17	4.7
3001-4000	39	1	2.1	50	2	2.6	90	5	3.4	130	8	3.8	190	13	4.4	255	19	4.8
4001-5000	39	1	2.1	50	2	2.6	90	5	3.5	130	8	3.9	200	14	4.5	270	20	4.9
5001-7000	39	1	2.1	65	3	3.0	105	6	3.6	140	9	4.1	200	14	4.6	295	22	5.0
7001-10,000	39	1	2.2	65	3	3.0	105	6	3.6	150	10	4.2	210	15	4.7	315	24	5.2
10,001-20,000	39	1	2.2	65	3	3.0	120	7	3.7	150	10	4.3	240	17	4.8	340	26	5.4
20,001-50,000	39	1	2.2	80	4	3.2	120	7	3.7	165	11	4.4	260	19	5.0	380	30	5.7
50,001-100,000	39	1	2.2	95	5	3.3	130	8	4.0	180	12	4.4	270	20	5.1	380	30	5.7

n = Size of Sample; entry of "All" indicates that each piece in lot is to be inspected.
c = Allowable Defect Number for Sample.
AOQL = Average Outgoing Quality Limit.

Planes de LTPD⁷²

LTPD es una definición de mala calidad que el consumidor desearía rechazar (**LTPD = que es el índice máximo de porcentaje de piezas defectuosas que el cliente está dispuesto a tolerar con una probabilidad de aceptación muy baja**).

Las tablas del PDTL de Dodge-Romig se diseñaron de manera que la probabilidad de aceptación de un lote para el PDTL sea 0.1. Se proporcionan tablas para valores del PDTL de 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7% y 10%. Las Tablas anteriores forman un conjunto representativo de tablas de Dodge-Romig, Las Tablas 4.4.18, presentan los planos de muestreo simples para valores del PDTL de 1%, 2% y 5%, respectivamente.

Para ilustrar el uso de estas tablas, supóngase que el proveedor envía elementos de memoria LSI para computadora personal en lotes de tamaño de $N=5000$. El rechazo medio del proceso del proveedor es **0.25%** de disconformes, y se desea utilizar un plan de muestreo simple con un **LTPD = 1%**. De la Tabla 10.23 se obtiene que el plan de muestreo tendría que ser:

$n=770$ y $c=4$ y $AOQL=0.28$ (LCMS = AOQL)

Tabla de Dodge y Romig 4.4.18 para el 1.0%

TABLA 9-6 Tabla de inspección por muestreo sencillo de Dodge-Romig, basada en el nivel de calidad límite* NCL = 1.0%

TAMAÑO DEL LOTE	PROMEDIO DEL PROCESO (%)														
	0-0.010			0.011-0.10			0.11-0.20			0.21-0.30			0.31-0.40		
	n	c	LCMS (%)	n	c	LCMS (%)	n	c	LCMS (%)	n	c	LCMS (%)	n	c	LCMS (%)
1-120	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
121-150	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06
151-200	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08
201-300	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10
301-400	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12
401-500	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13
501-600	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	305	1	0.14
601-800	200	0	0.14	200	0	0.14	200	0	0.14	330	1	0.15	330	1	0.15
801-1,000	205	0	0.14	205	0	0.14	205	0	0.14	335	1	0.17	335	1	0.17
1,001-2,000	220	0	0.15	220	0	0.15	360	1	0.19	490	2	0.21	610	3	0.22
2,001-3,000	220	0	0.15	375	1	0.20	505	2	0.23	630	3	0.24	745	4	0.26
3,001-4,000	225	0	0.15	380	1	0.20	510	2	0.24	645	3	0.25	880	5	0.28
4,001-5,000	225	0	0.16	380	1	0.20	520	2	0.24	770	4	0.28	1,020	6	0.32
5,001-7,000	230	0	0.16	385	1	0.21	635	3	0.27	780	4	0.29	1,020	6	0.32
7,001-10,000	230	0	0.16	520	2	0.25	660	3	0.28	910	5	0.32	1,150	7	0.34
10,001-20,000	390	1	0.21	525	2	0.26	785	4	0.31	1,040	6	0.35	1,400	9	0.39
20,001-50,000	390	1	0.21	530	2	0.26	920	5	0.34	1,300	8	0.39	1,890	13	0.44
50,001-100,000	390	1	0.21	670	3	0.29	1,040	6	0.36	1,420	9	0.41	2,120	15	0.47

* n = tamaño de la muestra (la entrada "Todo" indica que se inspecciona todos los piezas de lote); c, número de aceptación; LCMS: límite de la calidad media de salida.

Suponiendo que los lotes rechazados se tamizan al 100% y se reemplazan por conformes los artículos defectuosos, el LCMS para este plan es aproximadamente igual a 0.28%.

Nótese, observando las tablas del PDTL de Dodge-Romig, que los valores del promedio del proceso cubren un intervalo desde cero hasta la mitad del LPTD. No se necesita disponer de promedios más grandes del proceso, ya que la inspección al 100% es más eficaz económicamente que la inspección muestral cuando el promedio del proceso, ya que la inspección al 100% es más eficaz económicamente que la inspección muestral cuando el promedio del proceso es mayor que la mitad del PDTL deseado.

⁷² Ibidem Pp: 358

Estimación del Promedio del Proceso

Como se observa, la selección de un plan de Dodge-Romig depende del conocimiento del rechazo medio o del porcentaje disconforme del proceso del proveedor. Podría obtenerse una estimación del promedio del proceso utilizando una gráfica de control de la fracción defectuosa. Esta gráfica se basa en los primeros 25 lotes suministrados por el abastecedor. Si se usa el muestreo doble, se tendrán que incluir en los cálculos sólo los resultados de la primera muestra. Cualquier fracción defectuosa del lote mayor que el límite superior de control se elimina siempre y cuando exista una causa atribuible, y se calcula una nueva media del proceso. Se recomienda utilizar el medio más grande del proceso en la tabla adecuada, hasta acumular los resultados de los 25 lotes.

4.2.1 Plan de aceptación por atributos⁷³

Los planes de muestreo generalmente se establecen con referencia a un Nivel de calidad aceptable o AQL. El AQL es la línea base Requisito de calidad del producto del productor. El productor le gustaría diseñar un plan de muestreo tal que la curva OC produce una alta probabilidad de aceptación en el AQL. En el otro lado de la curva OC, el consumidor desea estar protegido de aceptar mala calidad del productor. Entonces el consumidor establece un criterio, el porcentaje de tolerancia del lote defectuoso o LTPD. Aquí la idea es aceptar sólo a producto pobres de calidad de calidad con una probabilidad muy baja. La MIL STD. Estándar planes se han utilizado durante más de 50 años para lograr estos objetivos.

Norma militar 105E del Departamento de Defensa de EE. UU⁷⁴

Los procedimientos militares estándar de muestreo para inspección para atributos se desarrollaron durante la Segunda Guerra Mundial. El ejército ordenó las tablas y procedimientos de artillería que se generaron a principios 1940 y estos crecieron hasta convertirse en las tablas de las Fuerzas del Servicio del Ejército. Al final de la guerra, la Armada también trabajó en un conjunto de mesas (para desarrollar procedimientos de muestreo). Mientras tanto, el Grupo de Investigación Estadística de La Universidad de Columbia realizó investigaciones y produjo muchos Resultados sobresalientes en planes de muestreo de atributos. Estas tres corrientes se combinaron en 1950 en un estándar llamado MIL STD 105A. Desde entonces ha sido modificado de vez en cuando, y emitido como 105B, 105C y 105D. MIL STD 105D era emitido por el gobierno de los Estados Unidos en 1963. Fue adoptado en 1971 por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares como ANSI Estándar Z1.4 y en 1974 se adoptó (con menores cambios) por la Organización Internacional para Estandarización como norma ISO STD 2859. La última revisión es MIL STD 105E y se emitió en 1989. Estos tres estándares similares se actualizan continuamente y se revisan, pero las tablas básicas siguen siendo las mismas. Por lo tanto, la discusión que sigue sobre los aspectos pertinentes de MIL STD 105E también se aplica a las otras dos normas.

⁷³ NIST, *¿What kinds of lot Acceptance Sampling Plans (LAPs) are There?* Engineering Statistics Handbook, <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/tool aids/pff/pmc.pdf>, pag: 6.2.3.1

La **MIL STD 105E** ofrece tres tipos de planes de muestreo: simple, Planes dobles y múltiples. La elección depende, en general, del inspector.

Debido a las tres selecciones posibles, la norma no se dará un tamaño de muestra, sino más bien una letra de código de muestra. Esto, junto con la decisión del tipo de plan se obtiene la plan de muestreo específico que se utilizará.

Además de una decisión inicial sobre un AQL, también es necesario decidir sobre un "nivel de inspección". Esto determina la relación entre el tamaño del lote y el tamaño de la muestra. El estándar ofrece tres niveles generales y cuatro especiales.

Los pasos en el uso del estándar se pueden resumir como sigue:

1. Decidir sobre el AQL.
2. Decidir el nivel de inspección.
3. Determine el tamaño del lote.
4. Ingrese a la tabla para encontrar la letra del código del tamaño de la muestra.
5. Decidir el tipo de muestreo que se utilizará.
6. Ingrese la tabla adecuada para encontrar el plan que se utilizará.
7. Comience con la inspección normal, siga las instrucciones de cambio. reglas y la regla para detener la inspección (si necesario).

Ejemplo 4.3 MIL STD 105D en Minitab

Ingrese al **menú: Estadísticas>Herramientas de calidad>muestreo por atributos**

Un representante de un departamento de ventas compra bolígrafos de un proveedor para obsequiar en eventos comerciales. Cada envío de bolígrafos tiene un tamaño de lote de 5000 bolígrafos. El representante de ventas desea implementar un plan de muestreo, de forma que todo el lote de bolígrafos se acepte o rechace. El representante de ventas y el proveedor convienen en que el AQL para el plan de muestreo es de 1.5% y que el RQL es de 10%.

1. Elija **Estadísticas > Herramientas de calidad > Muestreo de aceptación por atributos**.
2. En la lista desplegable, seleccione **Crear un plan de muestreo**.
3. En **Tipo de medición**, seleccione **Pasa / no pasa (defectuosos)**.
4. En **Unidades para niveles de calidad**, seleccione **Porcentaje de defectuosos**.
5. En **Nivel de calidad aceptable (AQL)**, ingrese **1.5**.
6. En **Nivel de calidad rechazable (RQL o LTPD)**, ingrese **10**.
7. En **Riesgo del productor (alfa)**, ingrese **0.05**.
8. En **Riesgo del consumidor (beta)**, ingrese **0.10**.
9. En **Tamaño del lote**, ingrese **5000**.
10. Haga clic en **Aceptar**.

Interpretar los resultados

Por cada lote de 5000 bolígrafos, el representante de ventas debe seleccionar aleatoriamente e inspeccionar 52 bolígrafos. Si se encuentran más de 2 bolígrafos defectuosos, el representante de ventas rechaza todo el lote. En el caso de 2 o menos bolígrafos defectuosos, el representante de ventas acepta el lote entero.

En este caso, la probabilidad de aceptación en el AQL (1.5%) es de 0.957 y la probabilidad de rechazo es de 0.043. El representante de ventas y el proveedor convinieron en que los lotes de 1.5% de defectuosos serían aceptados aproximadamente el 95% de las veces, a fin de proteger al productor. La probabilidad de aceptación en el RQL (10%) es de 0.097 y la probabilidad de rechazo es de 0.903. El representante de ventas y el proveedor convinieron en que los lotes con 10% de defectuosos serían rechazados la mayor parte de las veces, a fin de proteger al consumidor.

Cuando se rechazan lotes enteros, generalmente se someten a una inspección de 100%, en la que los elementos defectuosos se reemplazan o se reparan. Este tipo de inspección se denomina inspección de rectificación. Utilice las siguientes métricas para comprender el impacto de una inspección de 100% y de reparación:

- La calidad saliente promedio (AOQ) representa la calidad promedio del lote después de la inspección adicional y reparación. El nivel AOQ es de 1.4% en el AQL y de 1.0% en el RQL. El límite de calidad saliente promedio (AOQL) = 2.603 en un nivel de 4.30 por ciento de defectuosos y representa el peor caso de nivel de calidad saliente.
- La inspección total promedio (ATI) representa el número promedio de elementos inspeccionados después de la inspección adicional y reparación. La ATI por lote representa el número promedio de bolígrafos inspeccionados en un nivel de calidad y probabilidad de aceptación particulares. Para el nivel de calidad de 1.5% de defectuosos, el número total promedio de bolígrafos inspeccionados por lote es de 266.2. Para el nivel de calidad de 10% de defectuosos, el número total promedio de bolígrafos inspeccionados por lote es de 4521.9.

Resultados de Minitab en la ventana de sesión con los datos actuales:

Tipo de medición: Pasa/No pasa

Calidad del lote en porcentaje de elementos defectuosos

Tamaño del lote: N= 5000

Utilizar la distribución binomial para calcular la probabilidad de aceptación

Método

Nivel de calidad aceptable(AQL)	1.5
Riesgo del productor(α)	0.05
Nivel de calidad rechazable (RQL o LTPD)	10
Riesgo del consumidor(β)	0.1

Planes generados

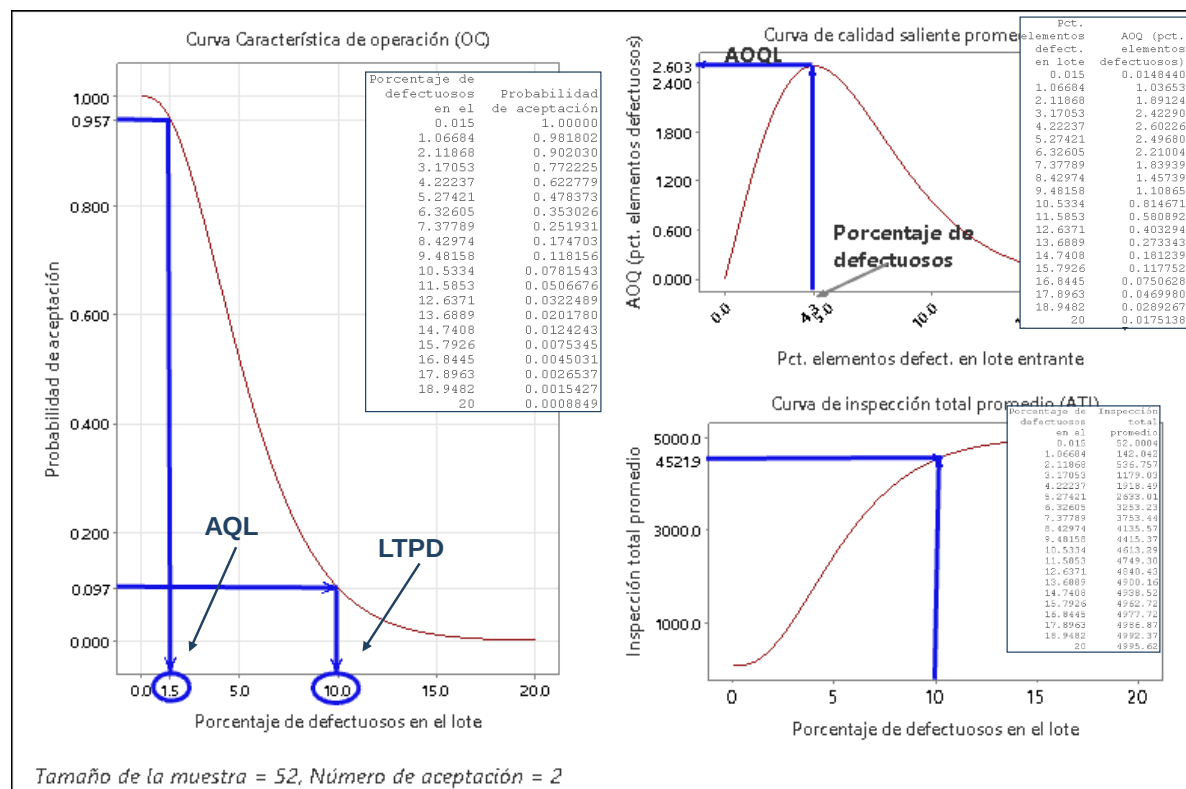
Tamaño de la muestra	52
Número de aceptación	2

Aceptar el lote si los elementos defectuosos en una muestra de $52 \leq 2$; De lo contrario, rechazarlo.

Porcentaje de elementos defectuosos	Probabilidad de aceptación	Probabilidad de rechazo	AOQ	ATI
1.5	0.957	0.043	1.420	266.2
10.0	0.097	0.903	0.956	4521.9

Límite(s) de calidad saliente promedio (AOQL)

AOQL de defectuosos	En el porcentaje de defectuosos
2.603	4.300



4.2.2 Plan de muestreo de aceptación por variables MIL STD 414

- El estándar MIL STD 414 es un plan de muestreo de aceptación lote por lote por variables. El estándar se introdujo en 1957, el centro de atención de este estándar es el nivel de calidad aceptable AQL. El cual varía entre 0.04% y 15%. Hay 5 niveles generales de inspección, y el **nivel IV se designa como normal**. El nivel de inspección V da una curva OC más empinada que el nivel IV. Cuando es necesario abatir los costos del muestreo y cuando puedan o deban tolerarse riesgos mayores, pueden usarse los niveles de inspección más bajos, como en el caso estándar por atributos MIL STD 105E.
- Se usan letras de código para el tamaño de la muestra, pero la misma letra de código no implica el mismo tamaño de la muestra de ambos estándares. Además, las clases del tamaño del lote son diferentes para ambos estándares. Los tamaños de muestra son una función del tamaño del lote y del nivel de inspección. Se estipulan la inspección normal, la rigurosa y la reducida. En todos los planes y procedimientos de muestreo del estándar se supone que la característica de calidad de interés tiene una distribución normal.

Tabla 4.4.4: Tabla MIL STD 414

Tabla MIL STD 414 Letras de código para el tamaño de muestra					
Tamaño del lote	Niveles de inspeccion				
	I	II	III	IV	V
3 a 8	B	B	B	B	C
9 a 15	B	B	B	B	D
16 a 25	B	B	B	C	E
26 a 40	B	B	B	D	F
41 a 65	B	B	C	E	G
66 a 110	B	B	D	F	H
110 a 180	B	C	E	G	I
181 a 300	B	D	F	H	J
301 a 500	C	E	G	I	K
501 a 800	D	F	H	J	L
801 a 1300	E	G	I	K	L
13'1 a 3200	F	H	J	L	M
3201 a 8000	G	I	L	M	N
8001 a 22000	H	J	M	N	O
22001 a 110000	I	K	N	O	P
110001 a 550000	I	K	O	P	Q
550001 en adelante	I	K	P	Q	Q

La organización del MIL STD 414

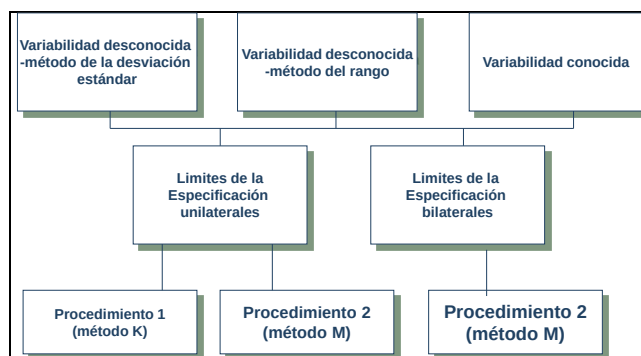


Figura 4.1.3 Procedimiento del estándar de la norma 414

En la figura 4.1.3 de la diapositiva anterior se presenta la organización del estándar. Obsérvese que es posible diseñar planes de muestreo de aceptación para los casos en que la variabilidad del lote o proceso es conocida. O bien desconocida, y en los límites de especificación para la característica de calidad son simple o dobles. En el caso de límites únicos de la especificación, puede usarse el procedimiento 1 o 2. Si la especificación tiene límites dobles, entonces debe usarse el procedimiento 2. Si la variabilidad del lote o proceso es conocida y estable, los planes con variabilidad conocida tienen la mayor eficiencia económica. Cuando la variabilidad del lote o proceso es desconocida, puede usarse la desviación estándar o el rango de la muestra para operar el plan de muestreo. El método del rango requiere un tamaño de muestra más grande y, en general, no se recomienda su uso.

El estándar MIL STD 414 se divide en cuatro secciones. La sección A es una descripción general de los planes de muestreo, que incluye las definiciones, las letras código para el tamaño de la muestra y las curvas OC para los diferentes planes de muestreo. En la sección B del estándar se presentan los planes de muestreo por variables basados en la desviación estándar maestra para el caso en que la variabilidad del lote o proceso es desconocida. En la sección C se presentan los planes de muestreo por variables basados en el rango muestral. En la sesión D se presentan los planes de muestreo por variables para el caso en que la desviación estándar del proceso es conocida⁷⁵.

En las tablas 4.4.4 se reproducen dos tablas típicas del estándar MIL STD 414.

⁷⁵ Allen Bradley Co. *DataMyte Handbook. A practical Guide to Computerized Data collection for Statistical process Control*. Editorial DataMyte División, 5a. Edition, Minnetonka, Minnesota, E.U. p. 7-12.

Existen dos tipos generales de procedimiento de muestreo por variables:

1. Los planes que controlan la variable defectuosa (o disconforme) del lote y
2. Los planes que controlan un parámetro (generalmente la media) del lote o proceso.

Considérese un plan de muestreo por variables para controlar la fracción disconforme del lote o proceso. Puesto que la característica de calidad es una variable, habrá un límite inferior de la especificación LIE, un límite superior de la especificación LSE, o ambos, que definen los valores aceptables de este parámetro.

En la figura siguiente se ilustra la situación en que la característica de la calidad x tiene una distribución normal y hay un límite inferior de la especificación para este parámetro. El símbolo “ p ” representa la fracción defectuosa del lote. Obsérvese que esta fracción defectuosa es una función de la media μ y de la desviación estándar σ del lote o proceso. Suponer que se conoce σ , bajo esta condición quizás quiera hacerse un muestreo del lote a fin de determinar si el valor de la media es o no tal que la fracción defectuosa p es aceptable. Como se describe a continuación, los cálculos del plan de muestreo por variables pueden organizarse de dos maneras:

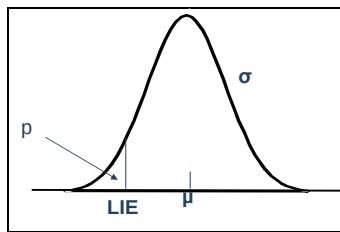


Figura 4.1.4: Característica con límite inferior

Procedimiento 1:

1. Se toma una muestra aleatoria de n artículos del lote y se calcula el estadístico:

$$Z_{LIE} = \frac{\bar{x} - LIE}{\sigma}$$

2. Obsérvese que Z_{LIE} en la ec. Anterior expresa simplemente la distancia entre el promedio muestral y el LIE en unidades de desviación estándar, entre más grande Z_{LIE} , más apartado estará el promedio muestral del límite, y por lo tanto, más pequeña será la fracción defectuosa del lote p .
3. Si hay un valor crítico de p puede traducirse a una distancia crítica -por ejemplo, k - para Z_{LIE} . Por lo tanto, si $Z_{LIE} \geq k$, el lote se aceptaría, ya que los datos muestrales implican que la media del lote se localiza lo suficientemente arriba de LIE para asegurar que la fracción disconforme del lote es satisfactoria. Sin embargo, si $Z_{LIE} < k$, la media se localiza muy cerca del LIE, y el lote deberá rechazarse.

□ Ejemplo: Si $\mu=100$ y $\sigma=10$ y $LIE=82$: $Z_{LIE} = \frac{\bar{x} - LIE}{\sigma} = \frac{82 - 100}{10} = -1.8$

- Donde $\phi(-1.8)=0.0359$ o sea el 3.59% de producto defectuosos (de la tabla de la normal).

Procedimiento 2:

1. Se toma una muestra aleatoria de Procedimiento 1: artículos del lote y se calcula Z_{LIE} se usa el Z_{LIE} para estimar la fracción defectuosa del lote o proceso como área bajo la curva normal estándar debajo de Z_{LIE} . (de hecho, usar $Q_{LIE} = ((n/n-1))^{1/2}$ como una variable normal estándar es un poco mejor, ya que proporciona una mejor estimación de p.) sea $p^{\wedge}$ la estimación de p obtenida de este modo. Si la estimación $p^{\wedge}$ excede un valor máximo especificado M, el lote se rechaza; en caso contrario se acepta.
2. Los dos procedimientos pueden diseñarse para que se produzcan resultados equivalente. Cuando hay un solo límite de la especificación (LIE o LSE), puede usarse cualquiera de los dos procedimientos. Evidentemente, en el caso de que sea el LSE, se calcularía:

$$Z_{LIE} = \frac{LSE - \bar{x}}{\sigma}$$

3. En lugar la ecuación de LIE. Cuando tanto la especificación superior como la inferior están presentes, deberá usarse el método M, el procedimiento 2.

Ejemplo 4.4:

Considérese el embotellador de refrescos del ejemplo, quien compra envases de un proveedor. El límite inferior de la especificación para la resistencia al estallamiento es 225 psi. Suponer que el AQL en este límite de la especificación es de 1%. Y suponer que los envases se embarcan en lotes de tamaño de 100,000. Se supone que la desviación estándar del lote es desconocida. Ver figura 4.4.1

AQL SAMPLING TABLE															
TABLE IV-A. Master Table for Normal and Tightened Inspection (single sampling)															
Sample Size Code Letter	Sample Size	Acceptable Quality Levels (normal inspection)—in percent													
		0.015	0.035	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	
		Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	
A	2														
B	3														
C	5														
D	7														
E	10														
F	15														
G	25														
H	35														
I	50														
J	75														
K	110														
L	150														
M	225														
N	300														
O	450														
P	750														
Q	1500														
		0.035	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10.0	

Figura 4.4.1: Muestreo simple

Por la tabla anterior, si se usa el nivel de inspección IV, la letra O para el tamaño de muestra implica un tamaño de muestra de $n = 450$. Con un número de aceptación $Ac=10$ partes y número de rechazo de $Re=11$ partes.

para un nivel de calidad aceptable de 1%, con una inspección normal, el valor de $k = 2.00$. Si se emplea la inspección rigurosa, el valor apropiado de $k = 2.14$. obsérvese que la inspección normal y rigurosa utilizan las mismas tablas. Los valores del AQL para la inspección normal se registran en la parte superior de la tabla, y los valores del AQL para inspección rigurosa en la parte inferior de la tabla.

Ejemplo 4.5: De creación de un plan de muestreo de aceptación por variables con Minitab⁷⁶

Un ingeniero de manufactura recibe envíos semanales de segmentos de tubería de plástico de 2 pulgadas para un proceso de ensamblaje. El tamaño del lote es 2500.

El ingeniero decide implementar un plan de muestreo para verificar el grosor de la pared de la tubería. La especificación inferior del grosor de la pared de los tubos es 0,09 pulgadas. El ingeniero y el proveedor convienen en que el AQL es de 100 defectuosos por millón y el RQL es de 300 defectuosos por millón.

⁷⁶ Minitab, s.f.: (Ejemplo de creación de un plan de muestreo de aceptación por variables - Minitab)

realizándolo con Minitab:

1. Elija **Estadísticas > Herramientas de calidad > Muestreo de aceptación por variables > Crear/comparar**.
2. En la lista desplegable, seleccione **Crear un plan de muestreo**.
3. En **Unidades para niveles de calidad**, **seleccione Defectuosos por millón**.
4. En **Nivel de calidad aceptable (AQL)**, **ingrese 100**.
5. En **Nivel de calidad rechazable (RQL o LTPD)**, **ingrese 300**.
6. En **Riesgo del productor (alfa)**, **ingrese 0.05**.
7. En **Riesgo del consumidor (beta)**, **ingrese 0.10**.
8. En **Espec. inferior**, **ingrese 0,09**.
9. En **Desviación estándar histórica**, **ingrese 0.025**.
10. En **Tamaño del lote**, **ingrese 2500**.
11. Haga clic en **Aceptar**.

Interpretar los resultados

Para cada lote de 2500 segmentos de tubería, el ingeniero debe seleccionar aleatoriamente y medir el grosor de 104 tubos.

Si Z_{LEI} (media-especificación inferior)/desviación estándar histórica, aceptar el lote si $Z_{LEI} \geq k$; de lo contrario, rechazarlo. Es mayor que la distancia crítica, en este caso $k = 3,55750$, el ingeniero acepta el lote entero. De lo contrario, el ingeniero rechaza todo el lote.

En este caso, la probabilidad de aceptación en el AQL (100 defectuosos por millón) es de 0,95 y la probabilidad de rechazo es de 0,05. El ingeniero y el proveedor convinieron en que los lotes de 100 defectuosos por millón serían aceptados aproximadamente el 95% de las veces, a fin de proteger al productor. La probabilidad de aceptación en el RQL (300 defectuosos por millón) es de 0,10 y la probabilidad de rechazo es de 0,90. El ingeniero y el proveedor convinieron en que los lotes de 300 defectuosos por millón serían rechazados la mayoría de las veces, a fin de proteger al consumidor.

Cuando se rechazan lotes enteros, generalmente se someten a una inspección de 100%, en la que los elementos defectuosos se reemplazan o se reparan. Este tipo de inspección se denomina inspección de rectificación. Utilice las siguientes métricas para comprender el impacto de una inspección de 100% y de reparación:

- La calidad saliente promedio (AOQ) representa la calidad promedio del lote después de inspección adicional y reparación. El nivel AOQ es de 91,1 defectuosos por millón en el AQL y 28,6 defectuosos por millón en el RQL. El límite de calidad saliente promedio (AOQL) = 104,6 en 140 defectuosos por millón y representa el nivel de calidad saliente del peor caso.

- La inspección total promedio (ATI) representa el número promedio de elementos inspeccionados después de inspección adicional y reparación. La ATI por lote representa el número promedio de segmentos de tubería inspeccionados en un nivel de calidad y probabilidad de aceptación particulares. Para el nivel de calidad de 100, el número total promedio de segmentos de tubería inspeccionados por lote es de 223.2. Para el nivel de calidad de 300, el número total promedio de segmentos de tubería inspeccionados por lote es de 2261.4.

Muestreo de aceptación por variables - Crear/Comparar

Calidad del lote en elementos defectuosos por millón

Método

Límite de especificación inferior (LEI) 0.09
 Desviación histórica estándar 0.025
 Tamaño del lote 2500

Nivel de calidad aceptable (AQL) 100
 Riesgo del productor (α) 0.05

Nivel de calidad rechazable (RQL o LTPD) 300
 Riesgo del consumidor (β) 0.1

Planes generados

Tamaño de la muestra 104
 Distancia crítica (valor k) 3.55750

$Z.LB = (media - especificación inferior) / desviación estándar histórica$
 Aceptar el lote si $Z.LB \geq k$; de lo contrario, rechazarlo.

Elementos

defectuosos en un millón	Probabilidad de aceptación	Probabilidad de rechazo	AOQ	ATI
100	0.950	0.050	91.1	223.2
300	0.100	0.900	28.6	2261.4

Límite(s) de calidad saliente promedio (AOQL)

En defectuosos AOQL	por millón
104.6	140.0

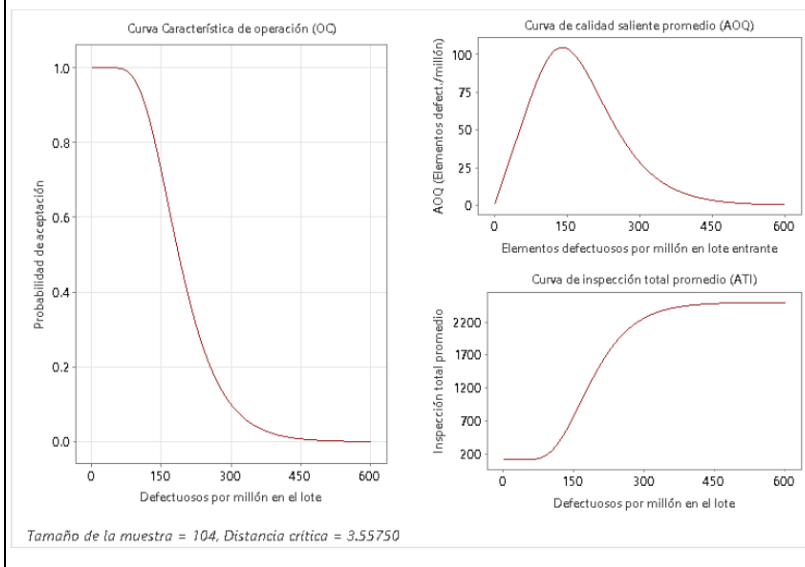


Figura 4.4.2: Resultado de la ventana de sesión de Minitab

Uso de software estadístico (Minitab)

Nota: MIL-STD-414 es un ejemplo de plan de variables y utiliza el AQL como índice de calidad. Este plan requiere que se conozca la distribución de las mediciones individuales y que el proceso sea estable. Permite elegir entre tres medidas de variabilidad: rango promedio, desviación estándar conocida y desviación estándar estimada. El plan proporciona cinco niveles de inspección, siendo el nivel IV el considerado normal. Los niveles I y II se utilizan cuando se requieren muestras pequeñas y se pueden tolerar riesgos mayores. El nivel III se utiliza cuando se necesita menos discriminación y el nivel V cuando se necesita mayor discriminación. Se ofrecen dos procedimientos de aceptación cuando se trabaja con límites de especificación única. --Forma 1 y Forma 2, y la Forma 2 utiliza una tabla auxiliar que proporciona una estimación del porcentaje de lote defectuoso con base en un índice de calidad. Sólo el procedimiento de cálculo es diferente entre estas dos formas. Los resultados de aceptación y rechazo deben ser los mismos. Un plan de variables, como MIL-STD-414, ofrece una ventaja sobre un plan de atributos en que el tamaño de la muestra es menor.

Crear un plan de muestreo por variables Minitab⁷⁷

Complete los siguientes pasos para determinar el tamaño de la muestra y los criterios para aceptar o rechazar un lote entero.

1. En el menú desplegable, seleccione **Crear un plan de muestreo**.
2. En **Unidades para niveles de calidad**, seleccione **Porcentaje de defectuosos**, **Proporción de defectuosos** o **Defectuosos por millón** para representar el nivel de defectuosos en el proceso.
3. En **Nivel de calidad aceptable (AQL)**, ingrese un número para representar la tasa de defectuosos más alta del proceso de un proveedor que se considera aceptable. Usted desea designar un plan de muestreo que acepte un lote de producto particular en el AQL la mayoría de las veces.

Nota: El AQL debe ser menor que el RQL (o LTPD).

4. En **Nivel de calidad rechazable (RQL o LTPD)**, ingrese un número para representar la tasa de defectuosos más alta que el consumidor está dispuesto a tolerar en un lote individual. Usted desea diseñar un plan de muestreo que rechace un lote de producto particular en el RQL la mayor parte del tiempo.

Nota: El RQL debe ser mayor que el AQL.

5. En **Riesgo del productor (alfa)**, ingrese un valor entre 0 y 1 para representar α . $1 - \alpha$ representa la probabilidad deseada de aceptar un lote en el AQL.
6. En **Riesgo del consumidor (beta)**, ingrese un valor entre 0 y $1 - \alpha$ para representar β . β representa la probabilidad deseada de aceptar un lote en el RQL.
7. En **Espec. inferior**, ingrese el límite de especificación inferior. Debe ingresar por lo menos un límite de especificación.

⁷⁷ Minitab: [Ingresar los datos para la Muestreo de aceptación por variables \(Crear/Comparar\) - Minitab](#)

8. En **Espec. superior**, ingrese el límite de especificación superior. Debe ingresar por lo menos un límite de especificación.
9. Opcional: En **Desviación estándar histórica**, ingrese la desviación estándar conocida de su proceso. Utilice esta opción cuando haya recolectado suficientes datos en el tiempo para poder determinar con confianza cuál es la desviación estándar de su proceso.
10. Opcional: En **Tamaño del lote**, ingrese un número para representar el tamaño del lote o el tamaño del conjunto de todo el envío que usted aceptará o rechazará. Usted no necesita especificar un tamaño de lote si especifica el AQL, el RQL y los riesgos alfa y beta. Sin embargo, Minitab requiere el tamaño del lote para calcular la curva AOQ y la curva ATI ver figura 4.1.4.

Figura 4.1.4: Pantalla de Minitab para crear un muestreo por variables

Resultados en la ventana de sesión de Minitab:

Método

Límite de especificación inferior (LEI)	0.09
Desviación histórica estándar	0.025
Tamaño del lote	2500
Nivel de calidad aceptable(AQL)	0.05
Riesgo del productor(α)	0.05
Nivel de calidad rechazable (RQL o LTPD)	0.1
Riesgo del consumidor(β)	0.1

Planes generados

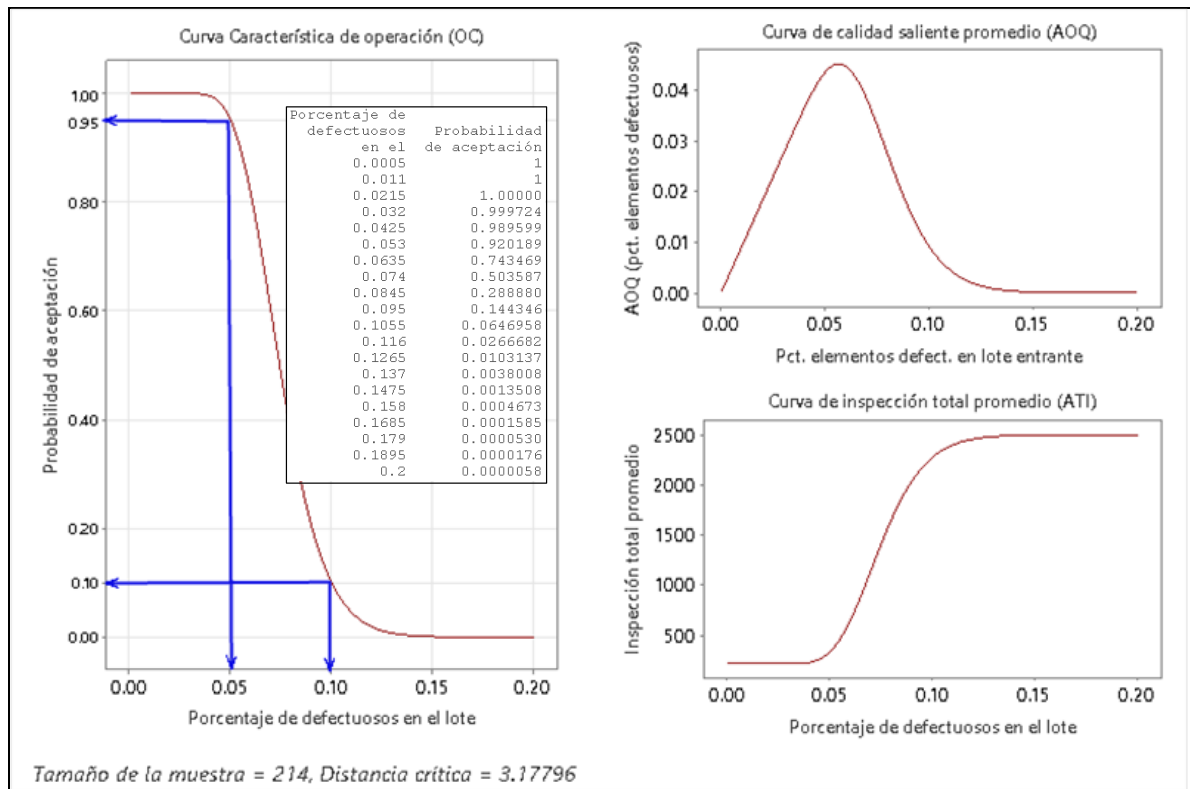
Tamaño de la muestra	214
Distancia crítica (valor k)	3.17796

$Z.LEI = (media - especificación inferior)/desviación estándar histórica$
 Aceptar el lote si $Z.LEI \geq k$; de lo contrario, rechazarlo.

Porcentaje de elementos defectuosos	Probabilidad de aceptación	Probabilidad de rechazo	AOQ	ATI
0.05	0.950	0.050	0.043	327.9
0.10	0.100	0.900	0.009	2272.1

Límite(s) de calidad saliente promedio (AOQL)

AOQL	En el porcentaje de defectuosos
0.045	0.057



Ejemplo 3:

- En la siguiente figura 4.4.5 se presenta la curva OC para el plan de muestreo $n=89$, $c=2$; para el siguiente plan:

- ☐ $N = 10,000$
- ☐ $n = 89$
- ☐ $c = 2$

Significa que de cada lote de 10,000 unidades se toman al azar $n = 89$ para inspección, si el número de defectivos observados en la muestra “d” es menor o igual a $c=2$, el lote se acepta, en caso contrario se rechaza.

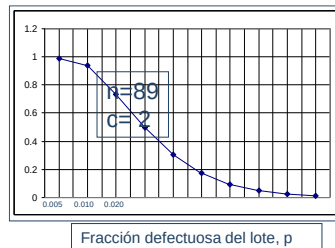


Figura 4.4.5: Curva OC del plan de muestreo simple $n=89$, $Ac=2$.

Realizándolo con Excel: **DISTRIB.BIMOM(num_exito,ensayos,prob_exito,acumulado)**
DISTRIB.BINOM(2,89,0.005,VERDADERO)=0.9897.

La curva OC: Supóngase que se tiene un proceso que opera en forma aleatoria para producir 100p' por ciento de unidades defectuosas. El producto de este proceso se dirá que tiene una calidad p'. Si se toman lotes de un tamaño N, las fracciones defectuosas de los lotes seguirán una distribución binomial (ya que el proceso se supone se está realizando al azar). Si cada lote es sometido a un proceso de inspección por muestreo, la probabilidad de aceptación de un lote será la proporción de los lotes procesados que a la larga serán aceptados de acuerdo con el proceso. La curva OC del proceso de muestreo será la curva que indique como esta probabilidad de aceptación varia con la calidad p' del producto.

Suponer que el tamaño del lote N es grande (en teoría infinito). Bajo esta condición, la distribución del número de defectuosos d en una muestra aleatoria de n artículos defectuosos del lote. Una forma equivalente de conceptualizar esto es sacar lotes de N artículos al azar de un proceso teóricamente infinito y después sacar muestras aleatorias de n de estos lotes. El muestreo del lote hecho en esta manera es equivalente a hacer un muestreo directo del proceso. La probabilidad de observar exactamente d artículos defectuosos es de:

$$p\{d \text{ artículos defectuosos}\} = f(d) = \frac{n!}{d! (n-d)!} p^d (1-p)^{n-d}$$

La probabilidad de aceptación es simplemente la probabilidad de que **d** sea menor o igual que **c**, o

$$Pa = p\{d \leq c\} = \sum_{d=0}^c \frac{n!}{d! (n-d)!} p^d (1-p)^{n-d}$$

Por ejemplo: si la fracción defectuosa del lote es p=0.01, n=89 y c=2, entonces:

$$Pa = p\{d \leq 2\} = \sum_{d=0}^2 \frac{89!}{d! (89-d)!} (0.01)^d (0.99)^{89-d} =$$

$$Pa = \frac{89!}{0! (89!)} (0.01)^0 (0.99)^{89} + \frac{89!}{1! (88!)} (0.01)^1 (0.99)^{88} + \frac{89!}{2! (87!)} (0.01)^2 (0.99)^{87} =$$

$$Pa = 0.9397$$

La curva OC se desarrolla evaluando la ecuación anterior para varios valores de p. en la tabla se presenta el valor calculado de varios puntos de la curva.

Probabilidades de aceptación del plan n=89, c=2

p	Pa
0.050	0.9897
0.010	0.9397
0.020	0.7366
0.030	0.4985
0.040	0.3042
0.050	0.1721
0.060	0.0919
0.070	0.0468
0.080	0.0230
0.090	0.0109

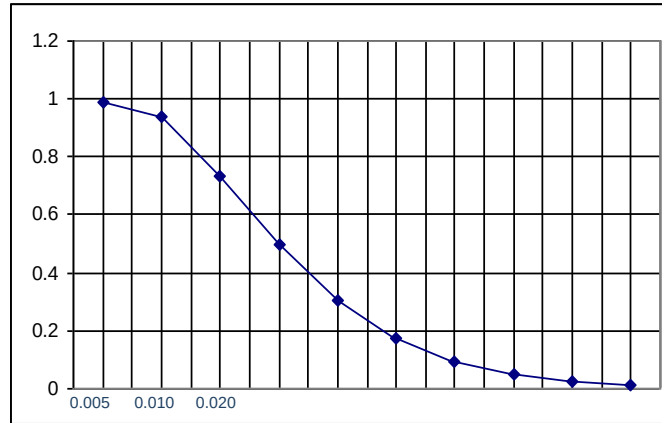


Figura 4.4.6: Plan de muestreo n=89 y c=2

La curva OC indica la potencia discriminatoria del plan de muestreo. Por ejemplo: con el plan de muestreo de $n=89$ y $c=2$, en la figura 4.4.6 si los lotes tienen 2% de artículos defectuosos, la probabilidad de aceptación es aproximadamente 0.74. esto quiere decir que, si 100 lotes de un proceso que fabrica 2% de productos defectuosos se somete a este plan de muestreo, se esperara aceptar el 74% de los lotes y rechazar 26 de ellos.

Puntos específicos sobre la curva OC

Frecuentemente el interés del ingeniero de calidad se centra en determinados puntos de la curva OC. El proveedor suele estar interesado en saber cuál es el nivel de calidad del lote o proceso que produce una alta probabilidad de aceptación. Por ejemplo, el proveedor podría estar interesado en el punto de aceptación con una probabilidad de 0.95. esto implicaría el nivel de la proporción caída fuera del proceso que podría experimentarse y seguir teniendo una oportunidad del 95% de que los lotes serian aceptados. Recíprocamente, al consumidor podría interesarle el otro extremo de la curva OC. Es decir, que nivel de calidad del lote o proceso producirá una probabilidad de aceptación baja.

- Es común que el consumidor establezca un plan de muestreo para un abastecimiento continuo de componentes o materia prima con referencia a un Nivel de Calidad Aceptable (AQL). El AQL representa el nivel de calidad más pobre que el proceso del proveedor que el consumidor considera aceptable como promedio del proceso. El AQL es una propiedad del proceso de manufactura del proveedor; no es una propiedad del plan de muestreo.
- Es aquella fracción defectiva que tiene un 0.95 de probabilidad de aceptación ($\beta=0.95$), también puede ser de $\beta=0.99$.
- El consumidor también estará interesado en el otro extremo de la curva OC –es decir, en la protección que se obtiene para los lotes individuales de calidad pobre. En esta situación así, el consumidor puede establecer una Tolerancia del Porcentaje Defectuoso del Lote (LTPD). El LTPD es el nivel de calidad más pobre que el consumidor está dispuesto a aceptar en un lote individual. (nombre alternativo del LTPD es nivel de calidad rechazable (RQL).
- Normalmente esta fracción defectiva corresponde a una probabilidad de aceptación del 10% o rechazo del 90% de las veces.

Inspección con rectificación

Los programas de muestreo de aceptación suelen requerir una acción correctiva cuando los lotes son rechazados. Esto generalmente adopta la forma de una inspección del 100% rigurosa (exhaustiva) de los lotes rechazados, donde todos los artículos defectuosos descubiertos se sacan para reprocesamiento posterior, se devuelve al proveedor o se reemplazan de un inventario de artículos satisfactorios comprobados. A estos programas de muestreo se les llama programas de inspección con rectificación, debido a que la actividad de inspección afecta la calidad final del producto de salida. Esto se ilustra en la figura de la figura 4.5.8:

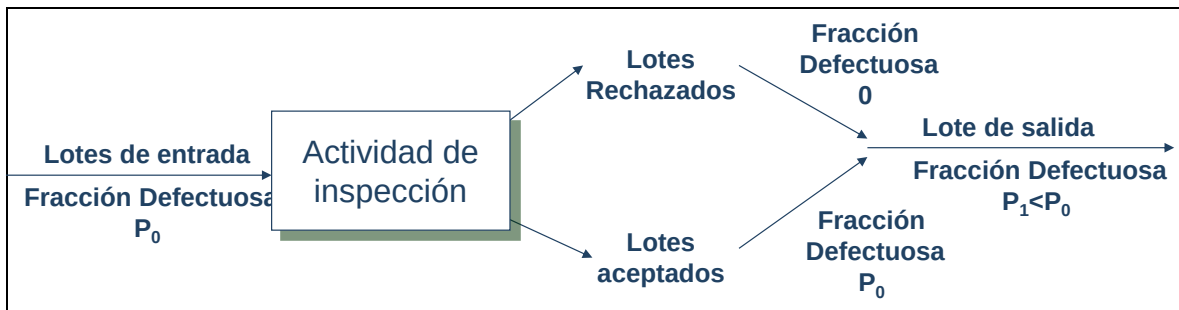


Figura 4.5.8: Flujo de programa de muestreo con inspección de rectificación

- Suponer que los lotes que entran en la actividad de inspección tienen una fracción defectuosa p_0 . algunos de estos lotes serán aceptados y otros rechazados. Se hará la inspección exhaustiva de los lotes rechazados, y su fracción defectuosa final será cero. Sin embargo, los lotes aceptados tienen una fracción defectuosa p_0 . por consiguiente. Los lotes de salida de la actividad de inspección son una mezcla de los lotes con una fracción defectuosa p_0 y una fracción defectuosa cero, por lo que la fracción defectuosa promedio en el flujo de lotes de calidad p_1 , que es menor que p_0 . por tanto, un programa de inspección con rectificación sirve para corregir la calidad de los lotes.
- Los programas de inspección con rectificación se usan en situaciones en las que el fabricante desea conocer el promedio de calidad que es posible resulte en una etapa dada de las operaciones de manufactura. Por lo tanto, los programas de inspección con rectificación se usan en la inspección de recepción, en la inspección dentro del proceso de productos semiterminados o en la inspección final de bienes terminados.

La calidad de salida promedio AOQ

La calidad de salida promedio AOQ, se usa ampliamente para la evaluación de un programa de muestreo con rectificación. La calidad de salida promedio es la calidad del lote que resulta de la aplicación de la inspección con rectificación. Es el valor promedio de la calidad del lote que se obtendría en una secuencia larga de lotes de un proceso de fracción defectuosa p . suponer que el tamaño del lote es N y que todas las unidades defectuosas se reemplazan con unidades satisfactorias. Entonces en lotes de tamaño N , se tiene:

1. N artículos en la muestra que, después de la inspección, no contiene unidades defectuosas, debido a que todas las unidades defectuosas descubiertas se reemplazan.
2. $N-n$ artículos que, si el lote es rechazado, tampoco tiene unidades defectuosas.
3. $N-n$ artículos que, si el lote es aceptado, contienen $p(N-n)$ unidades defectuosas.

Por tanto, los lotes en la etapa de salida de la inspección tienen un numero esperado de unidades defectuosas igual a $Pap(N-n)$, que puede expresarse como una fracción defectuosa promedio, llamada calidad de salida promedio o:

$$AOQ = \frac{Pap(N - n)}{N}$$

Ejemplo: Suponer que $N=10,000$, $n=89$ y $c=2$, y que los lotes de entrada son de calidad $p=0.01$. entonces, para $p=0.01$ se tiene que $Pa=0.9397$, y la AOQ es:

$$AOQ = \frac{Pap(N - n)}{N} = \frac{0.9397 * 0.01 * (10000 - 89)}{10000} = 0.0093$$

- Es decir, la calidad de salida promedio es de 0.93% de artículos defectuosos.

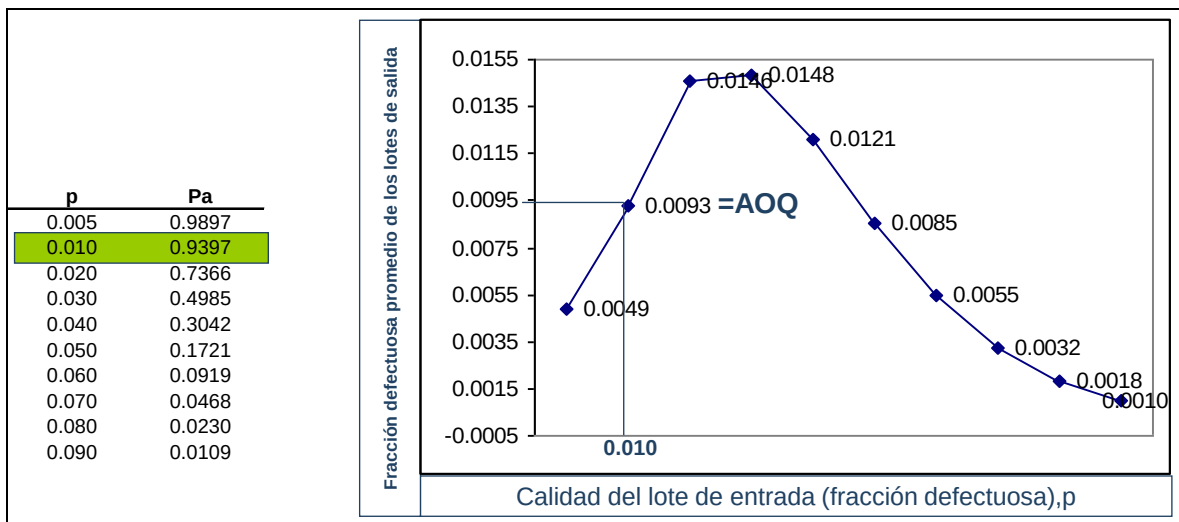


Figura 4.5.9: Limite de calidad de salida promedio para $n=89$, $c=2$

La calidad de salida promedio variara cuando la fracción defectuosa de los lotes de entrada varié, como se muestra en la figura 4.5.9. A la curva que grafica la calidad de salida promedio contra la calidad del Lote de entrada se le llama curva AOQ. La figura anterior, se muestra la curva AOQ para el plan $n=89$, $c=2$. Por el examen visual de esta curva se observa que cuando la calidad de entrada es muy buena, la calidad salida promedio también es muy buena. En contraste, cuando la calidad del lote de entrada es muy mala. La mayoría de los lotes son rechazados y se examinan 100%, lo que lleva a un nivel de calidad.

Límite de la calidad de salida promedio AOQL

La ordenada máxima en la curva AOQ representa la peor calidad promedio posible que resultase del programa de inspección con rectificación., y a este punto se llama el límite de la calidad de salida promedio (AOQL), ver figura 4.5.10. Al observar la gráfica anterior se observa que el AOQL es aproximadamente 0.0148. es decir, sin importar lo mala que sea la fracción defectuosa de los lotes de entrada, los lotes de salida nunca tendrán un nivel de calidad peor en promedio que 1.48% de artículos defectuosos.

AOQL		
p	Pa	AOQ
0.005	0.9897	0.0049
0.010	0.9397	0.0093
0.020	0.7366	0.0146
0.030	0.4985	0.0148
0.040	0.3042	0.0121
0.050	0.1721	0.0085
0.060	0.0919	0.0055
0.070	0.0468	0.0032
0.080	0.0230	0.0018
0.090	0.0109	0.0010

Figura 4.5.10: AOQL (el mayor del AOQ)

Inspección promedio total (ATI)

Otra medida importante relacionada con la inspección con rectificación es la cantidad total de inspección requerida por el programa de muestreo. Si los lotes no contienen artículos defectuosos, ninguno de los lotes será rechazado y la cantidad de inspección por lote será el tamaño de la muestra n Si todos los artículos son defectuosos, cada lote se someterá a una inspección del 100%, y la cantidad de inspección por lote será el tamaño de N . si la cantidad del lote es $0 < p < 1$, la cantidad de inspección promedio variara entre el tamaño de muestra n y el tamaño del lote N . si el lote es de calidad p y la probabilidad de aceptación es P_a , entonces la **Inspección Promedio Total (ATI)** por lote será⁷⁸:

$$ATI = n + (1 - P_a)(N - n)$$

Para continuar con nuestro ejemplo con $N=10000$, $n=89$, $c=2$ y $p=0.01$, con $P_a=0.9397$

$$ATI = n + (1 - P_a)(N - n) = 89 + (1 - 0.9397)(10000 - 89) = 687; \text{ figura 4.5.11}$$

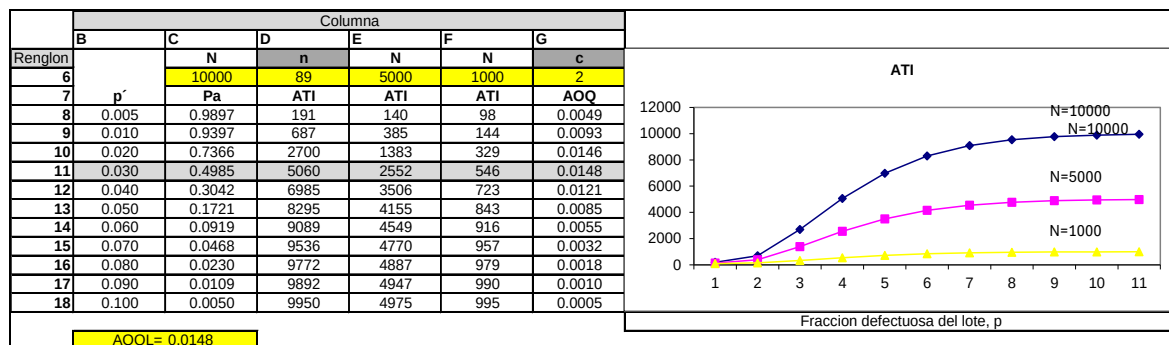


Figura 4.5.11: Cálculos de la figura ATI

Cálculos para el primer renglón con p' :

- $Pa = \text{DISTR.BINOM}(G\$6, D\$6, B8, \text{VERDADERO});$
- $ATI = D\$6 + (1 - C8) * (C\$6 - D\$6)$

⁷⁸ Minitab: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/acceptance-sampling/supporting-topics/average-total-inspection-ati-curve/>

- $AOQ = (B11 * C11) * (C\$6 - D\$6) / C\$6$
- $MAX(G8:G18)$

Utilice una curva ATI para elegir un plan de muestreo apropiado

Se debe comparar las curvas ATI para elegir el plan de muestreo optimo. En este caso, el supervisor del turno piensa que un muestreo de 52 bolígrafos de un universo de 5000 es demasiado. Pueden desarrollar curvas para diferentes tamaños de muestra y de números de aceptación para ilustrar su efecto sobre el número total promedio de elementos inspeccionados. Además de la curva ATI, usted debe examinar también las curvas OC y las curvas AOQ para seleccionar el plan de muestreo adecuado, como se muestra en La figura 4.2.12:

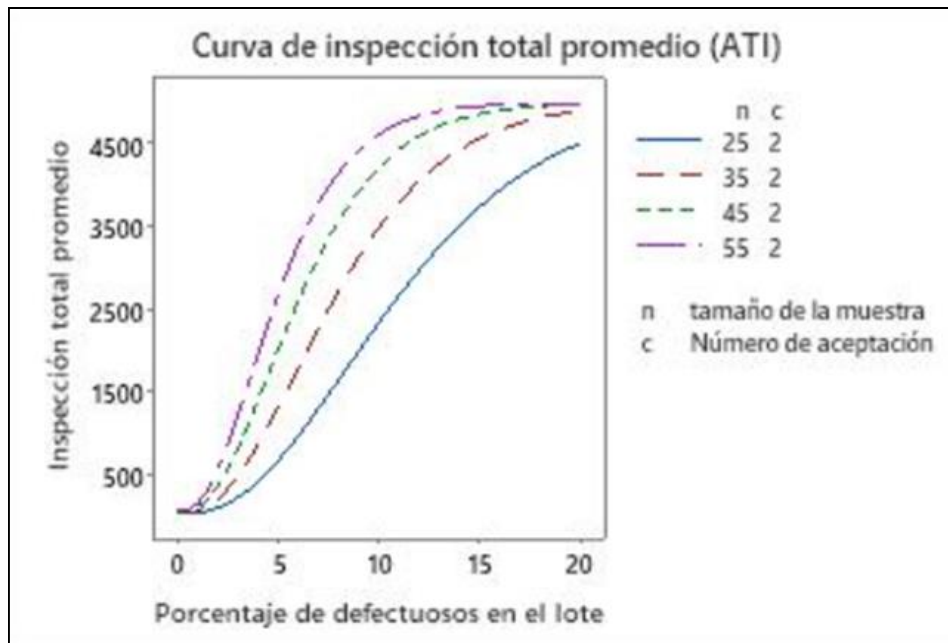


Figura 4.2.12: Diferentes planes de muestreo con la curva ATI