

Control Estadístico de la Calidad

Por *Darío Ospina U.*

Ingeniero Químico de la Universidad Pontificia Bolivariana. Actualmente adelanta estudios de Ingeniería Administrativa en la Universidad Nacional.

Profesor Asistente de Matemáticas y Estadística en la Escuela de Administración y Finanzas.

Profesor de Operaciones Unitarias en la Facultad de Ingeniería de la U. P. B.

Significado de la "Calidad"

Consignamos a continuación algunas definiciones, o mejor significados o equivalencias que trae en su iniciación el libro **QUALITY CONTROL BOOK**, de J. M. Juran. La palabra *Calidad* tiene gran variedad de significados en la industria ; los más ajustados son los siguientes:

1. El grado con que un producto *específico* satisface el deseo de consumidor *específico*. Esta es la definición histórica que prevalece en aquellas situaciones en las que el comercio se realiza entre un hombre productor y un segundo consumidor. Este significado es el llamado "calidad de mercado" o "calidad comercial", como bien se le quiera traducir a su nombre que le dan los Americanos: **Market Place Quality**

2. El grado que generalmente posee una *clase* de producto como posibles satisfacciones para el pueblo.

3. El grado con que un producto específico se *ajusta* a un diseño o especificación.

4. El grado con que un producto específico es *preferido* sobre los demás productos de la competencia o productos similares, basados en pruebas comparativas de los consumidores. Este es también llamado "preferencia del consumidor".

5. Un rango distintivo de un producto o grado, v. gr. apariencia, conformación, duración de vida, seguridad, necesidad de mantenimiento, gusto, olor, etc.

6. Una vaga expresión de general excelencia pero sin ser algo específico de ser clasificado. Tal es el rezo de la palabra calidad pero resulta muy confusa.

7. El nombre de una función o responsabilidad industrial relacionada al logro de la calidad del producto.

8. El nombre de un departamento específico en la compañía.

Significado de "Control"

La palabra *Control* tiene también una gran variedad de significados de importancia industrial.

1. Es el acto de dirección, influencia, restricción o comando sobre cualquier cosa.

2. Es el acto de verificación o corrección de algo.

3. Es la causa o determinante de un fenómeno resultante.

4. Es un estándar de comparación con el cual se chequea el resultado de un experimento.

Significado de "Control de Calidad". La piedra fundamental del edificio sobre la cual la calidad es construída es el grupo de funciones que llamamos "características de la calidad".

"Una propiedad física o química, una dimensión, una temperatura, una presión o cualquier otro requerimiento usado para definir la naturaleza de un producto o un servicio es llamado "Característica de la calidad".

Así un cilindro de metal puede ser definido aproximadamente usando para ello cualquiera de las características de la calidad; el tipo metal, la longitud y el diámetro. Para una definición más precisa se podrán dar: dureza, tamaño de grano y límite de las impurezas químicas.

Para cada una de las características hay una invariable secuencia de actividad. Un diseñador especifica las características. La persona responsable para los procesos de ingeniería especifica los procesos que se deben realizar para llevar a término el diseño dado. Los instrumentos y las medidas también son especificados. Los operarios serán entrenados para hacer los procesos y usan los instrumentos necesarios en la fabricación del producto. Los inspectores examinan el producto para juzgar el ajuste con el diseño. Los consumidores usan el producto y la experiencia adquirida por el uso de las bases para rediseño y parte de nuevo el ciclo.

En donde se usa el Control de Calidad.

Un motivo de grave confusión es la pregunta: en dónde se usa el control de calidad? radica en que el que pregunta está pensando en uno de los métodos individuales del control de calidad y no en un programa completamente integrado. Como analogía se puede presentar el caso de pensar en una fábrica de tornillos cuando se dice "procesos de producción", o bien considerar que la ingeniería eléctrica se reduce al estudio de motores y generadores.

El control de calidad comprende el amplio campo administrativo de desarrollo, conservación o mejoramiento de la calidad de un producto. No significa un método técnico, único, usado para lograr cierto propósito aislado. Una definición de tal naturaleza resultaría enteramente restrictiva.

La contestación a la pregunta: en dónde son usados los métodos de control de calidad? depende, naturalmente, de las circunstancias. Los diferentes métodos que se tienen a la mano no son todos satisfactorios para cualquier caso; cada método debe ser seleccionado de acuerdo con las necesidades de trabajo.

Qué resultados persigue el Control de Calidad y en qué momentos serán patentes

La experiencia ha demostrado que, cuando se ha logrado una mejora en el nivel de la calidad de un producto, los costos de operación se han reducido, por regla general. Esta reducción de costos en la operación se ha logrado porque anteriormente en los esfuerzos para obtener un equilibrio entre el costo de producción de un producto y el servicio que de él se espera, la industria ha inclinado considerablemente el fiel

de la balanza en el sentido de los costos del producto, en general muy altos. Muchos de los "costos de la calidad" se consumen en corregir deficiencias o en vigilarlas.

Estos costos elevados, de aseguramiento de la calidad, falla interna debida a rechazos, y otras categorías similares, se han reducido sustancialmente por el uso de un programa efectivo, de control de calidad en muchos talleres.

Con variaciones, según las circunstancias, en cada aplicación, los seis beneficios que se pueden esperar de un plan general de control de calidad, son:

1. Progreso en la calidad del producto;
2. Progreso en el diseño del producto;
3. Reducción de los costos de producción;
4. Reducción de pérdidas durante la producción;
5. Reducción de interrupción en la línea de producción; y
6. Mejoría en la moral de los empleados.

Qué factores fundamentales afectan la Calidad?

Los factores fundamentales que obran sobre la calidad del producto, son:

1. Mercados
2. Hombres
3. Capital
4. Administración
5. Materiales
6. Máquinas y métodos.

Cómo han afectado la Calidad las condiciones corrientes?

La industria se encuentra hoy sujeta a un número de condiciones que actúan sobre la producción en una forma nunca experimentada en períodos anteriores. Estas condiciones han afectado a cada uno de los siete factores en la calidad del producto.

1. MERCADOS

Cuáles son los factores que controlan la calidad como una base para el desarrollo de productos nuevos?. Se ha hecho creer al consu-

mejor que se cuenta con productos que satisfacen a casi todas las necesidades. Los compradores están exigiendo más y mejores productos para cubrir necesidades actuales. Los mercados se ensanchan en capacidad y se especializan, funcionalmente, en efectos y en servicios ofrecidos. Esto ha requerido que los precios se hagan más flexibles y capaces de cambiar de dirección rápidamente.

2. *Hombres*: Un crecimiento rápido de conocimientos técnicos y la creación de campos nuevos, tales como la industria electrónica, han creado gran demanda de hombres con conocimientos especializados. La especialización se ha hecho necesaria porque los campos en el conocimiento se han incrementado no sólo en números sino en anchura. Cuando la especialización tiene sus ventajas, también tiene desventajas al quebrantar la responsabilidad en la calidad de ciertas piezas del producto. Al mismo tiempo la situación ha creado una demanda de ingenieros capacitados en la elaboración de planes que comprendan todos los campos de especialización y organización de sistemas, que aseguren los resultados que se deseen. Los numerosos aspectos de los negocios que incluyen industria, manufactura y control de calidad apenas empiezan a ser apreciados.

3. *Capital*. La competencia en muchos campos de acción ha reducido los márgenes de ganancias. Al mismo tiempo que la automatización y la mecanización han obligado desembolsos de consideración para nuevos equipos y procesos modernos. El resultado del aumento en inversiones, que se deben amortizar aumentando la productividad, ha ocasionado pérdidas en la producción debidas a desperdicios y procesos de consideración. Los costos de la calidad conjuntamente con los de mantenimiento y de mejoramiento se han remontado a alturas precedentes, igualando y en algunos casos rebosando el costo directo de la mano de obra en muchas organizaciones. Este hecho ha enfocado la atención de algunas gerencias hacia el campo del control, el cual puede disminuir sus costos y mejorar sus ganancias.

4. *Administración*: La responsabilidad de la calidad se ha distribuido entre grupos especializados. En otros tiempos, el jefe de taller era el único responsable de la calidad del producto. Ahora la mercadotecnia, a través de su función de planeación de producto, debe establecer los requisitos de éste. Los ingenieros tienen la misión de diseñar un producto que satisfaga las condiciones requeridas. La producción debe desarrollar y refinar los procesos que suministren la capacidad adecuada para elaborar el producto dentro de las especificaciones fijadas por

los ingenieros. El control de calidad reglamenta las mediciones de la calidad durante el proceso que aseguren que al final el producto se encuentre en conformidad con los requisitos de calidad pedidos. Aun la calidad de servicio, después de que el producto ha llegado a las manos del comprador, se ha constituido en una parte importante del "paquete del producto". Esto ha aumentado la carga impuesta a la alta gerencia, particularmente, en vista de la dificultad siempre creciente de localizar responsabilidades por apartarse de las normas de la calidad.

5. *Materiales*: Debido a los costos de la producción y a las exigencias en cuanto a calidad, los ingenieros están usando los materiales dentro de límites más estrechos que antes y empleando algunos metales exóticos y ligas metálicas para aplicaciones especiales. El resultado ha sido especificaciones más estrictas en los materiales y una diversidad mayor en éstos. Ya no sirven para la aceptación la simple inspección visual y la comprobación del espesor; por el contrario, se exigen mediciones físicas, químicas, rápidas y precisas, empleando máquinas especiales de laboratorio, tales como espectrofotómetro y equipo de maquinado.

6. *Máquinas y Métodos*. La demanda dentro de las compañías de una reducción de los costos y mayor volumen de producción para satisfacer al consumidor, ha conducido al uso de equipo más complicado que depende en mucho de la calidad de los materiales empleados. Una calidad ha llegado a ser un factor crítico para el mantenimiento de una máquina, trabajando sin interrupción con la mejor utilización de las herramientas, en toda la extensión de una fabricación cualquiera, desde embuticiones profundas hasta máquinas automáticas de subensamble. A medida que las compañías transforman su trabajo haciéndolo más automático y más mecanizado a fin de reducir sus costos, se hace más crítica una buena calidad que efectivamente haga real la producción en costos y eleve la utilización de hombres y máquinas a valores satisfactorios.

CUALES SON LAS TAREAS DE CONTROL DE CALIDAD?

Se ha mostrado que el concepto general del control total de la calidad abarca el ciclo completo de la industria. Comprende un gran número de personas y de componentes en la organización de diversas funciones especializadas. Las actividades relacionadas con la calidad son muchas, empezando por el planeamiento de las fases, de tal suerte que la calidad correcta se logre desde el principio y se extienda al control de los procesos y al servicio de los clientes.

Debido a las muchas actividades conexas con la calidad, se presenta la necesidad de clasificar el trabajo del control total de la calidad y asignar la parte correspondiente de cada quien.

¿Cuáles son las tareas del control de la calidad? Las tareas del control de la calidad giran alrededor de la producción y procesos de diseño, y para distinguirlos entre sí se les encierra en cuatro clasificaciones, a saber:

a) La primera puede denominarse *control de nuevo diseño*. Comprende todos los esfuerzos en un producto nuevo, cuyas características mercantiles han sido seleccionadas, cuyos parámetros se han definido y comprobado por medio de pruebas típicas; cuyos procedimientos de fabricación se han estudiado en su estructura, así como en los costos iniciales a cuyos estándares de calidad han sido especificados. Tanto los diseños del producto y del proceso son revisados para eliminar posibles motivos de dificultades en la calidad, antes de que proceda a la fabricación, con el fin de lograr un mantenimiento mejor y eliminar tropiezos en el aseguramiento de la confiabilidad del producto. En el caso de producción en cantidades o en volumen, el control sobre el nuevo diseño termina cuando los trabajos pilotos han comprobado un comportamiento satisfactorio en cuanto a producción en cuanto a producción por lotes, la rutina termina en el momento en que se inicia la producción de las partes componentes.

b) La segunda tarea del control de calidad consiste en el *control de materia prima*. Esta comprende los procedimientos de aceptación de materiales, de partes y componentes comprados a otras compañías, o tal vez, que provengan de unidades de la misma compañía. Con frecuencia, el control sobre el material se aplica a partes propias en una área de la compañía para ser empleadas en otras áreas. Se establecen especificaciones y estándares como normas de aceptación de materias primas, partes y componentes. Se aplican ciertas técnicas de control de calidad a fin de lograr la aceptación de costos, los más económicos. Estas técnicas incluyen la evaluación de calidad de los proveedores; la certificación de venta de materiales, de partes o de componentes; muestreo de aceptación y pruebas de laboratorio.

c) Una vez que los diseños han sido aprobados, que se han recibido las herramientas, los materiales, las partes y/o componentes, entra en juego el *tercer elemento del control de calidad, el Control de producción*. El control del producto tendrá lugar en el sitio de la producción para que las correcciones que deben aplicarse se lleven a efecto con oportu-

nidad y eviten la manufactura de productos defectuosos. No solamente comprende los materiales y las partes elaboradas, sino también alcanza a los procesos que imprimen en el producto las características de calidad durante su elaboración. El control trata de proporcionar un producto que cumpla su cometido satisfactoriamente durante el término de vida que se le supone y en las condiciones en que será usado. Por lo tanto abarca o comprende calidad después de la producción y en el campo de servicio, que garantice al consumidor que el producto cumplirá con sus funciones en caso de que esa garantía sea necesaria.

4. La cuarta tarea del control total de la calidad es *el de estudios especiales sobre el proceso*. Esta se refiere a investigaciones y pruebas que ayudan a localizar causas que originan productos defectuosos. La eliminación o control de estas causas no solamente mejora o perfecciona las características de la calidad sino que ayuda a reducir los costos.

Parte que desempeña la Estadística en el control de calidad.

En atención a la publicidad acordada al uso de la Estadística en las actividades del control de la calidad, es oportuno preguntarse: "Cuál es la aplicación de los métodos estadísticos en las cuatro tareas del control de la calidad?" La Estadística se usa en los programas de control de la calidad, cuando y donde puede ser útil. Pero la Estadística es solamente uno de los implementos que entran en el cuadro completo del control de la calidad.

Sin embargo, la intervención de los métodos estadísticos ha producido un efecto hondo en todo el campo del control de la calidad. Esta ayuda técnica está representada por cuatro instrumentos de trabajo que pueden utilizarse separadamente o en combinación, y son los siguientes:

1. *Distribución de Frecuencias*, la que consiste en una tabulación ordenada del número de veces que una característica de calidad ocurre dentro de las muestras de producto que se examinan. Como una representación de la calidad de la muestra, hace resaltar a la simple vista: (a) la calidad media, (b), la dispersión de los elementos de la muestra, y (c) el contraste comparativo de la calidad con los requisitos especificados. Este instrumento se usa en el análisis de la calidad de un proceso o de un plan.

2. *Gráficos de control*, que contienen una comparación gráfica de las características actuales del producto, en un orden cronológico "cada hora, cada día", con límites que indican cuál es el estado de la produc-

Cuando la curva se aproxima o excede los límites, algo que requiere investigación se ha interpuesto en el proceso. Esta herramienta se puede usar para conservar el control después de que la distribución de frecuencias ha mostrado que el proceso está dentro de "control".

Las *Tablas de muestreo*, constituídas por una serie de resúmenes que muestran la relación probabilística "generalmente expresada en porcentaje", entre el lote completo y las muestras que se tomen del lote de materia prima. Estas tablas se usan cuando se desea conocer la calidad del material recibido o del producido.

Los *Métodos especiales*, en los que se incluyen términos tales como límites de tolerancias, correlación y análisis de varianza. Estos métodos están confeccionados para el uso del control de calidad industrial con conceptos de la estadística general. Esta herramienta se usa en análisis estadísticos de diseño o de dificultades en el proceso.

Para uso general de las fábricas la distribución de frecuencias, las cartas de control y las tablas de muestreo, han sido reducidas a matemáticas al nivel del taller.

GRAFICAS DE CONTROL

Es probable que la actividad más generalizada del control de calidad sea el control de la materia prima, de los volúmenes unitarios de producción y de las piezas de los conjuntos durante el proceso de su manufactura. La mayor parte de la literatura actual sobre los métodos estadísticos aplicados al control de la calidad, está orientada sobre este tema. La principal ayuda estadística para estos trabajos es la gráfica del control y sus modificaciones particulares.

Durante muchos años se ha venido empleando la gráfica de control en la industria. Su más prominente iniciador fue el Dr. Walter A. Shewart en los laboratorios de la Bell Telephone.

Únicamente se necesitan nociones rudimentarias para el conocimiento básico de esta herramienta. Aún cuando existen muchas adaptaciones al tipo original de las gráficas de control, éstas sólo constituyen modificaciones en sus detalles para satisfacer determinadas situaciones particulares.

CONCEPTO DE LAS GRAFICAS DE CONTROL.

Propósito de las gráficas de control. Existen diversas preferencias para el establecimiento de tolerancias del proyecto y límites de

especificaciones. En algunas ocasiones estos límites se determinan cuidadosamente por medio de pruebas. Otras veces se han fijado en forma arbitral. La mayoría de las veces se basan en experiencias anteriores con los materiales y con los procesos de manufactura.

Por lo general esta experiencia se ha trasladado a las hojas de tolerancias "prácticas de taller". En otros casos sólo existe en la mente de los obreros más antiguos como un conocimiento práctico.

Corresponde al ingeniero proyectista trasladar estos conocimientos prácticos a datos técnicos. Por ejemplo, puede preguntarse al jefe de taller si es posible mantener una tolerancia de ± 0.003 plg. para la distancia entre centros de dos perforaciones de una horquilla para chumacera. El jefe del taller con su experiencia está facultado para contestar "seguro que se puede". Esta respuesta puede servir de base al ingeniero para el establecimiento de una tolerancia de ± 0.003 plg. en el proyecto de la chumacera. La experiencia del taller puede tener mucha importancia cuando se reciban los planes enviados por el ingeniero proyectista. Por ej. el obrero de la máquina producirá un lote de estas piezas, cuya variación en la distancia entre centro sea de ± 0.005 plg. en lugar de ± 0.003 plg. que era la indicada. La relación inmediata del jefe del taller será la de que algo "anormal" está ocurriendo. Puede ser que la broca está descentrada o que está mal afilada, o bien puede ser que las guías de la broca están desgastadas.

Por lo tanto, se puede forjar en la mente la posible acción correctiva y actuará sobre la máquina taladro.

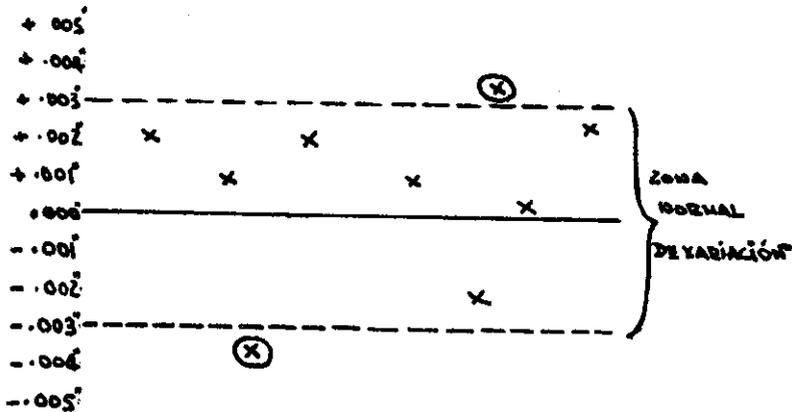
El personal de una planta intuitivamente ha agrupado las variaciones de la pieza manufacturada en dos categorías:

1. *Variaciones normales*, o sea el total de la desviación que el obrero ya conoce que se debe presentar. En el ejemplo de las horquillas para cojinetes la desviación máxima fue de ± 0.003 plg.

2. *Variaciones accidentales* o normales o sea una desviación mayor que la que el obrero experimentado sabe que se debe presentar. En el ejemplo de las horquillas para cojinetes correspondería a una variación mayor de ± 0.003 p. Por lo tanto el obrero ya concibe los límites de variación normal, en las piezas o procesos con los que ya está familiarizado. Si estos límites se exceden durante la manufactura de los elementos el obrero reconoce que algo anormal se ha presentado y que se requiere una corrección.

La figura da una idea de este concepto. Los puntos encerrados dentro de un círculo indican una acción correctiva.

En los análisis de estas variaciones se basan las gráficas de control. La filosofía de estos límites de variación normal va incluida en la gráfica de control bajo la forma de límites de control. Sin embargo, debido a la naturaleza de la técnica de las gráficas de control, el valor efectivo para los límites de control por lo general difiere del valor correspondiente de los límites de variación normal.



DEFINICION DE LAS GRAFICAS DE CONTROL

Se puede definir a la gráfica de control como la comparación gráfico-cronológica (hora a hora, día a día) de la característica actual de la calidad del producto con los límites que identifican la posibilidad de la manufactura de acuerdo con las experiencias anteriores que se han obtenido del producto.

Qué variación es aceptable?

La decisión de si los límites de control se deben a no aceptar por lo general es algo enteramente económico. La variación normal que estos límites representan es menor que la requerida por los límites de las especificaciones? En caso afirmativo, los límites de control serán satisfactorios.

La variación normal representada por los límites de control es mayor que la fijada por los límites de especificación? Resultaría muy costoso tratar de obtener mayor exactitud? En este caso los límites de control pudieran ser satisfactorios.

Resultaría más económico tratar de mejorar el proceso, que aceptar el desperdicio y el remaquinado que inevitablemente se tienen que presentar? En este caso los límites de control no resultarán satisfactorios y por lo tanto no se pueden aceptar.

Desde luego que la distinción entre las variaciones normales y accidentales es muy relativa. Lo que puede ser normal para determinada máquina y para cierta operación, puede ser muy diferente a la variación normal de otra máquina y otra operación con el mismo material.

Entre diversas plantas y entre talleres de manufactura de la misma planta pueden existir diferencias entre los factores que intervienen en la variación normal. Puede atribuirse a la naturaleza de los equipos, al estado de conservación de la maquinaria, a la calidad de los materiales empleados, al esmero de la producción de las herramientas y al entrenamiento y destreza del personal. Por lo tanto los esfuerzos encaminados a la comparación de los límites de control entre diversas plantas, puede dar conclusiones muy contradictorias.

Con personal experto para la realización de un trabajo determinado, y disponiendo del dinero necesario indudablemente que se podrá reducir la variación que marcan los límites de control. En el ejemplo de la distancia entre centros de perforaciones citado anteriormente la variación normal de ± 0.003 plg. que se obtuvo se podría reducir hasta ± 0.0015 plg. con el empleo de un equipo nuevo y mejores materiales.

Sin embargo una vez aceptados los límites de control, se pueden utilizar como una guía para cualquier acción correctiva en el trabajo de que se trate. Sería muy costoso pretender obtener mejor uniformidad. Pero si los resultados de la producción indican una variación mayor de la que permiten los límites, entonces puede resultar más económico hacer el gasto para reducirla y así eliminar las causas de esa excesiva variación.

Empleo de las gráficas de control. Resulta una empresa muy peligrosa depender de la información que únicamente mantiene en su memoria el obrero, cuando se trate de la variación de la característica de calidad de un producto. Pero si esa forma práctica de "saber cómo" se complementan con el empleo de las gráficas de control, se obtendrán beneficios en exactitud y la conservación de los registros con los resultados.

El lapso necesario para determinar la variación normal representada por esos límites de control de las gráficas, se puede reducir con-

Considerablemente. Será suficiente un período de horas o talvez días en lugar del tiempo mucho más largo que se requiere para el desarrollo de algunos modelos que den el conocimiento del proceso. Esto cobra mayor importancia donde se tenga una gran proporción de obreros de nuevo ingreso o de supervisores recién designados.

Cuando se hayan establecido los límites de control para un material o para los elementos que se manufacturan se pueden sugerir diversas aplicaciones de las gráficas de control. Algunas de ellas son:

Prever los rechazos antes de que se produzcan piezas defectuosas. A veces se "introducen" en un proceso ciertas inconveniencias para la calidad. Una herramienta mal afilada puede originar una tendencia a variaciones anormales que den como resultado la producción de piezas defectuosas. En la gráfica donde se va comparando la variación obtenida, los límites de control son la "señal roja" para la introducción que el proceso de esa clase de dificultades para la calidad, antes de que se origine un desperdicio o un remaquinado. La cita anterior queda ilustrada con una comparación vulgar de los límites de control de las gráficas con los acontecimientos de una carretera. Si la característica de la calidad de una pieza que se manufactura se aproxima a los límites de control, o las "cunetas" de la carretera se debe aplicar una corrección, para prevenir que el proceso se vaya a una "zanja" produciéndose piezas defectuosas.

Juzgar el rendimiento de un trabajo. La eterna pregunta: "Es tan buena la calidad del trabajo que se efectúa como el que es posible lograr con el equipo de que se dispone?" tiene su respuesta efectiva al comparar las variaciones de la manufactura actual con la variación normal representada por los límites de control.

Establecimiento de tolerancias. Los límites de especificaciones pueden tener alguna relación con la variación normal únicamente por coincidencia. Lo anterior se debe a que los límites de especificaciones se refieren a los requisitos que se impone al producto, en tanto que la variación normal se refiere al proceso y a su capacidad. Sin embargo, es muy ventajoso para el ingeniero proyectista familiarizarse con las capacidades de proceso, a fin de hacer una utilización "óptima" de esos trabajos en la elaboración de sus diseños.

Guía para la gerencia. Las gráficas de control proporcionan a los gerentes un sumario de los aciertos o de las fallas de la planta, en sus esfuerzos para controlar la calidad del producto.

Previsión de los costos. La variación normal puede ser representativa de los métodos de manufactura de una planta. Resulta muy costoso pretender reducir esta variación y tal vez sea necesaria la adquisición de maquinaria nueva, implantar nuevos métodos y procurar mejor mantenimiento en el equipo. Por otra parte la variación no normal puede representar dificultades temporales que pueden ser eliminadas sin un gasto excesivo.

La variación normal en la mayoría de los procesos está asociada a la forma más económica de manufactura. Por lo tanto, su determinación es de mucha utilidad por lo que se refiere a costos.

En el caso particular en que la variación normal sea más amplia que los límites de especificaciones y que, por alguna razón, la factoría no pueda perfeccionar el proceso, se debe aceptar la producción de piezas defectuosas o de desperdicios. Esta cantidad de desperdicios se puede prever, reducirse a un mínimo e introducirse a los costos de la mano de obra.

Establecer un índice de seguridad para el material defectuoso. Los contadores de costos siempre han tenido el problema relativo al renglón de las "pérdidas durante la manufactura" y la forma de establecer un factor realista en la contabilidad de costos para las piezas o conjuntos que se rechazan. Reconocen que el establecimiento del cero por ciento para los rechazos, es una meta impracticable y antieconómica.

Por lo tanto, se debe elegir un determinado por ciento de recelo, desde luego arbitrario, pero que parezca ser el más económico. Este porcentaje puede ser muy bajo o muy alto —de acuerdo con lo que quieran admitir en principio los contadores—, simplemente porque no existen datos apropiados en que se pueda hacer una estimación más acertada. Cuando se han fijado los límites de control en las fábricas, sobre diferentes tipos de operaciones se tendrá una base más real para el establecimiento de estos índices de seguridad.

CARTAS DE CONTROL PARA LAS VARIABLES.

Las cartas de control se usan para tener información sobre la naturaleza de la variación en las características del producto manufacturado.

Las cartas de control más usadas son las de \bar{X} y las de R.

CARTAS DE CONTROL DE \bar{X}

Se construyen para mostrar las fluctuaciones de las medias de las muestras respecto a la media del proceso. Para comprender mejor las

cartas de control veamos un ejemplo: Cada media hora se tomaron cuatro muestras de una producción y se les determinó su peso. En total se hicieron 20 ensayos. Determinar la carta de control de \bar{X} . Los datos obtenidos fueron los siguientes:

TABLA N° 1

N° de sub-grupo	Medidas				\bar{X}	S_x	S
1	25	14	19	18	19.00	15.5000	3.9
2	22	16	20	19	19.25	4.6875	2.2
3	24	12	15	24	18.75	28.6875	5.4
4	18	17	23	21	19.75	5.6875	2.4
5	26	19	16	21	20.50	13.2500	3.6
x							
6	18	17	16	15	18.50	1.2500	1.1
7	19	22	15	14	17.50	10.2500	3.2
8	18	20	21	23	20.50	3.2500	1.8
9	17	21	20	17	18.75	3.1875	1.8
10	20	16	22	17	18.75	5.6875	2.4
11	18	19	21	20	19.50	1.2500	1.1
12	19	13	20	18	17.50	7.2500	2.7
13	19	22	21	18	20.00	2.5000	1.6
14	21	16	17	19	18.25	3.6875	1.9
15	15	23	15	16	17.25	11.1875	3.3
16	20	22	20	19	20.25	1.1875	1.1
17	17	23	18	19	19.25	5.1875	2.3
18	22	19	21	18	20.00	2.5000	1.6
19	17	25	24	20	21.50	10.2500	3.2
20	18	16	14	21	17.25	6.6875	2.6
Totales	380.00	143.1250	42.9

Necesitamos conocer la media de las medias muestrales (la llamaremos $\bar{\bar{X}}$. Se obtiene sumando la tercer columna y dividiendo el tercer resultado por 20 para este caso).

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{380}{20} = 19$$

Es práctica casi universal en el control estadístico de la calidad usar intervalos de confianza de 3 errores standar (o tres desviaciones típicas). Esto porque la probabilidad de que una suma muestral caiga por fuera del intervalo $\pm 3\delta$ es tan pequeña que se considera que la muestra cae en ese intervalo.

Entonces el límite superior de control (UCL) viene dado por la siguiente expresión:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + 3\delta x$$

El límite inferior de control será:

$$LCL = \bar{\bar{X}} - 3\delta x$$

Para calcular S_x se procede de la siguiente manera: se calcula un S^2 (varianza promedio) sumando las varianzas de la penúltima columna y obteniendo un promedio (en este caso se divide por 20) al dividir por el número de experimentos o ensayos.

$$\bar{S^2} = \frac{1431250}{20} = 7,15625$$

$$S^2 = \sqrt{\frac{\bar{S^2} \cdot n}{n-1}} = \sqrt{7,15625 \left(\frac{4}{4-1}\right)} = 3.09$$

La desviación típica de la muestra se obtiene así:

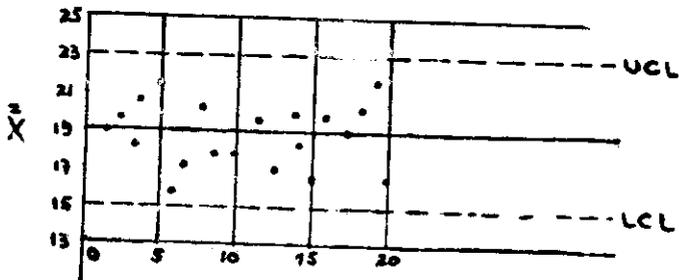
$$S_x = \frac{S^2}{\sqrt{n}} = \frac{3.09}{\sqrt{4}} = 1.55$$

Entonces los límites superior e inferior de control son:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + 3 S_x = 19.0 + 3 (1.55) = 23.65$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - 3 S_x = 19.0 - 3 (1.55) = 14.35$$

Con los datos anteriores podemos construir la carta de control:



Cada una de las 20 medias muestrales cae dentro de los límites de control, lo que indica que el proceso está bajo control estadístico.

Cuando alguno de los puntos cae por fuera de los límites de control decimos que el proceso está fuera de control.

CARTAS DE CONTROL DE R

TABLA N° 2

Sea la siguiente serie de datos obtenidos experimentalmente. Las medidas son los pesos de chumaceras (en gramos). Veamos si están bajo control estadístico.

N° de muestra	Medidas					\bar{X}	R
1	140	143	137	134	135	137.8	9
2	138	143	143	145	146	143.0	8
3	139	133	147	143	139	141.2	15
4	143	141	138	138	140	139.8	6
5	142	142	145	135	136	140.0	10
6	136	144	143	136	137	139.2	8
7	142	147	137	142	138	141.2	10
8	143	137	145	137	138	140.0	8
9	141	142	147	140	140	142.0	7
10	142	137	145	140	132	139.2	13
11	137	147	142	137	135	139.6	12
12	137	146	142	140	140	141.4	9
13	142	142	139	141	142	141.2	3
14	137	145	144	137	140	140.6	6
15	144	142	143	135	144	141.6	9
16	140	132	144	145	141	140.4	13
17	137	137	142	143	141	140.0	6
18	137	142	142	143	143	141.8	8
19	142	142	143	140	135	140.4	8
20	136	142	140	139	137	138.8	6
21	142	144	140	138	143	141.4	6
22	139	146	143	140	139	141.4	7
23	140	145	142	139	137	140.6	8
24	134	137	143	141	142	141.4	13
25	138	145	141	137	141	140.4	8

$$\bar{\bar{X}} = 140.6 \quad \bar{R} = 8.7$$

Las cartas de control de \bar{R} consisten en cartas empleadas para controlar la media de una serie de datos observados en cuenta el *Rango* en el cálculo de los límites UCL y LCL.

$$\text{Así: } UCL = \bar{\bar{X}} + 3(0,193 \bar{R})$$

Donde: $\bar{\bar{X}} = 140.0$ y $\bar{R} = 8.7$ (promedio de todos los rangos de las series de datos).

El término $0.193 \bar{R}$ se usa como equivalente a $\delta \bar{X}$ Usamos 0.193 cuando tenemos grupos de 5 datos en cada ensayo. Otros valores se dan a continuación cuando tenemos grupos 3, 4, 6, 7, 8,9 y 10 datos y son: 0.341, 0.243, 0.161, 0.140, 0.124, 0.112 y 0.103 respectivamente.

Entonces los límites de control para el problema dado son:

$$UCL = 140.6 + 3 \times 0.193 \times 8.7 = 145.6$$

$$LCL = 140.6 - 3 \times 0.193 \times 8.7 = 135.6$$

Cartas de control para fracción defectuosa.

Las ecuaciones empleadas se obtienen teniendo en cuenta la proporción muestral de p.

Los límites LCL son:

$$(UCL)_p = p + 3 \cdot Sp$$

$$(LCL)_p = p - 3 \cdot Sp$$

Siendo p probabilidad de obtener una pieza defectuosa

$$Sp = \sqrt{\frac{pq}{n}}$$

Veamos un ejemplo de cómo se aplica este tipo de cartas de control de p.

TABLA N° 3

No lote	No inspeccionado	N° defectuoso	Fracción defectuosa
1	100	11	.11
2	100	9	.09
3	100	15	.15
4	100	11	.11
5	100	22	.22
6	100	14	.14
7	100	7	.07
8	100	10	.10
9	100	6	.06
10	100	2	.02
11	100	11	.11
12	100	6	.06
13	100	9	.09
14	100	18	.18
15	100	7	.07
16	100	10	.10
17	100	8	.08
18	100	11	.11
19	100	14	.14
20	100	21	.21
21	100	16	.16
22	100	4	.04
23	100	11	.11
24	100	8	.08
25	100	9	.09
Total	2.500	270	

$$UCL = p + 3Sp = \frac{270}{2500} + 3 \sqrt{\frac{270/2500 (1 - 270/2500)}{100}}$$

$$LCL = p - 3Sp = \frac{270}{2500} - 3 \sqrt{\frac{270/2500 (1 - 270/2500)}{100}}$$

UCL = 0.201 Límite superior de control,

LCL = 0.015 Límite inferior de control.

BIBLIOGRAFIA

Quality Control Handbook de J. M. Mc. Graw Hill
 Elementary Statistical Analysis
 Primera edición de 1961 de S. S. Wilks
 Princeton University Press
 Quality Control
 Manual de la ASTM.