

Tabla 3A.3: Tabla complementaria para la prueba de hipótesis cuando se utiliza el recorrido

$k \backslash n$	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	$k > 5$
2	1,0	1,9	2,8	3,7	4,6	9,0	13,4	17,8	22,2	26,5	$0,807k + 0,25$
	1,41	1,28	1,23	1,21	1,19	1,16	1,15	1,14	1,14	1,14	$1,128 + 0,32/k$
3	2,0	3,8	5,7	7,5	9,3	18,4	27,5	36,6	45,6	54,7	$1,815k + 0,25$
	1,91	1,81	1,77	1,75	1,74	1,72	1,71	1,70	1,70	1,70	$1,693 + 0,23/k$
4	2,9	5,7	8,4	11,2	13,9	27,6	41,3	55,0	68,7	82,4	$2,738k + 0,25$
	2,24	2,15	2,12	2,11	2,10	2,08	2,07	2,06	2,06	2,06	$2,059 + 0,19/k$
5	3,8	7,5	11,1	14,7	18,4	36,5	54,6	72,7	90,8	108,9	$3,623k + 0,25$
	2,48	2,40	2,38	2,37	2,36	2,34	2,33	2,33	2,33	2,33	$2,326 + 0,16/k$
6	4,7	9,2	13,6	18,1	22,6	44,9	67,2	89,6	111,9	134,2	$4,466k + 0,25$
	2,67	2,60	2,58	2,57	2,56	2,55	2,54	2,54	2,54	2,54	$2,534 + 0,14/k$
7	5,5	10,8	16,0	21,3	26,6	52,9	79,3	105,6	131,9	158,3	$5,267k + 0,25$
	2,83	2,77	2,75	2,74	2,73	2,72	2,71	2,71	2,71	2,71	$2,704 + 0,13/k$
8	6,3	12,3	18,3	24,4	30,4	60,6	90,7	120,9	151,0	181,2	$6,013k + 0,25$
	2,96	2,91	2,89	2,88	2,87	2,86	2,85	2,85	2,85	2,85	$2,847 + 0,12/k$
9	7,0	13,8	20,5	27,3	34,0	67,8	101,6	135,3	169,2	203,0	$6,759k + 0,25$
	3,08	3,02	3,01	3,00	2,99	2,98	2,98	2,98	2,97	2,97	$2,970 + 0,11/k$
	7,7	15,1	22,6	30,1	37,5	74,8	112,0	149,3	186,6	223,8	$7,453k + 0,25$

(ø en letras normales, c en negrilla)

en la que el valor mayor de \bar{R}^A/C_A y \bar{R}^B/C_B se utiliza como numerador; C_A y C_B son coeficientes que dependen de los tamaños de los subgrupos n_A y n_B , y los números de los subgrupos k_A y k_B ; están dados en la Tabla 3A.3.

Tercer paso: Comparar el valor de F_o con el valor de $F(\alpha, \beta; 0,01)$, el valor de F para los grados de libertad α y β y superior a un percentil de las tablas de distribución de F . Si $F_o \leq F(\alpha, \beta; 0,01)$, podremos decir que hay una diferencia en la variación dentro de los subgrupos \bar{c} de A y B a un nivel de significación del dos por cien. Si $F_o > F(\alpha, \beta; 0,01)$ no podremos afirmar que haya una diferencia.

Arriba, α y β son los grados de libertad que dependen de n_A y k_A y de n_B y k_B . Sus valores están dados en la Tabla 3A.3. Los valores de F están en muchas tablas estadísticas.

(2) Prueba de hipótesis de la diferencia en los promedios μ_A y μ_B

Para realizar esta prueba de hipótesis, primero se tiene que preparar un gráfico de control $\bar{x} - R$ estratificado en las zonas A y B (en este caso, el tamaño de los subgrupos tiene que ser igual), y hacer la prueba con la fórmula siguiente:

$$|\bar{x}_A - \bar{x}_B| \geq A_2 \bar{R} \sqrt{\frac{1}{k_A} + \frac{1}{k_B}} \quad (3A.19)$$

Cuando se satisfaga la desigualdad anterior, podremos decir que es seguro que hay una diferencia entre los promedios μ_A y μ_B de los procesos A y B; k_A y k_B son los números de subgrupos en A y B.

$$\bar{R} = \frac{k_A \bar{R}_A + k_B \bar{R}_B}{k_A + k_B}, \text{ Si } k_A = k_B, \bar{R} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B}{2}$$

Si se utiliza la fórmula anterior, se tienen que satisfacer aproximadamente las condiciones siguientes:

- (a) Los gráficos de control estratificados tienen que indicar el estado controlado.
- (b) $n_A = n_B$
- (c) k_A y k_B tienen que ser suficientemente grandes; tienen que valer por lo menos 10 cada una.
- (d) No tiene que haber ninguna diferencia entre \bar{R}_A y \bar{R}_B como se describe en la subsección 1 anterior.
- (e) La distribución original tiene que ser aproximadamente normal.

Si no se satisfacen estas condiciones, la precisión de la prueba de hipótesis será mala y se tendrá que utilizar una prueba estadística diferente y más complicada.

Debe observarse que cuando se piense que la diferencia de los promedios del proceso es significativa al realizar el análisis del proceso, se tienen que modificar las medidas individuales x_B o los promedios \bar{x}_B del peor conjunto de datos sumándoles $\bar{x}_A - \bar{x}_B$ para que den un promedio mejorado, que se obtendría mediante algunas acciones (e.g., \bar{x}_A) y continuar el análisis. Un gráfico así obtenido se puede llamar "gráfico de control modificado".

Análisis y mejora de los procesos

4.1 Mejora y control de los procesos

Como se explicó en la sección 1.5, si se da prioridad a la prevención de que se repitan los problemas, el control en su sentido amplio no es una simple conservación del *statu quo* sino un tipo de mejora. Sin embargo, el control consiste más en ejercer completamente las capacidades actuales y mantenerlas en su nivel óptimo, mientras que la mejora consiste más en incrementar realmente esas capacidades. Por ello, el control y la mejora parecen ser tareas diferentes, y esto es lo que hace que algunas personas digan cosas como "el control es trabajo de línea y la mejora es trabajo de *staff*". En realidad, sin embargo, no se puede trazar una distinción tan clara. Muchas mejoras del entorno inmediato, por ejemplo, se ponen en práctica a través de las actividades de los círculos de calidad en la línea (ver la Figura 1.18).

A menudo no se desempeñan completamente las capacidades porque el trabajo inmediato no está suficientemente bajo control y no se está realizando con fiabilidad. Cuando el control se pone en práctica correctamente, mejoran gradualmente la calidad, los procesos y otros factores, y se saturan las capacidades de los procesos en términos de mano de obra, calidad, cantidad, plazo de entrega y coste. Además, si el trabajo no está controlado (por ejemplo, si hay mucha variabilidad en las operaciones rutinarias), será imposible incluso imaginar dónde empezar a mejorar, y los beneficios resultantes no estarán claros aunque se alcancen mejoras.

Incluso cuando se hacen buenas propuestas de mejora, a menudo no se pueden ejecutar satisfactoriamente. Todo el mundo va corriendo y diciendo a voz en grito que está eliminando unidades defectuosas y aumentando la producción, pero al final no mejora nada. Esto es porque están confundiendo el control con la mejora. Si queremos hacer mejoras, primero tenemos que tener

un control total. Sólo cuando el control está suficientemente bien puesto en práctica son posibles las mejoras significativas.

Igualmente, aunque se examinen detenidamente y se ejecuten con control, hasta los buenos planes de mejora quedarán en nada si no se continúan los esfuerzos hasta que se haya alcanzado un estado de control. Una mejora sólo puede considerarse completa cuando haya sido posible mantener el trabajo o el proceso mejorado en el estado controlado durante un periodo de tiempo largo. Las mejoras tradicionales a menudo acaban como simples medidas neutralizadoras de emergencia, o no se llevan a cabo hasta el punto en que se ha establecido el control y, por tanto, se quedan medio terminadas.

Si las mejoras se llevan a cabo a capricho de los individuos siempre que tengan lo que ellos creen que es una buena idea, las normas se debilitarán. En el pasado, los individuos que estaban en planta trabajaban a menudo sin seguir las normas, por propia iniciativa, convencidos de que estaban haciendo mejor las cosas. Sin embargo, lejos de hacer ninguna mejora, a menudo hacían un cambio a peor. Las mejoras deben efectuarse sistemáticamente a través de procedimientos formales, que implican primero la consulta a los departamentos pertinentes, luego, el análisis técnico y estadístico, y, finalmente, la formulación de las normas provisionales o la modificación de las existentes antes de su puesta en práctica.

Como indica esta explicación, el control y la mejora son como las dos caras de una moneda o las dos ruedas de un carro; ninguna de las dos puede tenerse en cuenta aislada de la otra.

En la sección 1.7.2 se dio un resumen del proceso de mejora. El presente capítulo describe cómo impulsar las mejoras y qué puntos buscar; la atención principal se presta a los procesos. La mayor parte de la explicación también es aplicable, casi tal como está, a la mejora de la calidad y al desarrollo de nuevos productos.

4.2 Tipos y procedimientos de mejora

4.2.1 Tipos de mejoras

Hay muchos tipos de mejoras, pero me gustaría considerarlos bajo los siguientes nombres:

- * Mejoras pasivas: éstas incluyen la reducción de los reprocesos y los ajustes, la mejora de los rendimientos, la reducción de los costes y la eliminación de las causas asignables.
- * Mejoras activas: éstas incluyen la incorporación de los adelantos, la mejora de la calidad, la mejora de las capacidades de los procesos, el poner de

relieve y mejorar las cualidades positivas que atraen a los consumidores (argumentos de venta), e impulsar las ventas.

- * Mejoras del entorno inmediato: éstas son las mejoras basadas en las sugerencias, las mejoras de los círculos de CC y las mejoras en los puestos de trabajo.
- * Mejoras basadas en las prioridades: éstas son las mejoras sistemáticas y clasificadas según su prioridad, para eliminar los problemas graves a través de la cooperación de la empresa, la planta o la sección, las mejoras de los equipos de CC y las mejoras del *staff*.
- * Mejoras orientadas a los objetivos: aquí están incluidas la mejora de la calidad, la reducción a la mitad de las unidades defectuosas y la simplificación del trabajo, el aumento de la capacidad de proceso y la de producción, la reducción de los costes y el acortamiento de los plazos de entrega.
- * Mejoras orientadas a los métodos: éstas incluyen la mejora de procesos, las mejoras de los métodos operativos y del equipo, la racionalización organizativa y la revisión de las normas y las reglamentaciones.

Cada uno de los tipos diferentes de mejoras enumerados más arriba se explica brevemente a continuación:

Las mejoras pasivas son un tipo de mejoras que hace posible que un proceso ejerza su capacidad completa. Consiste en hacer lo que se debería haber hecho normalmente, e.g., reducir las unidades defectuosas y los reprocesos, hacer posible arreglárselas con ajustes simples, y escuchar y satisfacer los requisitos de los consumidores antes desatendidos y del proceso siguiente.

Las mejoras activas quieren decir desarrollar nuevos productos y áreas empresariales, y mejorar las cualidades positivas y atractivas, i.e., alterar las cualidades, los diseños y los planes de diversas maneras para mejorar la facilidad de uso y hacer que los consumidores se sientan mejor y, por tanto, contentos de comprar. Es el tipo de mejora en el que se mejoran la fiabilidad del producto, la durabilidad, la mantenibilidad y el servicio al cambiar las materias primas y otros factores, y se aumentan la calidad y la capacidad del proceso a través del desarrollo activo de equipos nuevos (e.g., calibres y herramientas), productos, procesos y sistemas.

Hay muchas cosas aparentemente irracionales o inconvenientes en nuestro entorno inmediato, que observamos pero respecto a las cuales no hacemos nada. Las mejoras del entorno inmediato son el tipo de mejoras que resultan de ideas pequeñas pero útiles, de la creatividad y el ingenio individual, y de simples sugerencias y opiniones. Estas mejoras tienen que proceder de los trabajadores de la planta y de los administrativos corrientes. "Muchos pocos hacen un mucho", y un flujo continuo de estas pequeñas mejoras puede producir un efecto enorme con el tiempo. Puede que todas no sean útiles pero, igual que

los diamantes entre el polvo, contendrán algunas ideas excelentes. Este tipo de actividad de mejora concierne fundamentalmente a las mejoras en el lugar de trabajo y la llevan a cabo grupos tales como los círculos de CC.

Sin embargo, hay que tener cuidado, ya que este tipo de mejoras tiende a reducir las unidades defectuosas de un proceso pero las aumenta en el siguiente, o mejora la calidad pero reduce el volumen de producción. Por tanto, antes de poner en práctica este tipo de sugerencias, se tienen que discutir con las personas del siguiente proceso y otros departamentos pertinentes, y se tienen que investigar formalmente desde un punto de vista general.

En resumen, se tiene que crear una atmósfera en la que todo el mundo esté buscando mejoras constantemente en sus entornos inmediatos y en la que se ofrece un flujo firme de sugerencias; se tienen que utilizar programas de sugerencias para fomentar esto. Sin embargo, las personas tienen que tener presente que lo que es mejor para su propio dominio no es necesariamente lo mejor desde el punto de vista general; por el contrario, en realidad a menudo crea problemas en otras áreas.

Las mejoras basadas en las prioridades son el tipo de mejoras en el cual se investigan sistemáticamente los problemas más graves de una empresa, una sucursal, una fábrica u otra organización, y se acometen según el orden de prioridades dictado por la política organizativa. Los problemas de esta naturaleza se tienen que resolver a través del esfuerzo en equipo de todas las personas afectadas, de todos los departamentos, incluidos diseño de materiales, investigación, técnico, fabricación y ventas.

Este tipo de mejora también es el tipo más importante desde el punto de vista de la promoción del control de calidad. Si todo el mundo lo prueba -i.e., el gusto de atacar los problemas con un esfuerzo incondicional y concertado-, el control de calidad avanzará rápidamente. Con este tipo de mejora, la empresa sienta su política sobre prioridades y la delega a los diversos departamentos (técnico, tecnología de producción, fabricación, etc.), que luego comparten la responsabilidad de efectuar las mejoras. Sin embargo, a menudo es una buena idea establecer equipos de CC o de proyectos para poner en práctica las mejoras bajo el nombre de "control de prioridades".

Las mejoras orientadas a los objetivos y a los métodos están un poco diferenciadas en la Tabla 1.3 que enumera algunas diferencias entre objetivos y métodos. La decisión en cuanto a qué necesidades mejorar, dónde residen los problemas y cuáles son los objetivos determinarán los métodos por medio de los cuales se van a efectuar las mejoras. Los objetivos y las necesidades tienen que estar establecidos antes de considerar las mejoras de los métodos. En otras palabras, los objetivos siempre tienen que ir primero. Si se colocan primero los métodos, aunque se preparen montones de reglamentaciones y normas, o (en la automatización administrativa) se pongan en servicio los ordena-

dores, el resultado será la automatización del CC o administrativo sólo de nombre, y nada más se habrá conseguido.

Tradicionalmente, las personas han estado obsesionadas con mejorar los métodos y los medios. Todavía tienden, por ejemplo, a proponer planes de mejora insignificantes, a redistribuir sus organizaciones, a preparar montones de reglamentaciones y a formular y revisar las normas operativas sin conseguir el menor beneficio a pesar de todo su duro trabajo. Por esto es tan importante aclarar la confusión de los fines con los medios, y aclarar nuestros objetivos.

Establecer objetivos parece fácil, pero establecer realmente objetivos específicos (que son un tipo de características sustitutivas) para un lugar de trabajo exige varios análisis técnicos y estadísticos. Y esto no es más que la mitad del trabajo. La otra mitad es proporcionar métodos específicos y herramientas para alcanzar los objetivos, i.e., mejorar los procesos por medio de los cuales se alcanzan los objetivos. Si no se hace esto, acabaremos con el viejo estilo de "dirección por objetivos" o "dirección exhortativa", que realmente no pueden producir resultados y hacer que duren. Para alcanzar los objetivos son esenciales los métodos específicos, las herramientas y las mejoras de los procesos, y estas mejoras de los procesos exigen un análisis sólido. La inteligencia, la experiencia, los conocimientos técnicos y los métodos estadísticos desempeñan un papel importante en esto.

No obstante, es una suposición corriente que la motivación y los objetivos tomarán cuerpo una vez hayan sido establecidos los impresos y los métodos. Otro enfoque es, así pues, establecer los impresos y la normalización como punto de partida durante el periodo introductorio del CC, particularmente en las organizaciones con una atmósfera anticuada. Si se hace esto, sin embargo, es importante pasar, después de un poco de tiempo, a una mejora basada en los objetivos.

Este capítulo se centra en la mejora de la calidad de conformidad (ver la Figura 1.7); la mejora de la calidad del diseño y de la planificación se explica en el Capítulo 6. Las consideraciones de este capítulo son aplicables igualmente a la mejora de la calidad de bienes fabricados "duros" y de productos "blandos" tales como los servicios.

4.2.2 Obstáculos a la mejora

El progreso y el desarrollo sólo se dan cuando se ponen en práctica varios tipos de mejoras, empezando con la mejora de la calidad. En épocas de rápidas innovaciones tecnológicas y de cambios económicos como la actual, el mantener el *statu quo* y no realizar mejoras innovadoras significa en realidad ir hacia atrás. La historia del desarrollo y la caída de empresas demuestra que

una organización se quedará fuera de la competencia si sigue adoptando el enfoque pasado de moda de actuar imprudentemente ("cruzar un puente de piedra sin haber comprobado su solidez") o con excesiva cautela ("comprobar la solidez del puente de piedra y después no cruzarlo"). En estos días, un enfoque más adecuado sería: "¿Con qué celeridad podemos actuar con cautela?", o: "¿Con qué celeridad podemos comprobar la solidez del puente de piedra y cruzarlo después?"

Entonces, ¿por qué no se ponen en práctica las mejoras activas y los adelantos? El principal enemigo de la mejora es la gente, y algunas de las barreras que levanta se enumeran a continuación:

- (1) Actitudes negativas por parte de las personas que tienen autoridad, empezando por los presidentes de las empresas y bajando por los directores de departamentos operativos, los directores de fábrica y directores de ventas hasta los directores de sección. Éste es realmente el *quid* del problema, pero podemos seguir con más detalle.
- (2) Creer que todo es genial y que no existen problemas.
- (3) Creer que las cosas van mejor en el coto propio que en cualquier otra parte.
- (4) Creer que "como siempre se ha hecho" es lo más fácil y lo mejor; confiar en la propia experiencia solamente y en la de nadie más.
- (5) Estar satisfecho con el *statu quo*.
- (6) Pensar sólo en uno mismo y en la propia área de responsabilidad; ser incapaz de escuchar los puntos de vista de los demás.
- (7) La ausencia de estímulos de fuera del departamento o de la empresa.
- (8) Resignación, celos, envidia.
- (9) Malos juicios por parte de los superiores y directores; temor de perder prestigio.
- (10) Regionalismo.
- (11) Suprimir a los demás en persecución de las propias ambiciones.
- (12) Conocimientos técnicos y estadísticos, inteligencia, inventiva, originalidad, juicio y habilidad práctica inadecuados.
- (13) No hacer nada por miedo al fracaso, ya que a menudo se cometen equivocaciones cuando se cambian las cosas.
- (14) La práctica de los superiores de criticar siempre las equivocaciones de sus subordinados y no alabarlos jamás por sus éxitos.
- (15) Las actitudes de las personas ocupadas de las tareas administrativas, y en los puestos de trabajo y los sindicatos que carecen de comprensión, ya que éstos pueden ser los más anticuados de todos.

Éstos no son más que algunos de los muchos obstáculos que se interponen al deseo de realizar mejoras, y la mayoría de ellos son erigidos por las perso-

ñas. Para derribar estas barreras hace falta confianza en uno mismo, valor, espíritu de cooperación y un ardiente espíritu pionero y la motivación para realizar adelantos, junto con las tácticas, la estrategia y las técnicas correctas, y un esfuerzo incesante.

¡Los mayores obstáculos a los nuevos productos, los nuevos métodos y otras mejoras están dentro de su empresa! Si no se supera esta "quinta columna", el progreso es imposible.

4.2.3 Las condiciones básicas para mejorar

Para promover la mejora, nos hace falta lo contrario de los obstáculos explicados en la sección 4.2.2. Las condiciones básicas para mejorar son principalmente una cuestión de actitudes de las personas, e incluyen lo siguiente:

- (1) Los directivos tienen que ir a la cabeza y demostrar su deseo de mejorar. Tienen que comunicar la política básica (la política de la empresa, etc.) y los objetivos concretos, e imbuir en toda la empresa una atmósfera cargada de un celoso espíritu pionero y un anhelo de alcanzar mejoras y adelantos.
- (2) Tiene que ponerse a las personas adecuadas en los trabajos adecuados, y se tiene que delegar la responsabilidad ampliamente.
- (3) Las personas que ocupan puestos de autoridad tienen que ir a la cabeza en la marcha hacia la mejora, y buscar constantemente cosas y métodos mejores, y los superiores tienen que ser responsables de sus equivocaciones. También se tiene que eliminar la atmósfera de "al clavo que se sale se le tiene que dar con el martillo".
- (4) Se tienen que establecer sistemas para registrar activamente e investigar cuidadosamente las reclamaciones y los problemas de dentro y de fuera de la empresa, y se tiene que crear una atmósfera que fomente esto.
- (5) Las personas deben ser receptivas a los estímulos de fuera tales como la libre competencia, una recesión, la liberalización del comercio o de capitales, el nombramiento de directivos de fuera, las auditorías y asesorías de consultores, las reclamaciones de los clientes, o enseñar las cosas al *staff* o al personal de otros departamentos y conocer sus puntos de vista.
- (6) Se debe iniciar un sistema de sugerencias, fomentar la creatividad y el ingenio, revisar las normas internas y celebrar reuniones de imaginación creativa.
- (7) El personal debe ser reorganizado periódicamente y deben ser mejoradas las organizaciones.
- (8) Se deben aclarar los sistemas de recompensas y penalizaciones, especialmente los sistemas de recompensas.

- (9) Se debe dar a las personas la ocasión de experimentar el espíritu de cooperación y de trabajo en equipo.
- (10) Se debe proporcionar educación, especialmente a través de la formación en el modo de ver y en los métodos del CC.

En resumen, todos los empleados de su empresa o, si eso es imposible, por lo menos todas las personas de su propio lugar de trabajo, deben estar llenas de un espíritu luchador infatigable y una insatisfacción creativa con el *statu quo*. Tienen que ser dirigidos por un espíritu pionero que les mantenga yendo hacia adelante, presionando constantemente a sus superiores para que rompan los moldes. El desarrollo de nuevos productos, el control de los procesos y la mejora, todo depende de las personas. A menos que éstas cambien su forma de pensar y de sentir, no habrá ninguna mejora ni progresos continuos. Sin embargo, aunque las actitudes son importantes, las campañas motivadoras solas no son suficiente; no puede esperar ganar una batalla sin que haya una lucha. Por tanto, como se explica más abajo, se tienen que utilizar la tecnología y los métodos estadísticos adecuados para el análisis de los procesos para que se puedan poner en práctica las mejoras basadas científicamente en una comprensión exacta de los hechos.

4.2.4 Procedimientos de análisis y mejora de los procesos

Para poner en práctica las mejoras, tenemos que analizar los procesos, que son colecciones de causas asignables. Empecemos por enumerar los objetivos del análisis de los procesos (esto incluye el análisis de los métodos de trabajo así como de los procesos reales) para evitar confundir los fines con los medios, como se explicó en la sección 4.2.1. Desde un punto de vista general, los objetivos del análisis de procesos, en los que nos tenemos que centrar cuando analizamos los procesos, son como sigue:

- (1) Formular los planes empresariales.
- (2) Poner en práctica el diseño de la calidad.
- (3) Garantizar la calidad y la fiabilidad.
- (4) Mejorar los procesos.
- (5) Controlar los procesos (estabilización y optimización).

Repetamos el procedimiento para el análisis de procesos:

- (1) Llevar a cabo investigaciones para poner de manifiesto los problemas.
- (2) Decidir qué problemas acometer y establecer las metas; identificar la situación actual.

- (3) Decidir la estructura organizativa y asignar la responsabilidad de poner en práctica las mejoras.
- (4) Identificar la situación actual con detalle.
- (5) Investigar los métodos de mejora, i.e., planificar tácticas para conseguir adelantos (diagramas de causa y efecto, estudios de las capacidades de procesos, etc.).
- (6) Preparar borradores de planes y normas provisionales.
- (7) Llevar a cabo pruebas preliminares, comprobar los resultados, revisar las normas y poner en práctica el control.
- (8) Comprobar los resultados.
- (9) Impulsar las medidas para prevenir la reaparición de problemas, normalizar, hacer arreglos permanentes para evitar volver atrás.
- (10) Establecer el control.
- (11) Revisar los progresos realizados y considerar los problemas remanentes.
- (12) Hacer planes para el futuro.

En resumen, una mejora sólo puede considerarse completa cuando hayamos pasado de descubrir un problema a alcanzar la situación deseada, y esta situación haya seguido en un estado de control durante un periodo de tiempo apreciable -normalmente un año. No podemos relajarnos hasta que el control se haya mantenido por lo menos durante un año.

Según la situación, el tercer paso (establecer una organización para la mejora) puede ir antes o después de que se haya determinado el problema (ver la sección 4.5). Los pasos individuales se explican en la sección siguiente.

4.3 Investigaciones para descubrir los problemas

4.3.1 Ideas generales

Le ruego vea en las secciones 1.5.2 y 1.7.3 cómo descubrir los problemas y decidir cuáles acometer.

(1) Descubrir los problemas es deber de los directivos

Las personas que están en muchas empresas y puestos de trabajo no intentan pensar en o investigar los posibles problemas; en su lugar, van dando vueltas en círculos haciendo esto y lo otro en un intento de hacer frente a las roturas y accidentes imprevistos que aparecen diariamente. Característicamente, pasan el tiempo peleando por acomodar las exigencias de los aumentos de producción temporales o corriendo de un lado a otro tratando de hacer frente a las disminuciones de la producción, a las modificaciones de los planes y a las reclamaciones triviales.

Muchas personas que ocupan cargos de liderazgo han olvidado su verdadero trabajo que es delegar la autoridad, tener siempre el control y crearse tanto tiempo libre como sea posible durante el cual puedan reflexionar tranquila y profundamente, y decidir cuáles son los problemas mayores en sus propios dominios (y, desde un punto de vista más general, en su empresa como un todo) y qué debería hacerse en el futuro. Cuanto más alto sea su cargo, más tienen que pensar en el futuro. Yo creo que los directivos de departamento deberían estar pensando en lo que se debería estar haciendo por lo menos con dos o tres años de antelación.

La política se cambia con frecuencia cuando los directivos están mal de la cabeza y se engañan tomando los problemas pequeños por graves porque no tienen más que unos ligeros conocimientos de informaciones superficiales. Con este enfoque, son imposibles las soluciones drásticas de los problemas verdaderamente serios y las mejoras innovadoras. Las personas que ocupan cargos de *staff* y subordinados comparten de forma natural la responsabilidad de recoger y organizar la información pertinente, suministrarla a sus superiores y persuadirles de los cursos correctos de acción; y todos los empleados son responsables de buscar las áreas que necesitan mejorar, e informar de éstas a sus superiores. Al cabo del día, no obstante, es vital que los que tienen cargos de autoridad, desde el presidente de la empresa hasta el jefe de un grupo sean conscientes de los problemas constantemente.

Tanto si usted dice que su empresa no tiene ningún problema o que tiene muchos, ninguna de las dos afirmaciones distingue entre los problemas importantes y los que no lo son.

(2) Recogida de datos e información para poner de manifiesto los problemas

Es responsabilidad del *staff* de un directivo o de sus subordinados recoger los datos y la información necesarios para poner de manifiesto los problemas. Tal y como están las cosas, o no hay bastante de este tipo de datos o, aunque estos datos estén disponibles, se suprimen o amañan deliberadamente durante su camino, mientras que otros se pasan demasiado tarde o sólo después de que haya sucedido una crisis grave. No importa cuántas reglamentaciones excelentes sobre el manejo de las reclamaciones se hayan establecido o cuántas reclamaciones se hayan registrado por los departamentos de ventas, no son más que la punta del iceberg y, a menudo, se reciben demasiado tarde. Por supuesto, las reclamaciones latentes de los consumidores no se recogen, y la información sobre aquellas reclamaciones que se han registrado se distorsiona o se pierde conforme pasa de la tienda al mayorista y al representante de ventas. Debido al fuerte regionalismo, las sugerencias de las personas que realmente quieren dar sus opiniones no llegan a oídos de aquellos que necesitan oír las.

Las empresas o los departamentos a menudo dejan de detectar los problemas graves y de establecer políticas de prioridades porque los datos y la información que necesitan son inadecuados o inexistentes.

No hay forma de que se pueda poner en práctica el control de calidad o cualquier otro tipo de control sin tener los números y cantidades pertinentes (i.e., los hechos) al alcance de la mano -e.g., no se conoce el número de unidades defectuosas o de productos reprocesados en una fábrica, si los inventarios de las botellas, materias primas, etc., no cuadran, o si el número de productos producidos no está claro. Esta falta de información hace muy difícil determinar dónde residen los problemas. Para alcanzar el objetivo de identificar los problemas, tenemos que obtener una información exacta, aunque al principio sólo sea de muestras.

- (a) Excepto en casos especiales, la información que necesitamos consiste en los datos recogidos a lo largo de un periodo determinado de tiempo. No tenemos que tirarnos de los pelos, como hace la gente con frecuencia, por los números de la producción de cada día, de la fracción de unidades defectuosas, o del número de reclamaciones, etc. Los problemas aparecen en los datos procedentes de periodos de, por ejemplo, una semana, un mes, un periodo contable, o un año; los directivos de niveles medios deberían utilizar normalmente los datos de un periodo de tiempo más corto, mientras que los directivos de niveles superiores deberían utilizar los datos de periodos más largos. Si no se hace esto, acabarán por ir al retortero a causa de problemas repentinos e imprevistos o problemas de control, y se encontrarán a sí mismos corriendo de un lado a otro haciendo frente a trivialidades. Se tenderá entonces a pasar por alto los muchos problemas rentables.
- (b) Los datos utilizados para descubrir los problemas deben consistir principalmente en datos sobre las características y los resultados (calidad, volumen, coste, beneficios, etc.), no sobre las causas.
- (c) Tales datos deben, por supuesto, estar estratificados de forma que faciliten en análisis. Con un poco cada día es suficiente, pero es vital recoger los datos estratificados con el fin de poner de manifiesto los problemas. Los datos se analizan luego con herramientas tales como los diagramas de Pareto, las distribuciones de frecuencias, las hojas de comprobación, los gráficos y gráficos de control.

(3) Captar el *statu quo*

Para poner de manifiesto los problemas, tenemos que obtener una imagen clara de la situación actual. No tenemos que dejarnos engañar por datos o información no fiable; es vital echar una buena mirada al "lugar del crimen" re-

al y comprender bien el *statu quo*. A menudo la gente se equivocaba antiguamente por un exceso de compensación, porque corrían a tratar las causas sin comprender realmente el estado (i.e., los efectos).

(4) Uso de conocimientos puestos en común

También es una buena idea acumular propuestas para mejorar a través del uso de un sistema de sugerencias y procedimientos para ofrecer opiniones. Aunque la conveniencia de semejante sistema es obvia y debe promocionarse vigorosamente, también es útil ir más atrás, hasta el origen, y hacer que un gran número de personas definan los problemas y las dificultades con que se enfrentan. Para lograrlo, recomiendo que el sistema de sugerencias incluya las definiciones de problemas así como las propuestas para mejorar. Luego, deben organizarse los datos sobre estos problemas para su análisis en forma de diagramas de Pareto. Probablemente también sería conveniente celebrar sesiones de imaginación creativa para identificar los mayores problemas.

(5) Los problemas se deben identificar en términos económicos

Siempre que sea posible, los problemas se deben expresar en términos de su denominador común, el dinero. Las estimaciones aproximadas son aceptables pero los problemas deben identificarse realmente a través de la contabilidad y del control de costes, y el suministro de esta clase de información es el servicio más importante de las secciones contable y de control de costes de una empresa. Aun cuando el número total de unidades defectuosas sea pequeño, los defectos críticos constituyen a menudo una gran pérdida económica. Las hojas de control deben estar dispuestas de forma que sea fácil ver si los costes unitarios son demasiado elevados y qué factores tienen el mayor efecto sobre el rendimiento, la fracción de unidades defectuosas, los reprocesos, ajustes, índices de operación de maquinarias, etc.

(6) Localización de los problemas

Los problemas existen en los lugares en los que las personas se han resignado a la situación presente o están convencidas de que no hay nada mal. Existen dondequiera que haya pérdidas crónicas (ver la sección 4.3.3).

4.3.2 Cómo hacer la estratificación

Ni la mejora ni el control son posibles sin la estratificación. He hecho hincapié una y otra vez en que la estratificación es necesaria para el control, para detectar los problemas y para estudiar las medidas de mejora, y ahora me gustaría explicar los principios generales de cómo se hace la estratificación.

- (1) Cuando se recogen los datos, se deben estratificar con arreglo a las diferentes condiciones, causas, localizaciones o lotes que parezca que pueden dar lugar a unidades defectuosas, pérdidas y otros problemas. Por ejemplo, podríamos estratificar por el tipo de unidad defectuosa, el tipo de defecto, la materia prima, el día, turno, hora, grupo, persona, máquina, proceso, método operativo, tiempo atmosférico, instrumento de medida, calibre, herramienta o cualquier otro entre muchos factores. Los datos solos sobre el número global de defectos y reprocesos no son extremadamente útiles. Debemos recoger los datos utilizando hojas de comprobación o métodos similares, y estratificarlos todo cuanto sea posible.
- (2) Las piezas, los productos, contenedores, etc., deben identificarse con números, tarjetas, notas, colores o símbolos para mantenerlos separados, y los materiales y los productos deben pasar por el proceso en lotes o cajas separados.
- (3) Todo el mundo debe tener cuidado en mantener separados a los lotes, disponer de métodos adecuados para trasladar los materiales por la fábrica y designar buenos trazados y sistemas para almacenar los productos.
- (4) Las unidades defectuosas, los reprocesos, desechos, etc., deben ser clasificados en cajas separadas según la naturaleza o la causa de la unidad defectuosa o del defecto. Luego, un especialista debe dar vueltas de vez en cuando para comprobar estas cajas y tomar anotaciones.
- (5) Se debe establecer un buen sistema de notas.
- (6) Debe realizarse la inspección analítica (ver la sección 6.8).

Son posibles otras muchas ideas, pero mientras todas las personas afectadas (incluyendo a los que están en planta) sean conscientes de la importancia de la estratificación, y si se tiene un poco de cuidado con el sistema de notas, la segregación de los lotes, el método de transporte, etc., la estratificación puede lograrse con relativa facilidad.

4.3.3 Gráficos

Algunas características útiles de los gráficos son que indican claramente los cambios con el tiempo, nos permiten comprender las cosas intuitivamente con más facilidad que lo hace un montón de números, y hacen más fácil la localización de cambios anómalos. Los gráficos de control son aún más fáciles de comprender. Sin embargo, se recomienda a los principiantes que se acostumbren a utilizar los gráficos. Si es posible, se deben indicar los límites de control, y los puntos fuera de control se deben marcar con un círculo rojo que indica la necesidad de tener cuidado. Los gráficos se pueden interpretar de muchas maneras, y la Figura 4.1 muestra algunas formas típicas en que se dan las unidades defectuosas.

La Figura 4.1 (a) muestra que las unidades defectuosas aumentaron mucho, y empezaron en un día determinado. En casos como éste, la causa se encuentra enseguida mirando atentamente para ver si tuvo lugar algún cambio alrededor del momento del aumento.

La Figura 4.1 (b) muestra una periodicidad. Las unidades defectuosas a menudo aumentan así los lunes, los sábados, los días de paga o el día después.

La Figura 4.1(c) muestra que las unidades defectuosas aumentan esporádicamente e inesperadamente. Semejante situación se confunde a menudo como si fuera indicativa de un problema grande, pero este tipo de problema a menudo está relacionado con el control y se puede resolver instituyendo un control más estricto.

En la Figura 4.1(d) la fracción de unidades defectuosas está entre un cinco y un nueve por cien todos los días y parece ser más o menos estable. Las unidades defectuosas de este tipo se llaman "unidades defectuosas crónicas" y, como son crónicas, las personas se resignan a ellas a menudo por considerarlas naturales e inevitables. Sin embargo, tales unidades defectuosas frecuentemente ocultan problemas graves. Sería una buena idea expresar las cosas en términos económicos y hacer algunos cálculos de prueba para ver cuántos beneficios podrían obtenerse si la fracción de unidades defectuosas diarias media, p , se redujera del 7,4 % al 3 % o menos (o incluso si la p del 4 % de la Figura 4.1(c) se redujera al 2 %).

Las formas anteriores de interpretar los gráficos también son aplicables a los gráficos de control.

4.3.4 Poner de manifiesto las unidades defectuosas ocultas y las reclamaciones latentes (ver las secciones 1.4.4 a 1.4.5 y la Figura 4.2)

Lo que una empresa llama "unidades defectuosas" antes de empezar el control de calidad no es más que la punta del iceberg. En otras palabras, tiene más de diez veces de unidades defectuosas y de problemas de los que cree tener. Cuando una empresa empieza gradualmente a descubrir unidades defectuosas y reclamaciones, aparecen en rápida sucesión más unidades defectuosas ocultas y problemas previamente desapercibidos. Los supervisores y directivos que no piensan que los reprocesos, los ajustes y las insatisfacciones menores constituyen unidades defectuosas o reclamaciones no merecen en absoluto sus títulos. Está bien empezar por acometer las unidades defectuosas actuales -i.e., las que han aparecido en la superficie-, pero, cuando el CC se ha sumergido en cierto grado, tenemos que volver nuestra atención a descubrir y atacar las unidades defectuosas ocultas y las reclamaciones latentes. Si las unidades defectuosas actuales y las reclamaciones se acometen con interés, las unidades defectuosas y las reclamaciones ocultas automáticamente saldrán a la luz.

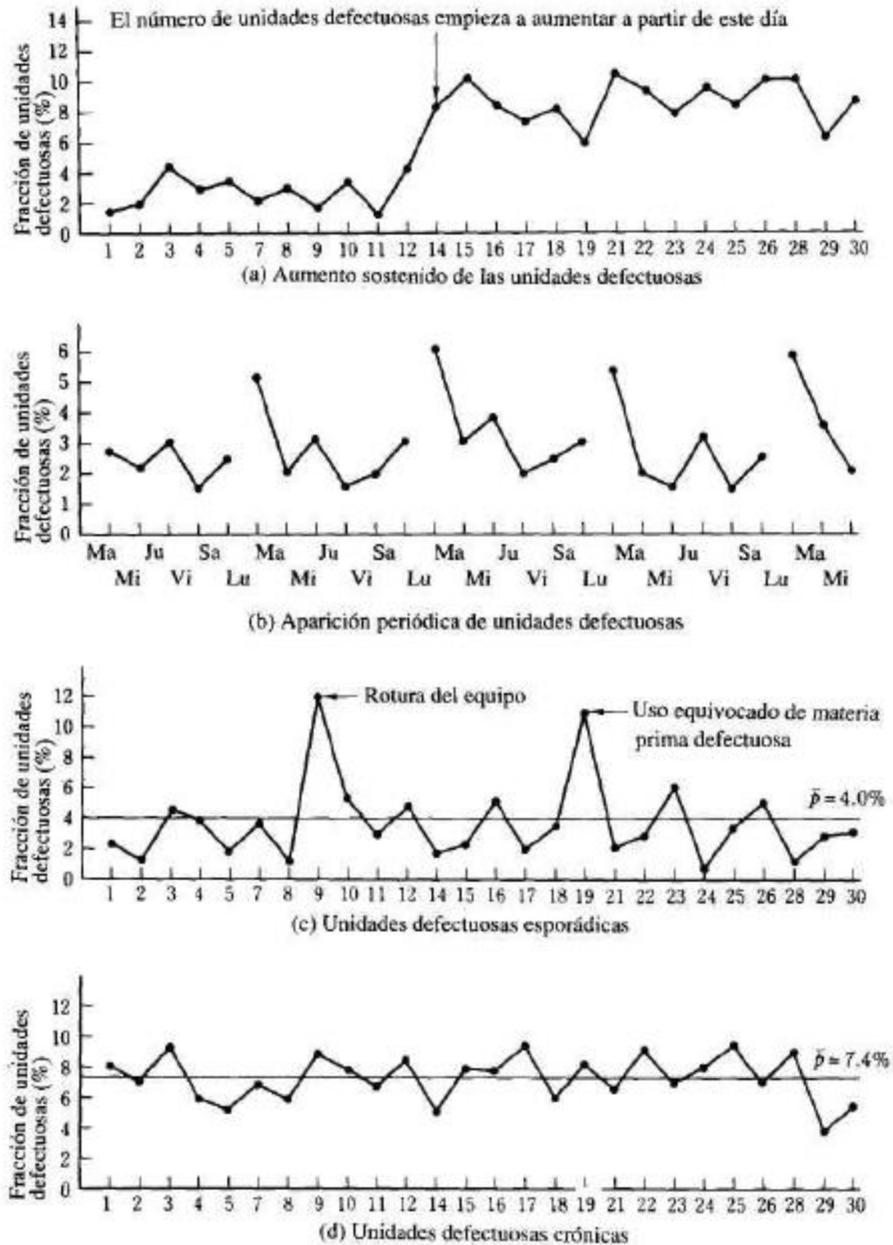


Figura 4.1: Gráficos que muestran la aparición de unidades defectuosas

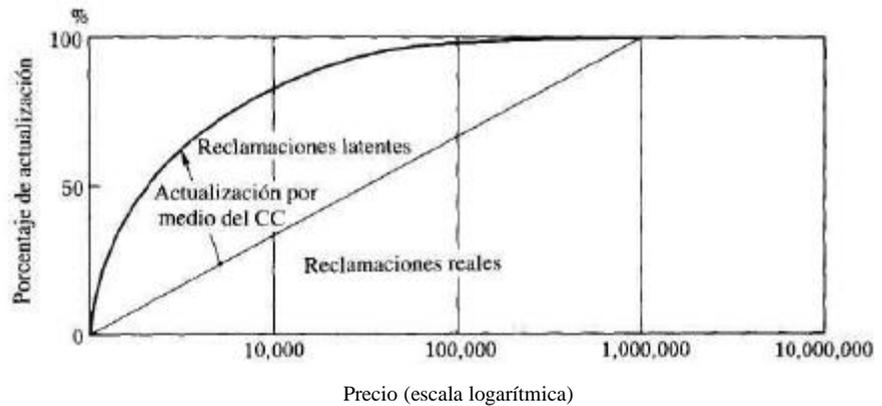


Figura 4.2: Actualización de las reclamaciones latentes

Por ejemplo, ¿su empresa clasifica los reprocesos como un tipo de unidades defectuosas, y considera usted que el trabajo de ajustes es una pérdida de horas-hombre? ¿Calcula usted el verdadero porcentaje de paso directo? ¿Está usted alcanzando realmente los rendimientos estándar, las cantidades estándar de materiales, mano de obra y potencia mecánica requeridos para la producción de una unidad de producto, las horas-hombre estándar y las tasas de operación estándar? ¿Son estos estándares suficientemente altos? Si usted está de acuerdo con estas líneas, usted encontrará unidades defectuosas ocultas y reclamaciones latentes en áreas que había aceptado anteriormente.

Cuando usted empieza a buscar problemas de este modo, lloverán tantos que puede agobiarse. Seguro que alguien le reducirá su trabajo, pero una vez empiece a desear acometerlos, yo diría que usted comprende bastante bien el CC.

4.4 Decidir qué problemas acometer

Si supiéramos cuál es un problema particular y cuáles son nuestros objetivos, el problema ya estaría medio resuelto; y viceversa, es imposible resolver un problema a menos que comprendamos su significado y conozcamos nuestros objetivos.

Más abajo se dan algunas cuestiones que se deben tener presentes cuando se decide qué problemas acometer (ver la sección 1.5.2).

- (1) ¿A quién se debe permitir que tenga voz en la selección de los problemas que se han de acometer? Es importante que esto se discuta en el comité de CC o en las reuniones de los círculos de CC. El secreto no es bueno.

- (2) La decisión final debe estar de acuerdo con la política de dirección. Todas las personas que ocupen cargos de responsabilidad deben tener esta política.
- (3) Las decisiones deben ser el resultado de un argumento razonado basado en hechos y datos duros. Uno tiene que tener una comprensión sólida del *statu quo*.
- (4) La política debe decidirse desde una perspectiva amplia y general. Uno tiene que pensar en el futuro y considerar cómo se engrana la política con los planes a largo plazo.
- (5) Es importante pensar concreta y cuantitativamente, no en abstracto.
- (6) Uno siempre debe pensar en hacer estallar el *statu quo*.
- (7) El punto de mira está en los objetivos, no en los métodos (ver la Tabla 1.3).
- (8) Las políticas deben ser coherentes.
- (9) Uno tiene que estar orientado hacia los objetivos, no a la organización.
- (10) Los problemas crónicos son problemas graves.
- (11) El principio de Pareto siempre es importante: no malgaste el tiempo quejándose de fruslerías.
- (12) Es infructuoso preocuparse demasiado sobre lo que podría o no podría suceder. Se dice que un producto en desarrollo es prematuro si el diez por cien de la empresa está a su favor, y que ha perdido el tren si el cincuenta por cien lo apoya. Si la probabilidad de éxito es del cincuenta por cien, aventúrese. Los superiores deben alabar los éxitos de sus subordinados y hacerse responsables de sus equivocaciones. Las personas no se entusiasman cuando se dan por supuestos sus éxitos y se critican sus equivocaciones.
- (13) Una orientación prioritaria permitirá que el número de problemas prioritarios se mantenga en un mínimo.
- (14) En principio, los problemas que se han de acometer no se deben decidir desde abajo sino de acuerdo con la política de arriba. Sin embargo, puesto que los superiores pueden no tener todos los hechos, los subordinados deben orientarlos en el sentido correcto utilizando hechos y datos.
- (15) Una vez se haya tomado una decisión, se debe poner por escrito y darla a conocer a todos los empleados. Todos los empleados deben ser igualmente conscientes y estar informados de la decisión, y se debe conseguir un consenso de opinión.
- (16) Al igual que se establece la calidad, la cantidad y las metas para los costes, uno tiene que establecer metas para las fechas y fechas tope.
- (17) Uno tiene que decidir qué constituirá una mejora y cómo se evaluará; i.e., establecer metas y decidir los métodos de evaluación y medida. Esto será el resultado de los puntos 5 y 7 anteriores.
- (18) Uno nunca debe preocuparse de perder o salvar las apariencias.

La elección de los problemas prioritarios tiene que ser aprobada por la alta dirección y ser registrada oficialmente. Luego tiene que tratarse el control de los progresos realizados haciendo que las personas envíen informes escritos regularmente, celebrando sesiones informativas, etc. Además de acometer estos problemas prioritarios, cada departamento debe, claro está, y si el tiempo lo permite, identificar independientemente los problemas importantes en su propia parcela y promover una mejora firme a través de actividades tales como los círculos de CC, empezando por los problemas que pueda manejar solo.

Si el CC todavía no está bien establecido o si se encuentran dificultades en salir adelante, se debe seleccionar y analizar un proceso conveniente y que todos vean los buenos resultados logrados. En este tipo de situación, es mejor elegir uno de los siguientes tipos de procesos:

- (1) Un proceso pasado por alto por los directivos medios entusiastas.
- (2) Un proceso del cual sea comparativamente fácil recoger datos.
- (3) Un proceso en el cual la historia de los lotes o de los datos ya esté bastante clara o se aclare con facilidad.
- (4) Un proceso plagado de más problemas que cualquier otro de la fábrica, o un proceso que previamente no se haya pensado que pueda dar o tener ningún problema.
- (5) Un proceso que los gráficos de control indiquen que está fuera de control.

Finalmente, sin embargo, todo el trabajo tiene que analizarse, tienen que realizarse pruebas, y crear normas o revisarlas hasta que todas las operaciones puedan ser controladas por medio de gráficos de control y otras herramientas estadísticas. Este proceso de análisis y mejora tiene luego que ser continuado durante todo el tiempo que sobreviva la empresa.

4.5 Organización para el análisis y mejora de los procesos

Mandar sin más a las personas que mejoren la calidad o que vendan más no es suficiente; las cosas no mejorarán sólo a través de la fuerza de voluntad. Cuando la mejora sólo depende de la motivación, llega el momento en que flaquea el entusiasmo. Además de decir a su gente lo que quieren hacer -Le., darles las políticas y los objetivos- los altos directivos son responsables de crear unas condiciones que hagan alcanzables estos objetivos. Una organización semejante se establece a veces antes de que se haya iniciado una investigación para descubrir los problemas y, a veces, después de que hayan sido determinados éstos. Lo primero es cierto generalmente si el trabajo se ha de realizar a través de la organización vigente o a través de las actividades de los círculos de CC.

Desde el punto de vista organizativo, el análisis de los procesos y la mejora puede llevarse a cabo de las formas siguientes:

- (1) Formando parte del trabajo rutinario de la organización vigente.
- (2) A través de las actividades de los círculos de CC.
- (3) Por equipos de CC (i.e., equipos de trabajo o de proyectos).
- (4) Bajo el sistema del técnico de proyectos o del director de proyectos.

Un sistema de comités también es una posibilidad, pero no se recomienda, ya que usualmente desdibuja la responsabilidad y la autoridad y retrasa las acciones.

Cualquiera que sea el sistema utilizado, la experiencia de resolver un problema y tomar el control, el recuerdo de cómo se resolvió el problema y el sabor de la victoria son importantísimos. Las personas se desarrollan de manera firme cuando acumulan tales experiencias. Los círculos de CC y los equipos de CC aprenden gradualmente a resolver problemas cada vez más difíciles, y sus líderes son los que más crecen.

4.5.1 Análisis y mejora de los procesos a través de la organización permanente

Si un problema concierne solamente a un departamento concreto, puede ser resuelto por la organización permanente como parte de su trabajo cotidiano. Sin embargo, los problemas que pueden ser resueltos por un solo departamento no suelen ser muy graves.

La organización permanente también se utiliza cuando las políticas y los objetivos para reducir los defectos, los costes, etc., se desglosan y reparten entre diferentes departamentos en forma de plan empresarial. Por ejemplo, si se planificara una reducción de los costes del treinta por cien, podrían utilizarse los diagramas de Pareto para desglosar los objetivos, y la empresa o la planta como un todo establecería objetivos para cada departamento. La responsabilidad de la reducción de costes podría dividirse para dar, por ejemplo, un quince por cien al departamento de planificación y un cinco por cien a cada uno de los departamentos de compras, ventas y fabricación, y el análisis y la mejora serían puestos en práctica por la organización permanente de cada departamento. Cuando se hace esto, el director de cada departamento es el responsable y desglosará más los objetivos y los asignará a las secciones y subsecciones bajo su control.

Sin embargo, incluso con semejante disposición, si surge un problema que implica a otro departamento, los directores de departamento y de sección son responsables de establecer buenas líneas de comunicación que permitan que

siga adelante el trabajo. Como a menudo el regionalismo es fuerte y la comunicación horizontal es deficiente, los jefes de departamento tienen que reorientarse psicológicamente hacia esta tarea y dedicarle un esfuerzo especial. Cuando un problema concierne de cerca a más de un departamento o cuando el regionalismo es especialmente dominante, el trabajo debe ser acometido bien haciendo uso de comités funcionales o creando equipos de CC.

4.5.2 Análisis y mejora de los procesos a través de las actividades de los círculos de CC

Como las mejoras puestas en práctica a través de las actividades de los círculos de CC (ver la sección 1.10) tienen que ver generalmente con problemas bastante inmediatos de departamentos individuales o de puestos de trabajo, los líderes de los círculos son, usualmente, el punto de contacto entre la dirección y los trabajadores. Sin embargo, puesto que en las actividades de los círculos de CC se hace hincapié en la independencia, es mejor que los directivos no les den instrucciones demasiado detalladas. Los círculos de CC detectan los problemas y realizan el análisis y el control independiente y voluntariamente, bajo las directrices de la política de arriba. Sin embargo, si un departamento quiere, por ejemplo, reducir su fracción de unidades defectuosas en un dos por cien o aumentar su porcentaje de paso directo en un cinco por cien, esto se puede insinuar a los círculos de CC y se les puede pedir que lo acometan como si fuera su problema. Cuando se hace esto, a cada círculo se le debe permitir, claro está, que establezca sus propios objetivos en términos de qué tipos de unidades defectuosas o reprocesos reducir después de recoger los datos y analizar la situación.

Los directivos asisten a las reuniones de los círculos de CC como observadores, reciben los informes de las actividades de los círculos de CC, apoyan las actividades de los mismos y verifican su trabajo. Si durante las actividades de los círculos de CC surge un problema que afecta a otro departamento, la dirección puede ponerse en contacto con éste o, si los círculos tienen experiencia y son capaces, se pueden establecer círculos conjuntos entre los departamentos para darles la oportunidad de trabajar juntos en la resolución del problema.

Cualquiera que sea el método adoptado, la responsabilidad de fomentar y promover las actividades de mejora de los círculos de CC siempre reside en la dirección (i.e., directores de fábrica, sucursal, departamento, sección y subsección).

4.5.3 Actividades de los equipos de CC

Las actividades de los equipos de CC son similares a las de los círculos de CC en que ambas son llevadas a cabo por grupos pequeños, pero son intrínsecamente diferentes y tienen que ser consideradas separadamente. A menudo se agrupan en actividades de grupos pequeños, pero se dirigen, controlan y evalúan de formas completamente diferentes (ver la Tabla 4.1).

Un círculo de CC es un pequeño grupo de personas de un puesto de trabajo que continúa sus actividades mientras exista el puesto de trabajo. Un equipo de CC, por otra parte, es un tipo de equipo de proyectos constituido por personas de diferentes departamentos que hace falta para realizar análisis, mejoras y actividades de control sobre un proyecto determinado. Es un grupo temporal que se disgrega una vez se ha resuelto el problema. Un equipo de CC, al que también se le puede dar el nombre de "fuerza de trabajo" es, por tanto, un grupo pequeño constituido por personas de diferentes puestos de trabajo, creado para acometer un objetivo determinado. Si el proyecto es importante, se hace uso del sistema del "técnico a cargo" o del "director a cargo".

Por ejemplo, si el problema es un tipo concreto de unidad defectuosa, puede formarse un equipo de CC de tres personas: una a cargo del puesto de trabajo directamente afectado (alguien como un supervisor que conoce íntimamente el puesto de trabajo y es responsable del control); alguien responsable de la ingeniería y el diseño del producto (no un director de departamento o de sección sino la persona realmente responsable); y un miembro del *staff de CC*. Según el problema, claro que es aceptable que haya cuatro o más personas en el grupo, pero debido a la naturaleza de las actividades del grupo, cuantos menos miembros, mejor.

A continuación hay algunas sugerencias para dirigir los equipos de CC:

(1) Selección de temas y objetivos de los proyectos:

El tema y el objetivo de un proyecto se deciden a menudo como política de la empresa, la fábrica u otra unidad organizativa, y luego se forma oficialmente un equipo. Esto es distinto de las actividades de los círculos de CC. Naturalmente, a veces se decide un equipo o proyecto como resultado de una sugerencia de abajo.

(2) Selección de los miembros del equipo:

Se nombra un pequeño número (de tres a siete) de personas como unos supervisores de línea jóvenes, expertos técnicos y especialistas de CC que estén bien versados en el tema a acometer. Según el ámbito del proyecto, normalmente el jefe del equipo debe tener una categoría inferior al director de sección y, a ser posible, debe ser un encargado o un supervisor. Los superiores de los miembros del equipo deben aligerar su carga de trabajo diaria o, de ser posible, asignarlos exclusivamente al equipo.

Tabla 4.1: Diferencias entre las actividades de los círculos de CC y las de los equipos de CC

	Círculo de CC	Equipos de CC
1. Fin	Depende de la filosofía básica de las actividades de los círculos de CC	Resolución de problemas y control
2. Características	Estilo de abajo a arriba, espíritu básico de los principios de los círculos de CC	Estilo de arriba a abajo, gestión del tipo para proyectos
3. Temas que tratan	Problemas de los puestos de trabajo, seleccionados automáticamente con asesoramiento de los superiores	Fundamentalmente dirigidos por superiores en línea con la gestión de la política
4. Miembros	Diez o menos (de tres a siete) del mismo puesto de trabajo	Veinte o más, de tres a siete miembros diferentes de distintos puestos de trabajo cambian con el tema
5. Formación	Voluntaria, con asesoramiento de los superiores	Como digan los superiores
6. Periodo de actividad Continuo		El equipo se disgrega al concluir el tema (mejora y control); si es posible, continúa un año o más después de establecido el control
7. Relación con los superiores	relación (principalmente asesora)	Relación íntima (instrucción y delegación de autoridad)
8. Evaluación	Trabajo en equipo, cooperación, división de responsabilidades, ingenio, uso de métodos estadísticos, resultados, número de reuniones y tasa de asistencia, número de problemas resueltos anualmente	Beneficio, estado de control subsiguiente

(3) Dirigir el equipo:

Es importante delegar toda la autoridad en los miembros del equipo. Esto significa que a todos los miembros se les debe dar autoridad para actuar sin obtener el permiso de sus superiores, y el trabajo se debe dejar en sus manos. Los equipos de CC se forman para eliminar el regionalismo y resolver problemas rápidamente, y no harían muchos progresos si sus miembros tuvieran que obtener la aprobación de sus superiores para todo lo que hicieran. Algunos directivos medios anticuados se oponen a las actividades de los equipos porque trastornan la organización permanente, pero o bien son personas mezquinas que están más preocupadas de conservar su propio poder que de lo bien que vaya el trabajo, o bien son demasiado vanidosas. En cualquier caso, si el director de un departamento o sección se niega a dejarse convencer, se puede crear un equipo director constituido por personas del nivel de directores de departamento para que vigile el equipo de CC.

(4) Deberes del equipo:

El trabajo del equipo no está terminado hasta que el problema haya sido resuelto, se haya establecido un sistema de control y el proceso pertinente

esté en un estado de control estable y pueda ser mantenido en ese estado. No se puede decir que un problema esté resuelto si sólo se ha resuelto temporalmente y las cosas revierten rápidamente a su condición original. Puesto que en muchos lugares hay normalmente variaciones mensuales y de temporada, decimos que un equipo debe permanecer activo por lo menos durante un año. Al principio, claro que el equipo debería reunirse a intervalos frecuentes, digamos, una vez a la semana; luego, cuando las cosas se hayan calmado en cierto grado, podría reunirse aproximadamente una vez al mes para comprobar los resultados, el estado de control del proceso, etc. Los miembros del equipo son responsables del proyecto pero, si es necesario, pueden conectar con los círculos de CC en el puesto de trabajo y ponerlos a cargo de parte del trabajo.

(5) Evaluación:

Una vez al mes u otros intervalos de tiempo determinados, debe evaluarse el estado de las mejoras y del control, y redactarlo en un informe que estudiará el comité de dirección o el comité de CCT. Los directivos deben asistir de vez en cuando a las reuniones para oír los informes y comprobar los resultados.

(6) Debe hacerse un uso especialmente amplio de los equipos de CC durante la introducción inicial y la promoción del CC. Deben realizar análisis y mejoras en forma de proyectos específicos, crear sistemas que permitan que se ponga en práctica el control por medio de los gráficos de control, y construir una organización de control suministrando a cada lugar de trabajo un sucesión de gráficos de control utilizables uno a uno.

(7) Cuando el problema concierne a los proveedores o los clientes, alguien que esté a cargo del CC debe actuar de intermediario para ayudar a ambos a crear equipos de CC.

4.5.4 Sistemas del técnico responsable y del director responsable

El sistema del técnico responsable consiste en nombrar a un técnico con dedicación exclusiva para que maneje un proyecto particular y darle autoridad para que forme una fuerza de trabajo con las personas necesarias. En este enfoque, el trabajo se realiza desde el principio hasta el final, bajo la responsabilidad y la autoridad de una persona. Se utiliza este sistema para hacer frente a proyectos relativamente grandes, tales como el desarrollo de un nuevo producto o una nueva tecnología, o la construcción de una nueva planta. El técnico designado está, por lo menos, a la altura de un director de departamento o de sección y, según la situación, podría ser el director de la empresa. En el desarrollo de un nuevo producto, por ejemplo, el técnico responsable podría em-

pezar con una fuerza de trabajo de cinco diseñadores, dos investigadores, un ingeniero de producción y un miembro del *staff* de CC, y reducir el número de diseñadores a tres y añadir dos ingenieros de producción más, un contable, alguna persona de ventas, alguna relacionada con las subcontrataciones, etc., conforme avanza el trabajo. Este sistema funciona como un equipo de CC, ya que el técnico responsable y las personas que nombra se separan de su trabajo departamental original y de otras obligaciones.

4.6 Análisis de los problemas y preparación de los planes de mejora

4.6.1 Actitud básica de ataque

Un buen control no se consigue solamente preparando un montón de normas operativas, reglamentaciones, etc., y representando un montón de gráficos de control. Tenemos que analizar detenidamente los datos presentes y pasados, comprender correctamente las condiciones de trabajo y de los procesos, y obtener información técnica real de los procesos. Sin un análisis detenido, son imposibles la mejora y la normalización, y seremos incapaces de alcanzar un buen control o de preparar gráficos de control utilizables para el control.

(1) Datos

Los siguientes tipos de datos se utilizan para el análisis de problemas y de procesos:

- (i) Datos rutinarios del pasado recogidos con los métodos existentes,
- (ii) Datos rutinarios recogidos especialmente para un análisis fácil, e.g., datos estratificados o datos que se corresponden con otros factores,
- (iii) Datos recientes recogidos con experimentos especialmente diseñados.

Los tipos (i) y (ii) consisten principalmente en datos tomados bajo las condiciones operativas y de trabajo existentes, mientras que el tipo (iii) consiste mayormente en datos obtenidos cuando se trata de trabajar bajo condiciones nuevas. Puesto que el primer tipo de datos contiene usualmente mucha información, es mejor empezar por analizar detenidamente este tipo antes de pasar a los tipos (ii) y (iii). Sin embargo, cuando el primer tipo de datos procede de lugares en que no son conscientes del CC, pueden ser difíciles de analizar porque a menudo en tales lugares no estratifican o recogen los datos que se corresponden; en otras palabras, no está claro la historia de los datos. En tales casos, se tiene que obtener el segundo tipo de datos. Usualmente, es mejor pa-

sar al tercer tipo cuando se haya completado el análisis de los dos primeros tipos.

Este libro da una explicación sencilla del análisis de los datos de los tipos (1) y (ii). La recogida y análisis del tercer tipo de datos deben estudiarse en trabajos especializados sobre el diseño de experimentos.¹

(2) Identificar el *statu quo*, las condiciones actuales y las capacidades de los procesos

Las personas que tratan de hacer mejoras y reducir las unidades defectuosas y que piensan como si fueran técnicos anticuados tienen tendencia a correr tras las causas y decir cosas como, "¿Cuál es la causa de esto? ... Cambie esto y vea qué pasa". Es posible tener éxito por casualidad al actuar así, pero es más probable que acaben cazando sus propias colas. Cuando se utiliza en enfoque del CC, debemos empezar por preparar los diagramas de causa y efecto y los gráficos de control de procesos de CC, luego observar e investigar el lugar cuidadosamente, estratificar los datos pertinentes de las características o los resultados según diversas causas, obtener una comprensión general de cómo se manifiestan a sí mismos los cambios, elaborar un cuadro general de la capacidad del proceso en su sentido amplio e identificar el índice de la capacidad del proceso (ver la sección 4.6.7). Al mismo tiempo, debemos investigar la variación debida al proceso ($\int p^2$), al muestreo ($\int s^2$) y a las medidas ($\int M^2$), tal como se explicó en la sección 4A.9.

Este enfoque básico es tan importante que jamás se hará demasiado hincapié en él. Si comprendemos los hechos sobre el objetivo o el resultado al que apuntamos, las medidas neutralizadoras adecuadas se harán obvias automáticamente. Por ejemplo, si descubrimos que los clientes están insatisfechos con una característica particular de un producto o servicio, a menudo el problema podrá ser resuelto instantáneamente.

(3) Avances y tácticas para lograrlos

Tanto si se trata de lograr mejoras para toda la organización o individualmente, todas las personas afectadas jamás deben conformarse con la forma en que estén las cosas en ese momento. Tenemos que trabajar juntos, adoptar una visión a largo plazo y pensar en las formas de romper con el *statu quo*. Las empresas tienden al regionalismo y a mantener el *statu quo*. Una de las actitudes fundamentales necesarias para mejorar es acometer los problemas con

1

Por ejemplo, Ishikawa et al.: *Shoto Jikken Keikakuho Tekisuto* (Libro de Texto Elemental sobre el Diseño de Experimentos), JUSE Press.

perseverancia, aplastar el regionalismo y romper la camisa de fuerza de la situación existente.

Los mayores obstáculos para la mejora y las maneras nuevas de hacer las cosas están dentro de nuestras propias empresas y grupos. La mejora será imposible si se ignoran los factores humanos. Tenemos que idear formas de ganar y atraer al proceso de planificación a los que están más alto en la organización, a aquellos que no están de acuerdo, y a los que tienen actitudes negativas.

(4) Evitar que vuelvan a repetirse los problemas y eliminar las causas básicas

Es inútil suprimir los síntomas solamente; uno tiene que concentrarse en las clases de mejoras que eliminan las causas, especialmente las básicas (ver la sección 5.3.4).

4.6.2 Puntos que se han de especificar en los planes de mejora; normalización y métodos de control

Tenemos que fijar los procesos en el estado deseado de control por medio de la realización de varios análisis y la preparación y ensayo de planes de mejora. Para conseguir algún beneficio, los planes de mejora tienen que especificar, por tanto, qué normas hay que preparar o revisar, y se tienen que formular métodos de control, empezando por el gráfico del proceso de CC. Esto significa que se tienen que decidir los siguientes puntos:

- (i) Normas para los métodos de medida, normas para el control de las medidas.
- (ii) Normas para los métodos de muestreo.
- (iii) Normas de calidad, niveles de control, normas de inspección, métodos de garantía de calidad, etc.
- (iv) Capacidades de los procesos.
- (v) Normas operativas, normas técnicas.
- (vi) Normas para el control de los equipos, normas para las materias primas, otros tipos de normas,
- (vii) Normas para el uso de los gráficos de control, normas para el control de los procesos.
- (viii) Asuntos a estudiar por los departamentos técnico, de investigación y otros pertinentes.
- (ix) Delegación de la responsabilidad y la autoridad. Estos elementos afectan principalmente a la normalización y a los métodos de control.

Siempre hay que tener presentes estos objetivos cuando se realiza el análisis; el analizar sin más los datos de forma aleatoria, sin un objetivo definido, no es más que jugar con números y es una pérdida total de tiempo.

4.7 Examen del análisis de los procesos y los métodos de mejora

Los diversos métodos para analizar un problema una vez ha sido identificado se pueden clasificar como sigue:

- (i) Análisis y mejora por medio del uso de la tecnología patentada (ver la sección 4.7.1).
- (ii) Análisis y mejora por medio del uso de los conocimientos puestos en común (ver la sección 4.7.2).
- (iii) Análisis y mejora por medio del uso simultáneo de métodos estadísticos (ver la sección 4.7.6).

4.7.1 Análisis y mejora por medio del uso de la tecnología patentada

Cuando surge un problema, probablemente poseamos conocimientos pertinentes nacidos de la larga experiencia, diversas teorías o tecnología patentada que nos permita analizar lógicamente el problema. Este saber práctico es valiosísimo; sin las teorías y la tecnología patentada no se pueden resolver los problemas.

Sin embargo, la aplicación incorrecta de la teoría y la tecnología patentada puede ocasionar equivocaciones graves y constituir un impedimento a la racionalización. Ahora me gustaría explicar algunos problemas que pueden surgir con la experiencia, la teoría y la tecnología patentada.

- (1) Los técnicos especializados en una tecnología determinada, especialmente los que poseen experiencia o que son autoridades en su campo, a menudo están excesivamente seguros de sí mismos y, por tanto, son extremadamente testarudos y no están dispuestos a escuchar las opiniones y los consejos de los demás. Puesto que no saben que un técnico que ignora los métodos estadísticos es sólo medio técnico, les resulta difícil aceptar el CC y los métodos estadísticos.
- (2) El que las cosas salgan con arreglo a la teoría o no es una cuestión eterna. También se dice a menudo que los experimentos se realizan para confirmar las teorías que a su vez emergen de los resultados de los experimen-

tos. Hablando en general, los experimentos serían innecesarios si todo saliera con arreglo a la teoría. Sin embargo, puesto que las teorías contienen usualmente ciertas suposiciones y condiciones previas, y también hay presentes varios errores y omisiones, se deben recoger datos y analizarlos, y se deben realizar experimentos para ver cómo funcionan realmente las cosas en la práctica. Igualmente, no siempre se producen cosas buenas aunque se hagan de acuerdo con los planos del diseño, cuando esos diseños están basados únicamente en la teoría y en la experiencia del pasado. En otras palabras, la teoría se tiene que tomar en consideración, pero también se tienen que realizar los análisis pertinentes para la confirmación. En la práctica, las causas asignables no presentes teóricamente y no estudiadas en la universidad ejercen a menudo una tremenda influencia.

- (3) La experiencia del pasado conduce a menudo a una fe ciega; por ejemplo, si en un proceso determinado, el rendimiento y la fracción de unidades defectuosas se deterioran después de un cierto tiempo, pero vuelven a sus valores originales cuando alguien sube la temperatura, las personas tenderán a sacar la conclusión de que siempre es bueno subir la temperatura (olvidando que en otra ocasión diferente el rendimiento no mejoró lo más mínimo cuando se subió la temperatura). Es humano recordar lo bueno y olvidar lo malo. En estadística, el efecto ilustrado por este ejemplo se llama "interacción".

En el ejemplo anterior, aunque mejoraron el rendimiento y la fracción de unidades defectuosas cuando se subió la temperatura, la causa real fue la operación del trabajador. La temperatura se subió justo cuando hubo un cambio de turno, y cambiaron los trabajadores, que fue realmente por lo que mejoró la situación. Esto condujo a la conclusión equivocada de que subir la temperatura era lo correcto. En estadística, a esto se le llama "confundir las causas". A menudo se pasa por alto la posibilidad de que haya interacciones y confusiones.

- (4) Los que viven exclusivamente de la tecnología patentada están siempre demasiado atados a lo que sucedió en el pasado.
- (5) Al mismo tiempo que discuten la teoría, la experiencia y la tecnología patentada, a menudo las personas están sorprendentemente confundidas. Esto se hace patente cuando se les hace que dibujen los diagramas de causa y efecto.
- (6) Cuando las personas no son sensibles a la dispersión, se preocupan y empiezan a saltar arriba y abajo por cada pequeño cambio en el rendimiento o la fracción de unidades defectuosas.
- (7) Algunas personas son incapaces de cooperar con otras.

Los puntos anteriores se refieren al mal uso o al uso torpe de la teoría, la tecnología patentada y la experiencia, pero la tecnología patentada es esencial para mejorar. Para usarla correctamente, tenemos que recordar los puntos siguientes:

- (1) Como he dicho una y otra vez, es vital identificar los problemas prioritarios sobre los que todo el mundo tiene que pensar seriamente y adquirir una comprensión firme de los hechos.
- (2) Se tienen que idear formas buenas de utilizar la experiencia, la tecnología patentada, a los trabajadores veteranos y a los teóricos.
- (3) Los conocimientos de las personas tienen que organizarse adecuadamente. Para esto son utilísimas las herramientas tales como los diagramas de causa y efecto, los histogramas, los gráficos y gráficos de control.
- (4) Cuando las personas hacen pronunciamientos convencidos, es importante comprobar la base de éstos y ver si su experiencia todavía es pertinente. Uno también tiene que comprobar las interacciones y la confusión de causas.

Considerándolo todo, la tecnología patentada individual es falible y sujeta a sesgo; por tanto debe construirse un cuerpo común de conocimientos poniendo en común los conocimientos individuales. Luego se deben recoger datos en línea con esto, realizar experimentos (ver las secciones 4.7.2 y 4.7.6) y utilizar herramientas estadísticas para comprobar la teoría a través de los hechos y los datos.

4.7.2 Análisis y mejora por medio del uso de los conocimientos puestos en común

Poner en común los conocimientos es el método más práctico y eficaz de analizar y mejorar. Cuando se acomete realmente un problema prioritario y se refresca la conciencia de las personas respecto a él, se verá que todo el mundo tiene alguna información u opinión pertinente, o habrá observado algo útil. Es importante comenzar por reunir esta información. Una forma de hacerlo es con los equipos de CC y las actividades de los círculos de CC. Los pasos de este procedimiento se delinean a continuación:

- (1) Reunir a todas las personas, desde el encargado y los trabajadores del puesto de trabajo a cargo del problema hasta el *staff* de control de calidad, los directores de sección, supervisores, ingenieros, inspectores y, si es necesario, el personal de los departamentos de diseño, ventas y materiales, y celebrar una reunión de estudio de CC, una reunión del equipo de CC, o una reunión del círculo de CC. La persona que se enfrenta directa-

mente al problema (i.e., el encargado del puesto de trabajo a cargo del problema) debe ser el presidente; un encargado que no pueda presidir una reunión no puede llamarse encargado.

- (2) Explicar muy claramente el problema.
- (3) Hacer uso de la imaginación creativa para recoger información de todas las personas presentes, y dibujar un diagrama de causa y efecto.
- (4) Coger el diagrama de causa y efecto e ir *en masse*² al lugar real del problema. Investigar detenidamente las condiciones reales y volver a comprobar qué clase de unidades defectuosas y defectos están apareciendo. A continuación, ver las causas consideradas como causas fundamentales, y discutir cómo se está haciendo el trabajo en ese momento, si el procedimiento es satisfactorio, qué debería hacerse para mejorar las cosas y cómo deberían cambiarse las normas de trabajo y otras.
- (5) Si no se pueden sacar conclusiones sobre las causas después de la investigación anterior, analizar estadísticamente los datos, como se explicó en la sección 4A.6, o realizar experimentos según los métodos del diseño de experimentos.
- (6) Ejecutar un plan de mejora y comprobar los resultados haciendo comparaciones estadísticas con el uso de los gráficos de control, diagramas de Pareto, etc.
- (7) Celebrar reuniones de estudio y repetir este proceso tantas veces como sea necesario. Este tipo de investigación rara vez tiene éxito a la primera. Hay muchas causas posibles; por tanto, deben repetirse los pasos anteriores por orden, para cada causa. En esta situación, el CC es un trabajo duro, pero tenemos que aplicarnos tenazmente a la tarea.

Estas discusiones permiten que todas las personas afectadas renueven su concienciación respecto al problema, su grado de importancia y los diversos hechos que lo afectan. Los encargados que se convierten en buenos presidentes y pueden dirigir bien las reuniones se merecen lo que ganan.

4.7.3 Creatividad y sistemas de sugerencias

Una característica humana importante es nuestra capacidad de usar nuestras cabezas para pensar y generar sabiduría. Debemos ser siempre conscientes de los problemas y enfrentarnos a las cosas con una actitud interrogante. La creatividad y las sugerencias son una clase de mejora, y el número de sugerencias que da la gente es una indicación del deseo de mejorar de una empresa. En una empresa en la que se da una actividad vigorosa de los círculos

2

En francés en el original. (*N. de los T.*)

de CC, el número de sugerencias aumenta a pasos agigantados, con una media de unas doce por empleado y año (i.e., una al mes). Las empresas con una actividad todavía más vigorosa reciben unas cincuenta sugerencias al año (i.e., una a la semana) por empleado, y su porcentaje de aceptación es del sesenta al setenta por cien. Mientras una empresa promueva el CC, el CCT y las actividades de los círculos de CC, tiene que poner en práctica un sistema de sugerencias. Tales sistemas deben ser promovidos formando parte del CCT y deben ser administrados por la oficina de promoción del CC o del CCT.

Los siguientes puntos deben tenerse en cuenta cuando se establece un sistema de sugerencias:

- (1) Aclarar los malentendidos sobre el sistema de sugerencias. Fomentar un espíritu pionero. Hacer realidad las ideas.
- (2) No se preocupe de las variaciones cíclicas del número de sugerencias; trabaje para mejorar la calidad de las mismas.
- (3) Fomente tanto las sugerencias individuales como las de grupo (de los círculos y equipos de CC).
- (4) Asegúrese de que todas las personas de la empresa, independientemente de su cargo, no tengan reparos en hacer sugerencias.
- (5) Haga la participación más fácil para las personas a las que no les gusta escribir, e.g., disponiendo de ayudantes o consejeros del sistema de sugerencias que les ayuden al principio.
- (6) Fomente las sugerencias sobre temas específicos.
- (7) Incluya sugerencias para los planes de mejora y para los problemas que deberían acometerse.
- (8) Procese rápidamente las sugerencias, póngalas en práctica prontamente, dé razones cuando no se adopten las sugerencias y publique los resultados.
- (9) Considere la relación entre los sistemas de sugerencias y la normalización.
- (10) Establezca sistemas de evaluación y de recompensas. Haga que las sugerencias se adopten fácilmente. Base las recompensas en resultados acumulados, concediendo premios o elogios cuando se hagan las sugerencias, cuando se adopten, un año después, cinco años después, etc.

Al aumentar el número de sugerencias, será imposible que el comité de sugerencias evalúe cada una; por tanto se debe permitir que los supervisores de línea las evalúen y pongan en práctica bajo su propia autoridad. El comité de sugerencias es así responsable de vigilar el sistema de sugerencias, conocer las tendencias de las mismas y proporcionar orientaciones según la política, y decidir los premios de alto nivel tales como el Premio del Presidente y el Premio del Superintendente de Planta.

4.7.4 Diagramas de causa y efecto

Los diagramas de causa y efecto, un ejemplo de los cuales se muestra en la Figura 4.3, ilustran la relación entre las características (los resultados de un proceso) y aquellas causas que, por razones técnicas, se considere que ejercen un efecto sobre el proceso. Permiten que se resuman todas las relaciones entre las causas y efectos de un proceso. Cuando se utilizan junto con otras herramientas estadísticas, tales como los diagramas de Pareto, los diagramas de causa y efecto son útiles para promover la mejora del proceso según prioridades, acumular y organizar los conocimientos y la tecnología, consolidar las ideas de todos los empleados sobre las actividades relacionadas con el control, y facilitar las discusiones, la educación y otros diversos aspectos de las relaciones humanas. También son útiles para toda clase de actividades de calidad, cantidad, plazos de entrega y control de costes durante el desarrollo de nuevos productos, investigación y desarrollo, construcción de nuevas plantas, etc. Puesto que todo el mundo los comprende fácilmente, son una de las herramientas más importantes para la promoción y la puesta en práctica del CC.

(1) Cómo hacer un diagrama de causa y efecto

- Decidir la característica que se ha de considerar.
- Dibujar una flecha horizontal en el centro de una hoja de papel conveniente, como se muestra en la Figura 4.3, y anotar la característica en cuestión en el extremo derecho de la flecha. Esta flecha, que forma el eje del diagrama, representa el proceso en consideración.

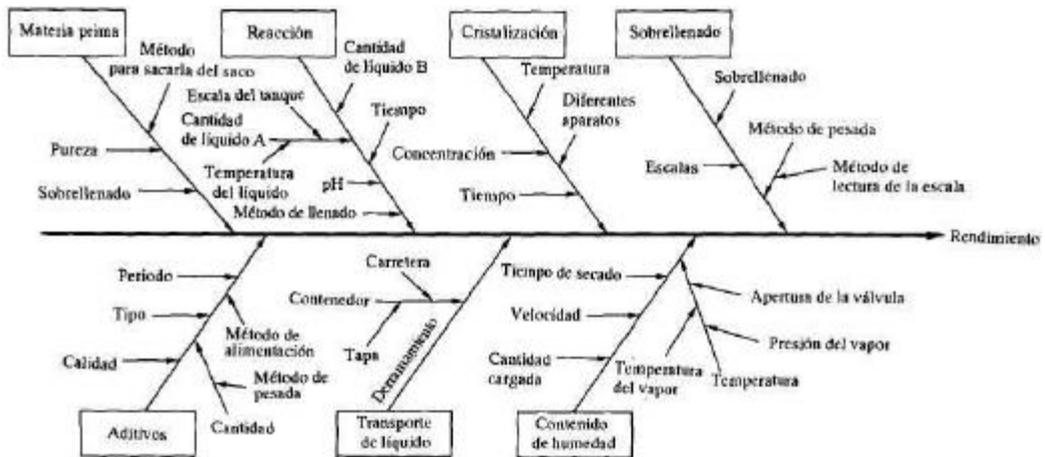


Figura 4.3: Diagrama de causa y efecto

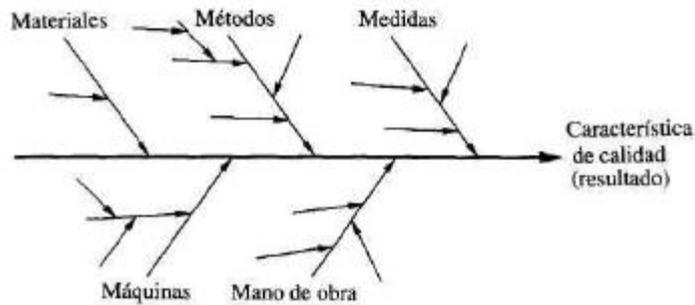


Figura 4.4: Las cinco "emes" para controlar los procesos

- (c) Elegir unos nombres generales para las características sustitúas o las causas, y anotarlas en el diagrama por medio de flechas más pequeñas, empezando por la izquierda y siguiendo el orden del proceso. Se deben utilizar categorías generales tales como materias primas, equipo, métodos de trabajo, personas, condiciones ambientales, métodos de muestreo y métodos de medida. Se deben probar varios métodos de clasificación, e.g., orden de los procesos, departamento, función, etc., para ver cuál es el más fácil de usar.

No hay reglas específicas para dibujar el diagrama; lo importante es desglosar las categorías por medio del uso de ramas secundarias, terciarias, etc., explicadas más adelante en (d), hasta el punto en que se hayan identificado las causas sobre las que se pueda actuar. Las ramas principales deben designarse con los nombres de las causas de las casillas, como se muestra en la Figura 4.3. Recordar las "cinco emes" (mano de obra, materiales, máquinas, métodos y medidas) cuando se decidan las ramas principales, como se indica en la Figura 4.4.

- (d) Tomar las causas y desglosarlas todavía más, utilizando las ramas secundarias y terciarias. Por ejemplo, se pueden utilizar la temperatura, el tiempo, la velocidad, la carga, etc., como ramas secundarias del contenido de humedad en un proceso de secado. Tratar de comprender las relaciones entre causa y efecto todo lo posible y seguir multiplicando el número de ramas secundarias repitiendo la pregunta, "¿Por qué? ¿Por qué? ¿Por qué?" una y otra vez. Seguir escribiendo ramas secundarias y terciarias hasta que eventualmente se alcance una causa sobre la que se pueda actuar. Enumerar las causas sin más no es muy útil en realidad.

Al diagrama de causa y efecto se le apoda "diagrama de espina de pescado", pero un diagrama con una estructura tan simple como la que ese término implica no es muy útil. Es importante pensar en el diagrama

como si fueran las ramas de un árbol o como si se siguiera un río hasta su nacimiento.

- (e) Cuando se hayan registrado todas las causas posibles, clasificarlas por orden según la influencia que ejercen, basada en su significado técnico o según se decida en una votación.
- (f) Anotar siempre la fecha de preparación cuando se haga un diagrama, y añadir las fechas de cualesquiera revisiones, ya que éstas dan una indicación de los progresos.

(2) Ideas

- (a) Cuando se prepara un diagrama de causa y efecto, se deben reunir tantas personas como sea posible, e.g., directores de departamento y de sección, encargados, operarios, ingenieros, diseñadores, especialistas de CC, etc., y todo el mundo debe poder expresar sus opiniones con libertad conforme se crea el diagrama. Hay que tener cuidado cuando el diagrama lo prepara una persona o un grupo pequeño de personas, ya que entonces puede sesgarse con facilidad. Si es posible, también deberían incluirse personas de otros procesos, y se debe hacer uso de la creación imaginativa para estimular el flujo de ideas. La persona que presida la reunión debe animar a las personas a que hablen para poder juntar las entradas de todos, y es especialmente importante crear una atmósfera en la que los operarios, los encargados y los no especialistas no tengan reparos en hablar. En este ejercicio no debería haber comentarios o discusiones cuando una persona ha manifestado una opinión. Es más importante escuchar lo que otros tienen que decir que expresar las propias ideas. Los elementos que se consideren innecesarios siempre se pueden eliminar más adelante. No es éste el momento de debatir si una causa determinada afecta o no al proceso o si es o no importante.
En principio, la sesión debe ser dirigida por alguna persona responsable del proceso en consideración, e.g., un director de sección, un supervisor o un encargado.
- (b) No despreciar las causas relacionadas con la gestión (las que no se encuentran en los libros de texto normales).
- (c) No olvidar cosas como los errores de muestreo o de medida y los métodos de cálculo.
- (d) Hacer varios diagramas de causa y efecto para cada característica.
- (e) Examinar cómo determinadas causas influyen sobre otras características (recordar la posibilidad de interacción, de confusión, etc.).
- (f) En vez de pensar en por qué ha ocurrido un problema, es mejor concentrarse en la mejor forma de resolverlo.

- (g) Durante la preparación de los diagramas de causa y efecto, las cosas y las mejoras sobre las que todo el mundo está de acuerdo en que deberían hacerse, deben normalizarse y ponerse en práctica rápidamente.
- (h) Para poner en práctica el control del proceso, es conveniente elegir métodos de clasificación que muestren claramente la responsabilidad y la autoridad de los departamentos, los encargados, etc., desde el punto de vista del control.
- (i) Es conveniente diferenciar entre las causas variables y las causas discretas.
- (j) Asegurarse de incluir todas las causas que se considere que son importantes por razones técnicas, independientemente de si se están midiendo o no en el momento presente o son susceptibles de ser medidas. Tales causas deben distinguirse con un símbolo especial.
- (k) Clasificar las causas como esporádicas, periódicas o crónicas. Señalar las causas que puedan producir anomalías.
 - (l) También es una buena idea utilizar símbolos especiales para las causas sospechosas de interacción.
- (m) Clasificar las causas según sean fáciles, difíciles o imposibles de controlar, teniendo en cuenta la responsabilidad y la autoridad cuando se decide qué se puede controlar y qué no.
- (n) Si se van a dibujar gráficos de control, clasificar las causas con arreglo a si crean dispersión dentro de los grupos o entre los grupos.
- (o) Conforme mejora un proceso, deben celebrarse reuniones de revisión para revisar mensualmente los diagramas de causa y efecto, siempre que suceda un accidente o una anomalía, o siempre que los diagramas de Pareto confirmen que ha cambiado el efecto relativo de las causas sobre las características de calidad.

4.7.5 Gráficos de los procesos de CC

Para crear y controlar productos y servicios, primero tenemos que decidir cómo crear y controlar los procesos pertinentes, así como considerar factores tales como la calidad, la cantidad y el coste, y dibujar gráficos que nos ayuden a ello. Tales gráficos se llaman generalmente "gráficos de control de proceso" (o tablas). Para garantizar la calidad, preparamos además gráficos de proceso de CC (o tablas) que presentan, de una manera fácil de entender, todo lo necesario en cada paso del trabajo, e.g., elementos de control, elementos de inspección, nombres de las personas responsables, métodos de medida, criterios de enjuiciamiento, relación con las especificaciones, métodos de control y normas relacionadas (ver la Figura 4.5).

El gráfico de proceso de CC debe hacerse en realidad en dos pasos: cuando se está desarrollando un nuevo producto, el departamento de diseño decide, en la etapa de diseño, de manera general cómo emprender la fabricación del producto y lo resume en forma de Gráfico de Proceso de CC I; conforme el trabajo avanza hacia las etapas de producción del prototipo y piloto, los departamentos tales como ingeniería de producto dan cuerpo a este gráfico con detalles concretos y a su vez lo transforman en el Gráfico de Proceso de CC II, que puede ser utilizado realmente por el departamento de fabricación.

Los gráficos de proceso de CC también se utilizan en el análisis de un proceso; en este caso, el primer paso es preparar un diagrama de causa y efecto que luego se verifica con el gráfico de proceso de CC (preparando uno si es que no existe), mientras se investiga lo que está sucediendo en la práctica, y revisa el gráfico de proceso de CC basándose en los resultados del análisis para facilitar el control del proceso.

Las Figuras 4.5 y 4.6 son ejemplos de gráficos de proceso de CC para el análisis y la mejora del proceso. Deben utilizarse impresos como éstos para ayudar al control pero, puesto que varían según el tipo de producto o trabajo, deben hacerse a medida para que su uso sea cómodo. Conforme se desarrollan los gráficos, es importante coordinarlos con la preparación y la revisión de las normas.

4.7.6 Análisis y mejora por medio del uso simultáneo de los métodos estadísticos

Si los métodos estadísticos descritos en los Capítulos 2, 3 y 4 se utilizan junto con los métodos anteriores, se pueden comprobar claramente los resultados de estos métodos de análisis y mejora, y la acción que se ha de adoptar también será obvia. En un debate basado en las opiniones en vez de en los hechos, cuando las personas dicen, "Yo creo que es esto" y, "No, esto es lo que yo creo", a menudo no gana el argumento correcto sino las opiniones de los más agresivos, los que tienen mayor posición social, o salen victoriosos los que tienen mucho palique. Obviamente, esto puede impedir los progresos futuros y ocasionar rencores. Cuando sucede esto, es mejor sustituir los argumentos por análisis estadísticos y llegar a conclusiones basadas en los hechos -i.e., cambiar al "control por medio de los hechos". Realizar una investigación utilizando solamente la tecnología patentada y la experiencia es como ir de Tokio a Kioto en una carretilla. Utilizar también los métodos estadísticos es como coger el tren de alta velocidad.

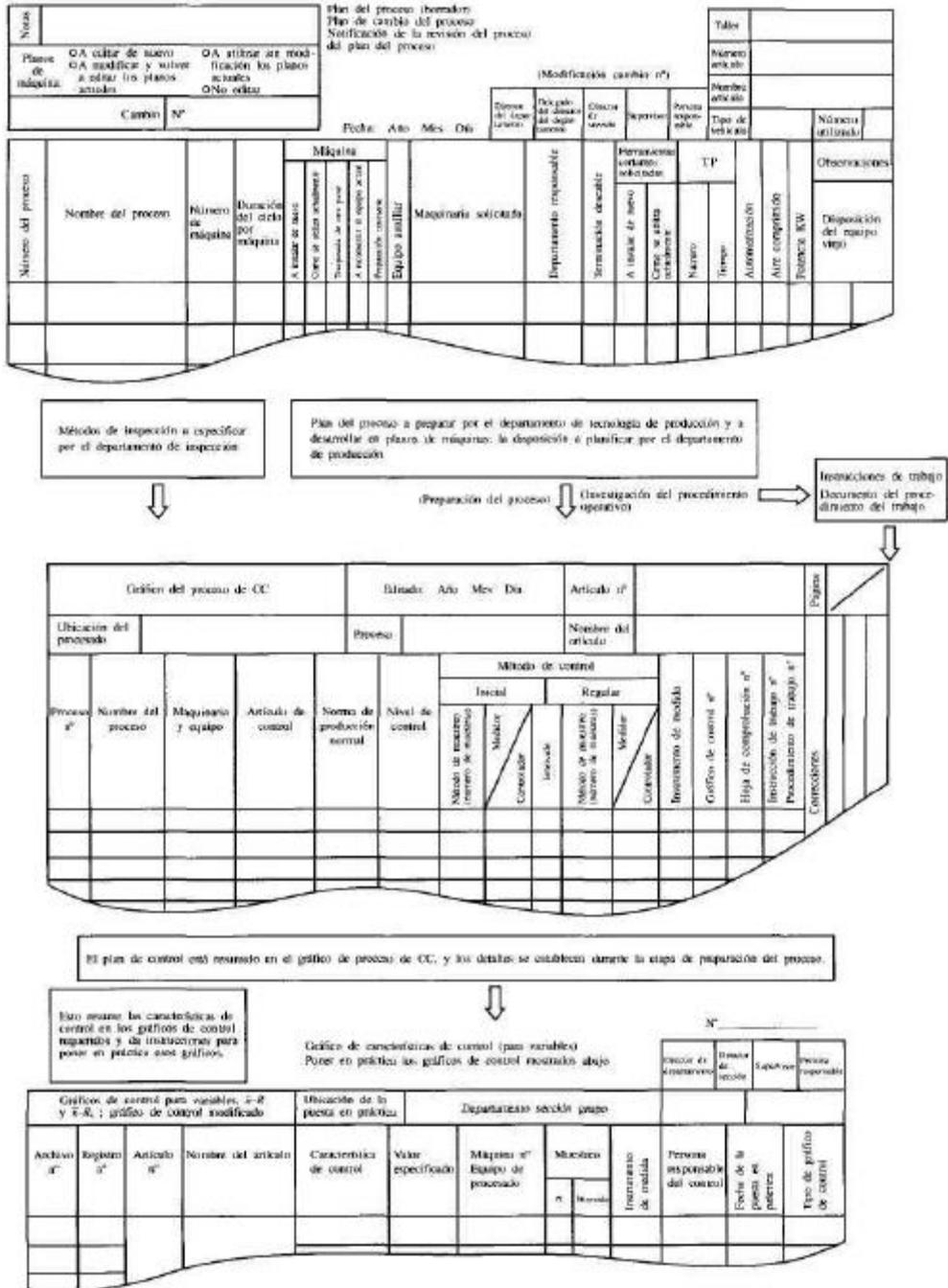


Figura 4.6: Ejemplo de plan de control de los procesos para un proceso de mecanizado

Se tienen que tener presentes los puntos siguientes cuando se utilizan los métodos estadísticos para analizar procesos, comparar las condiciones antes y después de la mejora, o reconocer los hechos.

- (1) Preparar distribuciones de frecuencias estratificadas, gráficos de control, etc., para comparar las condiciones antes y después de la mejora.
- (2) Dibujar diagramas de Pareto antes y después de la mejora e investigar los valores absolutos y relativos de cada artículo.
- (3) Estratificar y realizar análisis de correlación para comprobar si ha habido cambios en las relaciones entre las causas sobre las que se ha actuado y las características que se están investigando antes y después de la mejora.

Si el análisis anterior muestra estadísticamente que ha tenido lugar un cambio beneficioso después de una mejora, que la mejora fue eficaz se convierte en un hecho probado.

4.7.7 Estudios de la capacidad de los procesos

Los estudios de la capacidad de un proceso son la piedra angular del control de calidad. Toda la cadena de actividades de CC -esto es, diseño de calidad, diseño de proceso, planificación y control del equipo, control del proceso, y mejora, etc.- es imposible sin el conocimiento de la capacidad del proceso. En resumen, los estudios de la capacidad de proceso desempeñan un papel central en el CC.

La palabra "proceso" tiene muchas definiciones; sucintamente puede definirse como "un conjunto de causas que producen ciertos resultados". Algunos ejemplos concretos son:

- (a) Máquinas individuales o un equipo que funciona bajo ciertas condiciones fijas.
- (b) Máquinas individuales o un equipo que funciona bajo condiciones (tales como operarios, materiales, tiempos, etc.) con cierto grado de variación, i.e., que funcionan en un determinado marco.
- (c) Una serie de operaciones realizadas por varias máquinas conectadas entre sí o piezas de equipo.
- (d) Aparte de la maquinaria y el equipo, una manera de hacer un determinado trabajo, e.g., el trabajo global de garantía de calidad, ventas, compras o servicio.

La capacidad de proceso puede definirse como "el comportamiento de un proceso durante cierto periodo de tiempo durante el que está en el estado controlado estadísticamente". Usualmente se expresa en términos de la distribu-

ción de la calidad o por medio de la fracción de unidades defectuosas, el número de defectos, etc. En sentido más general, expresa los resultados de un proceso o una distribución de los valores de una característica. Cuando el proceso consiste en una sola máquina, su comportamiento en términos de calidad se llama "capacidad de la máquina" o "precisión de la máquina". En el ejemplo (a) anterior, a esto se llamaría "capacidad estática de la máquina" (o precisión), mientras que en el ejemplo (b) sería "capacidad dinámica de la máquina" (o precisión).

El término generalmente utilizado "capacidad de producción" quiere decir comportamiento cuantitativo, y se tiene que tener cuidado en no confundirlo con la capacidad de proceso, que quiere decir comportamiento cualitativo. Tradicionalmente, la industria japonesa se ha concentrado en investigar la capacidad de producción e incluso ahora dedica tiempo insuficiente a estudiar la capacidad cualitativa de los procesos. Mientras estemos poniendo en práctica el control de calidad, tenemos que estudiar constantemente la capacidad de los procesos.

Controlar un proceso significa conseguir que dé su máxima capacidad en el estado controlado, pero mejorar un proceso significa aumentar su capacidad, i.e., estudiar y mejorar su capacidad.

A continuación hay algunas indicaciones para investigar la capacidad de un proceso:

- (1) Cuando se determina la capacidad de un proceso, éste tiene que estar en el estado controlado, tiene que haber sido normalizado y no tiene que contener causas asignables. Esto no puede hacerse preparando un histograma únicamente con, por ejemplo, los datos de un mes y utilizar esto como la capacidad del proceso.
- (2) La capacidad de proceso es más fácil de investigar si se ilustra gráficamente de una de las siguientes maneras:
 - (i) En forma de gráfico de control \bar{x} - R u otro tipo de gráfico de control,
 - (ii) Como gráfico con los valores de la especificación (gráfico de la capacidad del proceso),
 - (iii) En forma de histograma.
- (3) Con variables, la capacidad de un proceso puede expresarse numéricamente por $\hat{f}^d (= \bar{R} / d_2)$ o S_n (la desviación estándar obtenida en un histograma). Éstas han de calcularse generalmente utilizando por lo menos cincuenta datos. La \hat{f}^d calculada a partir de \bar{R} obtenido de datos subgrupados racionalmente expresa la capacidad del proceso en un estado más o menos satisfactoriamente controlado y también se llama "capacidad de proceso a corto plazo". Por el contrario, la S_n calculada a partir de los

datos obtenidos de un proceso cuyos gráficos de control indican el estado controlado incluye la variación a largo plazo y, por tanto, se llama a veces "capacidad de proceso a largo plazo". La S_H de un proceso que no está en estado controlado no es la capacidad de proceso. Con atributos, la capacidad de proceso se puede expresar por $p\bar{}$, $c\bar{}$, etc.

- (4) El índice de la capacidad de proceso C_p (comparación con los valores de la especificación) se calcula de la forma siguiente:

$C_p = (\text{LSE} - \text{LIE})/6 \hat{\sigma}_d$ (cuando hay límites superior e inferior en la especificación)

$C_p = (\bar{x} - \text{LIE})/3 \hat{\sigma}_d$ o $C_p = (\text{LSE} - \bar{x})/3 \hat{\sigma}_d$ (cuando sólo hay un límite en la especificación)

en la que LIE es el límite inferior de la especificación, LSE es el límite superior de la especificación, y \bar{x} es la media del proceso.

A continuación están las categorías en que se divide el índice de la capacidad de proceso, según los valores deducidos en las fórmulas anteriores:

$C_p > 1,67$ (Clase especial): Se debe apuntar a una capacidad del proceso de 1,67 o más cuando se pretende un control de ppm, una fracción de unidades defectuosas del orden de millonésimas, o una fiabilidad altísima. Esta calidad es demasiado elevada para fines generales.

$1,67 \geq C_p > 1,33$ (Clase A): Calidad muy buena. Se puede reducir la inspección.

$1,33 \geq C_p > 1,0$ (Clase B): Calidad bastante buena. Es suficiente la inspección por muestreo.

$1,0 \geq C_p > 0,67$ (Clase C): Se producirán algunas unidades defectuosas. C_p debe aumentarse a 1,0 o más.

$0,67 \geq C_p$ (Clase D): Muy mala.

Se tienen que señalar unas pocas cuestiones. Primero, se puede utilizar S_H , que está en el lado seguro, en vez de $\hat{\sigma}_d$. Cuando S_H es mucho mayor que $\hat{\sigma}_d$, hace falta mejorar más el proceso (ver la sección 3A.3(6)).

Segundo, si hay límites superior e inferior en la especificación, un C_p de 1,0 corresponde a $6 \hat{\sigma}_d$, el de 1,33 a $8 \hat{\sigma}_d$, el de 1,67 a $10 \hat{\sigma}_d$, y el de 0,67 a $4 \hat{\sigma}_d$.

- (5) El índice del sesgo, D_p (investigación del sesgo en la media) se deduce de la siguiente fórmula:

$$D_p = (\bar{x} - \text{LIE})/\hat{\sigma}_d \quad \text{ó} \quad D_p = (\text{LSE} - \bar{x})/\hat{\sigma}_d$$

Si hay límites superior e inferior en la especificación, es mejor si x está situado en el centro, entre el LIE y el LSE. Las categorías para los valores de D_p son:

- $D_p > 5$ Igual que para $C_p > 1,67$
- 5 $\varepsilon D_p > 4$ Bastante bien. En algunos casos, \bar{x} debería desplazarse para reducir D_p ligeramente.
- 4 $\varepsilon D_p > 3$ Bastante bien. Si es necesario, \bar{x} debería desplazarse para aumentar D_p ligeramente.
- 3 εD_p Puesto que esto originará unidades defectuosas, debe reducirse la variación ($\hat{\sigma}^d$) o se debe desplazar \bar{x} para aumentar D_p por encima de 3.
- (6) El control anticuado del equipo consistía solamente en reparar el equipo que se había estropeado; luego avanzó a una segunda fase, la de controlar el equipo para que, en primer lugar, no se estropeará. Para los fines del CC, sin embargo, el objetivo del control del equipo es asegurarse de que los procesos dan toda su capacidad sin ningún deterioro y, además de eso, aumentar las capacidades de proceso e incrementar la fiabilidad del equipo. En otras palabras, los estudios de las capacidades de los procesos y el control del equipo son las dos caras de la misma moneda. Cuando el CCT ha hecho unos cuantos progresos, debe ponerse en práctica el MPT (mantenimiento productivo total).
- (7) Las investigaciones y los estudios de la capacidad de proceso los realizan normalmente departamentos tales como control de calidad, ingeniería de producción, fabricación y control del equipo, o equipos de CC. Sin embargo, un círculo de CC competente puede hacerlo como si fuera un proceso propio. En cualquier caso, es importante definir claramente quién es responsable y tomar una decisión firme sobre qué departamentos van a hacer las investigaciones y cuáles van a hacer la investigación y el desarrollo.
- (8) Los estudios de la capacidad de proceso no deben limitarse a la propia empresa; deben abarcar todo lo que va desde el diseño hasta el sistema de distribución que pone el producto en manos del consumidor, pasando por los proveedores y el proceso de fabricación. Idealmente también deben investigarse la capacidad de los procesos administrativos, los sistemas informáticos, el procesado de la información, etc.
- (9) Los departamentos que deben conocer las capacidades de proceso incluyen, probablemente, a compras, fabricación, diseño, ingeniería de producción, control de calidad, control de equipos y ventas. En los puestos de trabajo, si los supervisores y operarios comprenden lo que es la capacidad de proceso, se interesarán por controlarla y mejorarla, y se obtendrán enormes beneficios si lo consiguen.
- (10) No se conforme simplemente con hacer estudios de las capacidades de procesos; tienen que utilizarse para la investigación, el control y la mejora.

4.8 Algunas ideas generales sobre el análisis

Los siguientes puntos tienen que tenerse presentes cuando se utilizan las herramientas estadísticas para analizar los datos de un puesto de trabajo con el fin de adoptar medidas contra las causas asignables. Las ideas dadas aquí sirven para el análisis estadístico de los datos rutinarios (datos de los tipos (i) e (ii) de la sección 4.6.1 (1); ver la sección 4A):

- (1) Los datos deben estratificarse por causas durante su recogida.
- (2) Los datos deben ser recogidos de forma que las causas correspondan a las características que se están investigando.
- (3) En la medida de lo posible, los valores individuales no procesados deben ser utilizados para el análisis, mientras que se deben evitar los promedios y los totales.
- (4) Siempre que sea posible, los datos rutinarios deben presentarse en forma de gráficos para que sean fácilmente comprensibles.
- (5) No se puede ignorar nada que esté anotado en los registros; hasta las observaciones subjetivas como "Las cosas van bien" o "No está en buenas condiciones" son utilísimas para el análisis.
- (6) Si los resultados contradicen la experiencia o los conocimientos anteriores, se deben verificar los siguientes elementos en el orden dado:
 - (i) Uso de herramientas estadísticas,
 - (ii) Método utilizado para llegar a una conclusión,
 - (iii) Exactitud de los cálculos.
 - (iv) Autenticidad de los datos y uso de métodos de muestreo y de medida.
 - (v) Fundamento y autenticidad de la experiencia o de los conocimientos anteriores.
- (7) Si el análisis de algo que se pensó que era una causa asignable indica que, en realidad, no afecta al proceso, uno no debe desanimarse. Hace falta tenacidad y perseverancia. Cuando se analiza un factor y se ve que no tiene ningún efecto, esto indica sencillamente que los ingenieros que lo sugirieron no comprendieron la situación. Uno tiene que ser positivo; saber que un factor determinado no afecta a los resultados finales sigue siendo una información valiosa, ya que puede permitir que se adopte una alternativa más barata.
- (8) Cuando la existencia de muchas causas posibles hace que la situación no esté clara, se tiene que analizar cada causa, una a una, empezando por la que se piense que tiene el mayor efecto. Cuando hay demasiadas causas posibles que enturbian la situación, es mejor hacer uso del análisis multi-variante.

- (9) Siempre es mejor trabajar en parejas o en grupos de tres o más.
- (10) Mientras se realiza el análisis, uno tiene que seguir preguntándose cómo puede reducirse la variación y qué clase de acción debería acometerse.
- (11) Cuando se investiga una causa determinada, se pueden preparar diagramas de causa y efecto para otras características, y se puede determinar el efecto que la causa tiene sobre éstas. Eliminar una causa puede mejorar una característica pero puede empeorar otra.
- (12) Cuando se haya identificado una causa asignable de variación, se deben intentar varios cursos de acción hasta que la variación haya sido eliminada.
- (13) Según el principio de Pareto, generalmente hay dos o tres causas asignables importantes; su eliminación reducirá a más de la mitad el número de unidades defectuosas. Así pues, reducir el número de unidades defectuosas (e.g., elevar el rendimiento del sesenta al ochenta por cien, del ochenta al noventa por cien, o del noventa al noventa y cinco por cien) es, usualmente, comparativamente sencillo. Por esto digo, "El noventa y cinco por cien de los problemas que hay en los puestos de trabajo se pueden resolver por medio del uso de las Siete Herramientas del CC".
- (14) Puesto que los datos pueden elevarse fácilmente y desmandarse, deben utilizarse las herramientas estadísticas (especialmente las pictóricas) en toda oportunidad.
- (15) Los resultados de una acción deben comprobarse estadísticamente por medio de gráficos de control u otros métodos; la acción debe normalizarse formalmente si es beneficiosa; y se debe establecer el control para que no vuelva a suceder el mismo problema.
- (16) En muchos casos, es mejor completar todos los análisis de los datos anteriores antes de empezar a recoger datos nuevos y realizar los experimentos planificados.
- (17) Los resultados de un análisis deben siempre resumirse en un informe escrito para su cotejo y archivo por el departamento técnico. Aún cuando se alcancen conclusiones inesperadas, estos informes formarán una reserva valiosa de información técnica para la empresa.

4.9 Procedimientos generales para el análisis estadístico

Aunque el procedimiento general presentado aquí para realizar los análisis estadísticos variará según el proceso que se esté analizando y las condiciones reinantes, proporciona un marco general útil. La idea fundamental no es analizar las causas sino analizar los datos de los resultados, obtener una comprensión firme de los hechos, buscar las causas asignables y entrar en acción. Este

método da ideas e indicaciones para analizar grandes cantidades de datos anteriores y que no se pueden correlacionar. Hoy día, los ordenadores se utilizan a menudo para realizar los análisis de regresión, los análisis de regresión múltiple, etc. Si las correcciones de los datos requeridas en los pasos 8, 10, 12, etc. son demasiado pesadas, se pueden omitir.

- (1) Poner en común los conocimientos de todos para preparar un diagrama de causa y efecto para la característica buscada (o resultados), anotando los efectos debidos a las combinaciones de las causas y cualquier otra cosa que pudiera dar lugar a la confusión de las causas, y dibujar un gráfico de proceso de CC para el proceso que se esté investigando. Luego todo el mundo debe trabajar conjuntamente para comprobar la situación real y descubrir lo que está sucediendo en la práctica a las características y a las causas.
- (2) Recoger por lo menos cien datos sobre cada característica y causa relativas al problema. Es mejor no recoger los datos de un solo día o de un periodo de una hora sino de un periodo de varios días o uno o más meses.
- (3) Disponer los datos de cada característica en forma de histograma, calcular luego la media y la desviación estándar y comparar éstas con los valores de referencia o de las especificaciones. Cuando se hace esto, es muy importante estratificar los datos de varias maneras. Para las causas debe seguirse el mismo procedimiento.
- (4) Representar los datos en un gráfico de control u otro gráfico, por orden de tiempo, lote, etc., para obtener una imagen del estado real de las cosas. Las variaciones dentro de los subgrupos y entre los subgrupos deben estar bien separadas, e investigadas detenidamente sus causas.

(Nota: los pasos 3 y 4 son los primeros en los estudios de capacidad de procesos.)

- (5) Comprobar el patrón de los puntos del gráfico de control o del otro gráfico como sigue:
 - (a) ¿Caen fuera de los límites de control algunos puntos?
 - (b) ¿Están los puntos distribuidos al azar?
 - (c) ¿Hay alguna periodicidad? Si la hay,
 - (d) ¿Hay muchas rachas?
 - (e) ¿Hay alguna tendencia?

En resumen, comprobar si hay anomalías en el patrón que forman los puntos. Si se encuentra alguna anomalía, identificar la causa y eliminarla preparando por escrito normas adecuadas. El punto (a) abarca muchas causas esporádicas.

Nota: Hay que tener cuidado puesto que los datos de un puesto de trabajo contienen usualmente valores contaminados tales como valores aberrantes, datos falsos, datos muy inexactos, errores de cálculo y datos mal leídos o copiados.

(6) Preparar gráficos de control modificados para las características eliminando cualquier punto o dato que sea claramente atribuible a causas asignables, subagrupando los datos para optimizar la uniformidad dentro de los subgrupos, y volviendo a dibujar los gráficos. Es mejor subagrupar los datos de forma que den la máxima uniformidad dentro de los subgrupos cuando se realiza el análisis, pero no es necesario cuando se dibujan gráficos de control para el control de proceso.

(7) Repetir el paso 5, entrar en acción y eliminar cualquier punto o dato claramente atribuible a causas asignables y volver a calcular los límites de control. Seguir repitiendo este paso.

Si surge una situación en la que se descubre una causa asignable, pero las personas que realizan el análisis o que están implicadas en el proyecto no tienen autoridad para entrar en acción o normalizar, se debe rellenar un impreso de informe de anomalías y pasarlo al área adecuada para que actúe. También se deben preparar gráficos de anomalías en los cuales el área contactada puede anotar la acción acometida o indicar que no se acometió ninguna. En aras de la claridad, la causa también debe marcarse con una "x" o cualquier otro símbolo en el diagrama de causa y efecto, con una indicación de si se acometió o no alguna acción. En resumen, es importante organizar y reunir los conocimientos obtenidos del análisis de alguna forma específica.

(8) Con causas asignables discretas, los datos sobre las características deben estratificarse según las condiciones existentes (en términos de atributos) en el momento en que se produjo el lote, y deben investigarse por medio de una lista de comprobación, un histograma o un gráfico, o subagrupando racionalmente los datos y representando un gráfico de control separado para cada estrato. Cuando hay muchas causas discretas, se deben seguir los pasos siguientes:

(a) Cuando hay muchos datos, deben estratificarse en el orden de los factores que se considere que son más significativos técnicamente, e.g., primero por el horno, y luego por el grupo de trabajo, el material, etc. Cuando se hace esto, es mejor tener por lo menos cien datos.

(b) Cuando no hay muchos datos, examinar los datos estratificándolos sucesivamente de varias maneras; por ejemplo, si se ve que distintos hornos dan distintos promedios, corregir los datos solamente para esta diferencia y estratificarlos luego según el grupo de trabajo. Si durante este procedimiento se ve que una causa determinada no muestra ninguna diferencia respecto del promedio, volver a esta causa más adelante e intentar otra vez el mismo método de estratificación después de corregir los datos para otras causas que sí que manifiestan una diferencia respecto al promedio.

Si el análisis anterior revela puntos que caen fuera de los límites de control, acometer la acción oportuna y normalizar para eliminar la diferencia anómala entre los estratos. Si es posible, seguir estratificando y corrigiendo así hasta que al final se obtenga un gráfico de control más o menos satisfactorio.

Deben observarse unos cuantos puntos sobre los procedimientos de estratificación:

Primero, si dos causas discretas pueden tener un efecto combinado -esto es, si pueden estar interaccionando- proceder como en el ejemplo siguiente: si hay dos piezas del equipo, A_1 y A_2 , y dos operarios, B_1 y B_2 , y se cree que hay una interacción, estratificar los datos por equipo y luego estratificarlos más por operario y para cada pieza del equipo, lo que da un total de cuatro estratos; luego preparar un gráfico de control u otro gráfico para cada estrato.

Segundo, si se corrigen demasiadas veces los mismos datos, habrá un error mayor en los datos finales debido al error de la estimación de la diferencia en cada corrección.

Tercero, generalmente cuanto menor es \bar{R} , mayor es la precisión de una estimación. Igualmente, cuantos más subgrupos y datos haya, mayor es la precisión.

Cuarto, un contraste de los signos u otras pruebas de las diferencias en las medias también puede hacerse sin depender sólo de los gráficos de control.

- (9) Con causas variables, se pueden detectar las anomalías y revisar las normas de trabajo por medio de las propias medidas para dibujar gráficos, histogramas o gráficos de control y realizando una investigación técnica del estado de la dispersión y la forma en que cambia con el tiempo. Sin embargo, también es necesario realizar un análisis estadístico para ver qué clase de efecto tienen estas causas sobre el proceso, i.e., sobre las características de calidad producidas por el proceso en el entorno operativo real (ver la sección 4A.5).

Para hacerlo, deben ponerse unos al lado de otros y compararse los gráficos o gráficos de control representados en orden temporal para cada causa variable y característica de calidad. Primero debe hacerse uso del método de la mediana para examinar si hay una correlación grande entre causas y características, entre una característica y otra, o entre una causa y otra. A continuación, debe hacerse uso del método del segmento para determinar si hay alguna correlación pequeña. Con frecuencia es más fácil obtener una imagen de una correlación grande si se dibuja un diagrama de dispersión, que también puede simplificar el análisis.

- (a) Si la conclusión es que existe una correlación grande (ver la sección 4A.8), la causa tiene un efecto definido sobre la característica, independientemente del grado de influencia de otras causas. Por tanto, deben revisarse las normas operativas para reducir el recorrido de la dispersión para esta causa. Cuando se hace esto, el histograma de la causa debe estrecharse hasta unas dos desviaciones estándar o hacia el rango en el que la operación pueda realizarse satisfactoriamente desde el punto de vista técnico. No es bueno ser demasiado idealista sólo porque exista la correlación, estrechar demasiado el recorrido y poner normas que son imposibles de alcanzar. Una solución alternativa es hacer uso del control automático.

Cuando hay una correlación grande, también deben realizarse los análisis de autocorrelación.

- (b) Si la conclusión es que existe una correlación pequeña, es que otras causas tienen un gran efecto y la causa presente está ejerciendo un efecto pequeño, no uno grande. Primero es necesario controlar las otras causas, pero, de ser posible, deben revisarse las normas operativas para controlar también la causa presente. Este tipo de correlación se puede ignorar al principio, pero ciertamente la causa tiene que suprimirse si las pequeñas fluctuaciones de las características se convierten en un problema.
- (c) Cuando hay un número elevado de causas variables, debemos comenzar por considerar las que pensemos que ejercen un efecto mayor desde el punto de vista técnico y viendo qué causas tienen una correlación grande con la característica de calidad. Al mismo tiempo, debemos buscar las correlaciones entre las causas y elaborar un gráfico de causa y característica tal como el mostrado en la Tabla 4.2. Se puede obtener la información de cómo se realizan las operaciones en la fábrica o en el puesto de trabajo llevando a cabo varias investigaciones de ello.

Son de señalar unos pocos puntos más referentes a las causas variables:

Primero, las causas variables también se pueden investigar, por medio de la estratificación, dividiendo su variación entre varios recorridos diferentes.

Segundo, cuando los resultados tardan en aparecer, las correlaciones se pueden obtener desplazando los datos a tiempos diferentes. En algunos casos, se pueden descubrir las correlaciones tomando los promedios móviles.

En la Tabla 4.2, por ejemplo, el análisis estadístico de las operaciones presentes revela que las causas A, D e I están correlacionadas posi-

Tabla 4.2: Gráfico de causa y característica

	Característica	Causa I	H	G	F	E	D	C	B
Causa A	** +	⊖	** -	⊖	** -	⊕			
B	⊕		⊕		⊖			** -	
C	⊖								
D	* +		⊖						
E	⊕	** -	⊕		⊕				
F	** -								
G	⊖								
H	⊖								
I	** +								

+: correlación positiva
 -: correlación negativa
 *: significación del 5%
 **: significación del 1%
 O: sin significación
 Cuadrado vacío: no analizado

vamente, y la causa F, negativamente con la característica. Una mirada a la correlación entre las causas, no obstante, indica que las causas A y F están correlacionadas negativamente. Una investigación posterior revela que, aunque F se ha considerado como una causa asignable, es difícil de controlar y es técnicamente posible que F disminuya de forma natural cuando A aumenta. Por tanto, en este caso es suficiente con establecer unos estándares operativos claros para A. Si es preciso, también se pueden establecer para F normas complementarias dependientes de A.

Hay una correlación entre H y A, y está claro desde el punto de vista técnico que H disminuirá sola si A se controla bien. La causa I es controlable y se deben establecer estándares operativos para ella, pero hay una correlación negativa entre I y E, mientras que no hay correlación entre E y la característica. Además, E es controlable. Un examen detenido indica que E está mal controlada y que produce los correspondientes cambios grandes en I y, consecuentemente, afecta a la característica. En esta situación, se deben establecer, por tanto, estándares adecuados para E, y los estándares para I deben establecerse con arreglo a aquellas.

D es un factor controlable independientemente, que guarda poca relación con cualquier otra causa. Puesto que de él es responsable una fábrica diferente, el comité de control de calidad decide emitir un

informe de anomalías y hacer que la otra fábrica reduzca el recorrido del estándar de la calidad.

Aunque B y C no están relacionadas con la característica, hay una correlación negativa entre ellas, y C se ajusta para anular cualquier cambio en B. Aunque esto no afecta directamente a la característica, está trastornando el proceso; por tanto se toma la decisión de establecer normas operativas para B. En cuanto a G, el gráfico revela que es suficiente con normalizar la operación presente sin modificación. Como indica el ejemplo anterior, cuando se investiga detenidamente el gráfico desde el punto de vista técnico, salen a la luz varios hechos; se puede ver claramente la llamada "correlación falsa" y se puede poner en práctica bien la normalización. Si se hace esto con diligencia todos los meses o durante tres meses al principio, se pueden racionalizar gradualmente las normas de acuerdo con la situación presente. Debe señalarse que cuando hay varias características, también deben agruparse e investigar su correlación como en la Tabla 4.2. Hay que tener cuidado, ya que una característica podría deteriorarse al mejorar otra.

Otro punto a señalar es que la cantidad de información proporcionada por la tabla anterior aumentará más si también se indican las correlaciones a pequeña escala, utilizando símbolos diferentes.

- (10) Cuando hay muchas causas variables, todas las correlaciones grandes se pueden investigar tal como se ha descrito más arriba, pero a veces es mejor hacer uso de las siguientes estrategias para obtener las correlaciones:
 - (a) Estratificar los datos según causas discretas y comprobar la correlación. Por ejemplo, dibujar un diagrama de dispersión utilizando colores diferentes para las distintas máquinas o periodos de tiempo y buscar la correlación global y las correlaciones individuales para los diferentes estratos. La correlación debe establecerse siempre después de la estratificación según las causas discretas, especialmente cuando se piense que una combinación de causas discretas y de causas variables esté ejerciendo un efecto (i.e., cuando se piensa que hay presente una interacción).
 - (b) Cuando se ha encontrado una correlación entre una característica y , y una causa x , se debe dibujar la línea de regresión de y en x , y corregir los valores de y para el valor estándar de X (e.g., si x es la temperatura y se fija en 600 ± 20 °C, el valor estándar de x será 600 °C).
 - (c) Cuando se piense que dos causas variables estén interaccionando, el análisis debe realizarse como en el ejemplo siguiente: cuando se piense que es mejor variar la temperatura según la riqueza de la materia

prima, y ésta oscila entre el setenta y el noventa por cien, los datos de la materia prima deben estratificarse en bandas del 70-75%, 75-80%, 80-85% y 85-90% de riqueza, y se debe investigar separadamente la correlación entre la temperatura y la característica para cada banda. En tal caso, los datos deben estratificarse según la causa que se crea más difícil de controlar o que tenga un recorrido de dispersión menor, y se debe investigar la correlación entre la característica y la causa remanente.

- (11) Los puntos explicados más arriba son principios generales; en la práctica, sin embargo, se debe analizar un proceso por tanteos de todas las maneras posibles haciendo uso de los conocimientos técnicos y la experiencia. Conforme se vaya haciendo esto, será posible realizar gradualmente el análisis con un uso eficiente del tiempo y el esfuerzo. En cualquier caso, sin el análisis no puede descubrirse nada y no se establecerá ninguna tecnología. Lo más importante es intentarlo.
- (12) De este modo se corrigen gradualmente los datos utilizando las líneas de regresión o las diferencias en las medias, y finalmente se vuelve a dibujar el gráfico de control. Este gráfico revisado mostrará un estado de control aproximado, y los resultados se pueden utilizar para establecer estándares provisionales si el histograma satisface las especificaciones o las metas de la calidad. Si no satisface éstas, se debe acometer una o más de las siguientes acciones:
 - (a) Tratar de realizar la operación según las normas establecidas como se describió más arriba.
 - (b) Seguir analizando el proceso.
 - (c) Realizar nuevos experimentos haciendo uso de los métodos del diseño de experimentos, en la fábrica, en la planta piloto o en el laboratorio.
- (13) Para comprobar si los resultados del análisis anterior son correctos o no, hacer funcionar el proceso según las normas provisionales y hacer varias comprobaciones para ver si las características de referencia han mejorado como se esperaba y si han sido afectadas otras características. Luego, revisar las normas y seguir el análisis según sea necesario.
- (14) Cuando el trabajo haya sido ejecutado satisfactoriamente según las normas provisionales durante un periodo de prueba de uno a tres meses, deben formalizarse las normas y seguir la misma clase de análisis. Según sea necesario, deben ponerse en práctica más mejoras, analizando el proceso tomando datos que anteriormente no se midieron y estratificando el producto de varias maneras conforme avanza por el proceso. Mientras se procede con el análisis anterior, debemos preparar y revisar diversas normas, e.g., normas técnicas, de trabajo, de control para la

maquinaria y el equipo, de muestreo y de medida, etc., y llevar a cabo la formación para que las causas asignables que hayamos eliminado no vuelvan a aparecer. De este modo, acometemos acciones firmemente, dando un paso detrás de otro para evitar que vuelvan a repetirse los problemas y establecemos un control firme. Por supuesto que es mejor realizar estudios del trabajo, estudios del proceso y estudios de tiempo, hacer lecturas breves y llevar a cabo varios programas educativos y de formación mientras hacemos aquello. Los resultados de estas acciones deben registrarse siempre y archivarlos en forma de informes técnicos. También puede haber momentos en los que la capacidad de proceso sea insuficiente a pesar de todo y sea imposible obtener productos satisfactorios bajo las condiciones técnicas y económicas presentes. En tales casos, se deben mantener conversaciones con los clientes, con el proceso siguiente o la dirección de la empresa, con miras a revisar las características, las normas, las especificaciones, las calidades de referencia, etc. Al mismo tiempo, claro está, también es esencial acometer acciones tales como hacer que los departamentos técnico y de investigación comiencen la investigación, planifiquen la instalación de instrumentos de medida y rehagan la maquinaria y el equipo dentro del siguiente periodo financiero de inversión, racionalicen los contratos y promuevan la puesta en práctica del control de calidad entre los proveedores de materias primas. Conforme las personas vayan dominando las técnicas estadísticas y ganen experiencia en el tipo de análisis descrito anteriormente, serán más capaces de anticipar inteligentemente si existen diferencias significativas con sólo representar los datos, sin molestarse en calcular las medias y las dispersiones cada vez. De este modo, serán capaces de seguir con el análisis según prioridades.

4.10 Realización de experimentos en fábrica

Para realizar experimentos con los procesos se hace uso de diversos diseños experimentales, pero sus detalles se dejan para trabajos más especializados. Esta sección da algunas indicaciones breves sobre la realización de experimentos que hacen uso de los procesos.

- (1) Cuando se realizan experimentos en la fábrica, redactar protocolos experimentales de fábrica de antemano y asegurarse de que los experimentos son llevados a cabo según los procedimientos formales de acuerdo con estos protocolos. Es muy equivocado dejar que las personas realicen experimentos en el puesto de trabajo según les parezca oportuno y que informen de los buenos resultados mientras se guardan los malos.

- Asegurarse de que se sigue un procedimiento formal y se envían los informes por escrito.
- (2) Realizar los experimentos haciendo uso del sistema del técnico responsable o estableciendo un equipo de CC. Puesto que los experimentos pueden requerir ensayos en condiciones extremas, puede que afecten a todo el proceso y pueden necesitar acciones de largo alcance basadas en sus resultados, tiene que estar a cargo alguien que tenga la máxima autoridad posible para acometer acciones.
 - (3) Decidir sobre la responsabilidad y la autoridad de lo que suceda si el experimento produce unidades defectuosas o reprocesos o trastorna la producción.
 - (4) Hay que estar seguro de ordenar y analizar adecuadamente los conocimientos y datos anteriores, y establecer claramente el centro y los fines del experimento. Organizar los factores a ensayar en orden de prioridades.
 - (5) En la medida de lo posible, experimentar con factores capaces de ser controlados.
 - (6) Puesto que los experimentos que hacen uso de los procesos a menudo están acompañados de peligros o de posibles daños, según los niveles en los que se fijan los factores que se están ensayando, empezar con el primer experimento fijando los factores en dos o tres niveles que la experiencia y la tecnología hayan demostrado ser completamente seguros. Por ejemplo, cuando cierto factor tiene cierta cantidad de variación y es imposible determinar su mejor nivel a partir de los datos anteriores, pero se considera que es importante por consideraciones técnicas, fijarlo en dos niveles: uno en el valor que se crea que es su estándar, y el otro en un valor mejor dentro de su recorrido de variación. En los casos que no estén claros, fijar el factor en tres niveles, alto, bajo y estándar. A partir del segundo experimento, hacer uso de la información del primer experimento. A menudo se descubre que el nivel óptimo cae fuera de los niveles utilizados previamente.
 - (7) En vez de tratar de alcanzar una conclusión definitiva con un solo experimento, es mejor realizar una serie de dos o tres, haciendo uso de los conocimientos de cada uno para el siguiente. Este método es más seguro y económico, y garantiza la reproducibilidad de los resultados. También deben compararse las varianzas del error en cada etapa. En resumen, los experimentos deben realizarse por pasos.
 - (8) Cuando son inciertos los conocimientos técnicos disponibles, hacer una doble comprobación utilizando primero un método tal como la disposición ortogonal para identificar aproximadamente los factores concretos

problemáticos y finalmente realizar experimentos reiterados haciendo uso de la disposición de doble entrada o un método similar.

- (9) También puede ser ventajoso utilizar los resultados del análisis de los datos anteriores con fines de comprobación. Hay que ser especialmente cuidadoso en verificar que no se confundan los factores.
- (10) El enfoque del diseño de experimentos puede ser beneficioso cuando los niveles de los factores se pueden cambiar fácilmente al azar, paso a paso, sin gastar mucho tiempo o dinero, e.g., en operaciones por turnos. A veces, este enfoque es difícil o peligroso en operaciones continuas, pero las fábricas que tienen un equipo de control automático bien mantenido son adecuadas para este método.
- (11) Asignar los factores y los niveles de los experimentos en forma de normas de trabajo, y preparar siempre órdenes detalladas para el trabajo experimental. También es bueno preparar de antemano hojas para la recogida de datos y tomar medidas suplementarias.
- (12) Puesto que la reproducibilidad es tan importante, se deben realizar experimentos reiterados en diferentes momentos para comprobar si el gráfico de control R indica un estado de control entre las repeticiones. Los experimentos se deben planificar para que sea posible la detección de diferencias entre bloques y la interacción entre bloques y factores. Cuando las personas, las máquinas, las materias primas, etc., se toman como factores, los experimentos deben repetirse por lo menos dos veces dentro del mismo estrato.
- (13) La secuencia experimental debe ser todo lo aleatoria posible. Para conseguirlo, la secuencia debe estar claramente especificada en los planes experimentales y en las instrucciones, y el experimento mismo tiene que estar estrechamente controlado. Cuando es imposible la aleatoriedad, hacer uso del enfoque de las parcelas subdivididas, hacer un estudio técnico profundo de la secuencia experimental y de los factores posibles sujetos a confusión, y definirlos claramente en el informe y las conclusiones experimentales. También deben incluirse aleatoriamente las operaciones realizadas según las normas existentes para hacer comparaciones.
- (14) Los factores incontrolables también tienen que ensayarse, claro está, con una estratificación por equipo o materia prima, por ejemplo. Deben planificarse experimentos para detectar la interacción entre factores incontrolables y controlables, ya que es importante establecer normas operativas para la interacción, i.e., para cada estrato.
- (15) Cuando se haya alcanzado una conclusión, se deben probar realmente las condiciones en el proceso, y estudiarlas por medio de los gráficos de control. Cuando se haya hecho esto, es conveniente comparar la raíz

cuadrada de la varianza del error experimental con R/\bar{d}_2 a partir del gráfico de control R .

4.11 Análisis de los procesos con pocos datos

Los métodos estadísticos de análisis son fáciles de usar en los procesos continuos o cuando se dispone de muchos datos. El análisis estadístico también es posible a menudo con datos escasos (e.g., cuando sólo hay veinte o treinta datos del pasado), pero en algunos casos puede resultar difícil hacer un buen análisis. Seguidamente se dan algunos puntos a observar en tales casos:

- (1) Piense en la razón de la falta de datos. Cuando las personas han estado haciendo uso del enfoque del viejo "mundo de los promedios" y han reducido los datos a unos pocos promedios mensuales, a veces es mejor utilizar métodos rápidos para analizar los datos originales. Claro que se tienen que utilizar métodos precisos cuando los datos son realmente escasos, pero se debe considerar el pasar a hacer experimentos de control en el futuro para que proporcione muchos datos fácilmente analizables.
- (2) Cuando se utilizan los datos de los puestos de trabajo para el análisis y los datos son escasos, existe el peligro de que las causas asignables se confundan con otras causas no aleatorias. Es, por tanto, necesario realizar una revisión técnica para ver si se confunden otras causas con los resultados del análisis. Por supuesto que también se tiene que prestar atención a esto cuando hay muchos datos, pero hace falta tener una precaución especial cuando los datos son escasos debido a la mala aleatorización de otras causas.
- (3) Cuando los datos son escasos, los cambios en otras causas son, a menudo, pequeños, y es peligroso ampliar las conclusiones más allá del rango del análisis.
- (4) Las herramientas estadísticas avanzadas tales como el enfoque del diseño de experimentos y el análisis de la varianza también deben ser utilizadas para el análisis bajo estas condiciones.

4.12 Preparación y puesta en práctica de los planes de mejora

Cuando se decide sobre un plan de mejora, se debe prestar atención a los siguientes puntos:

- (1) Estar seguro de que intervienen todas las personas que van a poner en práctica el plan. Establecer relaciones con otros departamentos afectados.

- (2) Utilizar métodos practicables, pero recordar que los enfoques que se creen imposibles a menudo y sorprendentemente tienen éxito cuando se prueban de verdad.
- (3) Delegar la autoridad para tomar decisiones en lo más bajo posible de la línea jerárquica, e.g., en los jefes de los círculos o de equipos de CC.
- (4) Preparar un plan definitivo con la intención de crear borradores para las normas internas tales como las operativas, las técnicas, las especificaciones de materias primas, etc.
- (5) Lo que se decida en esta etapa es estrictamente un plan de prueba y unas normas provisionales. Sólo deben adoptarse como normas formales después de haber sido probadas, haber comprobado los resultados y haber visto que son buenos.
- (6) Comprobar detenidamente una segunda vez cuál es el efecto que la mejora tendrá sobre otras características, condiciones y departamentos. Las condiciones óptimas para una característica o un departamento no son necesariamente las mejores para otras características o para la empresa en conjunto.
- (7) Como se mencionó antes, siempre habrá quienes se opongan dentro de la empresa cada vez que alguien trate de poner en práctica un plan de mejora o de hacer cualquier cosa nueva. Ponga en fuga a estos oponentes y lleve a cabo el plan con coraje.
- (8) Antes de empezar a poner en práctica el plan, preparar las normas que indiquen quién es el responsable de medir y evaluar la mejora, y cómo y cuándo debe hacerse esto, y cómo se va a controlar el plan de mejora.

Siga de este modo hasta el control y los pasos para mejorar más descritos en la próxima sección.

4.13 Comprobación de los resultados: controlar y seguir mejorando

Por mucha tecnología patentada que tengamos y por muchos análisis estadísticos que hayamos realizado, un plan de mejora no es más que un plan y no sabemos cómo funcionará hasta que se pruebe de verdad. Un número muy grande de planes que se han considerado técnicamente sólidos han fracasado cuando se han puesto a prueba. Si las ideas técnicas brillantes que tenemos fueran realmente tan buenas podríamos producir productos mucho mejores de los que hacemos. Algunas personas llegan hasta decir que las cosas mejoran cuando hacemos lo contrario de lo que sugieren los técnicos.

Esto significa que una vez se ha llevado a cabo un plan de mejora, *siempre* tenemos que comprobar los resultados. Por ejemplo, cuando hacemos un cam-

bio en el diseño tenemos que servir el producto solamente después de haber comprobado detenidamente las consecuencias. También tenemos que establecer sistemas de relaciones con los clientes para comprobar que todo está bien después que el producto haya llegado al consumidor. Antes no se hacía esto porque las personas suponían alegremente que estaban fabricando bien sus productos, pero la omisión de este paso y no dar vueltas alrededor del ciclo de control ha llevado a muchísimos fracasos.

A continuación hay algunas indicaciones sobre la comprobación:

- (1) Hacer que comprobar todas las cosas sea un hábito. Esto significa hacer que sea una práctica estándar anotar en los impresos para los informes de mejoras los métodos de comprobación (i.e., los métodos de control) utilizados y los resultados y beneficios obtenidos, i.e., asegurarse siempre de que los informes de los resultados de la puesta en práctica se presentan. Esto no siempre sucede: por ejemplo, a menudo se incluyen los resultados previstos en los borradores de propuestas y memorandos para las inversiones en equipos, pero no se presentan informes con los resultados obtenidos después que se han hecho las inversiones.
- (2) Comprobar no sólo las características y causas que son el objeto de la mejora sino también otras que estén relacionadas.
- (3) Seguir el proceso de comprobación y control durante un periodo de tiempo bastante largo, e.g., por lo menos un año. Los procesos industriales son muy susceptibles a los cambios de estación, y también se tiene que confirmar la fiabilidad de los resultados.
- (4) Comprobar cómo han cambiado la capacidad del proceso y el estado de control como consecuencia de la mejora.
- (5) En resumen, un proceso mejorado debe controlarse y comprobarse por medio de los gráficos de control por lo menos durante un año. Si el estado de control es estable, entonces el equipo de CC ha cumplido su responsabilidades y se disgrega.

Los resultados obtenidos en la comprobación deben ser examinados para ver si se necesita mejorar más, y se repite el proceso. Siguiendo diligente y perseverantemente los pasos de análisis, mejora, control, seguir analizando y seguir mejorando, usualmente es posible, incluso con el equipo presente, reducir a la mitad el número de unidades defectuosas, reducir a la mitad la variación de la capacidad del proceso, alcanzar un incremento del cincuenta por cien en el volumen de producción, reducir el número de horas-hombre en un treinta por cien y aumentar la productividad en un treinta por cien en unos seis meses.

No es bueno relajarse sólo porque una única mejora ha dado buenos resultados. Tenemos que seguir haciendo una mejora detrás de otra y luchar continuamente para alcanzar metas cada vez más altas.

4.14 Preparación de informes

Siempre que se lleva a cabo un análisis de proceso y se pone en práctica una mejora, se tiene que preparar un informe escrito, aunque la mejora fuera un fracaso total o se cometieran las mismas equivocaciones de camino hacia el éxito eventual. Esta aclaración de los hechos sobre los fracasos y los éxitos es muy importante, no para el beneficio de las personas sino para recoger la tecnología para la empresa o la organización. Si no se hace esto, en el futuro se repetirán las mismas equivocaciones porque las personas tienden a pensar de la misma manera. Por la misma razón, también es muy importante preparar un informe para que la significación de las mejoras y de la tecnología utilizada se pueda comunicar a los empleados menos experimentados y a los que vengán detrás.

Los objetivos de la preparación de informes son dos:

- (1) Permitir que los superiores y otras partes interesadas comprendan profundamente el propósito del análisis, el proceso y los resultados para que puedan acometer acciones si es preciso.
- (2) Acumular tecnología para la empresa o la organización.

Para alcanzar estos objetivos, el informe tiene que redactarse de forma que sea fácilmente comprensible por las personas que no estén familiarizadas con el tema. Igual que el CC, debe escribirse no sólo para el redactor sino para su cliente, i.e., el lector.

Usualmente, no es conveniente empezar a redactar un informe a partir de las anotaciones después de concluir los análisis y los experimentos porque esto consume mucho tiempo y, en casos extremos, el informe jamás se prepara y la información se queda encerrada en la cabeza del redactor o en notas privadas. Es mejor empezar con la intención de escribir el informe desde el principio, pensando en el procedimiento para escribirlo y preparando gráficos y diagramas adecuados.

En general, los contenidos de un informe se organizan mejor según el esquema descrito más abajo, conocido comúnmente como "Historial de CC". El historial de CC o el informe del estilo del CC hace uso de los títulos enumerados más abajo y difiere del tipo de informe de negocios estándar y anticuado que se ocupaba sólo de los resultados, i.e., si se alcanzaron los objetivos o no; tales informes están basados en la filosofía de "si los resultados son buenos, todo está bien", y la alta dirección y los superiores solían coincidir en esto. En

CC nos preocupa el proceso por medio del cual se logran los resultados o, en otras palabras, de los puntos 2 al 7 que hay más abajo. Los informes del estilo del CC se centran en los métodos, los medios y los procesos por medio de los cuales se alcanzan los objetivos. Si el proceso por medio del cual se alcanzan los objetivos se puede dejar totalmente claro, entonces se acumula la experiencia y la tecnología, y en el futuro se podrá repetir el mismo proceso.

El enfoque anticuado dependía de la motivación y el esfuerzo, y a veces se pueden haber obtenido buenos resultados hasta con datos falsos, si el entorno de la empresa y la suerte lo permitían. La anticuada "dirección por objetivos" logra sólo los objetivos limitados a una situación particular y no se pueden reproducir en ninguna otra parte, mientras que el CC se centra el proceso de mejora mismo y apunta a prevenir la reaparición de los problemas.

El director de cierta empresa observó que el presidente de la misma a menudo visitaba fábricas y sucursales para realizar auditorías de CC del presidente. Cuando se le preguntó por qué era preciso hacer tantos viajes, el presidente contestó, "Usted cree que todo va bien mientras los resultados sean buenos, pero me interesa más el proceso por medio del que se alcanzan aquellos. Por eso voy a ver". Esa fue la última vez que el director sacó a colación este tema.

Un informe de historial del CC o del estilo del CC tiene que estar redactado de tal forma que cualquier persona que lo lea, bien sea un superior, un ingeniero o alguien que empieza un trabajo, pueda comprender claramente cada uno de los puntos siguientes:

1. El tema seleccionado.
2. La razón de elegir este tema (el principio de Pareto).
3. La identificación de la situación actual (hechos y estratificación).
4. El análisis de los resultados y los procesos (investigación de las causas asignables).
5. Modificaciones y su ejecución.
6. Confirmación de las modificaciones.
7. Normalización (evitar ir hacia atrás), prevención de la reaparición de problemas.
8. Establecimiento del control.
9. Revisión de las mejoras y consideración de los problemas remanentes.
10. Planes futuros.

Este tipo de informe interno de la empresa es diferente de los informes académicos anticuados. Recomiendo que los informes internos y los informes de las auditorías de CC se dividan en las tres partes siguientes:

La primera parte describe sucintamente, en una o tres páginas el problema y la acción necesaria, para comodidad de la alta dirección y otras personas ocupadas.

La segunda parte describe brevemente, en cuatro o cinco páginas, los datos principales y las conclusiones según el orden de la lista anterior de puntos, para comodidad de las personas medianamente ocupadas como los directores de sección y de departamento.

Las partes 1 y 2 deben llevar referencias a los números de página de la parte 3 que permitan un fácil acceso a la información adicional sobre las áreas de interés especial para el lector.

La tercera parte incluye los datos detallados y una explicación completa de los fracasos y los éxitos, redactada de forma que sea fácilmente comprensible por las personas que vienen detrás. Puesto que los datos originales son el tipo más importante de datos en CC, es mejor incluirlos aquí. Si esto hace que el informe sea demasiado voluminoso, se pueden compilar los datos en un volumen separado o almacenarlos en un ordenador. Según mi experiencia, los datos básicos originales y no tratados contienen mucha información, gran parte de la cual se puede poner de manifiesto en un análisis subsiguiente. Cuando los informes se archivan en un disco de ordenador, se debe preparar un índice con las palabras clave que permita la fácil recuperación de la información.

En todo caso, aunque la preparación de informes es una tarea larga y pesada, es muy importante para organizar nuestras ideas de forma que otras personas, incluyendo a nuestros superiores, puedan comprenderlos, y para acumular el saber hacer técnico para nuestras empresas u organizaciones.

4A.1 Investigación de los métodos de medida³

Es imposible obtener datos sin tomar medidas; esto significa que cada dato que obtenemos contiene cierto error de medición. Además, la medición es tan importante que casi podríamos decir que cualquier avance en control de calidad depende de los progresos que hagamos en los métodos de medida. Por tanto, es obvio que antes de analizar un proceso mismo primero tenemos que revisar nuestros métodos de medida desde los puntos de vista estadístico y

³

Las secciones 4A.1-4A.9 tratan algunos métodos estadísticos muy sencillos para el análisis que cualquier persona puede aprender enseguida a utilizar. Para las distribuciones de frecuencias, los histogramas, los diagramas de Pareto y las hojas de comprobación, ver el Capítulo 2. Para el análisis por medio de los gráficos de control, ver las secciones 3.9.2 y 3A. Para las herramientas estadísticas y los métodos del diseño de experimentos que requieren cierta cantidad de cálculos, le ruego acuda a otros trabajos.

técnico. Cuando se investigan los métodos de medida se tienen que cubrir los siguientes puntos:

- (1) Idear formas de cuantificación: cualquiera que sea la situación, la garantía de calidad y la mejora se facilitan con la evaluación numérica. Siempre que sea posible debemos idear métodos de cuantificación y ejercer el control por medio de los números.
- (2) Reconsiderar si las medidas se toman para la inspección y la garantía, para el control del proceso o para la mejora del mismo: a menudo se confunden estos fines; por ejemplo, las medidas tomadas con fines de inspección se utilizan a veces para el análisis o el control a pesar de su inadecuación. Sería mejor utilizar para la inspección las medidas con fines de mejora o control.
- (3) Investigar cuáles son más apropiadas, las medidas por variables o las medidas por atributos: normalmente las medidas por variables nos permiten arreglarnos con muestras más pequeñas y suministran más información, haciendo más fácil decidir qué acción acometer, pero recoger y ordenar la información es caro y largo. Las medidas por atributos a menudo simplifican la recogida y ordenación de datos, permite la comprobación de grandes cantidades de unidades y son fácilmente comprendidas por las personas que están en el puesto de trabajo, pero dan menos información. Puesto que es imposible dar reglas generales en cuanto a qué tipo de medida debería seleccionarse, ofreceré algunas orientaciones ilustrativas:
 - (a) Cuando la variación entre las unidades de la muestra es muy grande y el error de muestreo también, es necesario tomar un número grande de muestras y realizar muchas medidas con objeto de controlar un proceso. En tal caso, puede ser conveniente medir los atributos.
 - (b) Cuando uno quiere realizar la garantía de calidad junto con el control del proceso, puede ser necesario tomar un número bastante grande de muestras. En este caso, a veces es ventajosa la medida de atributos.
 - (c) Las medidas de atributos pueden ser mejores para mostrar el estado global de control de una fábrica a la alta dirección, y pueden ser comprendidas más fácilmente por los trabajadores y los encargados de línea.
 - (d) Las medidas de variables proporcionan más información y, por tanto, son mejores para el análisis de los procesos por parte de los círculos y equipos de CC.
 - (e) A veces es conveniente utilizar medidas de variables hasta que un proceso está bajo control, y las medidas de atributos a partir de ahí. Lo contrario es cierto a veces.

- (f) Es mejor utilizar galgas de variables para las medidas del orden de centésimas de milímetro o inferiores (o recientemente de una miera) y galgas de atributos para medidas por encima de estos valores.
 - (g) Los artículos que se han de medir con ensayos sensoriales deben clasificarse en tres a cinco clases.
- (4) Investigación de los errores de medición: en la mejora y control de un proceso, lo que nos preocupa en el error de la medición es la fiabilidad y la reproducibilidad (especialmente la de las medidas tomadas en el mismo laboratorio pero en días diferentes, por personas diferentes o con instrumentos diferentes) de las medidas. Claro que también tenemos que preocuparnos del sesgo cuando las medidas para los ensayos de control se utilizan también para garantizar los resultados, pero es suficiente si se conocen la cantidad de sesgo y la correlación, y si las medidas son fiables. Durante el análisis de un proceso, los puntos fuera de control pueden deberse a anomalías en las medidas, i.e., a medidas no fiables, y a menudo R es grande como consecuencia de la mala reproducibilidad de las medidas.

En general, si llamamos \int_p a la variación del mismo proceso, \int_s a la variación debida al muestreo, y \int_M a la reproducibilidad de la medida, la variación de los datos, a , aparecerá en forma de:

$$\int^2 = \int_p^2 + \int_s^2 + \int_M^2$$

Así pues, si las variaciones \int_p^2 o \int_s^2 son diez veces o más mayores que \int_M^2 , el método de medida es más o menos ideal para controlar el proceso, pero si $\int_p^2 \approx \int_M^2$ ó $\int_p^2 < \int_M^2$, es imposible decir si el gráfico de control se está utilizando para controlar el proceso o la medida. A veces me encuentro con tales gráficos. En tales casos, tenemos que repetir las medidas y tomar los promedios o revisar las normas de trabajo para realizar las mediciones con el fin de reducir \int_M . El caso contrario -cuando la precisión de la medida es buena- sucede a veces, y tenemos $\int_p^2 \gg \int_M^2$ (e.g., $\int_p^2 \approx 100 \int_M^2$). Se necesita esta clase de precisión para las pruebas de garantía pero es innecesariamente alta para las pruebas de los experimentos de control, y es mejor pasar a una forma más sencilla y barata de experimento de control si cuesta demasiado tiempo realizar las medidas o son muy caras. Conforme avanza el análisis del proceso y el control, generalmente \int_p disminuye gradualmente y esto puede hacer que \int_M se haga grande en comparación con \int_p aunque haya podido ser pequeña al principio. Es, por tanto, necesario comprobar de vez en cuando el método de medida para estar seguros de que todavía es adecuado.

Como se puede ver de lo anterior, es importante comprobar la fiabilidad y la reproducibilidad de las medidas en el análisis de un proceso. Si no se hace esto, se malgastará mucho tiempo y esfuerzo analizando procesos y buscando causas asignables cuando muchos de los puntos fuera de control se pueden deber a errores de medición o a causas desconocidas. Por supuesto que es el deber de las secciones de inspección, ensayos, análisis, control de medidas y calibres y herramientas controlar los instrumentos de medida y los métodos de los cuales son responsables, y cuantificar su reproducibilidad y sesgo.

- (5) Preparar y controlar normas de trabajo para hacer las mediciones: cuando se revisan los errores de medida, a menudo se ve, sorprendentemente, que las medidas no son fiables o tienen una reproducibilidad malísima. Esto es porque a menudo los métodos de medida estándar actuales y los métodos de ensayo dejan mucho que desear como normas de trabajo. De hecho, alguna vez me he encontrado con medidas y ensayos que están casi totalmente incontrolados. Las medidas y los ensayos deben ser considerados como otro tipo de proceso, y se deben preparar las normas de trabajo para ellos teniendo esto presente. Además, aquellos que son responsables de efectuar las medidas deben ser entrenados concienzudamente, y deben idearse métodos para controlar el proceso de medición, e.g., haciendo pasar sin conocimiento del controlador muestras estándar por el proceso como comprobación de vez en cuando.
- (6) Acelerar el tiempo de realización de las mediciones: para un buen control, es esencial acelerar la retroalimentación de los datos y la información. Para lograrlo, debemos investigar si los métodos de análisis y ensayos actualmente en uso son satisfactorios desde el punto de vista del tiempo, y considerar el uso de métodos más rápidos y fáciles. También se deben mejorar los métodos de retroalimentación.
- (7) Preparar instrucciones para el control de las medidas: aunque en el puesto de trabajo se utilizan muchos instrumentos y galgas diferentes para medir magnitudes tales como la temperatura y el peso en relación tanto con las características como con las causas, es necesario que, en la etapa del análisis, las personas se hagan responsables de controlarlos y de preparar las instrucciones adecuadas. Estas instrucciones deben incluir lo siguiente:
 - (a) Especificaciones de compra de los instrumentos, normas para la inspección en recepción e instalación de las comprobaciones de su instalación.
 - (b) Método de uso de cada instrumento, designación de las personas responsables del control, métodos estándar de control.
 - (c) Normas de trabajo para la limpieza, el mantenimiento, la calibración y la inspección de los instrumentos.
 - (d) Cuestiones referentes a la reparación de los instrumentos.

4A.2 Investigación de los métodos de muestreo

El muestreo es un tema importante que forma la base de la estadística matemática y del control de calidad estadístico. Los métodos de muestreo no se pueden tratar separadamente del análisis del proceso y de la etapa preparatoria del control del proceso. Explicaré aquí la teoría general del muestreo, pero el método de muestreo debe ser elegido para cada situación concreta en consideración a los conocimientos obtenidos del proceso, el análisis, los conocimientos técnicos presentes, el propósito del control del proceso y del estado de control del mismo.

Aunque el muestreo sea uno de los puntales del control de calidad, cuando toca poner en práctica el control de calidad, es sólo una parte del problema. Desde el punto de vista del análisis y el control, consideramos que un proceso es como si fuera como una población, y un lote que sale de un proceso es, obviamente, una muestra de ese proceso. Puesto que los datos que obtenemos son o bien datos de un lote o datos de una muestra tomada de un lote, cuando pensamos sobre el muestreo en el análisis o control de un proceso, tenemos que considerar cómo tomar muestras con objeto de controlar el proceso (i.e., la población; ver la Figura 2.1). Cuando seleccionamos un método de muestreo, tenemos que considerar los puntos siguientes:

- (i) los métodos de muestreo utilizados actualmente,
- (ii) el propósito del muestreo,
- (iii) los lugares donde hacer el muestreo,
- (iv) los errores de muestreo,
- (v) los métodos de muestreo y de subagrupamiento,
- (vi) el estado de control del proceso y el intervalo de muestreo,
- (vii) las normas para los métodos de muestreo.

(1) Investigación de los métodos de muestreo utilizados actualmente

Algunos de los métodos de muestreo utilizados anteriormente pueden haber sido racionalizados empíricamente pero, a menudo, existen los siguientes aspectos irracionales y, por tanto, deben investigarse todos los métodos de muestreo:

- (a) El propósito puede no estar claro: puede que no esté claro para qué se van a utilizar los datos obtenidos del muestreo: para el control del proceso, el análisis del proceso, la garantía de calidad o la inspección.
- (b) El método puede ser inadecuado para el propósito del muestreo:

- (i) El muestreo con fines de inspección puede estar en uso para el control del proceso,
 - (ii) El método puede no ser fiable,
 - (iii) El método puede no tener la precisión adecuada,
 - (iv) Puede haber presente un sesgo desapercibido,
- (c) El método de muestreo puede no estar controlado.

Hay muchos ejemplos de fábricas en las que el análisis y el control de procesos han fracasado debido a los métodos irracionales de muestreo.

(2) ¿Cuál es el propósito del muestreo?

A menudo se puede racionalizar el muestreo tan sólo con aclarar el propósito técnico de tomar las muestras. Esto puede hacerse considerando las normas de calidad, los requisitos del proceso siguiente, los resultados de analizar el proceso en cuestión y el estado de control del proceso previo, y seleccionando inicialmente lo que se crea que es un método racional a la luz de los conocimientos técnicos, empíricos y estadísticos. Es todavía mejor si el método se puede utilizar conjuntamente para la garantía de los lotes y el control del proceso. Luego se puede mejorar gradualmente el método realizando estudios estadísticos más detallados y poniendo en práctica el control del proceso.

Generalmente, cuando tratamos de controlar cierta dispersión, debemos tomar muestras, recoger y subagrupar los datos de forma que se pongan de manifiesto las variaciones subyacentes. Así pues, el propósito del muestreo está íntimamente relacionado con el subagrupamiento en los gráficos de control.

(3) Decidir los lugares donde hacer el muestreo

Si se seleccionan las características de calidad en cuestión, y se deciden los puntos de comprobación, las características de control y los objetivos, los lugares donde hacer el muestreo se decidirán solos. Sin embargo, se deben observar los siguientes puntos:

- (a) Uno de los principios más importantes del control de un proceso es la estratificación; por tanto, el muestreo debe realizarse, en principio, después de la estratificación. En otras palabras, los lugares donde hacer el muestreo deben ser elegidos por consideraciones técnicas, para que permitan la realización del muestreo con la estratificación por materia prima, máquina, ruta de proceso, hora del día, grupo de trabajo, etc., y para que proporcione tanta información como sea posible. Usualmente no es satisfactorio tomar muestras después de haber mezclado elementos procedentes de diferentes fuentes.

- (b) Es mejor elegir lugares que faciliten el muestreo aleatorio o el muestreo a intervalos fijos (muestreo sistemático). La manera más sencilla de hacerlo es tomar muestras mientras un lote va pasando por el proceso, i.e., mientras se está moviendo. Ocasionalmente el muestreo aleatorio puede ser más fácil de realizar en lotes estacionarios pero usualmente es más difícil.

Los puntos anteriores deben ser considerados cuando se diseña o se reorganiza la distribución de una fábrica.

(4) Errores de muestreo

Como se mencionó en la sección sobre los errores de medida, en el control de un proceso nos preocupa especialmente la precisión y la fiabilidad. Claro que el sesgo también es un problema en garantía de calidad. Tanto si uno está considerando los métodos de muestreo presentes como si está planificando otros nuevos, es deber del departamento responsable controlar los procedimientos de muestreo, asegurarse de que se realiza un muestreo fiable y aclarar estadísticamente su precisión y su sesgo.

Tiene que controlarse la fiabilidad para que cuando aparezcan datos anómalos, el puesto de trabajo no pueda eludir el tema echando la culpa a un mal muestreo.

Si llamamos σ_p^2 a la variación del promedio del proceso, σ_s^2 a la reproducibilidad del muestreo, y σ_M^2 a la reproducibilidad de la medida, la variación de los datos, σ , en el caso de unidades discretas viene dada por:

$$\sigma^2 = \sigma_p^2 + \sigma_s^2 + \sigma_M^2 \quad (4A.1)$$

(Ver la sección 4A.9.)

La variación de \bar{x} , $\sigma_{\bar{x}}^2$, cuando el tamaño del subgrupo es n , viene dada por:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma_p^2 + \frac{1}{n} (\sigma_s^2 + \sigma_M^2) \quad (4A.2)$$

En el caso de materiales a granel, especialmente cuando se forman muestras compuestas, se facilita la comprensión dividiendo la variación del proceso, σ_p^2 , en la variación entre los subgrupos, σ_e^2 , y la variación dentro de los subgrupos, σ_d^2 . Si hacemos esto, tenemos:

$$\sigma^2 = \sigma_e^2 + \sigma_d^2 + \sigma_s^2 + \sigma_M^2 \quad (4A.3)$$

Y la variación de \bar{x} está dada por:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma_e^2 + \frac{1}{n} (\sigma_d^2 + \sigma_s^2 + \sigma_M^2) \quad (4A.4)$$

En las fórmulas 4A.2 y 4A.4, el primer término de la derecha es la variación entre los subgrupos, y el segundo término es la variación dentro de los

subgrupos. De los diferentes componentes de $\hat{\sigma}^2$, a menudo la variación dentro de los subgrupos más inmediata y, a corto plazo, es la más grande; por tanto es mejor elegir un método de muestreo que ponga esto de manifiesto.

Con unidades discretas, la precisión del muestreo no es un problema tan serio, ya que la variación dentro de los subgrupos indica la variación dentro de los lotes y, por tanto, el tamaño de los subgrupos y el método de subagrupamiento son más importantes.

Con materiales a granel, cuando las medidas se realizan en todas las unidades de muestra y los subgrupos se forman con varias de estas medidas, $\hat{\sigma}_d^2$ y $\hat{\sigma}_s^2$ son idénticas y las fórmulas son las mismas que las 4A.1 y 4A.2 para unidades discretas. Sin embargo, $\hat{\sigma}_s^2$ depende de la forma en que se elija la unidad de muestra. En contraste, cuando se toman muestras compuestas o muestras promedios, las fórmulas aplicables son las 4A.3 y 4A.4 (donde $\hat{\sigma}_s^2$ también incluye el error de reducción de la muestra $\hat{\sigma}_D^2$).

Puesto que lo que queremos controlar con el gráfico R es principalmente $\hat{\sigma}_d^2$, es conveniente que $\hat{\sigma}_s^2$ sea aproximadamente la décima parte de $\hat{\sigma}_d^2$, si es posible. Cuando $\hat{\sigma}_s^2$ es grande, a veces es mejor tomar dos o más muestras separadas por el método de muestreo y utilizar éstas como si fueran un subgrupo.

En el gráfico \bar{x} , la variación de \bar{x} viene dada por la fórmula 4A.4 y queremos controlar $\hat{\sigma}_e^2$ dentro de los límites de control señalados por el segundo término de la fórmula. Puesto que $\hat{\sigma}_s^2$ está multiplicado por $1/n$, en realidad no es ningún problema. Sin embargo, incluso en este caso, si $(1/n)\hat{\sigma}_s^2$ es mucho mayor que $\hat{\sigma}_e^2$, o si el método de muestreo no está controlado y usualmente el muestreo no es fiable, a veces las personas que están en los puestos de trabajo dibujan gráficos de control creyendo firmemente que están controlando el proceso cuando lo que están haciendo en realidad es controlar el muestreo. Cuando sucede esto, a menudo permanecen oscuras las causas de los puntos fuera de control.

Como se explicó anteriormente, cuando se lleva a cabo el control de un proceso, tenemos que comprobar estadística y detenidamente nuestros métodos de muestreo para cada proceso y asegurarnos de que son fiables y tienen una precisión razonable.

(5) El método de muestreo y el subagrupamiento

Los métodos de muestreo se pueden clasificar de varias maneras, pero aquí me gustaría explicar sólo aquello que es necesario para el control del proceso en relación con el subagrupamiento. Es mejor estratificar en cualquier situación, siempre que sea posible, puesto que el muestreo aleatorio de todo el proceso sin la estratificación pierde información. Sin embargo, cuando alcanzamos la etapa de tomar muestras realmente de algo que está delante de