

Figura: 4A.1: Métodos de muestreo

nosotros, tenemos que recordar que hay que observar el principio del muestreo aleatorio. En otras palabras, tomamos muestras aleatorias de grupos cuya variación interna no necesitamos conocer; cuando necesitemos esta información, estratificaremos todo lo posible antes del muestreo. Querría empezar por explicar brevemente el muestreo de artículos discretos.

- (a) Naturalmente que es conveniente estratificar el material en lotes conforme pasa a través del proceso y tomar muestras de cada estrato. Estas son tres formas de hacerlo (ver la Figura 4A. 1):
- (i) Tomar un lote fabricado durante un cierto periodo de tiempo, estratificarlo con arreglo a la máquina, por ejemplo, etc., sacar muestras aleatorias de n artículos de cada estrato, y utilizarlas como subgrupos. Este método trata los productos fabricados durante cierto periodo de tiempo como si fueran un lote y trata de controlar el proceso usando la variación dentro de los lotes como si fuera un dato. Esto es satisfactorio cuando la variación dentro de los lotes satisface las normas internas de calidad.
 - (ii) A intervalos determinados de tiempo, tomar una muestra de n unidades sucesivas de producto producidas por el proceso y utilizarla como subgrupo. Este método es adecuado cuando el proceso está relativamente bien controlado y sus operarios comprenden la filosofía del control de calidad. Si este método se utiliza antes de haber alcanzado esta etapa, existe el peligro de que haya demasiados puntos fuera de control, lo que hace que los gráficos de control no sean adecuados para controlar el proceso, o que se pasen por alto variaciones en el proceso o que se haga un trabajo descuidado entre las muestras,
 - (iii) Tomar n muestras a intervalos fijos dentro de un determinado periodo de tiempo y utilizar éstas como subgrupo. Este método permite detectar rápidamente la variación dentro de los subgrupos en un cierto periodo de tiempo, pero la variación dentro de los subgrupos será mayor que con el método (ii). Este método se utiliza a menudo en el control ordinario de los procesos, especialmente en sus etapas iniciales.

Cada uno de los tres métodos anteriores tiene sus ventajas y sus inconvenientes, y es imposible hacer ninguna afirmación tajante sobre cuál es el mejor, ya que esto depende del estado del proceso. El tercer método proporciona la máxima información sobre el proceso pero existe el riesgo de pasar por alto las variaciones entre los intervalos del muestreo. Hay menos riesgo de pasar por alto esta variación con el primer método, pero se pierde la información sobre la variación con el tiempo dentro de los subgrupos. El segundo método minimiza la variación dentro de los subgrupos, pero ignora la variación que tiene lugar después de una muestra y antes de la siguiente. Lo más importante con estos tres métodos es estratificar los materiales en lotes en su paso a través del proceso y asegurarse de que la historia de los lotes y de los datos está clara, así como decidir el intervalo del muestreo y los periodos de tiempo en que se van a tratar como subgrupos. En abstracto, el intervalo del muestreo debe ser tal que ninguna causa asignable pueda deslizarse entre la red del muestreo. Cuando se suministran y procesan establemente lotes de materia prima relativamente uniformes, la maquinaria se ajusta pocas veces y hay base técnica para creer que es más probable que las anomalías ocurran sistemáticamente, más que esporádicamente, es relativamente fácil decidir los intervalos de tiempos a los que se deben tomar las muestras. Por ejemplo, podría ser cada vez que se introduce un lote de materia prima nueva, se hace un ajuste o se cambia el turno. Sin embargo, cuando los lotes de materia prima alimentan aleatoriamente al proceso y la maquinaria se está ajustando constantemente, no es fácil decidir el intervalo de tiempo para el muestreo. En tal caso, la primera consideración es reorganizar radicalmente y normalizar la forma en que los lotes de materia prima se suministran, y normalizar el ajuste del equipo.

No obstante, por lo menos es mejor hacer algo hasta que se logre dicha reorganización; así pues, mientras tanto, el muestreo debe realizarse a intervalos fijos de tiempo, subagrupar los datos, dibujar los gráficos de control y adoptar medidas fiables para prevenir la reaparición de problemas cada vez que se dé la señal de falta de control. Si se hace esto, aunque al principio se pasen por alto las causas asignables que surjan entre las muestras, se localizarán más pronto o más tarde y el proceso se irá controlando gradualmente.

- (b) Con materiales a granel, los datos pueden obtenerse bien en forma de muestras compuestas o de unidades individuales de muestreo. Cualquiera de los dos casos será idéntico al (a) anterior si la unidad de la cual se obtienen los datos se trata como si fuera una unidad discreta. Sin embargo, dejaré esta cuestión a los trabajos especializados en el muestreo, ya que es un asunto bastante complejo que implica cuestiones de cómo

preparar muestras compuestas, cómo realizar la reducción de las muestras y cómo decidir el tamaño de la unidad de muestreo.

Tomar muestras compuestas también implica las cuestiones de si el muestreo en un instante determinado es satisfactorio y a qué intervalo de tiempo deben promediarse las muestras. Generalmente no es conveniente calcular el promedio de las muestras un día, ya que se perderá la información de la variación a lo largo del día, y a menudo es mejor un método de muestreo que ponga de manifiesto el promedio para una hora, cuatro horas o para un turno. Cualquiera que sea el intervalo utilizado, es mejor instalar un equipo de muestreo automático.

Cuando se miden unidades individuales de muestreo -por ejemplo, en el muestreo de tejidos y papel- en principio la unidad de muestreo debe decidirse según las normas de calidad y los requisitos del cliente. Se deben revisar los métodos de ensayo existentes, ya que muchos son inadecuados para estos fines o para los requisitos de los clientes.

(6) El estado de control del proceso y el intervalo de muestreo

Como se dijo antes, en principio el intervalo de muestreo debe elegirse de modo que no se pasen por alto las anomalías del proceso. Sin embargo, cuando un proceso está fuera de control y cambia rápidamente, y es imposible decir cuándo puede haber sucedido una anomalía, no podemos estar tomando muestras, midiendo y buscando anomalías constantemente. En tal caso, tenemos que normalizar los procedimientos de trabajo y suprimir las anomalías activamente. Mientras tanto, puesto que a menudo están presentes cambios cíclicos de periodo largo y tendencias junto con fluctuaciones rápidas a corto plazo cuando se da el tipo de variación anterior, o bien tenemos que calcular el promedio para cierto periodo de tiempo y adoptar algún método para controlar estos cambios cíclicos de periodo largo y las tendencias, o bien tenemos que instalar un equipo de registro y control automático. Sin embargo, a veces es un problema técnico difícil y es cuestionable si debemos ir corriendo a instalar tales dispositivos sólo porque un proceso sea inestable. Debemos hacer esto únicamente si se puede demostrar objetivamente que será beneficioso después de un estudio completo estadístico y técnico por medio de los gráficos de control.

Tampoco es necesariamente ventajoso reducir el intervalo de tiempo del muestreo inmediatamente basándose en que el proceso es inestable. De hecho, aunque el intervalo sea bastante largo y se pasen por alto algunas anomalías que se den entre las muestras, el estado de control mejorará gradualmente si trabajamos pacientemente para llevar el proceso bajo control, revisamos las normas de trabajo o acometiendo alguna otra acción para evitar que vuelvan a aparecer las causas asignables siempre que se descubra una anomalía. Así pues, el intervalo del muestreo también depende de si se actúa sobre el proce-

so y se evita completamente que vuelvan a aparecer las causas asignables. El intervalo del muestreo tiene que ser corto si los gráficos de control se utilizan para actuar prontamente para suprimir las anomalías, pero es permisible alargarlo ligeramente si siempre se adoptan medidas fiables para prevenir la reaparición de problemas.

Conforme mejore gradualmente de este modo el estado de control del proceso, se puede alargar el intervalo del muestreo, aumentar el tamaño de los lotes o reducir el tamaño de las muestras. El alargar los intervalos de muestreo y aumentar los tamaños de los lotes es una gran ventaja económica de la puesta en práctica del control de calidad, pero esto depende del estado de control del proceso, el nivel de concienciación en control de calidad dentro de la empresa y de los progresos de la normalización. Por tanto, deben fomentarse estas cuestiones.

En general, si se han hecho progresos en los puntos anteriores, si hay una base técnica para la confianza y si, por lo menos, han aparecido cien puntos sucesivos dentro de control en los gráficos de control, se pueden dar los pasos siguientes:

- (i) Alargar el intervalo de muestreo de dos a cinco veces,
- (ii) Aumentar entre dos y cinco veces el periodo para el que se calcula el promedio de las muestras.
- (iii) Reducir a la mitad o la quinta parte el tamaño de las muestras,
- (iv) Tomar muestras sin estratificar.

(7) Formulación de las normas para el método de muestreo

Puesto que el muestreo también es un tipo de trabajo, los métodos normalizados también tienen que ser estipulados de la misma forma que los procesos ordinarios. Las normas pueden ser formuladas haciendo uso del mismo enfoque que para las normas de trabajo ordinarias. Las cuestiones a decidir incluyen las siguientes:

- (i) Quién es responsable del muestreo, quién debe estar presente y quién a cargo de llevarlo a cabo,
- (ii) Cuándo y cómo debe llevarse a cabo el muestreo, por qué método y con qué equipo,
- (iii) Cómo se debe disponer de las muestras tomadas, cómo se deben numerar, reducir, almacenar, transportar, etc.

Además, de la misma manera que para la normalización ordinaria, se debe prestar atención a cuestiones tales como las siguientes:

- (i) Poner siempre las normas por escrito,
- (ii) Afanarse constantemente por racionalizarlas.

- (iii) Asegurarse de que los métodos especificados son técnicamente factibles en el puesto de trabajo.
- (iv) Dar criterios específicos de acción y utilizar tablas de muestreo aleatorio.
- (v) Aclarar la autoridad y la responsabilidad de todas las personas implicadas.
- (vi) Asegurarse de que todas las personas afectadas aprueban las normas.
- (vii) Elegir métodos fiables y fácilmente controlables,
- (viii) Utilizar métodos de precisión y fiabilidad conocidas.
- (ix) Elegir métodos que no sean susceptibles de sesgo.

(8) Resumen

Las cuestiones explicadas anteriormente deben tenerse siempre presentes durante el análisis de un proceso, y se tienen que revisar siempre y especificarse por lo menos una vez cuando se analiza un proceso y se camina hacia el control. En el estado actual del control de calidad en Japón, se está investigando el muestreo en los tres tipos siguientes de fábricas:

- (a) Fábricas en las que no se puede intentar el análisis y control de procesos sin estudiar los métodos de muestreo, debido a la irracionalidad de los métodos usados en el pasado.
- (b) Fábricas que han llevado a cabo el análisis y el control y han mejorado el estado de sus procesos y en las que el muestreo se ha convertido ahora en un problema.
- (c) Fábricas que están experimentando dificultades en la introducción del control de calidad y en las que los técnicos de control están entusiasmados con el estudio del muestreo porque es el área más fácil de abordar, i.e., están huyendo hacia el muestreo.

Que el número de fábricas del segundo tipo haya aumentado recientemente es una prueba gratificante de los progresos del control de calidad.

4A.3 El concepto de las pruebas estadísticas

En la sección 2.2 se describieron algunas ideas generales sobre estadística, pero me gustaría tratar aquí el procedimiento de las pruebas estadísticas de una forma ligeramente más teórica, ampliando el ejemplo dado en aquella sección (del lanzamiento de un dado); así pues, cada paso se describe aquí con más detalle.

- (1) Decidir el propósito del análisis o el experimento (i.e., el propósito de emitir un juicio): quejarse si se están haciendo trampas.

- (2) Hacer suposiciones: supondremos que el dado es uniforme, que no está trucado.
- (3) Elaborar una hipótesis (la hipótesis nula): "El dado se lanza honestamente, sin trampas, y los números pares e impares aparecen con la misma probabilidad de $1/2$ ".
- (4) Calcular las probabilidades de los datos a la vista de la distribución de los estadísticos, suponiendo que la hipótesis sea correcta: calcular la probabilidad de obtener cinco números pares sucesivos cuando el dado se lanza honestamente. En este caso, la probabilidad es:

$$(1/2)^5 = 1/32 \text{ H } 0,03 = 3 \%$$

- (5) Comparar la probabilidad con el nivel de significación o de confianza y emitir un juicio: normalmente la hipótesis es decididamente errónea si la probabilidad es del uno por cien o inferior, y debemos decidir que la hipótesis es rechazable en este caso. En el ejemplo del dado, la probabilidad de que aparezcan siete números pares sucesivos es de $1/128$, que es menor que $0,01$, luego la hipótesis de que no se están haciendo trampas puede rechazarse totalmente si sucede esto. En otras palabras, podemos decir, "Se están haciendo trampas". Si la probabilidad es del cinco por cien o inferior, debemos decidir que la hipótesis es rechazable, i.e., si se obtienen cinco números pares sucesivos, podemos decir, "Parece que se están haciendo trampas". Si la probabilidad es del diez por cien o inferior, la hipótesis es un poco dudosa, i.e., sólo podemos decir, "Es posible que se estén haciendo trampas".

Tabla 4A.1: Niveles de significación estándar

	Nivel de significación (a%)		
	Diferencia posible	Diferencia aparente	Diferencia segura
Laboratorio	10-30	5-10	1-5
Planta piloto	5-20	1-5	1
Puesto de trabajo	5-10	1-5	0,1-1

Esta tabla muestra un ejemplo; en la práctica, los valores dependen de la acción que se ha de acometer.

Estas probabilidades se llaman "niveles de confianza" o "niveles de significación". Como se explicó en la sección 2.2, un nivel de confianza es la probabilidad de cometer un error del tipo I, e.g., decidir que se están haciendo trampas cuando de hecho no es así (i.e., rechazar la hipótesis cuando de hecho no debería rechazarse). En los gráficos de control, este nivel de significación se fija alrededor del $0,3 \%$ (aproximadamente equi-

valente a ocho números pares seguidos en el caso del dado), por lo que es aceptable decidir que es seguro que hay algo mal en el proceso si un punto cae fuera de los límites de control.

- (6) Acometer acciones según la decisión: quejarse de que se están haciendo trampas.

Tenemos que observar que, a menudo, los pasos cuatro y cinco están combinados y se hacen comparaciones con el nivel de significación del paso cinco sin calcular la probabilidad en el paso cuatro. Por ejemplo, el valor de t (10, 0,05) puede compararse con el valor de t_0 como en el ejemplo siguiente.

(1) Prueba de la diferencia en las medias

Las ideas descritas más arriba se ilustrarán ahora por medio de un ejemplo en el cual comprobamos si hay una diferencia en las medias de la población, i.e., si ha cambiado la media de una distribución.

El rendimiento medio de cierto producto parece ser diferente según el tipo de materia prima utilizada. Para comprobarlo, se midió el rendimiento seis veces para cada materia prima en un orden aleatorio y se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 4A.2.

- (a) Propósito del experimento: comprar la mejor materia prima si hay alguna diferencia, y comprar la más barata si no la hay.
- (b) Suposiciones:
- (i) Que las pruebas se llevan a cabo con el proceso en estado de control,
 - (ii) Que las medidas se toman en orden aleatorio.
 - (iii) Que la varianza del error experimental es la misma para las dos materias primas.
- (c) Definir la hipótesis: "No hay ninguna diferencia entre los rendimientos de la materia prima A y la B, i.e., el rendimiento es el mismo para ambas". Esto se indica simbólicamente por:

$$H_0: \sigma^A = \sigma^B \text{ (hipótesis nula)}$$

- (d) Calcular la probabilidad según la hipótesis: en esta etapa, se hace el cálculo con fórmulas estadísticas. Esta es la única diferencia entre este método y el juicio anticuado basado en el sentido común.

El método manual para el cálculo se describe a continuación, pero se puede hacer más fácilmente con una calculadora o un ordenador.

Primer paso: Simplificar el cálculo codificando los datos como se indica en la tabla. En este ejemplo, $X = x - 80$.

Segundo paso: Calcular la media y la suma de los cuadrados de las desviaciones, S (ver la sección 2A.2).

$$\begin{array}{ll} \bar{x}_A = 83,83 & \bar{x}_B = 80,83 \\ S_A = 52,83 & S_B = 46,83 \\ n_A = 6 & n_B = 6 \end{array}$$

Tercer paso: Calcular t_0 con la fórmula siguiente:

$$t_0 = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{S_A + S_B}{n_A + n_B - 2} \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)}} = \frac{83,83 - 80,83}{\sqrt{\frac{52,83 + 46,83}{6 + 6 - 2} \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right)}} = 1,65$$

Se ha comprobado estadísticamente que si $\sigma_A = \sigma_B$, t_0 sigue la distribución t , con $n_A + n_B - 2$ grados de libertad. Por tanto, la prueba se realiza usando la distribución t .

Nota: se han obtenido estadísticamente fórmulas de este tipo para diversas situaciones.

(e) Comparar las probabilidades y tomar una decisión.

Cuarto paso: Encontrar el valor de t para una probabilidad (i.e., nivel de significación) de α (e.g., 0,05, 0,01) en las tablas de la distribución t para $6 + 6 - 2 = 10$ grados de libertad. Generalmente esto se expresa como $t(n_A + n_B - 2, \alpha)$.

$$t(10, 0,05) = 2,228 \quad t(10, 0,01) = 3,169$$

Así pues, $t_0 = 1,65 < t(10, 0,05) = 2,228$, y no se puede rechazar la hipótesis de que $\sigma_A = \sigma_B$. En otras palabras, no podemos decir que haya alguna diferencia entre los dos conjuntos de datos. Se puede dar por casualidad una diferencia de $\bar{x}_A - \bar{x}_B = 3,00\%$ entre las medias cuando hay este grado de dispersión en los datos.

(f) Actuar según la decisión: puesto que no se podía demostrar que hubiera una diferencia, se decidió utilizar en el futuro la materia prima más barata, A.

En este caso, aunque se hubiera encontrado alguna diferencia, la decisión en cuanto a qué materia prima utilizar debería hacerse sólo después de estimar la diferencia y tener en cuenta consideraciones técnicas y económicas.

Tabla 4A.2: Diferencias entre los rendimientos de las materias primas A y B

Materia prima A	Materia prima B	$x_A - 80$	$x_B - 80$	$(x_A - 80)^2$	$(x_B - 80)^2$
83%	80%	3	0	9	0
79%	85%	-1	5	1	25
83%	83%	3	3	9	9
87%	80%	7	0	49	0
88%	76%	8	-4	64	16
83%	81%	3	1	9	1
Total	-	23	5	141	51
Promedio 83,883	80,83	3,83	0,83		

(2) Prueba de la diferencia en las varianzas

Esta prueba se realiza utilizando las tablas de la distribución F . Se compara el valor de $F_o = V_1/V_2$ (donde V_1 es un estimador insesgado de la varianza. $v V_1 > V_2$) con el valor de $F(\alpha, \beta, \gamma/2)$ de las tablas de distribución F , y se puede decir que hay diferencia con un nivel de confianza de $\alpha\%$ si $F_o > F(\alpha, \beta, \gamma/2)$

4A.4 El concepto de la estimación estadística

Como se describió en las secciones 2.2 y 2.10, los datos siempre contienen cierta dispersión y varios tipos de errores, lo que hace imposible la estimación exacta de los valores verdaderos de la población (parámetros de la población, e.g., media y varianza de la población). Por tanto, los estimamos con una cierta precisión o dentro de ciertos límites. Para ello se pueden utilizar las distribuciones de los estadísticos mencionadas en la sección 2A.3. Cuando se hacen estimaciones estadísticas, son convenientes las siguientes cuestiones:

- (i) No debe haber sesgo, i.e., las estimaciones deben ser insesgadas.
- (ii) La precisión o los límites de confianza de las estimaciones deben conocerse con una probabilidad definida.
- (iii) Se deben utilizar estadísticos que minimicen el tamaño de la muestra y den una buena precisión (en otras palabras, estadísticos de buena eficiencia).

La media de la población se estima por:

$$E(\bar{x}) = \mu \therefore \hat{\mu} = \bar{x}$$

Si \textcircled{R} se fija para una precisión del 95 % de probabilidad,

$$D(\bar{x}) = \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{Cuando } 1/10 \geq n/N)$$

$$\therefore \beta = 1,96(\bar{x}) \approx 2D(\bar{x})$$

El intervalo de confianza para una probabilidad (nivel de confianza) del 95% está dado por:

$$\bar{x} - 1,96D(\bar{x}) \leq \mu \leq \bar{x} + 1,96D(\bar{x})$$

Cuando no se conoce σ ,

$$\bar{x} - t(\alpha, 0,05) \sqrt{\frac{V}{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t(\alpha, 0,05) \sqrt{\frac{V}{n}}$$

donde t (el número de grados de libertad) es el número de grados de libertad de V .

La principal ventaja de hacer las estimaciones estadísticas de la forma anterior es que el error y los límites de confianza están claros. Por ejemplo, cuando se obtiene una media de 74,3 %, probablemente los datos se usarán de forma diferente dependiendo de si la precisión para la probabilidad del 95 % es ± 1 % ó ± 10 %.

4A.5 Diferencia entre las medias de dos conjuntos de datos correspondientes continuos -método simple

Algunos datos sobre el rendimiento del producto se han obtenido dividiendo diariamente en dos el lote de materia prima e introduciendo cada mitad en un reactor diferente (reactores 1 y 2; ver la Tabla 4A.3). ¿Hay alguna diferencia entre los rendimientos de los reactores 1 y 2?

En este ejemplo podemos decir que los dos conjuntos de datos se corresponden entre sí puesto que proceden del mismo lote de materia prima utilizado el mismo día.

Primer paso: comparar los valores correspondientes de los reactores 1 y 2 y anotar el signo más en la columna correspondiente al signo si el valor del reactor 1 es mayor, y un signo menos si es menor. Si los dos valores son iguales, anotar un cero. Segundo paso: contar los más y los menos. En este ejemplo hay 27 más y 13 menos. Tercer paso: comparar el total menor (en este caso, 13) con los valores de la tabla 4A.4. Aquí, puesto que el número de datos (k) es 40, miramos en la fila de $k = 40$, El número de esta fila y de la co-

Tabla 4A.3: Datos del rendimiento (%)

N°	Máquina 1	Máquina 2	Signo	N°	Máquina 1	Máquina 2	Signo
1	85	64	+	21	80	85	-
2	73	82	-	22	92	88	+
3	88	76	+	23	70	56	+
4	90	72	+	24	82	83	-
5	99	79	+	25	64	78	-
6	63	64	-	26	84	60	+
7	95	56	+	27	70	80	-
8	97	61	+	28	80	71	+
9	88	56	+	29	70	78	-
10	59	89	-	30	73	71	+
11	75	74	+	31	81	78	+
12	89	74	+	32	94	60	+
12	75	87	-	33	73	75	-
14	85	99	-	34	81	57	+
15	87	83	+	35	89	78	+
16	92	72	+	36	88	71	+
17	75	57	+	37	81	80	+
18	66	90	-	38	73	89	-
19	94	81	+	39	91	77	+
20	89	72	+	40	95	56	+

lumna 0,05 también es 13. Cuarto paso: si el total menor es mayor que el valor de la columna 0,05 (si es de 14 o más en este caso), no hay ninguna diferencia entre las medias de los dos conjuntos de datos. Si es mayor que el valor de la columna 0,01 pero igual o menor que el valor de la columna 0,05 (i.e., si es 12 ó 13 en este ejemplo), podremos decir que parece haber una diferencia entre las medias. Si es igual o menor que el valor de la columna 0,01 (i.e., si es 11 o menos en este ejemplo), podremos decir que sí que hay una diferencia en las medias. Puesto que el total menor es 13 en este caso, parece haber una diferencia entre el reactor 1 y el 2. El reactor uno parece dar un rendimiento mejor.

En cuanto a este procedimiento, hay que señalar estas otras cuestiones siguientes:

Primero, cuando se analiza esta clase de datos, es mejor tener por lo menos 30 pares, o si es posible, 50 o más.

Tabla 4A.4: Tabla de la prueba de los signos

k	0,01	0,05	k	0,01	0,05	k	0,01	0,05
20	3	5						
21	4	5	46	13	15	71	24	26
22	4	5	47	14	16	72	24	27
23	4	6	48	14	16	73	25	27
24	5	6	49	15	17	74	25	28
25	5	7	50	15	17	75	25	28
26	6	7	51	15	18	76	26	28
27	6	7	52	16	18	77	26	29
28	6	8	53	16	18	78	27	29
29	7	8	54	17	19	79	27	30
30	7	9	55	17	19	80	28	30
31	7	9	56	17	20	81	28	31
32	8	9	57	18	20	82	28	31
33	8	10	58	18	21	83	29	32
34	9	10	59	19	21	84	29	32
35	9	11	60	19	21	85	30	32
36	9	11	61	20	22	86	30	33
37	10	12	62	20	22	87	31	33
38	10	12	63	20	23	88	31	34
39	11	12	64	21	23	89	31	34
40	11	13	65	21	24	90	32	35
41	11	13	66	22	24	100	36	39
42	12	14	67	22	25			
43	12	14	68	22	25			
44	13	15	69	23	25			
45	13	15	70	23	26			

Nota: Los números de la tabla representan el total de signos más o menos, cualquiera que sea el menor. Si el total es mayor que el número que aparece en la tabla, no hay una diferencia significativa.

Cuando $k > 100$, utilizar el valor calculado con la fórmula siguiente, redondeado por bajo al número entero más próximo:

$$(k-1)/2 - K \sqrt{k+1}$$

Ejemplo: cuando $k = 100$,

$$(100-1)/2 - 1,29 \sqrt{(100+1)} = 36,6 = 36$$

Probabilidad	K
0,01	1,29
0,05	0,98

Segundo, en esta clase de ejemplo, la diferencia entre las medias se puede analizar por medio del método usual de doble entrada o cogiendo las diferencias entre los datos correspondientes y haciendo cálculos numéricos.

Tercero, esta clase de datos se puede comprobar mejor de la manera descrita en la nota 1 de la sección 4A.8, utilizando una línea divisoria 50:50 sobre el papel probabilístico binomial.

Tabla 4A.5: Número de unidades defectuosas producidas por las máquinas

Máquina \ Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Máquina 1	Número de productos	58	63	65	57	70	62	60	52	72	65	624
	Número de unidades defectuosas	5	7	5	7	3	4	6	11	4	6	58
Máquina 2	Número de productos	55	65	63	60	65	53	68	50	70	59	608
	Número de unidades defectuosas	7	6	7	6	6	9	6	12	7	6	72

Total: Número de productos $n = 1.232$; número de unidades defectuosas $r = 130$

4A.6 Diferencia entre las fracciones de unidades defectuosas de dos conjuntos de datos - método del papel probabilístico binomial⁴

En la sección 4A.5 nos ocupamos de las variables. Los datos de las fracciones de unidades defectuosas se pueden tratar del mismo modo si los tamaños muestrales son aproximadamente iguales y existe correspondencia, pero usualmente las fracciones de unidades defectuosas se investigan con el método siguiente:

Se están fabricando las mismas piezas con dos máquinas diferentes y utilizando la misma clase de materiales todos los días. En la Tabla 4A.5 se muestran los datos tomados durante 10 días. ¿Podemos decir que hay alguna diferencia entre las fracciones de unidades defectuosas de las dos máquinas?

Primer paso: Calcular el número total de productos y de unidades defectuosas para cada máquina. En este ejemplo, el número de productos producidos por la máquina 1 (n_1) es de 624 y el número de unidades defectuosas (r_1) es 58. Los valores para la máquina 2 (n_2 y r_2) son 608 y 72 respectivamente.

Segundo paso: Calcular el número total de productos (n), unidades defectuosas (r) y no defectuosas (a) para las dos máquinas. En este ejemplo, $n = n_1 + n_2 = 1.232$, $r = r_1 + r_2 = 130$, y $a = n - r = 1.102$.

4

Ver Nakasato y Takeda: *Niko Kakuritsushi no Tsukaikata* (Cómo utilizar el papel probabilístico binomial), edición revisada, JUSE Press, 1965.

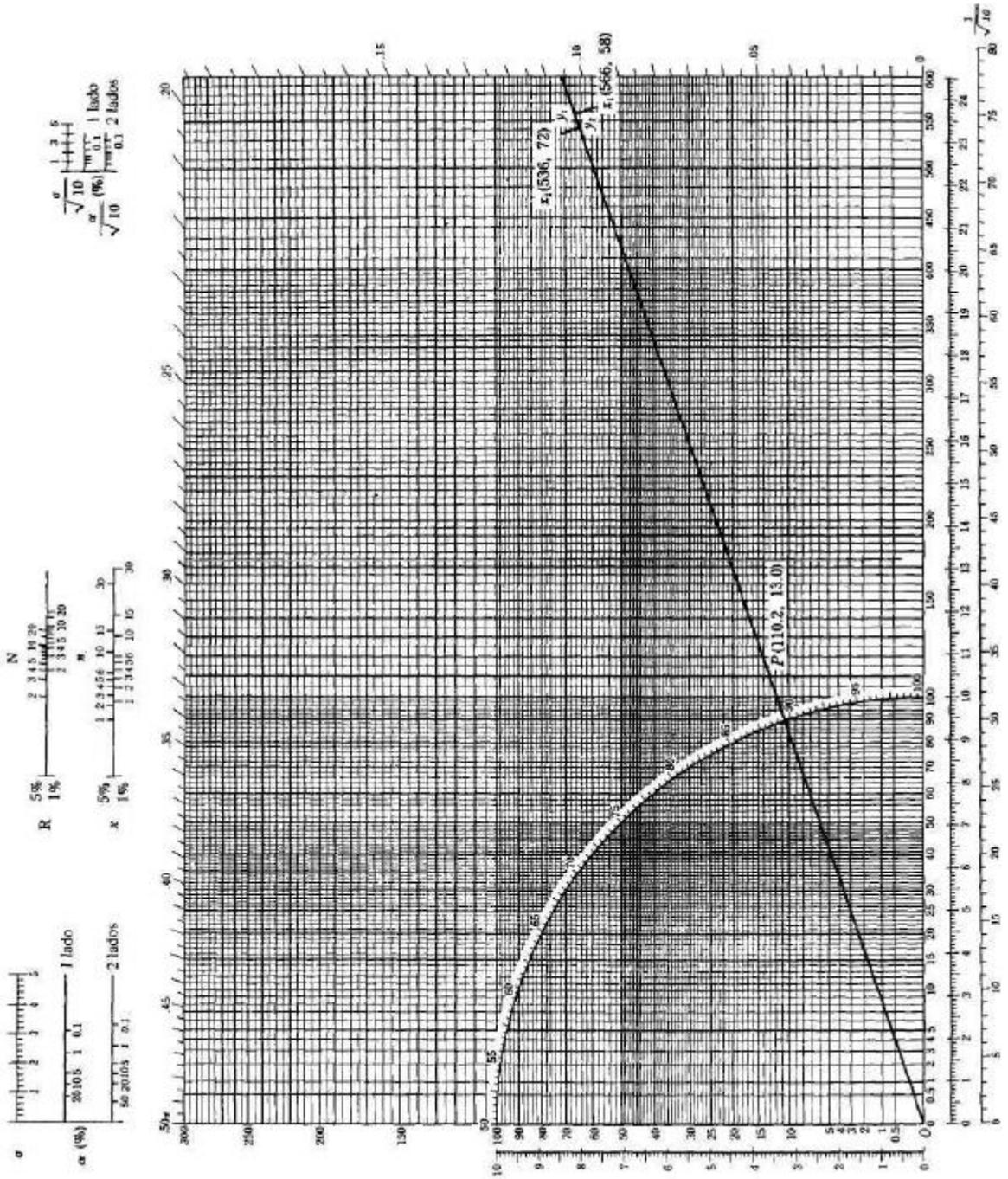


Figura 4A.2: Papel probabilístico binomial

- Tercer paso: Dibujar este punto en el papel probabilístico binomial como indica la Figura 4A.2 con a en el eje horizontal y r en el vertical, y llamarle P . Al hacer esto, dividir los dos valores por 10 si a es mayor que 600 o menor que 300. Aquí, puesto que a es 1.102 y es, por tanto, mayor que 600, a y r se dibujan como 110,2 y 13,0 respectivamente.
- Cuarto paso: Unir P con el origen (O) por medio de una recta (ver la Figura 4A.2). A ésta se le llama "línea divisoria".
- Quinto paso: Calcular el número total de unidades no defectuosas para cada máquina. Aquí, $a_1 = n_1 - r_1 = 566$, y $a_2 = n_2 - r_2 = 536$.
- Sexto paso: Dibujar los puntos $x_1 = (a_1, r_1)$ y $x_2 = (a_2, r_2)$ utilizando el número de unidades no defectuosas y defectuosas para cada máquina. Aquí, $x_1 = (566, 58)$ y $x_2 = (536, 72)$.
- Séptimo paso: Dibujar las perpendiculares de x_1 y x_2 a OP y llamar y_1 e y_2 respectivamente a los puntos de intersección.
- Octavo paso: Medir las distancias x_1y_1 y x_2y_2 y comparar la suma de estas dos longitudes con los valores del 5 % y del 1 % de la escala R de la parte superior del diagrama para $N = 2$. Si la distancia en la escala R es mayor, no podemos concluir que existe alguna diferencia; si es más corta, sí que podemos. En este ejemplo,

$$x_1y_1 = 5,0 \text{ mm}$$

$$x_2y_2 \approx 5,0 \text{ mm}$$

$$10,0 \text{ mm}$$

y la longitud total, 10,0 mm, es menor que la distancia del 5% de la escala R para $N = 2$.

- Noveno paso: Conclusión: puesto que la longitud total es menor que el valor del 5 %, no podemos decir que hay alguna diferencia en las fracciones de unidades defectuosas de las dos máquinas.

4A.7 Diferencia entre las medias de dos conjuntos de datos (variables) cuando no hay correspondencia

Cuando, por ejemplo, las máquinas se montan con piezas servidas por la Empresa A un día, y por la Empresa B el día siguiente, la diferencia en los días u otros factores pueden afectar a las características de las máquinas y no podemos decir que haya correspondencia entre los datos. En casos como éste, procedemos de la manera siguiente:

Se tomaron cinco muestras de cada lote de productos, se midió cierta característica y se dibujaron los promedios en la Figura 4A.3. Los datos procedentes de las máquinas hechas con piezas servidas por la Empresa A se indican mediante cruces mientras que los datos procedentes de las máquinas hechas con piezas de la Empresa B se indican mediante círculos. ¿Podemos decir que el comportamiento de las máquinas hechas con las piezas de la Empresa A difiere del de las máquinas hechas con piezas de la Empresa B?

Primer paso: Representar los datos por orden temporal utilizando símbolos diferentes para la Empresa A y la B como se indica en la Figura 4A.3.

Segundo paso: Dibujar una línea horizontal con la mitad de los puntos por encima de ella y la mitad por debajo (la línea mediana; ver las notas).

Nota 1: Los puntos también se pueden dividir horizontalmente por medio de otra línea cuyo valor sea próximo al de la mediana. Si se hace esto, la línea divisoria dibujada en el cuarto paso no debe ser la línea 25:25, sino la línea correspondiente a los números obtenidos, e.g., 27:23.

Nota 2: Los puntos que caen sobre la línea mediana no se incluyen en los cálculos del tercer paso.

Tercer paso: Sumar el número de puntos por arriba y por debajo de la línea mediana por separado para las empresas A y B (i.e., sumar el número de cruces y círculos por arriba y por debajo de la línea) y ordenarlos como se indica en la Tabla 4A.6. Esta tabla se llama tabla de contingencia 2x2.

Tabla 4A.6: Tabla de contingencia 2x2

	Empresa A	Empresa B	Total
Por encima	18	7	25
Por debajo	5	20	25
Total	23	27	50

Cuarto paso: En papel probabilístico binomial, unir el punto Q 25:25 (= 50:50) (porque se utilizó la línea mediana) con el origen O con una línea recta (la línea divisoria; ver la figura 4A.4).

Quinto paso: Representar los puntos $x_A = (18, 5)$ y $x_B = (7, 20)$ para A y B.

Nota: El papel probabilístico binomial hace uso de una aproximación a la distribución binomial. Cuando el número de datos es pequeño, es mejor hacer la comprobación construyendo "triángulos

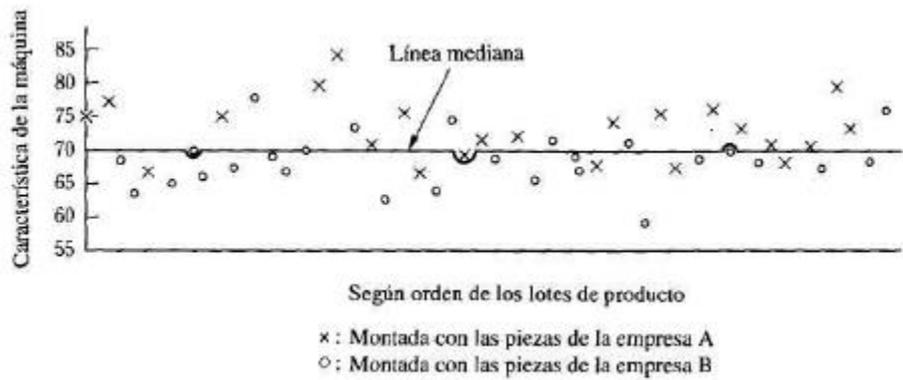


Figura 4A.3: Gráfico de una característica ($n = 50$)

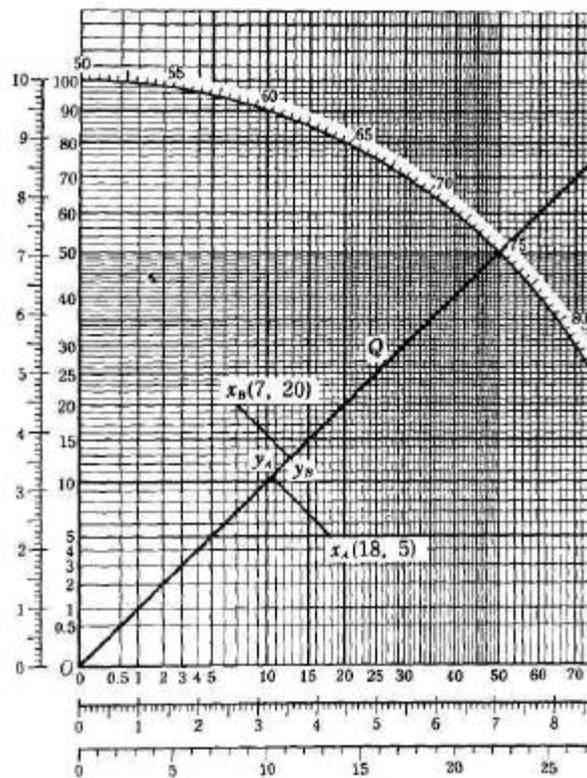


Figura 4A.4: Papel probabilístico binomial

de observación". En este ejemplo se construyen dos triángulos rectángulos, uno para A con los puntos (18,5), (18+1=19, 5), y (18, 5+1=6), y uno para B con los puntos (7,20), (7+1=8, 20) y (7, 20+1=21). La prueba se hace según los pasos 6 y 7, tomando la distancia más corta hasta la línea divisoria. En este ejemplo, el total de las distancias a la línea divisoria desde los puntos (18, 6) y (8, 20) se mide como en el paso 7. Puesto que el total, 24 mm, es mayor que 18,5 mm, la conclusión es la misma. Cuando el total está próximo a la distancia de la escala R , se deben realizar pruebas de precaución utilizando los triángulos de observación.

Sexto paso: Trazar las perpendiculares x_{AYA} y x_{BYB} a OQ desde x_A y x_B respectivamente.

Séptimo paso: Hacer la comprobación de la misma forma que en la sección 4A.6 calculando la longitud total $x_{AYA} + x_{BYB}$ y compararla con el valor de la escala R para $N = 2$.

Aquí,

$$x_{AYA} = 14,5 \text{ mm}$$

$$x_{BYB} = 13,0 \text{ mm}$$

$$\text{Total: } 27,5 \text{ mm}$$

Las distancias en las escalas R del 5 % y 1 % para $N = 2$ son de 14 mm y 18,5 mm respectivamente, y la longitud total es mayor que cualquiera de estos dos valores.

Octavo paso: Conclusión: en este caso, puesto que la longitud total es incluso mayor que la distancia en la escala R del 1 %, podemos decir que los comportamientos de las máquinas hechas con piezas de la Empresa A y de la Empresa B son netamente diferentes.

4A.8 Relación entre conjuntos de datos correspondientes - correlación

Como ejemplo, tenemos algunos datos correspondientes de la humedad atmosférica y el porcentaje de humedad de cierto producto textil. ¿Podemos decir que la primera afecta al segundo?

Primer paso: Representar los datos en un gráfico de correlación con la causa en el eje horizontal y el efecto en el vertical (ver la Figura 4A.5). En este ejemplo, los datos de la humedad se

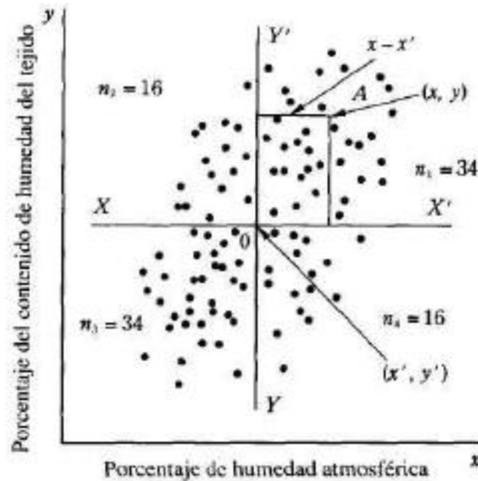


Figura 4A.5: Relación entre la humedad atmosférica y el contenido de humedad de un producto textil

dibujan sobre el eje horizontal y el contenido de humedad sobre el vertical.

Segundo paso: dibujar una línea horizontal para cierto valor de y de modo que la mitad de los puntos queden por encima y la mitad por debajo (la línea mediana XX').

Tercer paso: dibujar una línea vertical para cierto valor de x de modo que la mitad de los puntos queden a la izquierda y la mitad a la derecha (la línea mediana YY').

Cuarto paso: contar el número de puntos n_1 , n_2 , n_3 y n_4 de cada cuadrante (usualmente $n_1 = n_3$ y $n_2 = n_4$) y sumar el número de puntos del primer cuadrante (superior derecho) con el número del tercer cuadrante (inferior izquierdo), i.e., calcular $n_1 + n_3$. Sumar también el número de puntos del segundo cuadrante (superior izquierdo) con el número del cuarto cuadrante (inferior derecho), i.e., calcular $n_2 + n_4$. Aquí,

$$n_1 + n_3 = 34 + 34 = 68$$

$$n_2 + n_4 = 16 + 16 = 32$$

Cuando esto esté hecho, el número total de puntos debe ser igual al número original. No incluir en los cálculos ningún punto que caiga sobre la mediana.

Quinto paso: Comparar el menor de los dos totales con los valores de la tabla 4A.4. En este ejemplo, el total menor, 32, es menor que 36, el valor del 1 % para $k = 100$.

Debe señalarse que si $n_1 + n_3 > n_2 + n_4$, la correlación es positiva, pero si $n_1 + n_3 < n_2 + n_4$, la correlación es negativa.

Sexto paso: Conclusión: en este ejemplo, podemos decir con certeza que existe una correlación positiva. En otras palabras, podemos decir que el contenido de humedad del tejido será alto si la humedad atmosférica es alta.

Hay varios métodos para hacer las pruebas y tomar decisiones aparte de los anteriores, pero no se tratarán aquí. El método que hemos explicado es el más utilizado.

Nota 1: Esta prueba también puede realizarse utilizando papel probabilístico binomial, tal como se describe a continuación:

Primer paso: Representar el punto A ($n_1 + n_3$, $n_2 + n_4$) sobre el papel probabilístico binomial como se indica en la Figura 4A.6. Por ejemplo, tomemos el punto

A como el punto (110, 40). cuando se hace esto, representar el valor más grande (110 en este caso) sobre el eje horizontal.

Segundo paso: Si A cae fuera de los límites del 5 % o del 1 % de la línea divisoria, se puede decir que existe correlación. Puesto que el punto (110,40) sí que cae fuera de estas líneas, sí que existe correlación.

Tercer paso: El grado de correlación entre x e y se expresa por medio de una cantidad llamada "coeficiente de correlación", r . Si el coeficiente de correlación es cero, no hay correlación. Si es la unidad, hay una correlación muy estrecha entre los dos conjuntos de datos y, por ejemplo, pueden caer sobre una línea recta. El coeficiente de correlación se puede obtener fácilmente a partir de los datos utilizando papel probabilístico binomial de la manera siguiente:

Encontrar el punto de intersección P entre el arco del círculo y la recta que une O con A , trazar la perpendicular desde este punto al eje horizontal y leer el valor de P' , el punto en el que la perpendicular corta al eje. En este ejemplo es 74.

Luego encontrar el punto Q (el valor de 74 en la escala del arco), trazar la perpendicular desde este punto a la escala horizontal en centímetros y leer el valor. Se obtiene un coeficiente de correlación de 0,68 al multiplicar este valor por

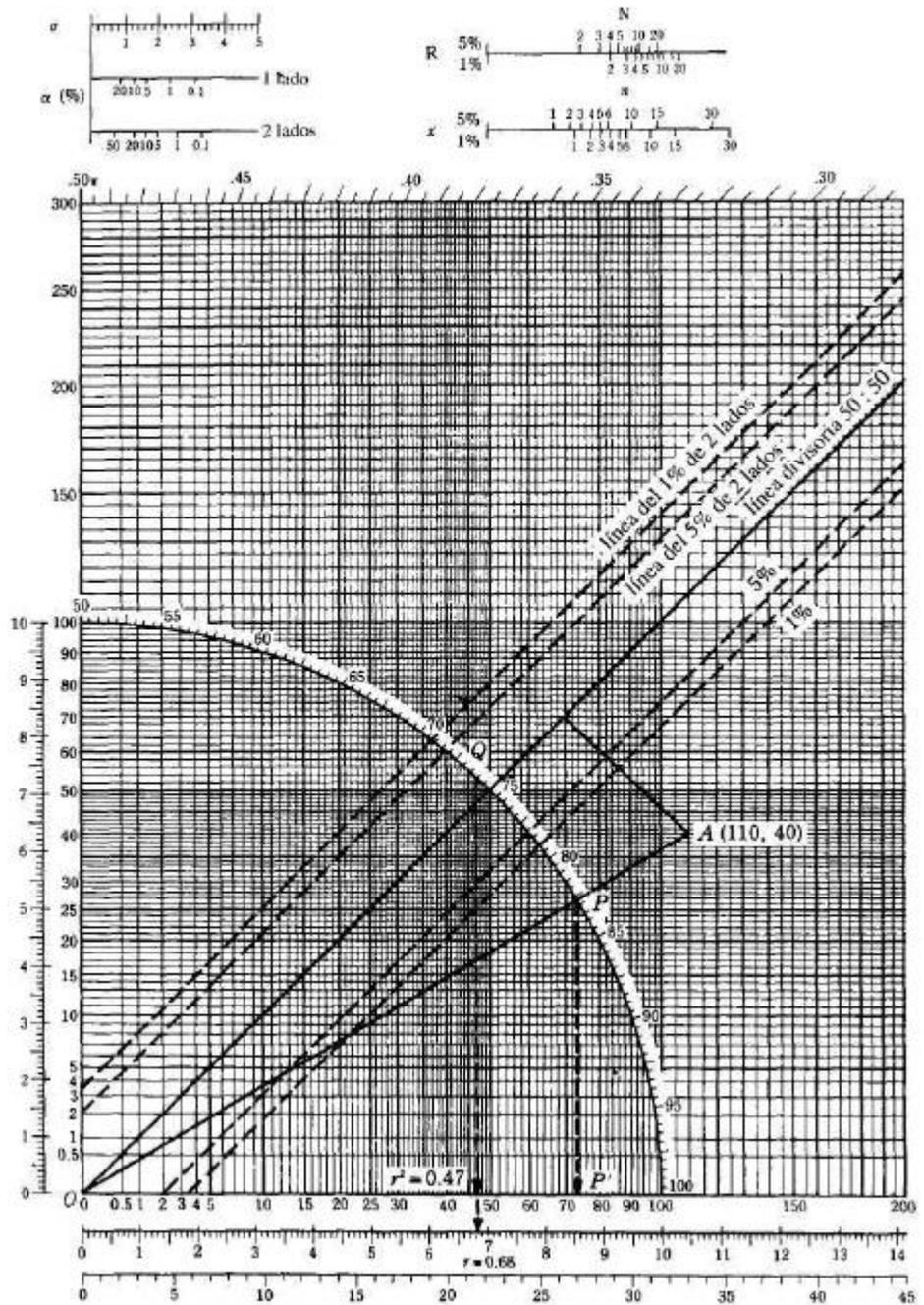


Figura 4A.6: Papel probabilístico binomial

1/10. Cuando se hace esto, 1/100 del valor del eje horizontal da un coeficiente de determinación (r^2) de 0,47.

Nota 2: Cálculo de la línea de regresión por el método de la mediana: si se comprueba la correlación por medio de un método tal como el anterior y se considera que sí que existe, se puede obtener una recta que estima y a partir de x (la línea de regresión que estima y a partir de x , i.e., la línea de regresión de y sobre x) del modo siguiente:

Primer paso: Dibujar una línea mediana por los puntos a la derecha de YY' dividiéndolos igualmente de arriba a abajo, y otra que los divida igualmente de izquierda a derecha, y ver el punto de intersección de las dos líneas.

Segundo paso: Repetir el primer paso para los puntos a la izquierda de YY' .

Tercer paso: Dibujar una recta que una los dos puntos de intersección obtenidos en el primer y segundo pasos. Esta es la línea de regresión que estima y a partir de x .

Nota 3: La línea de regresión que estima x a partir de y se puede obtener llevando a cabo los pasos del primero al tercero para los puntos por encima y por debajo de XX' .

Nota 4: El coeficiente de correlación se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i) / n}{\sqrt{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n} \sqrt{\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n}}$$

Nota 5: la recta que estima y a partir de x se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$y = \bar{y} + b(x - \bar{x})$$

donde $b = \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(y_i - \bar{y})^2}$ y la recta que estima x de y se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$x = \bar{x} + b'(y - \bar{y})$$

$$\text{donde } b' = \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(y_i - \bar{y})^2}$$

4A.9 Aditividad de las varianzas

El principio de la aditividad de las varianzas nos dice lo que sucede a la dispersión neta resultante de sumar dos datos, x_1 y x_2 , cada uno de los cuales contiene su propia dispersión individual. Por ejemplo, algunas personas creen que si las piezas que tienen una variación de $\pm 0,5$ mm se juntan aleatoriamente con piezas que tienen una variación de $\pm 0,04$ mm, la dispersión resultante

será de $\pm 0,9$ mm. Esto no es verdad. En casos como éste, tenemos que basar nuestro razonamiento en las leyes descritas a continuación.

- (1) Cuando no hay correlación entre x_1 y x_2 y sus distribuciones respectivas son $(\sigma_1, V(x_1))$ y $(\sigma_2, V(x_2))$, y si ambos x_1 y x_2 se toman al azar, la distribución de y , la suma de x_1 y x_2 , se puede calcular de la forma siguiente:

$$y = x_1 \pm x_2$$

$$\mu_y = \mu_1 \pm \mu_2$$

$$V(y) = V(x_1) + V(x_2)$$

- (2) De un modo un poco más general, cuando y se puede expresar como función lineal de varias variables x_i , i.e.,

$$y = a + bx_1 + cx_2 + \dots$$

donde a, b, c , etc. son constantes, si los términos x_j son independientes (i.e., no hay correlación entre ellos) y se muestrean aleatoriamente, la varianza de y se puede calcular de la manera siguiente:

$$V(y) = b^2 V(x_1) + c^2 V(x_2) + \dots$$

- (3) Cuando y se puede expresar como la relación funcional $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, tenemos, bajo las mismas condiciones que en (2) (independencia y muestreo aleatorio),

$$V(y) \approx \left(\frac{\delta f}{\delta x_1} \right)^2 V(x_1) + \left(\frac{\delta f}{\delta x_2} \right)^2 V(x_2) + \dots + \left(\frac{\delta f}{\delta x_n} \right)^2 V(x_n)$$

donde la variación de cada término x_i está aproximadamente dentro del 20 % del correspondiente σ_i .

- (4) En (2), si hay correlación entre x_1 y x_2 expresada por el coeficiente de correlación de la población, tenemos

$$V(y) = b^2 V(x_1) + c^2 V(x_2) + 2\rho bc \sqrt{V(x_1) V(x_2)}$$

La propiedad anterior de las varianzas es importantísima y se utiliza mucho cuando se discuten las tolerancias y los errores, o cuando un efecto y es el resultado de muchas causas x_i , i.e., cuando se discuten los errores en las relaciones funcionales.

Nota: La fórmula para la varianza del error dada en la sección 4A.1 es un ejemplo de la aplicación práctica de la teoría de la aditividad de las varianzas.

El control de los procesos

5.1 ¿Qué es el control de los procesos?

El control de procesos del que hablo aquí quiere decir control de todas las clases de procesos. En Japón se solía utilizar el término para describir el control de la producción o el control de los progresos realizados, pero en realidad deberíamos hacer una distinción entre los términos.

El proceso al que nos referimos aquí, como se dijo en la sección 4.7.7, es "un conjunto de causas que producen un cierto resultado". En otras palabras, incluye no sólo los procesos de fabricación sino también el trabajo realizado de diversas maneras. Por tanto, querría que los principios aquí descritos se utilizaran para controlar no sólo los procesos de producción sino todos los tipos de procesos de trabajo.

Los métodos de control descritos en este capítulo se pueden poner en práctica básicamente aplicando el enfoque descrito en la sección 1.5, que los lectores podrían desear revisar detenidamente antes de estudiar el presente capítulo. En todo caso, el buen control de un proceso requiere primero un diseño y análisis adecuados del proceso (ver el Capítulo 4). Otros requisitos más son los siguientes:

- (i) Entusiasmo, liderazgo y determinación por parte de la alta dirección; política clara y delegación de la autoridad.
- (ii) Comprensión del enfoque del CC y verdadero interés por parte de todos los empleados; instrucción, difusión, educación y formación.
- (iii) Análisis del trabajo y de los procesos; identificación de las relaciones entre las características (efectos) y las causas.
- (iv) Fomento de la normalización.

- (v) Establecimiento de sistemas estadísticos de comprobación; acciones decididas. Las modificaciones para prevenir la reaparición de problemas son especialmente importantes.

Como con frecuencia no se comprende bien, me gustaría una vez más explicar la diferencia entre el control y diversos términos con los que se puede confundir.

"Control" y "Mejora"

"Control" quiere decir mantener un proceso en su estado presente, de momento. Sin embargo, si sucede una anomalía, su causa es eliminada y se evita que vuelva a suceder, y esta acción produce una ligera mejora. En este sentido, el control es una forma pasiva de mejora. La "mejora" consiste en buscar activamente los problemas, resolverlos, efectuar un arreglo permanente para evitar cualquier vuelta atrás, y controlar la nueva situación. Quiere decir continuar mejorando activamente las cosas (ver la Figura 1.18).

"Control" e "Inspección"

El "control" consiste en hacer comparaciones con estándares de control o con límites de control en los gráficos de control, buscar las causas asignables en el proceso o trabajo si se violan los estándares o hay puntos que caen fuera de los límites, y acometer acciones respecto al proceso. En contraste, la "inspección" consiste en hacer comparaciones con normas de inspección y, si no se cumplen, acometer acciones sobre el producto, e.g., designando a los productos individuales como unidades defectuosas, rechazando a los lotes por inaceptables o instituyendo la inspección del 100 % (inspección tipo cribado). La idea de que se debe adoptar la inspección del 100 % si un gráfico de control indica que un proceso se ha salido de control es equivocada. La decisión de si hacer o no una inspección del 100 % se debe basar en las normas para la inspección del tipo del cribado.

"Control" (eliminación de causas asignables) y "Ajuste"

"Control" quiere decir buscar y eliminar las causas de las anomalías siempre que los puntos de un gráfico de control caigan fuera de los límites de control, i.e., cuando el gráfico indica falta de control. "Ajuste" quiere decir realizar alguna acción reguladora tal como alterar la temperatura cuando se exceden ciertos límites de ajuste. Generalmente, es erróneo hacer ajustes tales como alterar la temperatura o cambiar la profundidad de penetración de una herramienta cortante cuando algunos puntos caen fuera de los límites de control en un gráfico de control. Tales ajustes pueden hacerse como medida pro-

visional, pero esto no elimina las verdaderas causas de la anomalía. Usualmente, los límites de control y los de ajuste son intrínsecamente diferentes.

Este capítulo explica los métodos de control de procesos, basados principalmente en los gráficos de control, pero los procesos y el trabajo se pueden controlar más o menos del mismo modo sin utilizar los gráficos de control, siempre que basemos nuestro juicio en el enfoque de los gráficos de control.

5.2 Diseño de la calidad y diseño del proceso

Puesto que este libro trata del control de calidad, el objetivo de los procesos de los que estamos hablando es la calidad. Así pues, aunque esta sección explica los diseños de la calidad y del proceso, se puede aplicar más o menos del mismo modo a otros tipos de control, e.g., control de costes, sustituyendo la palabra "calidad" por la palabra adecuada, e.g., "coste".

Las secciones 1.4 y 1.6 discuten el problema de qué fabricar. La alta dirección ha de tomar esta decisión teniendo en cuenta los requisitos de los consumidores y la política de la empresa; lo importante desde el punto de vista del control es el análisis de los procesos (explicado en el Capítulo 4), especialmente los estudios de capacidades de los procesos internos y externos mencionados en la sección 4.5.7. Aunque hayamos especificado la calidad de lo que queremos producir, generalmente es imposible diseñarlo a menos que conozcamos la capacidad del proceso y otros hechos pertinentes. Lo que es más, a menudo la capacidad del proceso es insuficiente.

En muchas empresas que no ejercen un control adecuado, con frecuencia no se ejercen en su totalidad las capacidades de los procesos. Si éstas se mejoran, bien por los círculos de CC formados con encargados de planta y operarios, o por equipos de CC formados por el *staff* de CC, o las personas responsables de los procesos concretos, se ve a menudo que se pueden hacer eficientemente productos de una calidad satisfactoria con el equipo existente. Así pues, en calidad de diseño, es mejor empezar por identificar cuál sería la capacidad del proceso si se ejerciera en su totalidad. Inversamente, si se da a las personas unas metas firmes dentro de la política, a menudo se obtienen mejoras espectaculares en la capacidad del proceso por medio de los estudios de la capacidad de proceso sin hacer ninguna gran inversión en equipo.

5.2.1 Normas de calidad

(1) Distinción entre normas de calidad y características de control o niveles de control

Como se dijo anteriormente, una "norma de calidad" es el nivel de calidad que se puede obtener en vista a los costes y las políticas relativas a los requisitos de los clientes, la capacidad de proceso, y la calidad, si el proceso está realmente controlado y ejerce totalmente su capacidad. Usualmente se expresa en forma de una distribución que tiene una media y una desviación estándar, o una media y un recorrido. Si, a pesar de todo, la capacidad de proceso es deficiente y es inferior a 1,0, no se puede hacer otra cosa más que llevar a cabo el control del proceso y empezar la producción tal como están las cosas, y someter el producto a un cribado del 100 %. Según la forma en que estén estipuladas las normas de trabajo, las normas de calidad no siempre son características de control.

Las "características de control" son características que expresan el resultado de un proceso, y el examen de estas características indica el estado de control del proceso. En otras palabras, son las características representadas en los gráficos de control y otros gráficos. Las características de control, por tanto, no están limitadas a la calidad y pueden ser cualquier cosa desde el volumen de producción hasta el coste unitario, la cantidad necesaria para una unidad de producto, el volumen de ventas, la tasa de asistencia laboral o la cantidad de horas extraordinarias. Si todas las normas de trabajo tratan de las causas asignables, algunos de aquellos factores que, por sentido común, se considere que son los resultados del proceso, serán características de control. Sin embargo, si las normas de trabajo no están bien meditadas y son del tipo de tratar de cerrar la puerta cuando el caballo ya se ha zafado, en los gráficos de control se dibujarán las causas como si fueran características de control y se creará que los resultados son normas de trabajo. Esto es confundir las causas con los resultados.

Un "nivel de control" es el nivel de una característica de control; normalmente se expresa por \bar{x} , \bar{R} , \bar{p} , $n\bar{p}$, \bar{c} , \bar{u} , etc. La capacidad de proceso es el nivel obtenido cuando un proceso está en el estado controlado, y se toma usualmente como el nivel de control, pero también se pueden utilizar los valores correspondientes a las metas y los planes.

(2) Orientaciones generales para establecer las normas de calidad

- (a) Las características de calidad que nos ocupan en el control de procesos son aquellas en que están interesados los clientes o el proceso siguiente, o sus características sustitutas identificadas por el análisis de la calidad.

- (b) Se tienen que proveer algunos medios para medir la calidad así como métodos de muestreo y de medida; además, se tiene que comprobar y controlar el tamaño de los errores que introducen (ver la sección 4A.1).
- (c) Las características de calidad deben ordenarse según su importancia y clasificarse en mayores, menores y leves, o mayores y menores (ver la sección 1.4.4(4) y la Figura 1.4).
- (d) Puesto que las normas de calidad son diferentes de las metas de calidad, se deben seleccionar las que sean razonables consultando con los clientes y con el proceso siguiente. Usualmente, las personas tratan de comprar bienes de la mayor calidad posible, pero realmente deberían considerar el aspecto económico y pedir productos del nivel de calidad más bajo permisible. Esto también debe tenerse siempre presente cuando se compran materias primas puesto que ello conducirá a que sus productos tengan unos precios razonables. En general, la tecnología consiste en hacer buenos productos con materias primas de mala calidad. Sin embargo, es conveniente fijar los niveles de calidad ligeramente por encima de los niveles de inspección y deshacerse de la inspección. Analizar esto estadística y técnicamente es una especie de análisis del valor (AV).
- (e) Se tienen que establecer normas de calidad para cada proceso completo e intermedio, y se tiene que tener cuidado de no confundir las normas de calidad con los de inspección.
- (f) Las normas de calidad tienen que tener cierta tolerancia.
- (g) Las normas de calidad se tienen que revisar y racionalizar constantemente.
- (h) Para cada característica de calidad se tiene que definir qué normas de calidad se van a decidir, y bajo la autoridad y responsabilidad de quién. Generalmente, el departamento técnico los investiga y luego los comités de control de calidad o de normas de calidad o sus subcomités elaboran los borradores de los planes. Las normas de calidad del producto final deben ser decididos en línea con la política de la alta dirección, y las normas de las materias primas o los procesos intermedios deben ser decididos bien por el departamento técnico o por el nivel de dirección que esté justo por encima del proceso. Por ejemplo, el jefe de un departamento podría establecer los estándares para los productos finales de las secciones de su departamento, el director de fábrica para los productos finales de cada departamento, y el presidente de la empresa para los productos finales de cada fábrica.
- (i) Es deseable que las normas técnicas y las normas de trabajo se formulen con el propósito de alcanzar las normas de calidad.

(3) Comparación con las especificaciones, las nietas de calidad, etc.

Como se explicó en el Capítulo 4, si un proceso se analiza detenidamente, si se identifica la capacidad del mismo y si se controla según las normas de trabajo, se conocerán el estado del proceso y la dispersión de los productos que se produzcan en el futuro. Debemos considerar separadamente si esto satisface los requisitos del cliente, las especificaciones y las normas, o si cumple los niveles de calidad exigidos por el proceso siguiente. Sólo podremos estar satisfechos con la calidad del proceso y las normas de calidad cuando los niveles de calidad que emergen realmente del proceso satisfagan las normas de nuestros clientes (ver las secciones 2.8 y 4.7.7).

Normalmente, podemos suponer que se satisfacen las especificaciones y que casi no se produce ningún producto por fuera de ellas si el gráfico de control indica que el proceso está sustancialmente en un estado de control, hay por lo menos cien puntos y los datos originales caen dentro de los límites de la especificación, y el valor de $\bar{x} \pm 4s$ calculado a partir de los histogramas cae dentro de los límites de la especificación. Si $\bar{x} \pm 5s$ cae dentro de los límites, podremos afirmar que la fracción de unidades defectuosas es del orden de partes por millón.

Cuando se compara la capacidad real de un proceso con las especificaciones y las metas de control por medio de histogramas, etc., y se ve que no concuerdan, se deben adoptar las siguientes medidas:

- (a) Cuando la capacidad de proceso excede las especificaciones:
 - (1) Reducir los límites de la especificación a $\pm 4s$ o $\pm 5s$.
 - (2) Cuando las especificaciones pueden satisfacer con holgura los requisitos de los clientes tal como están, aumentar la dispersión del proceso o cambiar el promedio del proceso cuando esto sea económicamente ventajoso.
- (b) Cuando la capacidad de proceso no cumple las especificaciones:
 - (1) Cuando el promedio del proceso esté fuera de lugar, alterarlo si es una cosa sencilla técnicamente.
 - (2) Puesto que la variación y \bar{R} no se pueden cambiar a voluntad, se debe acometer una acción especial para "exterminar R " cuando éstos sean demasiado grandes (ver la sección 3.9.2).
 - (3) Si no hay forma de cambiar la capacidad de proceso para producir productos que cumplan las especificaciones aún después de haber investigado varios aspectos técnicos y estadísticos, se deben dar los siguientes pasos:
 - (i) Considerar la relajación de las especificaciones: a menudo, las especificaciones y las normas existentes son estadística y técnicamente irracionales.

- (ii) Cambiar la capacidad de proceso al introducir mejoras técnicas radicales en el proceso.
- (iii) De ser posible, llevar a cabo un cribado del 100% para eliminar los productos defectuosos.
- (iv) Cuando la capacidad de proceso se haya quedado corta respecto a las especificaciones, la segregación puede hacer que el producto se pueda utilizar. Por ejemplo, se pueden utilizar unos ajustes o montajes selectivos. Cuando se haga esto, hay que tener en cuenta los errores de medida.

(4) Control y revisión de las normas de calidad

Puesto que las normas de calidad son como cosas vivientes, tienen que ser controladas y revisadas para que nunca se queden anticuados. Para lograrlo, se tienen que estipular procedimientos estándar para establecer y revisar las normas de calidad, y se tienen que formular las reglamentaciones para controlarlos.

Las normas de calidad deben revisarse en las ocasiones siguientes:

- (i) Cuando cambian los requisitos del cliente (e.g., para diferentes países y diferentes clientes).
- (ii) Cuando cambia la política empresarial de la empresa.
- (iii) Cuando cambian las capacidades de los procesos, se introducen modificaciones técnicas o se revisan las normas de trabajo.
- (iv) Cuando cambia el producto como consecuencia de un cambio en las materias primas.
- (v) Cuando cambia el clima económico.
- (vi) Cuando ha pasado cierto periodo de tiempo desde que se emitieron las últimas normas de calidad.

5.2.2 Diseño de los procesos, análisis de los procesos y preparación de los gráficos de procesos de control de calidad

Aquí, "diseño del proceso" quiere decir el tipo de diseño que hace uso de los diagramas de flujo de CC (gráficos de proceso de control de calidad o "gráficos de proceso de CC") para la fabricación de un producto determinado, para especificar cómo controlar las diversas causas asignables e incorporar la calidad al proceso. También podría llamarse la planificación del control de calidad del producto (ver la sección 4.7.5 y las Figuras 4.5 y 4.6).

La diferencia entre los gráficos de proceso de control de calidad y los diagramas de flujo ordinarios es que los primeros son más detallados y llegan

hasta mostrar las relaciones con las normas de trabajo, las normas para los métodos de muestreo, las normas de medida, de materias primas y otros para controlar las causas asignables, junto con los puntos de verificación (las causas, i.e., hojas de comprobación) y las verificaciones que se han de llevar a cabo con las características de control (los resultados, i.e., los gráficos de control) necesarios para controlar el proceso y garantizar la calidad. Los gráficos especifican dónde y cuándo se tienen que hacer estas verificaciones y quién va a hacerlas, así como describir qué características de calidad van a ser inspeccionadas y por quién. La existencia o ausencia de normas relacionadas, junto con sus números, condiciones, etc., deben anotarse brevemente en estos diagramas de flujo. Igualmente, cuando se están dibujando los diagramas de flujo, se deben preparar los diagramas de causa y efecto para cada característica, para asegurarse de que no se pasa por alto ninguna causa asignable.

(1) Cuando el trabajo ya está en marcha o la fábrica ya está funcionando

En este caso, tal como se describió en la sección 4.7, debe analizarse el trabajo o el proceso, y debe prepararse el gráfico del proceso de CC mientras se estudia cómo proceden con objeto de alcanzar un buen resultado o un producto de buena calidad, teniendo en cuenta los puntos anteriores. Luego se prueba el gráfico en la práctica y se revisa a la luz de los resultados. Luego se vuelve a revisar mientras se atiende a los requisitos de los clientes y del proceso siguiente, o se adoptan medidas para prevenir la reaparición de anomalías. La revisión del gráfico del proceso de CC mejora la calidad, reduce los costes, impulsa la productividad y eleva los niveles técnicos.

(2) Cuando se empieza un nuevo trabajo o se desarrollan productos o tecnología nuevos

Tal como se describió en la sección 4.7.5, el Gráfico de Proceso de CC I se prepara en la etapa de diseño y planificación, y se perfecciona gradualmente durante la fabricación del prototipo y la producción piloto. Luego se prepara el Gráfico de Proceso de CC II para asegurarse de que se puede llevar a cabo un buen control del proceso durante la producción inicial y a escala total, y que la puesta en marcha de la producción avanza uniformemente. La técnica para hacerlo mejorará en cada experiencia con la puesta en marcha de un nuevo producto.

Los gráficos de proceso de CC y los diagramas de causa y efecto son esenciales para el control del proceso. También se pueden utilizar para revisar los métodos de control del proceso, realizar auditorías de control de calidad, etc. Si se anotan en ellos factores tales como la eficiencia, el coste y el tiempo,

pueden convertirse en lo que se conoce generalmente como normas de producción.

5.3 Acciones

5.3.1 Tipos de acciones

Aunque la acometida de acciones con respecto a un proceso basado en los gráficos de control es fundamental para el control del proceso, a menudo no se comprende y, por tanto, los gráficos de control no se utilizan adecuadamente, *las normas de calidad se confunden con las normas de trabajo, la inspección se confunde con el control y el ajuste se confunde con la eliminación de causas asignables*. Entonces, las personas murmuran que los gráficos de control son inútiles y el control de calidad no avanza.

Aquí me gustaría explicar cómo interpretar las acciones cuando se utilizan los gráficos de control (ver también la sección 5.1)

Las acciones normalmente realizadas sobre los procesos se pueden clasificar en los dos tipos siguientes:

(I) Acción sobre el proceso

- (a) Acción inmediata con respecto al proceso:
 - (i) Acción en línea con las normas de trabajo -principalmente los ajustes y el control automático.
 - (ii) Acción basada en los gráficos de control -investigación y eliminación de las causas asignables, o realización de ajustes provisionales de emergencia.
- (b) Acción realizada para prevenir la reaparición de causas asignables en el futuro: investigación y eliminación de las causas asignables, i.e., revisión de diversas normas, educación y formación, redistribución del personal, etc.

(II) Acción sobre el producto

- (a) Cribado de los productos individuales por medio de una inspección del 100% cuando hay presentes unidades defectuosas.
- (b) Pasar, desechar o cribar los lotes, o hacer descuentos en su precio, por medio de la inspección por muestreo y la estimación estadística.

Las acciones sobre los productos individuales o los lotes de productos deben estar basadas en las normas de inspección y, en principio, los gráficos de

control no deben utilizarse con este fin. Cuando las personas tratan de utilizar los gráficos de control como base para acometer acciones respecto a los productos individuales o a los lotes de productos, a menudo su enfoque es erróneo. El control del proceso y la inspección son diferentes, y esto es confundir la inspección con el control.

5.3.2 Gráficos de ajuste

El punto (I) (a) (i) anterior se refiere a cuestiones relacionadas con causas asignables y operaciones formuladas en las normas de trabajo. Realmente deberían llamarse ajustes y son completamente diferentes del punto (I) (a) (ii). Por ejemplo, podrían consistir en instrucciones tales como "Ajustar la temperatura a $700 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ", o "Cuando la temperatura alcance 703°C , aumentar el flujo de aire $10 \text{ m}^2/\text{h}$ ". En situaciones tales como la medida del Ph o del porcentaje de oxígeno para saber cuándo terminar una reacción química, o medir una dimensión para saber cuándo parar una máquina, las características deben estar especificadas en forma de normas de trabajo. Para que estas operaciones se desarrollen uniformemente, a veces es muy útil dibujar gráficos que muestren las líneas límite, pero estrictamente hablando, éstos son *gráficos de ajuste*, no gráficos de control. El control automático consiste en automatizar este tipo de procedimientos.

Tiene que observarse, tal como se explica en este libro, que cualquier gráfico que muestre límites calculados estadísticamente puede llamarse generalmente gráfico de control, y en ese sentido puede todavía llamarse gráfico de control aun cuando se utilice con fines de ajuste. Sin embargo, en este caso es mejor llamarlo gráfico de ajuste y distinguirlo de los gráficos de control. Si los diversos errores implicados no se examinan adecuadamente, es fácil pasarse en los ajustes y en las acciones, al tratar de obligar al proceso a mantenerse dentro de los límites. El profesor Genichi Taguchi ha investigado métodos para calcular los límites de ajuste.

Los puntos (I) (a) (ii) y (I) (b) anteriores cubren las acciones que hacen uso de los gráficos de control o las acciones para eliminar las anomalías. Las características que deben representarse en los gráficos de control son, por tanto, aquellas características de control que son el resultado del proceso.

Los gráficos de control que utilizamos para el control del proceso se pueden clasificar con los dos nombres siguientes, desde el punto de vista de las acciones que se han de acometer:

- (1) Gráficos de control dirigidos principalmente a una acción inmediata: punto (I) (a) (ii) anterior.

- (2) Gráficos de control dirigidos principalmente a una acción para prevenir la reaparición de anomalías en el futuro: punto (1) (b) anterior.

Estos dos tipos de acciones no son, claro está, enteramente independientes. Por ejemplo, incluso con gráficos de control dirigidos principalmente a una acción inmediata, no mejorará la tecnología ni avanzará el proceso si no se considera la acción de prevención. E incluso con gráficos de control dirigidos principalmente a la prevención, se tiene que actuar tan rápidamente como sea posible.

Tanto si el propósito principal de un gráfico de control es la acción inmediata como la prevención, en principio debe utilizarse para dibujar los resultados de un proceso, descubrir las causas de las anomalías y eliminarlas. Los gráficos de control no deben utilizarse para el ajuste.

5.3.3 Gráficos de control encaminados principalmente a entrar en acción de forma inmediata

En principio, los gráficos de control deben utilizarse para detectar prontamente y eliminar inmediatamente las causas asignables siempre que algunos puntos caigan fuera de los límites de control. Sin embargo, si la causa es desconocida, no se puede eliminar o no se puede eliminar con la suficiente rapidez, a veces es necesario realizar un ajuste provisional de algún otro factor. Si se hace esto, se tiene que eliminar rápidamente la causa real de la anomalía y restablecer a su condición original el proceso ajustado provisionalmente.

En las fábricas bien normalizadas, los operarios y supervisores utilizan los gráficos de control de la forma anterior. Especialmente con el aumento reciente de la automatización y el uso de robots, los operarios hacen cada vez más de supervisores y controladores de la maquinaria y los equipos, y los gráficos de control se utilizan gradualmente cada vez más por los supervisores y operarios del nivel más bajo. Para que los gráficos de control se utilicen así, un proceso tiene que satisfacer las siguientes condiciones:

- (1) El muestreo tiene que ser sencillo, y las medidas tienen que poder tomarse inmediatamente. Tiene que ser posible una retroalimentación rápida.
- (2) Los supervisores de puestos de trabajo tienen que poder dibujar gráficos de control y tienen que tener unos buenos conocimientos de cómo interpretarlos.
- (3) Todas las causas asignables tienen que ser totalmente comprendidas en términos técnicos.
- (4) Las causas asignables tiene que poder ser eliminadas inmediatamente.
- (5) Tienen que normalizarse los cuatro puntos anteriores.

- (6) Es deseable que las características de calidad del producto y las características de control satisfagan las especificaciones y las metas basadas en las condiciones anteriores.

Estas condiciones tienen que cumplirse con rapidez y se tienen que preparar los gráficos de control que permitan la acometida inmediata de acciones. Para que los gráficos de control se utilicen de este modo, se tiene que establecer firmemente la tecnología del proceso, y las actividades tales como las de los círculos de CC tienen que haber situado a quienes están en los puestos de trabajo en un nivel en el que les sea posible utilizar estos gráficos. Si de momento es imposible cumplir las condiciones, se tienen que hacer esfuerzos para conseguirlo promoviendo la normalización al mismo tiempo que se utilizan los gráficos de control que se centran en la prevención de la reaparición de problemas.

5.3.4 Gráficos de control que se centran en la prevención de la reaparición de los problemas

Cuando las condiciones para utilizar los gráficos de control que se centran en la acometida de acciones inmediatas no se satisfacen, i.e., en fábricas que no están bien normalizadas, forzosamente se tiene que dar prioridad al uso de los gráficos de control que se centran principalmente en la prevención de la reaparición de los problemas, i.e., la acción para prevenir que en el futuro no se repitan las causas de las anomalías.

Este tipo de acción incluye lo siguiente:

- (1) Preparación y revisión de las normas: revisión de las normas operativas, técnicas y de control actuales, las especificaciones de materiales, los métodos de almacenado y control, las normas para los equipos (incluyendo las normas para la modificación e instalación de equipos y de instrumentos de medida), y la racionalización organizativa.
- (2) Educación y formación en normas, puesta en práctica de las mismas, redistribución del personal según haga falta.

Cuando se utilizan los gráficos de control para la prevención de la reaparición de los problemas, nos preocupa principalmente si se está o no acometiendo de verdad una acción, si los problemas se están resolviendo adecuadamente y si se están comprobando los resultados. En otras palabras, queremos saber si se están siguiendo los procedimientos estándar para resolver los problemas y si se están preparando y utilizando adecuadamente los informes de las anomalías.

Sin este enfoque, no sólo será imposible mejorar el proceso o la tecnología sino que también será imposible pasar al uso de los gráficos de control para actuar inmediatamente. En otras palabras, si se acometen acciones eficaces para la prevención de la reaparición de problemas, los puntos del gráfico de control empezarán a caer, de forma natural, entre los límites de control como consecuencia de la normalización y la formación. Tal como implica la explicación anterior, este modo de utilizar los gráficos de control consiste en utilizarlos para controlar el proceso al mismo tiempo que se fomenta la normalización y se racionaliza la organización.

La prevención de la reaparición de problemas se puede dividir en tres tipos principales:

- (1) Eliminación de los síntomas (medidas y ajustes provisionales).
- (2) Eliminación de las causas inmediatas.
- (3) Eliminación de las causas básicas subyacentes (ver la sección 1.5.3).

A menudo, las personas solían considerar la prevención de la reaparición de problemas una cuestión de eliminar los síntomas solamente, pero esto es un mal uso del término. Tenemos que volver a las causas e incluso a las causas básicas, y acometer acciones para cambiar nuestros métodos de trabajo, procedimientos, estándares y reglamentaciones.

5.3.5 Informes de las anomalías de un proceso

Es responsabilidad de los directivos conocer inmediatamente si sucede algo fuera de lo normal en sus procesos y comprobar rápidamente si se están dando los pasos adecuados para hacerle frente. Cuando sucede cualquier clase de anomalía en un proceso, se tiene que preparar y utilizar un informe de anomalías del proceso.

(1) El propósito de la preparación de los informes de anomalías de un proceso

Los informes de anomalías de un proceso se preparan con los siguientes fines en mente:

- (a) Para informar rápidamente de las anomalías del proceso.
- (b) Para confirmar si se está acometiendo la acción correcta.
- (c) Para acelerar el análisis de las anomalías y la actuación inmediata, especialmente en la prevención de la reaparición de problemas.

- (d) Para clasificar las anomalías y sistematizar la investigación de modificaciones, y para tener una referencia cuando se decida sobre las prioridades en la inversión en equipos.

(2) Contenido de los informes de anomalías de un proceso

Los informes de anomalías de un proceso deben presentarse en impresos normalizados que tengan espacio para los siguientes puntos (ver la Tabla 5.1):

- (a) Número de referencia.
- (b) Estado del proceso: número del gráfico de control, nombre del proceso, nombre del producto y características de control, número del lote, estado del lote, nombre del operario, líneas de control y otros detalles de los gráficos de control.
- (c) Detalles de la anomalía: fecha y hora de la aparición, descripción del fenómeno, nombre de la persona que detecta la anomalía.
- (d) Causa: si se conoce o no; si se conoce, dar detalles de la misma y las opiniones de los responsables.
- (e) Acción: modificaciones provisionales, acción con respecto a la causa y al proceso, detalles de la acción inmediata, si es la eliminación de la causa o un simple ajuste, fecha y hora, estado de las relaciones con otros departamentos, detalles de la disposición del lote si es necesario. Si el problema está totalmente resuelto, medio resuelto o todavía no se ha acometido.
- (f) Investigación: detalles de la investigación de modificaciones para la prevención de la reaparición de problemas.
- (g) Modificaciones para prevenir la reaparición de problemas: modificaciones radicales para la prevención, opiniones respecto al futuro, fechas de iniciación y terminación de las modificaciones, sus efectos, etc.
- (h) Confirmación de las modificaciones: confirmación de las mismas y métodos de control futuros.
- (i) Otros: e.g., persona responsable, persona de contacto, lista de circulación, lugar de archivo, etc.

(3) Procedimientos para el manejo de los informes

Deben formularse procedimientos normalizados para el manejo de los informes de las anomalías de un proceso. Estos deben incluir lo siguiente:

- (a) Detalles de quién debe redactar los informes, cuándo deben redactarse, qué deben incluir y cuántas copias se deben emitir.
- (b) El método de circulación.

Tabla 5.1: Informe de anomalías de un proceso

Tabla 5.1 Informe de anomalías de un proceso

Nº ref. UA-009		Informe del informe de anomalías de un proceso			Emisión el 5 de Febrero de 1974		
Aparición de la anomalía	Nombre de la máquina	ENT-66814	Dato de gráficos de control número	20.2 Tia-A3.2	Fecha y hora de la aparición		
	Nombre del proceso	PRE-ENSAYO	Número del lote		15 febrero a.m. 5:00 p.m.		
	Característica de calidad	Comportamiento eléctrico (configuración de onda)	Operario	Inspector	Akemi Yoshikawa		
	<p>3.0 en gráfico de control estadístico indica errores del gráfico de configuración de onda del pre-ensayo</p>				Detectado por Tabuchi		
Investigación de las causas	<p>En el pasado, la posición de la leva se determinaba con relación a la abertura del eje del rotor (i.e., por la dimensión C). Para mejorar la eficiencia, se abrió la plantilla para soldar la leva y que su posición estuviera determinada por la dimensión B. Debido a los rebabas y otras irregularidades del extremo del eje del rotor, esto aumentó la vibración de la dimensión C haciendo que la leva tropieze con el chasis y se alterara la configuración de la onda.</p>				Investigación de la causa		
					1	¿Cuándo?	16 febrero
					2	¿Quién?	Tabuchi
					3	¿Cuándo?	Día mes
				3	¿Quién?	Día mes	
Acción de emergencia	Cuando se suelde cada amortiguador de hierro, comprobar si la leva interfiere con el chasis.		Relaciones con departamentos relacionados			Acción de emergencia	
	Durante el proceso de montaje del rotor, corregir la plantilla de soldadura de la leva del eje del rotor.		17 febrero			1	¿Quién?
		Solicitar de investigación enviada al departamento técnico (ITU-014)			2	¿Cuándo?	17 febrero
					Comprobado por Tokano		
Acción para prevenir la reaparición del problema	Durante el proceso de montaje del rotor, controlar la dimensión de la soldadura a la leva (dimensión B) con un gráfico de control $\bar{x}-R$ (a partir del 17 de febrero).				Prevención		
	Cambiar la dimensión de la pica donde el chasis hace contacto con la leva (dimensión A) de 5.5 a 6.5 mm.				1	¿Cuándo?	28 febrero
					2	¿Quién?	Tokano
				Confirmación de los detalles de la acción			
				Aoki			
Confirmación del efecto de la prevención	Después de alterar la dimensión A, no hubo errores en la conformación de la onda. Puesto que el gráfico de control $\bar{x}-R$ para los errores de la configuración de la onda siguió mostrando cero defectos, dejó de hacerse.				Comprobación		
	También dejó de hacerse el gráfico de control $\bar{x}-R$ para la dimensión de la soldadura interleva.				1	¿Cuándo?	8 marzo
				2	¿Quién?	Tokano	
Período de almacenamiento 3 años	División controladores			Director de sección	Encargado	Líder del grupo	
Número interno TG-Q001	Sección de Producción Fábrica MP Grupo de Manejo UIM ¹			Aoki	Tokano	Tabuchi	

Nota 1: este informe indica claramente la fecha y la hora en que se realizó cada paso, desde el descubrimiento de la anomalía a la puesta en práctica de la acción para prevenir su reaparición y la confirmación de los resultados.

Nota 2: permite el trazado de los progresos realizados hasta la confirmación de los resultados de la acción.

Nota 3: hay una columna para anotar los detalles de los contactos con los departamentos relacionados.

- (c) El procedimiento hasta la solución final del problema descrito en el informe, especialmente cómo se debe acelerar la acción preventiva y la confirmación de su efecto.
- (d) Métodos generales para analizar y utilizar los informes.

Aun cuando se haya emitido un informe de las anomalías de un proceso, también se debe preparar una *lista de* anomalías para asegurarse de que el asunto no se archiva hasta que se hayan establecido firmemente las modificaciones de prevención. Esta lista debe utilizarse para comprobar los progresos realizados y asegurarse de que no vuelve a aparecer el mismo problema. El problema se tiene que perseguir obstinadamente hasta que se hayan acometido las acciones para eliminar las causas fundamentales.

5.4 Normas de trabajo y normas técnicas

5.4.1 ¿Qué son las normas de trabajo y las normas técnicas?

Uno de los primeros problemas encontrados cuando se introdujo el control de calidad en la industria japonesa fue que muchas empresas no tenían normas de trabajo racionales (incluyendo normas técnicas). Esto hizo necesario que se tuviera que aumentar el grado de conciencia de las personas en cuanto a calidad; todo el mundo tenía que ser consciente de su responsabilidad para realizar estudios de capacidades de los procesos, analizar los mismos y establecer la tecnología de producción, mientras que los departamentos técnicos formulaban, revisaban y perfeccionaban las normas técnicas e investigaban las maneras de mejorar la tecnología para alcanzar las metas de calidad, y los departamentos de fabricación y de inspección trabajaban de acuerdo con las normas de trabajo para producir productos que estuvieran de acuerdo con las normas de procesos. La industria de la construcción, las industrias de servicios y las de ventas todavía son así; sólo recientemente han introducido el CCT y todavía van atrasadas en la normalización.

En el pasado, las normas de trabajo japonesas estaban infestadas de defectos; algunas eran tan inútiles que simplemente se archivaban y se olvidaban. Algunos de estos defectos eran los siguientes:

- (1) Muchas normas, especialmente las normas de trabajo, eran inadecuadas porque las personas no estaban acostumbradas a formularlas.
- (2) Algunas eran enteramente del tipo de la ingeniería industrial anticuada, del tipo de estudios de trabajo o del tipo de eficiencia del trabajo, mientras que otras omitían completamente estos elementos.
- (3) Muchas no eran más que documentos sin ninguna otra finalidad.

- (4) Algunas personas estaban infectadas de la manía de reglamentar y normatizar, y pasaban todo el tiempo haciendo reglas porque creían que control quería decir atar a la gente. Igual que los burócratas mezquinos, hacían las reglas tan estrictas que no había esperanza de que se obedecieran.

El resultado de esto fue que la obediencia de las normas produjo unidades defectuosas en vez de prevenirlas.

Una de las condiciones previas básicas para promover el control de calidad, que es al mismo tiempo un medio para establecer la verdadera tecnología en cualquier industria, es fortalecer los puestos de trabajo por medio de los círculos de CC, llevar a cabo estudios y análisis extensivos de procesos y formular normas de trabajo racionales.

Si se comprende bien el concepto de control, y la política de la dirección y la organización han sido firmemente establecidas, el control de calidad se puede poner en práctica sin preparar gráficos de control si se dispone de normas de calidad y de normas de trabajo y éstas están en uso. Sin embargo, si no hay normas de calidad o normas de trabajo racionales (aunque pueda haber normas de trabajo y reglamentaciones sobre el papel), si la organización no ha sido racionalizada y si la política de la dirección es confusa, cualquier gráfico de control que se prepare se verá meramente como un gráfico y las normas de calidad y la garantía de calidad serán inexistentes.

Con los avances recientes de la automatización, del uso de robots y del control por ordenador, los procesos se han acelerado, y se producirán raudales de unidades defectuosas si no se han establecido las normas de trabajo y las técnicas, las capacidades de los procesos son inadecuadas o el sistema es tal que el control de los procesos no se ejerce adecuadamente. Antes de promover la automatización, se tiene que llevar a cabo un análisis profundo de los procesos y se tiene que instaurar firmemente un sistema de control de los mismos. Si se hace esto, el equipo se hará cargo del trabajo y las personas que están en los puestos de trabajo serán responsables principalmente de la vigilancia, como en las industrias de proceso. Por tanto, las normas de trabajo cambiarán y el control de equipos y de medidas se hará más importante.

5.4.2 Características de calidad, características de control y normas de trabajo

Realmente las normas de trabajo deben decidirse solamente después de que hayan sido establecidos las normas de calidad y las metas de los procesos. En la práctica, no obstante, las normas de calidad y las normas de trabajo se determinan a menudo haciendo concesiones mutuas. Las normas de calidad tienen prioridad cuando la tecnología ya está establecida y se han analizado completamente las capacidades de los procesos.

En muchas fábricas japonesas hay confusión en cuanto a si hay que dar las instrucciones en forma de normas de calidad o de trabajo. Esto es porque no se distinguen claramente las causas y los efectos, y están mal definidas la autoridad y la responsabilidad. Las características de control de un proceso o trabajo determinados se manifiestan a sí mismas como los resultados de ese proceso o trabajo, y las normas de trabajo describen específicamente qué hacer con las causas asignables que producen esas características. Dar a los trabajadores las instrucciones en forma de características de calidad o resultados es una mala manera de hacer las cosas, ya que es como decirle a alguien que cierre la puerta cuando el caballo ya se ha escapado. Si se han formulado las normas prioritarias del tipo de las descritas en la sección 1.5, las características de calidad se convertirán en las características de control.

Desde el punto de vista del uso de los gráficos de control para eliminar las causas de las anomalías, los valores medidos deben darse como normas de trabajo si es que los datos se van a utilizar con fines de ajuste. Si los datos se van a representar en gráficos de control y se van a buscar y eliminar las causas de las anomalías cuando los puntos caigan fuera de los límites de control, los valores medidos se deben dar en forma de características de control. Por ejemplo, si la temperatura (el resultado) se puede cambiar simplemente al girar ligeramente una válvula (la causa), puede especificarse en una norma de trabajo. Sin embargo, cuando hacen falta varias operaciones (Le., cuando se tienen que cambiar varias causas asignables) con objeto de alterar la temperatura, esto debe tratarse como una característica de control y cada una de las operaciones debe ser especificada en las normas de trabajo.

Cuando se controla un proceso que ha sido automatizado o que hace uso de robots, muchas de las causas asignables serán controladas automáticamente, y es necesario meditar mucho sobre qué clase de resultados deben representarse en los gráficos de control como características de control y cómo debe comprobarse el proceso automatizado. Aun cuando haya un alto grado de automatización o robotización, es bueno seleccionar las características de calidad y utilizar los gráficos de control para controlar el proceso como si fuera un sistema completo.

5.4.3 Propósitos y tipos de normas de trabajo

(1) Propósitos

La preparación de las normas de trabajo tiene varios fines, según la norma concreta de que se trate. Aquí me gustaría hablar principalmente de las normas relativas al control de los procesos, desde los siguientes aspectos:

- (i) Calidad
 - (ii) Control
- } desde el punto de vista del cc
- (iii) Movimientos estándar, eficiencia del trabajo, producción - desde el punto de vista anticuado de la II.
 - (iv) Coste.
 - (v) Seguridad.

Las normas de trabajo, claro está, incorporan todo lo anterior. Los gráficos de control se utilizan para comprobar si el trabajo se está realizando de acuerdo con las normas de trabajo preparadas con los fines anteriores en mente.

Los fines de la preparación de las normas de trabajo también pueden clasificarse como sigue:

- (i) Para la educación (para los recién llegados, los empleados de hace tres meses, un año o diez años, etc.).
- (ii) Para los operarios y supervisores.
- (iii) Para acumular tecnología (para la organización más que para el individuo).
- (iv) Para crear un historial (no es un fin muy significativo).
- (v) Para obtener el registro de la marca JIS u otras marcas de distinción (esto puede conducir fácilmente a la normalización porque sí).

El fin más general de la normalización es hacer que las personas hagan su trabajo más fácilmente, permitir que la autoridad se delega extensamente, para captar y preservar la tecnología y para evitar que se repitan las equivocaciones.

(2) Tipos de normas

Ahora me gustaría explicar la mejor manera de clasificar las normas, fijándome en los procesos de fabricación. Puesto que el método de clasificación dependerá del tipo de proceso y del tipo de producto que se esté produciendo, me limitaré a una clasificación general que creo aplicable a todos los casos. La filosofía básica es la misma para el sector de servicios, aunque habrá diferencias entre las distintas industrias. La venta de servicios por medio de las relaciones personales necesita normas de opinión que se puedan adaptar a satisfacer las necesidades y preferencias de los clientes.

Las *normas técnicas* son utilizadas principalmente por los técnicos y directivos de nivel medio o superior. Se refieren a asuntos considerados importantes desde el punto de vista técnico, junto con sus antecedentes históricos; su fin es construir un cuerpo tecnológico para la organización. Según la situación, pueden incluir gráficos de proceso de fabricación, gráficos del proceso de

CC, normas de calidad, capacidades de procesos, diagramas de causa y efecto, normas de control de procesos, normas de tecnología de inspección, etc.

Las *normas de diseño* y las *normas de la tecnología del diseño* son utilizadas principalmente por los departamentos de diseño. Las normas de diseño se utilizan para normalizar y uniformizar el proceso de diseño, mientras que las normas de la tecnología del diseño se utilizan para normalizar las cuestiones técnicas importantes relativas al diseño, y se orientan a construir un cuerpo tecnológico de diseño.

Las *normas de trabajo* tienen varios propósitos y se conocen por varios nombres pero me gustaría definir las aquí simplemente como "las maneras especificadas de cómo realizar el trabajo". En última instancia conducen a la automatización y a la robotización. En el sector de servicios hace falta una gran variedad de ellas para acomodarse a los diferentes requisitos de los clientes.

Las *instrucciones de trabajo* establecen cómo debe hacerse un trabajo en forma de órdenes.

Los *procedimientos de trabajo* son un tipo de normas de trabajo que dan justo los puntos clave para llevar a cabo un trabajo.

Tales normas, instrucciones y procedimientos de trabajo se clasifican y llaman de diferentes maneras según la historia de la organización, pero el método de clasificación debe estudiarse y adaptarse para acomodarlo a cada puesto de trabajo individual.

Los procesos se pueden dividir en los tres tipos principales siguientes:

- (1) Procesos de fabricación a medida y según contrato, o procesos de producción de gran variedad y pequeño volumen en los cuales se repite la misma clase de trabajo a pesar de la variedad de los productos.
- (2) Tornos automáticos, máquinas de transferencia, procesos que hacen uso de robots industriales y otros procesos del tipo de las industrias de procesos en los que cada máquina o planta tiene su propio método de operación. Muchos procesos de la industria de procesos caen bajo este nombre al igual que muchos trabajos que consisten en la vigilancia de equipos, i.e., en los cuales los operarios están a cargo de controlar la planta y el equipo.
- (3) Procesos de montaje, i.e., procesos en los cuales los productos tales como televisores y coches son montados encajando y ajustando diversas piezas. Los procesos de empaquetado también caen bajo esta designación. Recientemente ha aumentado el uso de los robots industriales en estos tipos de procesos y están empezando a parecerse más a la industria de procesos. Este tipo de procesos también es corriente en el sector de los servicios.

Por supuesto que hay otros muchos procesos que caen entre estas categorías o que combinan elementos de varias de ellas.

En los procesos del primer tipo, cuando se repite la misma clase de operación de varias maneras y cada operación se puede desglosar en movimientos estándar, se pueden preparar normas de trabajo corrientes para cada operación estándar y combinarse con las normas técnicas y de diseño para crear instrucciones de trabajo que indiquen, por ejemplo, un proceso de mecanizado junto con la secuencia y métodos del proceso. Esto también es aplicable a muchas industrias de servicios. Un ejemplo podría ser el siguiente:

"Producir X unidades del producto Y antes de tal y tal fecha, haciendo uso de la Norma de Trabajo N° S-10547 y procesando de acuerdo con el Plano N° ABC-18247 y la Norma Técnica N° E-35764".

Con el segundo tipo de procesos, el trabajo es principalmente del tipo de los procesos. Se seleccionan aquellas normas de trabajo que cubran condiciones técnicas importantes para formar las normas técnicas, y en las normas de trabajo se definen claramente la autoridad y la responsabilidad. Las normas de trabajo se utilizan sin modificación como instrucciones de trabajo.

Con los procesos del tercer tipo, deben decidirse los métodos de montaje, los métodos de ajuste y el control autónomo y la inspección de las piezas para cada proceso.

5.4.4 Condiciones que se han de incluir en las normas de trabajo

Cuando se decide el contenido de las normas de trabajo se tienen que considerar los puntos siguientes:

- (1) Deben formularse con vistas a alcanzar objetivos específicos.
- (2) Deben tratar de las causas asignables, i.e, deben ser prioritarias. Deben indicar qué causas afectan a qué características, y deben hacer uso de los diagramas de causa y efecto.
- (3) Deben ser fáciles de aplicar por los usuarios. Las normas de trabajo deben ser tales que el trabajo pueda ser realizado bien incluso por los trabajadores que no estén totalmente preparados y puedan estar ligeramente despistados. Se debe hacer uso de calibres y herramientas e instrumentos de medida.

Aquí hace falta una observación sobre los fallos: puesto que es humano cometer equivocaciones, deben idearse dispositivos de seguridad, calibres y herramientas, y métodos de comprobación para asegurarse de que las cosas procedan fluidamente aunque divague la atención de los trabajado-

res o cometan errores. Esto se llama hacer las cosas a prueba de error. Cuando las actividades de los círculos de CC están en plena forma, los propios círculos empezarán a pensar en hacer las cosas a prueba de error. En vez de enfadarse por las equivocaciones y los descuidos, los superiores deberían cooperar con los operarios para pensar en los métodos a prueba de error.

- (4) Las normas de trabajo no deben ser abstractas: deben indicar criterios específicos de acción. Para que ello sea posible, se deben proveer instrumentos de medida y escalas adecuados. Conforme avanza la cuantificación, las normas de trabajo se hacen más concretas y fáciles de establecer.
- (5) Las normas de trabajo tienen que acoplarse con las condiciones reales y tiene que ser posible su aplicación con el equipo y habilidades disponibles. Las normas idealistas son inútiles. En otras palabras, las normas tienen que tener en cuenta las capacidades de los procesos. Uno jamás tiene que dar a las personas normas que no se puedan seguir. Cuando las normas de trabajo se emiten por primera vez, las condiciones y las tolerancias no deben ser demasiado estrictas; es mejor fijar condiciones que se puedan seguir sin demasiada dificultad y asegurarse de que se obedecen fielmente.
- (6) Al principio, uno no debe apuntar a la perfección. Las normas de trabajo son entidades vivas y siempre son imperfectas. Es mejor adoptar la actitud de que las normas necesitan revisarse constantemente. Si las normas no se están revisando, es una prueba de que no se están utilizando, y que los progresos de la tecnología se han detenido.
- (7) Se tienen que identificar las prioridades; los procesos sólo están seriamente afectados por uno, dos o tres factores causales. Si se preparan las normas para hacer frente a éstos, el número de unidades defectuosas se puede reducir a la mitad.
- (8) Las normas deben indicar claramente dónde residen las responsabilidades de las personas.
- (9) Las normas deben definir clara y específicamente el ámbito de autoridad de las personas, y se debe delegar la autoridad.
- (10) Las normas deben ser aceptadas por todos los afectados. Por ejemplo, deben ser preparadas con el acuerdo de los equipos de CC, los círculos de CC, los grupos de estudio de CC de los puestos de trabajo, etc. Deben ser revisadas haciendo uso de las ideas procedentes de los puestos de trabajo, adoptadas a través de los canales adecuados por medio de un sistema de sugerencias.
- (11) Las normas deben ser formuladas de forma que aseguren la acumulación de tecnología y habilidades en forma escrita.

- (12) A menudo, las normas de trabajo se vuelven complejas cuando las materias primas o las causas asignables que son responsabilidad de otros procesos no están adecuadamente controladas. Se pueden producir normas de trabajo relativamente sencillas si se asignan con habilidad.
- (13) Uno tiene que decidir qué acción se debe acometer, y bajo la autoridad de quién, cuando un proceso se sale del control. Esto puede publicarse separadamente en forma de una norma de control.
- (14) Las normas deben evitar instrucciones negativas del tipo "no debería" y "no tiene que".
- (15) Todo se tiene que tomar en consideración cuando se preparan las normas. Lo peor que puede ocurrir es que las normas o las reglamentaciones sean mutuamente incoherentes.
- (16) Como consecuencia de lo anterior, debe resultar más fácil que todo el mundo haga su trabajo.

5.4.5 Preparación de las normas de trabajo

Cuando se preparen normas de trabajo por primera vez, debe utilizarse el siguiente procedimiento:

(I) Métodos de preparación

- (a) El método del esquema: éste es un método para normalizar un puesto de trabajo que ya está funcionando. Según éste, se hace un esquema del trabajo que se está haciendo actualmente tal como está. Sus ventajas es que dan una imagen clara de cómo se está llevando a cabo realmente el trabajo, indica claramente las operaciones que se están realizando inconsistentemente o las áreas mal definidas, y el puesto de trabajo se normaliza de un golpe. Sus desventajas son que las personas tienden a relajarse y quedarse satisfechas una vez se ha terminado el esquema, las normas son voluminosas, cuesta tiempo escribirlas y su control subsiguiente es pesado, y si el enfoque del control de calidad y de proceso no es bien comprendido en el puesto de trabajo, es posible que las normas sean extremadamente inadecuadas y que pasen por alto los puntos importantes.

He aquí algunas ideas útiles para utilizar este método:

- (i) Dar a aquellas personas responsables de redactar las normas una buena base en CC antes de empezar.
- (ii) Basándose en los círculos de CC, hacer uso del proceso de redactar las normas para dar a los operarios y supervisores una educación profunda en cuestiones tales como la importancia de seguir fielmente las normas.

- (iii) Puesto que es muy importante revisar las normas una vez hayan sido preparadas, enlazar esto con el análisis posterior, la mejora y las actividades de los círculos de CC, y hacer que las personas sean conscientes de que ellas mismas son responsables de mejorar las normas.
- (b) El método de prioridades: la palabra "prioridad" tiene aquí dos significados: uno es empezar por normalizar las características más importantes de los procesos más importantes, mientras que el otro es empezar por normalizar los factores causales más importantes de las características más importantes de cada proceso. Las ventajas de este método es que siempre se alcanzarán buenos resultados si se identifican estadísticamente y se normalizan los factores causales realmente importantes; el puesto de trabajo se formará una buena opinión de la normalización y acabará por confiar en los resultados del análisis del proceso; este tipo de normalización consume menos tiempo; y puesto que las normas preparadas según este método son más sencillas, la documentación, la revisión y el control son más fáciles.
- Sus desventajas son que es difícil identificar los factores causales realmente importantes; es imposible normalizar simultáneamente todas las características y procesos, y el propósito de las normas se limita fácilmente a un tipo de control de procesos que consiste meramente en reducir la variación; habrá luego una insuficiente conexión con el control de costes, el control del volumen de producción, incentivos de productividad, etc.
- Algunas ideas sobre este método incluyen:
- (i) Hacer uso de equipos de CC y círculos de CC.
 - (ii) Dar a los supervisores de los puestos de trabajo y a los técnicos una formación profunda en análisis de procesos y en los métodos del control de procesos,
 - (iii) Dar forma a las normas después de su preparación inicial:
 - (1) Incorporar la II, IV, aspectos de seguridad, etc.
 - (2) Siempre que un gráfico de control indique la presencia de una causa de una anomalía, revisar las normas para evitar que vuelva a aparecer.
 - (iv) Empezar por normalizar los factores causales más importantes y continuar descendiendo a los detalles más pequeños con un esfuerzo implacable.
- (c) El método ortodoxo: en este método se movilizan los técnicos, y el departamento técnico lleva la dirección en cooperación con el puesto de trabajo y con los departamentos que están a cargo del control de

calidad y la eficiencia, para formar equipos o círculos de *CC* bajo el sistema del técnico a cargo. Los procesos se seleccionan para su análisis en orden de prioridad; si es necesario se realizan experimentos y se redactan desde el principio unas normas comparativamente racionales. Con este enfoque, las áreas detalladas se tratan en las discusiones con los círculos de *CC*. Es importante adquirir el hábito de utilizar este método cuando *se construye una nueva planta*, cuando se instala por primera vez o se reconstruye la maquinaria o el equipo, o antes de *la producción piloto de nuevos productos*. La iniciación de un nuevo trabajo es una oportunidad ideal para fomentar la normalización.

Algunas ideas sobre el método ortodoxo son:

- (i) Tener cuidado de que los técnicos no se dejen arrastrar por la teoría sobre el papel, y se olviden de las condiciones reales del puesto de trabajo,
- (ii) El departamento técnico tiene que estar ocupado por técnicos de primera.
- (iii) Los técnicos tienen que estudiar detenidamente el *CC*. El método que deba utilizarse para preparar las normas depende de las condiciones de la empresa y del puesto de trabajo. Cualquiera que sea el método elegido, los borradores de las normas deben ser preparados por *las personas que conocen mejor el proceso y el trabajo*.

(II) Procedimiento de preparación

No se pueden preparar normas buenas y utilizables sin una idea clara de sus fines y su necesidad.

La normalización en empresas y negocios ya en funcionamiento requiere un enfoque diferente del de una nueva planta o para nuevos productos. Aquí me gustaría explicar el procedimiento para la normalización en empresas y sucursales que ya están en funcionamiento. El siguiente procedimiento es, generalmente, adecuado para las condiciones que hay en Japón:

- (1) Establecer un comité y varios subcomités de normalización.
- (2) Decidir un sistema de normalización, una política para preparar las normas de trabajo y los impresos a utilizar. Hacer que el comité de normalización redacte las reglas (procedimientos para la preparación de las normas de trabajo, procedimientos para el manejo de las mismas, etc.), un esquema de clasificación y los impresos que constituirán la columna vertebral de las normas de trabajo.

- (3) Decidir qué organizaciones formularán las normas: equipos, el departamento técnico, el puesto de trabajo, los círculos de CC, etc.
- (4) Especificar los factores causales y el trabajo que debe redactarse en forma de normas de trabajo.
- (5) Idear medios para cuantificar los factores causales seleccionados.
- (6) Formular métodos de trabajo y tolerancias específicos para los factores causales seleccionados. Utilizar ampliamente para ello los diagramas de causa y efecto, el análisis estadístico, los conocimientos de los operarios veteranos y los círculos de CC.
- (7) Si es necesario como consecuencia de lo anterior, llevar a cabo experimentos de fábrica.
- (8) Redactar borradores de las normas. Reunir a tantas personas relacionadas con el puesto de trabajo como sea posible y hacer uso de los círculos de CC u otros foros para investigar si las normas preparadas serán o no practicables en el puesto de trabajo. En este momento, educar a las personas en el significado de las normas y la necesidad de trabajar de acuerdo con ellas.
- (9) Establecer un periodo de prueba preliminar de uno a tres meses y probar las normas en la práctica.
- (10) Preparar un diario de normas y registrar las mismas en él.
- (11) Revisar las normas.

Una vez se haya registrado oficialmente una norma en el diario, cualquier revisión debe llevarse a cabo siempre de acuerdo con los procedimientos oficiales. No se tiene que permitir que el puesto de trabajo cambie las normas a su propia discreción sin obtener permiso. Esto significa que es importante formular las reglamentaciones para la revisión de las normas. Sin embargo, la autoridad para hacer esto debe delegarse todo lo posible, y debe hacerse que sea fácil que los puestos de trabajo individuales lleven a cabo las revisiones.

Es necesario especificar claramente las responsabilidades y los procedimientos para cuestiones tales como hacer los borradores de las revisiones y los impresos a utilizar para ello, la ruta de circulación de las revisiones de los borradores y quién tiene que aprobarlas, anotar las revisiones en el diario de normas y comprobar las entradas, el cuerpo que tomará decisiones y los procedimientos para asegurarse de que se retiran las instrucciones de trabajo antiguas y se hacen llegar a todos las nuevas.

5.4.6 Puesta en práctica y control de las normas de trabajo

La puesta en práctica de las normas y el proporcionar la educación y formación adecuadas son exactamente tan importantes como su preparación.

Asegurarse de que las normas se ponen en práctica adecuadamente es responsabilidad de los supervisores de línea, los directores de sección, supervisores de grupo, encargados y otras personas con cargos de liderazgo. La importancia de la educación orientada hacia este fin se explicó en la sección 1.5. Se pueden utilizar *varios métodos educativos*, incluyendo (1) la educación en grupos (e.g., conferencias); (2) formación para el trabajo por parte de los superiores; (3) discusiones en reuniones de estudio de CC, equipos de CC, círculos de CC, etc.; (4) hacer que la gente participe en la preparación de las normas; (5) delegar la autoridad y dejar que las personas se eduquen a sí mismas; (6) celebrar auditorías de CC; y (7) folletos, carteles, lemas, simposios de los círculos de CC, etc. Es mejor hacer uso de todos estos métodos juntos.

Si las normas no son siempre utilizables, acabarán por no seguirse. Así pues, como se mencionó antes, deben ser consideradas como entidades vivas, y el diario de las normas debe ponerse al día rápidamente conforme sea necesario, teniendo en mente la racionalidad y la practicabilidad. El control de las normas es tremendamente importante.

Puesto que las normas, una vez establecidas, no se pueden cambiar a discreción del puesto de trabajo sin pasar por los procedimientos formales, se tienen que tener en cuenta los siguientes puntos:

(1) Revisión y control de las normas

- (a) Los responsables de controlar las normas tienen que decidir qué elementos se pueden cambiar, en qué grado y bajo la autoridad de quién. Cuando se toma esta decisión, se debe delegar la autoridad para hacer las revisiones tanto como sea posible.
- (b) Se tiene que formular un procedimiento fijo para revisar las normas.
- (c) Uno tiene que asegurarse de que las personas de los puestos de trabajo puedan ofrecer sus sugerencias y opiniones fácilmente a través de los canales adecuados. Naturalmente, son los líderes de grupos, los supervisores y los operarios los que conocen mejor las condiciones en sus puestos de trabajo. Se puede esperar que aparezcan con una variedad de sugerencias para mejorar, puesto que son los que están constantemente en contacto con los puestos de trabajo. Para hacer un uso completo de esto se deben llevar a cabo actividades de círculos de CC, campañas de creatividad e ingenio, y campañas de invención y originalidad junto con la revisión de las normas.
- (d) Los detalles de las revisiones deben registrarse siempre en el diario de normas junto con las razones de las mismas, sus fechas y las personas responsables. Se tiene que tener un cuidado especial para organizar las revisiones de las normas técnicas y de diseño para que todos

los que las lean puedan entender fácilmente la historia de los cambios y sus razones.

- (e) Siempre que se haga una revisión, se tienen que recuperar las normas y los planos antiguos, y sustituirlos por las nuevas versiones, o corregirlos y emitirlos después de ser firmados o sellados.

(2) Situaciones en las que se deben revisar las normas

- (a) Cuando hay puntos que caen fuera de los límites de control en los gráficos de control: si han sido formuladas las normas, aunque puedan ser imperfectas, puede que algunos puntos caigan fuera de los límites de control en los gráficos de control para características de calidad en las situaciones siguientes:
 - (i) Cuando no se están siguiendo las normas.
 - (ii) Cuando las normas no dan suficiente orientación,
 - (iii) Cuando las normas no abarcan esa área de trabajo, Le., cuando las normas son incompletas.
 - (iv) Por defectos de la materia prima o de otro proceso,
 - (v) Por razones desconocidas.

Nota: me gustaría mencionar aquí la idea de *problemas controlables por los operarios* y *problemas controlables por la dirección*. De las cosas que van mal en un puesto de trabajo, sólo de un tercio a un quinto son responsabilidad de las personas que están en planta, i.e., son controlables por los operarios. Esto corresponde a la situación (i) anterior. Las situaciones (ii)-(v) son principalmente controlables por la dirección, y éstas suponen de dos tercios a cuatro quintos de los problemas que hay en los puestos de trabajo. En ambas situaciones, la (i) (descubrir por qué no se pudieron seguir las normas) y las (ii)-(v), la dirección, junto con el personal de planta, tiene que buscar las causas y acometer acciones. Esto significa que la *dirección no debe, bajo ningún pretexto, mostrar enfado por las equivocaciones de las personas que están en el puesto de trabajo*.

- (b) Cuando se hacen sugerencias desde los puestos de trabajo.
- (c) Cuando se descubren equivocaciones o fallos en las normas.
- (d) Cuando cambian las normas de calidad.
- (e) Cuando se hacen mejoras técnicas en la maquinaria, el equipo o los métodos.
- (f) Cuando se ha instalado un nuevo equipo de medida o se ha mejorado el viejo.
- (g) Cuando han cambiado las materias primas u otros factores causales (normas de trabajo).
- (h) A intervalos regulares después de la adopción inicial de las normas de trabajo.

5.5 Niveles de control

5.5.1 Selección de los elementos de control

En la sección 1.5 ya se ha mencionado la importancia de la comprobación en la práctica del control. Sin embargo, cuando aquellos que tienen cargos de autoridad tratan realmente de crear una red de comprobación sistemática y por toda la empresa, construir sistemas de control y poner en práctica el control, se encontrarán con muchos problemas. Para seleccionar las características de control, las diferentes personas y empresas utilizan actualmente una gran variedad de clasificaciones y terminologías. Es bien sabido que *hay una gran confusión en la terminología gerencial empresarial en todo el mundo*; ello es porque los elementos de control se clasifican con demasiado detalle. Cuando se clasifican los elementos de control, es mejor centrarse en las ideas subyacentes en vez de en las palabras usadas en la realidad, y elegir categorías que sean adaptables al uso desde diferentes puntos de vista.

(1) Clasificación de los elementos de control

(a) Clasificación según la causa y el efecto.

Como ya se explicó en las secciones 1.5, 5.2.1(1) y 5.4.2, tenemos que diferenciar claramente las causas de los efectos como método de comprobación cuando se pone en práctica el control. Aquí llamaremos "*puntos de comprobación*" a las causas asignables a comprobar, y "*características de control*" o "*puntos de control*" a las características a comprobar cuando se comprueban los resultados. A todos ellos se les llamará, en términos generales, "elementos de control".

	(i) Causas	"puntos de comprobación"
Elementos de control	(ii) Resultados....	"características de control" o "puntos de control".

Causas y resultados son términos relativos; dependiendo de la categoría de un supervisor y de cómo estén colocadas las normas de trabajo, lo que es una causa para una persona puede ser un resultado para otra y viceversa. Por ejemplo, en la Figura 5.1 el contenido de humedad es obviamente un punto de control para el supervisor de esa área particular de trabajo porque es el resultado del proceso. La temperatura es una causa del contenido de humedad y es, por tanto, un punto de comprobación. Sin embargo, en lo que se refiere al operario responsable de ajustar la temperatura de la secadora, la presión y la

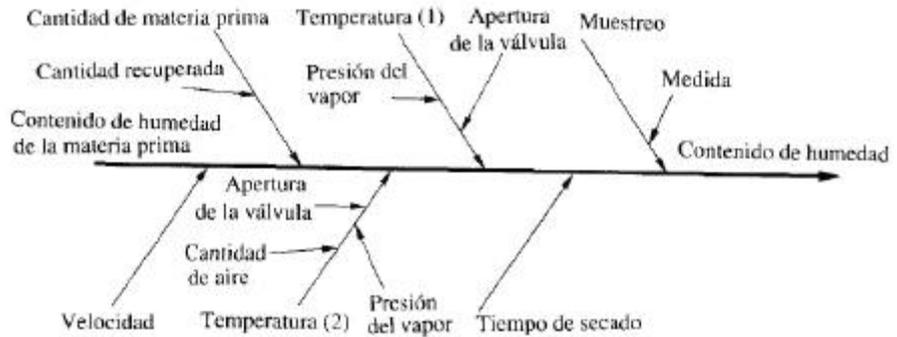


Figura: 5.1: Discriminación de causas y efectos.

apertura de la válvula son causas y, por tanto, puntos de comprobación, mientras que la temperatura es un resultado de éstas y, por tanto, un punto de control.

Si las normas de trabajo están redactadas de modo que traten de "cerrar la puerta del establo cuando el caballo ya se ha escapado", instruirán al operario para que ajuste la válvula en respuesta a los cambios de temperatura. Esto hará que la temperatura sea un punto de comprobación y el tiempo de secado un punto de control. Igualmente, si las normas de trabajo están formuladas todavía más inadecuadamente e instruyen al operario para que ajuste la apertura de la válvula en respuesta a los cambios del contenido de humedad, éste será el punto de comprobación, y el tiempo de secado será el resultado o punto de control.

La relación anterior entre el supervisor y el operario sirve igualmente para la que hay entre el director de departamento y el director de sección, y entre el director de sección y el supervisor.

Hablando en términos generales, el número de puntos de comprobación aumenta y el número de puntos de control disminuye conforme descendemos por una organización. Las causas deben ser comprobadas por los directivos de nivel bajo, y no es bueno que los directivos de nivel alto se impliquen demasiado en esto. Los directivos de nivel alto deben vigilar a través de los puntos de control y ejercer el control desde una perspectiva más amplia, con la mirada puesta en el futuro. Las personas que todavía quieren inspeccionar y verificar los datos en sistemas detallados de causas, incluso después de haber llegado a directores de departamento o directores gerentes, son lo que yo he llamado "*directores artesanos de departamento*" y "*direc-*

tores gerentes artesanos". Es suficiente con que los directivos de nivel alto comprueben la causa, si es necesario, cuando un punto de control (un resultado) indica una anomalía. Y aún así, el sistema de control debe ser tal que en el momento en que se pongan a hacer esto ya tengan sobre su mesa un informe procedente de la dirección de nivel bajo sobre la causa de la anomalía.

Puesto que los puntos de comprobación se vigilan principalmente por medio de las comparaciones con las normas de trabajo y las reglamentaciones, usualmente es una buena idea hacerlo por medio de listas de comprobación o similares. Los puntos de control, igual que los resultados, serán dispersos y, por tanto, en principio deben ser vigilados por medio de los gráficos de control; como mínimo deben hacerse gráficos. Puesto que tales gráficos se van a utilizar para vigilar y detectar las anomalías y las excepciones, deben incluir, claro está, los límites de control calculados estadísticamente. Si esto es difícil, por lo menos deben incluir unas líneas que indiquen los valores estándar, los valores de la especificación, las metas obligatorias y deseables, o los planes.

Debe observarse que los directores de departamento y de sección pueden utilizar a veces los mismos puntos de control, pero luego tendrán un intervalo diferente entre las comprobaciones (por ejemplo, los directores de sección pueden hacer las comprobaciones diariamente y los de departamento una vez al mes), y acometerán acciones diferentes.

- (b) Clasificación en términos de las acciones que se han de realizar
 - (i) Ajuste y regulación,
 - (ii) Eliminación del fenómeno,
 - (iii) Eliminación de la causa inmediata,
 - (iv) Eliminación de la causa básica.

Esta clasificación también es bastante difusa, pero (i) e (ii) son principalmente puntos de comprobación (incluyendo los criterios para los ajustes), mientras que (iii) e (iv) son puntos de control. Sin embargo, (i) e (ii) también pueden ser puntos de control, y las acciones (iii) e (iv) pueden realizarse de acuerdo con los puntos de comprobación.

- (c) Clasificación en términos de la responsabilidad y la autoridad.
 - (i) Elementos de los cuales los subordinados de una persona tienen la responsabilidad y la autoridad para acometer acciones.
 - (ii) Elementos de los cuales la misma persona tiene la responsabilidad y la autoridad para acometer acciones.

- (iii) Elementos de los cuales los superiores de una persona tienen la responsabilidad y la autoridad para acometer acciones.
- (iv) Elementos de los cuales otro departamento tiene la responsabilidad y la autoridad para acometer acciones.

Esta clasificación también cambia constantemente según la responsabilidad y la autoridad, y las capacidades y experiencia individuales. También podría decirse que los elementos (iii) e (iv) están incluidos en el (ii), puesto que, en estos casos, la persona tiene que hacer que su superior u otro departamento adopte las medidas. Una persona que no pueda hacer esto no puede ser llamada directivo.

Incluso antes de interesarme por el CC, mi teoría preferida era que *los directivos o técnicos que no pueden utilizar a sus subordinados hábilmente están a menos de la mitad del camino de ser verdaderos directivos o técnicos. Además, sólo podrán ser directivos o técnicos adecuados cuando puedan utilizar bien a sus superiores y a otros departamentos, i.e., cuando sean capaces de hacer que las personas actúen de la manera que ellos quieren que lo hagan.*

Hay otras diversas maneras de clasificar los elementos de control aparte de los tres anteriores, pero su combinación producirá docenas de tipos diferentes de elementos de control y conducirá a la confusión. Recomiendo que se clasifiquen simplemente como puntos de comprobación o puntos de control.

(2) Unos consejos generales sobre los elementos de control

Las siguientes son algunas cuestiones corrientes a observar en el caso tanto de causas como de resultados:

- (a) Puesto que siempre habrá repeticiones, incluso en la producción de alta variedad y bajo volumen, y en la fabricación a medida, a los operarios se les deben dar medidas estándar y escalas para hacer las comprobaciones en el puesto de trabajo.
- (b) Se deben decidir por adelantado los criterios para emitir juicios (tanto si son criterios para hacer ajustes o límites de control) y las acciones que se han de acometer si se sobrepasan los límites.
- (c) Uno tiene que decidir sobre la responsabilidad, la autoridad y el método de informar cuando sucedan anomalías.
- (d) Los puntos anteriores deben ser normalizados y se debe proveer una educación y formación amplias a todos los afectados.
- (e) Los directivos son responsables de asegurarse de que a sus subordinados inmediatos se les den puntos de comprobación y de control adecuados.

- (f) Los puntos de control deben revisarse a intervalos regulares o siempre que haya un cambio o una anomalía en el proceso, y siempre que sea necesario.
- (g) Uno debe elegir los elementos (éstos pueden ser características sustitutas) para los cuales se puedan obtener los datos rápidamente y sea posible una retroalimentación inmediata.
- (h) Cuando se decide sobre los elementos de control, se debe considerar la responsabilidad y el grado de delegación de la autoridad de cada persona, al igual que cómo se van a asignar las normas y reglamentaciones.
- (i) El fin no es preparar una tabla de elementos de control sino poner en práctica el control específico.
- (j) Uno tiene que decidir cuál será el intervalo de tiempo para hacer las comprobaciones -e.g., cada hora, una vez por la mañana y otra por la tarde, una vez al día, todas las semanas, todos los meses, cada periodo financiero, cada año, etc. Generalmente, este intervalo será más corto para los directivos de niveles bajos y más largo para los de los niveles más altos. Los directores de los niveles bajos tienen que remitir los informes de cualquier anomalía a sus superiores siempre que sucedan.
- (k) Si los elementos de control son seleccionados hábilmente y ordenados para su uso como herramientas de control en forma de listas de comprobación, gráficos de control, o gráficos, el estudio detenido de los informes diarios o mensuales será cosa del pasado. Dicho de otro modo, los elementos de control deben ser elegidos de forma que sea innecesario ver tales informes.

(3) Selección de los puntos de comprobación

Aparte de los elementos mencionados en (1), se tienen que considerar las siguientes cuestiones cuando se eligen los puntos de comprobación, tal como ya he repetido muchas veces:

- (a) Seleccionar las causas como puntos de comprobación.
- (b) Seleccionar puntos de comprobación que se puedan ajustar o regular mientras se vigila algún resultado.
- (c) Asignar principalmente los puntos de comprobación a los operarios, encargados, supervisores y otras personas directamente responsables de vigilar el puesto de trabajo. Disponer las cosas para que, en la medida de lo posible, usualmente los directivos de sección y más altos no tengan que comprobar las causas directamente. En otras palabras, normalmente estos directivos no deben tener puntos de comprobación aunque, por supuesto, pueden tener muchos puntos de control.

- (d) No es necesario hacer puntos de comprobación de todas las causas; se debe dar prioridad a aquellas que se considere que es más probable que provoquen problemas, y seleccionarlas como puntos de comprobación. Esto significa que cambiarán con el tiempo. Las personas de la primera línea del puesto de trabajo tendrán muchos puntos de comprobación.
- (e) Los encargados de los puestos de trabajo o las personas responsables de los puntos de comprobación pueden seleccionar ellos mismos los puntos de comprobación. Hay varias razones para hacerlo:
 - (i) El meditar sobre las mejores cosas a comprobar es un buen entrenamiento para los supervisores de puestos de trabajo.
 - (ii) Los responsables de un área de trabajo particular conocen mejor las condiciones y los riesgos de esa área.
 - (iii) Los superiores inmediatos de las personas pueden mirar a los puntos de comprobación seleccionados y utilizar sus observaciones para decidir sobre la necesidad de la educación y formación.
- (f) La comprobación debe llevarse a cabo generalmente preparando listas de comprobación o gráficos.
- (g) Al igual que las listas de comprobación se ponen al día constantemente, los resultados deben ser cotejados periódicamente y utilizados como base para la prevención de la reaparición de problemas de acuerdo con el principio de Pareto.

(4) Selección de los puntos de control

Deben tenerse en cuenta las siguientes cuestiones además de lo mencionado en (1):

- (a) Los puntos de control deben ser seleccionados entre los resultados del trabajo del subordinado de uno.
- (b) Los directivos de nivel bajo deben utilizar más datos estratificados como puntos de control, mientras que los directivos de nivel alto deben utilizar más datos agregados o promediados.
- (c) Deben tenerse en cuenta todos los aspectos de las obligaciones rutinarias de una persona -e.g., personal, calidad, coste (beneficio), cantidades, plazos de entrega, seguridad, factores ambientales, etc.- cuando se seleccionan los puntos de control. Si sólo se comprueba un aspecto (e.g., la calidad), generalmente será a costa de otro punto de control (e.g., la eficiencia). Cuando se controla enérgicamente una característica, otras se deterioran.
- (d) En la medida de lo posible, uno debe elegir como puntos de control no los resultados finales sino las características sustitutas o las intermedias que dan una indicación precoz de los resultados. Esto hace que sea importante

ejercitar el ingenio en la selección de los puntos de control y cuando se idean los métodos de medida.

- (e) Es aceptable cierto error de medida siempre que sea menor que la dispersión del proceso.
- (f) Es mejor utilizar valores reales medidos y datos originales en vez de valores compuestos calculados con muchas medidas diferentes. Los errores se acumulan en los valores calculados y es posible perder de vista lo que se desea controlar.
- (g) Como líderes, debemos seleccionar como puntos de control aquellas características que indiquen nuestras políticas y metas.
- (h) Los puntos de control deben seleccionarse entre aquellas características (resultados) que se puedan representar en los gráficos de control y para las que se puedan acometer acciones. En otras palabras, los puntos de control deben ser seleccionados después de haber realizado un detenido análisis del proceso.
- (i) En los procesos en los que es fácil que ocurran equivocaciones y faltas de atención, se deben seleccionar las características que proporcionen una comprobación de tales errores en los resultados.
- (j) Considerando los puntos (b), (c) y (g) anteriores, el número de puntos de control (i.e., el número de gráficos de control y de gráficos a vigilar) debe ser normalmente como sigue:
 - Operarios: 1-3.
 - Encargados y supervisores: 5-20.
 - Desde director de sección al presidente de la empresa y director general: 15-50.

5.5.2 Establecimiento de los niveles de control

Tal como se explicó en las secciones 1.5 y 5.5.1, cuando se fijan los niveles de control, las directrices son decidir qué persona con autoridad debe hacer la comprobación (i.e., los puntos de control), cuantificar todo lo posible, y fijar los niveles de las características de control (i.e., los niveles de control y los límites de control), tal como se describe más adelante.

Debe observarse que los niveles de control y los límites de control son distintos de los valores de referencia. Los niveles de control y los límites de control son orientaciones y límites con fines de control, mientras que los valores de referencia son los valores a los que hay que apuntar cuando se hacen mejoras. Los valores de referencia se pueden dibujar en los gráficos de control y en los gráficos, pero se tiene que tener cuidado en no confundir el control con la mejora. Como se mencionó anteriormente, los valores de referencia deben dividirse en valores obligatorios y valores deseables.

Para determinar los niveles de control (i.e., los límites de control), generalmente es necesario poner a punto los gráficos de control para prepararse a poner en práctica el control. El método general para determinar estadísticamente los niveles de control es como sigue (ver la sección 3.9.2):

- (1) Cuando se hayan analizado los datos del pasado y se hayan preparado normas hasta cierto grado, se debe tratar de poner en práctica esas normas durante algún tiempo. Cuando esté hecho esto, se tienen que llevar a cabo las medidas y los subagrupamientos por medio de los métodos de muestreo y medición especificados en las normas.
- (2) Cuando se hayan recogido cien o más datos con este método (es aceptable utilizar solamente 20-50 valores si se tarda mucho tiempo en obtener cada valor, pero la precisión con la que se estimen las líneas de control se deteriorará si se hace esto), se prepara un gráfico de control utilizando estos valores.
- (3) Uno debe comprobar si este gráfico de control indica un estado de control o no, y si se están cumpliendo o no los valores estándar y los de referencia.
- (4) Si el gráfico de control indica un estado de control, se pueden utilizar las líneas de control como niveles de control para controlar el proceso en el futuro. En la práctica, las líneas de control pueden proyectarse al futuro de este modo y ser utilizadas para controlar los procesos y otras operaciones sin demasiados problemas cuando el número de puntos que caen fuera de los límites de control no es mayor de 0 en 25, 1 en 35 o 2 en 100.

Sin embargo, uno tiene que ser consciente de que cuando los datos obtenidos en la preparación para el control indican que no se están cumpliendo los valores estándar o las especificaciones, hace falta un análisis posterior. Sin embargo, las líneas de control existentes se adoptan generalmente como niveles de control de momento, se inicia el control del proceso provisional utilizando éstas, y el análisis y la mejora se llevan a cabo separadamente.

Como se puede ver de lo anterior, damos los siguientes pasos cuando preparamos el control de un proceso:

- (1) Analizar el proceso.
- (2) Establecer las normas diseñadas para crear un estado de control.
- (3) Calcular las líneas de los límites de control.

Si al hacer esto se agrupan los datos del pasado sin más y se obtienen unos gráficos de control que indican vagamente un estado de control, a menudo los gráficos no son muy útiles para hacer un buen control del proceso en el futuro. Es necesario aclarar el significado de los niveles de control dando unos pasos tales como los siguientes:

- (i) Describir claramente los fines del control del proceso.
- (ii) Identificar el significado de los subgrupos.
- (iii) Formular las normas de trabajo.
- (iv) Aclarar dónde reside la responsabilidad.
- (v) Establecer las normas para el uso de los gráficos de control.

Los anteriores son los principios para utilizar seriamente los gráficos de control y es mejor seguirlos todo lo posible. No obstante, de hecho se pueden establecer niveles de control temporales, controlar los procesos y obtener resultados incluso cuando, como a menudo es el caso, no existen normas de trabajo o es imposible analizar los datos anteriores y dibujar gráficos de control que indiquen un estado de control que satisface las condiciones para proyectar al futuro los límites de control. Sin embargo, si se hace esto durante mucho tiempo, ello conducirá a un mal control y llevará al proceso a un callejón sin salida. Por tanto, es mejor pasar a utilizar los gráficos de control en línea con los principios anteriores tan pronto como sea posible. Cuando se hace esto, se deben observar los puntos siguientes:

- (1) Aunque no existan normas de trabajo, se pueden utilizar gráficos de control para comprobar si el trabajo se está haciendo igual que antes. Como mínimo, el hacer los gráficos del trabajo de este modo tendrá cierto efecto motivador.
- (2) Cuando se analizan los datos del pasado y el número de puntos que caen fuera de los límites de control por razones desconocidas no cumplen las condiciones anteriores (0 en 25, etc.), probablemente aparecerán en el futuro muchos más de tales puntos si los límites de control se utilizan tal como están, y no se puede asegurar con confianza la distribución futura del producto. Sin embargo, si se investiga la causa con esmero siempre que un punto cae fuera de los límites de control extrapolados, y se establecen las normas de trabajo una a una para evitar que las causas vuelvan a reaparecer, el número de puntos que caen fuera de los límites decrecerá gradualmente, también decrecerá el número de causas desconocidas y se avanzará hacia un control adecuado.
- (3) Cuando no se han establecido los niveles de control, en principio debemos coger los datos del mes anterior o los datos recientes que se crea, por razones técnicas, que se aproximan a las condiciones actuales, eliminar los datos anormales de los que se conocen claramente las causas, calcular los niveles de control y utilizar éstos para controlar el proceso el mes en curso.

5.5.3 Control y revisión de los niveles de control

Puesto que los niveles de control son entidades vivas, tienen que ser revisados siempre que sea necesario. Esto es especialmente importante durante la etapa de preparación de las normas de trabajo y su revisión mientras se controla un proceso, puesto que los gráficos de control no podrán cumplir su papel como herramientas de control del proceso y se convertirán en simples gráficos si no se revisan adecuadamente los niveles.

Generalmente, los niveles de control deben revisarse (ver la sección 3.9.3) aproximadamente al mismo tiempo que los niveles de calidad (ver la sección 5.2.1(4)). Para cada gráfico de control se debe decidir quién será responsable de revisar los niveles de control y debe anotarse en el diario de los gráficos de control. Si es posible, también se debe decidir de antemano el método de revisión.

- (1) Si no hay ningún cambio en el proceso o en la política, los niveles de control se deben volver a calcular todos los meses o cada 100 puntos, durante algún tiempo después del inicio del control del proceso.
- (2) Cuando el proceso ha permanecido en control durante un periodo de tiempo largo y todos los puntos caen dentro de los límites de control, se pueden revisar los niveles de control una vez cada tres meses, o cada 500 puntos, o a intervalos más largos. Las estimaciones también serán más precisas cuando los niveles de control se estimen a partir de grandes cantidades de datos así.
- (3) Si el proceso no muestra un estado de control y ocasionalmente algunos puntos caen fuera de los límites, es mejor revisar los niveles de control una vez al mes o cada 100 puntos. En este caso, naturalmente que buscaremos las causas de las anomalías y volveremos a calcular los niveles de control después de eliminar los valores anómalos cuyas causas se hayan descubierto y sobre las que se haya actuado. En principio debemos dejar los valores anómalos cuyas causas son conocidas, pero sobre las que no se puede actuar, y los valores cuyas causas siguen siendo desconocidas.

Aquí hay que señalar algunas cuestiones. Primero, no es bueno utilizar niveles de control que contengan muchos valores que caigan fuera de los límites de control y sobre cuyas causas no se puede actuar dentro de las responsabilidades de control para ese proceso, incluso si se conocen esas causas, ya que esto desdibuja la responsabilidad del control del proceso. En tales casos debemos o bien volver a calcular los límites estimando el efecto de esas causas y modificando los datos, o bien calcular niveles de control estratificados y utilizarlos como límites de control para el proceso.

Segundo, deben ser útiles los ejemplos siguientes de niveles de control inadecuados:

- (a) Cuando los gráficos de control indican puntos que forman rachas a lo largo de periodos relativamente extensos o que diariamente caen fuera de los límites de control.
- (b) Cuando los puntos se representan sobre el gráfico de control cada mes sin dibujar las líneas de control y éstas se calculan y dibujan al cabo del mes.
- (c) Cuando se representan los valores de la especificación y se acometen acciones (ajustes principalmente) cuando los puntos caen fuera de estos valores. Esto es confundir el control del proceso con la inspección o la eliminación de las causas de las anomalías con el ajuste.
- (d) Cuando se fijan límites estrictos sin ninguna referencia a los datos anteriores o a las capacidades reales del proceso.

5.6 Causas de las anomalías y normas de control

5.6.1 Causas de las anomalías

Las causas de las anomalías se pueden clasificar de varias maneras, tal como se describe más abajo:

(A) Clasificación de las causas de las anomalías en función de las normas

- (1) Debidas a que no se siguen las normas.
- (2) Debidas a que no se pueden seguir las normas.
- (3) Debidas a errores en las normas.
- (4) Debidas a lagunas en las normas.

(B) Clasificación de las causas de las anomalías por tipos

- (1) Causas debidas a un control inadecuado:
 - (i) causas humanas,
 - (ii) causas mecánicas,
 - (iii) causas en las materias primas,
 - (iv) causas metrológicas (errores propios del muestreo, las medidas, los cálculos, etc.).
- (2) Causas que requieren una investigación técnica.
- (3) Causas inevitables debidas a condiciones externas.
- (4) Causas desconocidas.

En las fábricas que practican el control de calidad las causas del tipo (1) son, generalmente, las más corrientes, seguidas por los tipos 2, 3 y 4. Si los gráficos de control se dibujan con habilidad, aumenta la proporción de causas del tipo (1). Cuando hay muchas causas desconocidas (tipo 4), a menudo es porque el análisis del proceso y, por tanto, la normalización es inadecuada, la tecnología se ha deteriorado o la filosofía del control no se comprende muy bien en el puesto de trabajo (especialmente cuando los gráficos de control están mal dibujados o el subagrupamiento es inadecuado). Las causas inevitables (tipo 3) son rarísimas. Puesto que alguien de la empresa tiene que ser responsable de acometer acciones, es importante ser persistente. Por ejemplo, cuando hay problemas con la subcontratación, la empresa que encarga el trabajo es la responsable y está en situación de actuar el 60-70% de las veces.

(C) Clasificación de las causas de las anomalías según el modo de aparición

- (1) Causas de las anomalías que aparecen sistemáticamente (responsabilidad del staff técnico principalmente):
 - (i) causas que aparecen sistemática e instantáneamente, i.e., las que salen a la superficie a intervalos regulares de tiempo,
 - (ii) causas que aparecen sistemáticamente y producen una sucesión de anomalías.
- (2) Causas de las anomalías que aparecen esporádicamente (responsabilidad del *staff* de control de línea principalmente).
- (3) Causas de las anomalías que aparecen crónicamente (responsabilidad de los ingenieros o la dirección principalmente).

Las causas del tipo 1 se descubren fácilmente por medio de la estratificación o el análisis de correlación. Las causas del tipo 2 se pueden poner de manifiesto buscando diligentemente siempre que los puntos caigan fuera de los límites de control. Estas causas son más fáciles de trazar que las del tipo 1 si los gráficos están dibujados con habilidad. La aparición de una causa del tipo 3 es prueba de que no se ha acometido la acción para prevenir la reaparición de los problemas. Entre los ejemplos están la falta de atención de los trabajadores, la preparación defectuosa de calibres, herramientas, instrumentos de medida y otros equipos, y materias primas de baja calidad.

(D) Clasificación de las causas de las anomalías según el tipo estadístico

Las causas anteriores se pueden seguir clasificando en las dos categorías estadísticas siguientes:

- (1) Causas del modelo de efecto fijo.
- (2) Causas del modelo de efecto aleatorio.

(E) Causas de las anomalías fuera del proceso

Fuera del proceso se encuentran causas de las anomalías con una frecuencia sorprendente. Ellas incluyen:

- (1) Lotes: contaminación por lotes de calidad diferente.
- (2) Muestreo:
 - (i) muestreo sesgado,
 - (ii) muestreo no fiable,
 - (iii) errores en las normas de los métodos de muestreo.
- (3) Muestras: muestras equivocadas, mala manipulación de las muestras.
- (4) Medidas y ensayos:
 - (i) medidas y ensayos incontrolados: errores de medida, errores de lectura, mal uso o mala instalación de los aparatos de medida y ensayo,
 - (ii) normas malas de los métodos de medida.
- (5) Datos: errores de anotación y de cálculo, errores de trazado, errores de procesamiento, contaminación por datos diferentes.

(F) Resumen de las causas de las anomalías

Las causas de las anomalías se pueden clasificar de varias maneras tal como se ha descrito más arriba. Cuando se formulan criterios para prevenir la reaparición de problemas y para el control de procesos, es mejor utilizar el siguiente procedimiento para ordenarlas:

- (1) Comprobar las frecuencias de las causas y dibujar diagramas de Pareto para ver cuáles aparecen con más frecuencia.
- (2) Comprobar qué características están afectadas por qué causas y cómo se indican las anomalías, e.g., si cambia x o R , o si los puntos caen fuera de los límites de control o forman rachas, tendencias u otros patrones.
- (3) Comprobar el estado de control a largo plazo calculando los números o porcentajes de puntos que caen fuera de los límites de control todas las semanas o meses y representándolos en un gráfico o un gráfico de control. Normalizar luego los métodos para buscar las causas y acometer acciones de acuerdo con la situación.

5.6.2 Normas de control

Para realizar el control hábilmente, deben aclararse, normalizarse y delegarse en la medida de lo posible la autoridad y la responsabilidad de efectuar el control, emitir juicios y acometer acciones. Las reglas que especifican estas cuestiones se llaman normas de control.

La siguiente explicación de las normas de control se centra principalmente en la situación en la que se van a utilizar los gráficos de control, pero las nor-

mas de control se pueden formular siguiendo el mismo enfoque aun cuando no estén en uso los gráficos de control.

Para acelerar el control de un proceso con fluidez, como una forma de trabajo rutinario por medio del uso de los gráficos de control, tenemos que preparar normas de trabajo (que se pueden llamar un tipo de normas de control). Para empezar, aunque sólo sea una para cada puesto de trabajo, *debemos preparar gráficos de control utilizables y tomarle gusto a su uso.*

Al hacer esto, se tienen que tener en cuenta los siguientes puntos:

- (1) Numerar cada gráfico de control y registrarlo en el diario de los gráficos de control.
- (2) Decidir quién va a dibujar las líneas de control, cuándo se van a calcular y volver a calcular, y de quién se tiene que obtener permiso antes de dibujarlas.
- (3) Decidir quién va a realizar el muestreo y las mediciones, y cuándo y cómo se va a hacer. Decidir qué impresos se van a utilizar para registrar los datos, a quién se debe informar, y en qué fecha tiene que remitirse el informe.
- (4) Representar los puntos en los gráficos de control. Decidir quién va a hacerlo, cuándo debe hacerse y cómo se deben realizar los cálculos.
- (5) Decidir quién va a ver cada gráfico de control, con qué frecuencia se va a comprobar y de quién es el punto de control.
- (6) Utilizar los puntos representados para valorar si el proceso está en estado de control o no. Formular criterios de opinión para decidir cuándo un proceso está fuera de control.
- (7) Decidir la acción que se ha de acometer siempre que el gráfico de control indique que un proceso está fuera de control. Decidir quién va a buscar las causas y cómo se va a hacer esto, y qué clase de acción se va a acometer si se descubre la causa o si no se puede descubrir. En otras palabras, delegar y normalizar todo lo posible según la categoría, desde el nivel más bajo hacia arriba. Tal como se mencionó en la sección 1.5, la normalización con el fin de delegar la autoridad es uno de los puntos clave de la dirección. Cuando se haga esto, es importante empezar por abajo y hacer las normas todo lo específicas que sea posible.
- (8) Decidir cuándo y cómo se deben hacer los informes para los superiores u otros departamentos relacionados.
- (9) Determinar la acción que pueda acometer cada directivo bajo su propia responsabilidad.
- (10) Si es preciso, decidir un procedimiento para acometer acciones, para asegurarse de que la causa no vuelva a aparecer en el futuro. Especificar cómo se tiene que enlazar esto con las normas.

- (11) Decidir cómo se va a acometer una acción después que un proceso haya seguido en el estado controlado durante un periodo largo de tiempo. He aquí algunas ideas al respecto:
- (a) Con los puntos de control que sean vitales para el proceso, seguir utilizando los gráficos de control del mismo modo que antes.
 - (b) Con los puntos de control que no sean muy importantes para el proceso, aumentar gradualmente el intervalo entre toma de muestras o reducir el número de muestras tomadas. En ciertas situaciones, economizar en las actividades de control al seguir tomando medidas pero sin representar los datos en los gráficos de control o suspendiendo del todo las medidas.
 - (c) En los gráficos de control estratificados, cuando el proceso ha seguido en el estado de control durante mucho tiempo y no aparece ninguna diferencia entre los diferentes estratos, reunir los datos de diferentes estratos, decidir un solo nivel de control y representar los datos en un solo gráfico de control. Seguir estratificando los lotes y los datos aunque se reúnan para representarlos en un solo gráfico de control para que aún se puedan utilizar en análisis futuros del proceso.
 - (d) Alargar los intervalos en los que se revisan los niveles de control, las normas de calidad y las de trabajo.
 - (e) Si un proceso ha seguido en el estado de control durante mucho tiempo, la inspección no indica ningún producto inaceptable y no hay reclamaciones de los clientes respecto a las características del producto, alargar el intervalo de inspección del producto, reducir el número de productos inspeccionados y cambiar a la inspección de comprobación. Finalmente, pasar a expedir los productos con inspección cero.
 - (f) Si el estado de control del proceso todavía no satisface las metas de calidad, llevar a cabo más análisis del proceso y tratar de elevar los niveles técnicos.

5.7 Cómo comprobar si se está poniendo en práctica un buen control de los procesos

(1) Comprobación a través de los resultados globales

Los resultados del control de un proceso deben ser juzgados en última instancia en términos de los resultados finales tales como la calidad, el coste, la cantidad necesaria para una unidad de producto, la eficiencia, la seguridad, el beneficio, las ventas y la participación en el mercado, o representando las me-

joras del control del proceso, las disminuciones de la dispersión o los aumentos de las capacidades técnicas. Sin embargo, por razones como las siguientes, éstas pueden ser medidas deseables pero poco prácticas para evaluar los resultados del control de un proceso:

- (a) Incluyen los efectos de factores extraños tales como las materias primas, los componentes, el equipo y los operarios.
- (b) Son difíciles de obtener en forma de datos; por ejemplo, pueden depender de ensayos sensoriales, puede que se tarde mucho tiempo en recoger los datos o puede que los datos obtenidos sean imposibles de estratificar.
- (c) Carecen de criterios claros para emitir juicios.

(2) Diagnóstico de CC

También es necesario comprobar si el control del proceso se está llevando a cabo adecuadamente, i.e., comprobar por medio de los métodos utilizados así como por medio de los resultados obtenidos. Los resultados pueden mejorar por casualidad o sencillamente porque las personas se arremangan y hacen un esfuerzo mayor, pero no hay ninguna garantía de que tales resultados serán permanentes. Por tanto debemos comprobar cómo piensa y actúa todo el mundo, i.e., el proceso. Esta es una de las características distintivas del CCT.

(3) Comprobar el control del proceso en el desarrollo de nuevos productos

El desarrollo de nuevos productos es vital para las empresas y, si en esta etapa el CC y el control del proceso parecen ir bien, ello significa que el CCT y el control del proceso han hecho progresos considerables. Por tanto, es útil investigar si el desarrollo de nuevos productos va teniendo éxito y comprobar el número de cambios de diseño hechos en cada etapa, la situación durante la producción inicial de nuevos productos y el número de reclamaciones junto con sus detalles.

(4) Comprobar si los gráficos de control se están utilizando hábilmente para el control del proceso o no

La comprobación del uso de los gráficos de control debe llevarse a cabo por lo menos una vez al año, preferentemente dos.

- (1) Los puntos a comprobar incluyen:
 - (i) ¿Para controlar qué clases de trabajo se están utilizando los gráficos de control?
 - (ii) ¿Son adecuados los valores característicos?

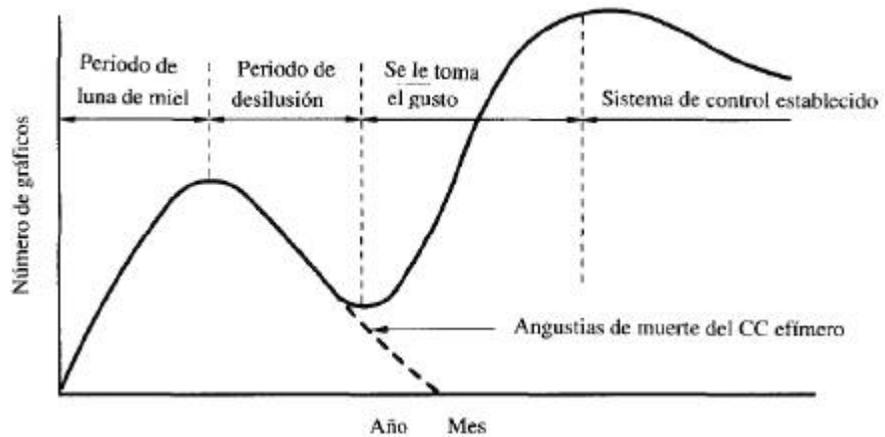


Figura 5.2: Cambios en el número de gráficos de control

- (iii) ¿Hay alguna confusión entre la eliminación de las causas de las anomalías, el ajuste y la inspección?
 - (iv) ¿Son adecuadas las normas de control para el uso de los gráficos de control?
 - (v) ¿Hay algunos cambios en la forma como aparecen las causas de las anomalías?
 - (vi) ¿Son apropiadas las normas para acometer acciones? ¿Tienen que mejorarse? ¿Se acomete siempre la acción correcta? ¿Ha mejorado la situación sin ninguna duda como consecuencia de las acciones para prevenir la reaparición de problemas?
 - (vii) ¿Son satisfactorios los tipos de gráficos de control, los límites de control, los métodos de representación y de subagrupamiento, los intervalos de muestreo y los métodos de medida actuales?
 - (viii) ¿Sigue siendo necesario dibujar todos los gráficos de control?
 - (ix) ¿Ha habido algunos cambios en las capacidades de los procesos?
 - (x) ¿Se están revisando adecuadamente las normas de trabajo?
- (2) Se debe calcular anualmente el total de los diferentes tipos de gráficos de control utilizados en cada fábrica y en la empresa; ello proporciona unos datos valiosos para la revisión y es una buena medida para valorar los progresos del CCT. El número de gráficos de control en uso después de la introducción del control de calidad varía generalmente con el tiempo de acuerdo con el patrón mostrado en la Figura 5.2.

Al principio, generalmente, una empresa experimenta un periodo de "luna de miel". En esta etapa, las personas están bajo la impresión equivocada de que el control de calidad significa dibujar gráficos de control. Dibujan gráfi-

Tabla 5.2: Informe del diagnóstico de los gráficos de control

Sección o grupo	Para control	Para análisis	Para ajustes	Gráfico	Desuso	$\bar{x} - R$	x	p, pn	c, n	Subtotal
	A A' BC	D E	F	G						
Subtotal										
Porcentaje										

cos indiscriminadamente, olvidando las causas asignables, los puntos de comprobación, la eliminación de las causas de las anomalías, el ajuste y las normas de trabajo. Esto tiene cierto efecto motivador.

A continuación viene el periodo de desilusión. En esta etapa, desaparece la novedad, se apodera el aburrimiento y, tal como se describe más adelante, las personas empiezan a llegar a la conclusión de que los gráficos de control son inútiles. Aunque las personas siguen exigiéndose unas a otras que dibujen gráficos de control utilizables, de hecho su entusiasmo ha desaparecido. Si las cosas se dejan así, el CC será una cosa efímera y los gráficos de control morirán de muerte natural.

Después de la desilusión viene el "tomarle el gusto". Las personas empiezan ahora a comprender el verdadero significado de las características de control y de los gráficos de control como medio para comprobarlas. La red del control se extiende por toda la empresa y el número de gráficos de control en uso aumenta rápidamente.

Finalmente, se establece el sistema de control. En esta etapa se perfecciona el control o se hace más hábil, y el número de gráficos de control en uso disminuye gradualmente en cierta medida.

El número de gráficos de control en uso y cómo se están utilizando debe ser auditado en toda la empresa una vez cada seis meses o al año. Se deben remitir informes como los mostrados en la Tabla 5.2 y los resultados deben representarse en gráficos que indiquen las tendencias a largo plazo. Los significados de las categorías de la tabla son los siguientes:

A (para control): puesto que el proceso se ha estabilizado hasta el punto en que es innecesario un control estrecho, se puede alargar el intervalo de muestreo, reducir el número de muestras o dejar de hacer el gráfico de control en ciertos casos.

A' (para control): puesto que la capacidad del proceso satisface bastante bien las especificaciones, y las metas y el proceso está bien controlado, es suficiente con seguir controlándolo como hasta ahora.

B (para control): el gráfico de control se está utilizando con éxito para el control, pero la capacidad del proceso es un poco inadecuada.

C (para control): el proceso se ha convertido recientemente en impredecible y son de esperar problemas si no se hace nada al respecto. Hay que hacer análisis e investigación.

D (para análisis): el gráfico de control se está utilizando con éxito para el análisis y también podría utilizarse para control al mismo tiempo.

E (para análisis): el análisis actual es insuficiente; hay que hacer más análisis.

F (para ajuste): no se le puede llamar gráfico de control. Se confunde la eliminación de las causas de las anomalías con el ajuste. El gráfico debe volverse a titular como "gráfico de ajuste" o bien deben revisarse los elementos de control.

G (gráfico): este no es un gráfico de control y las personas lo consideran como un simple gráfico sin adoptar ninguna medida.

En desuso: el gráfico está registrado en el diario de gráficos de control pero no se está dibujando actualmente.

(5) La visión a largo plazo de los gráficos de control: control del proceso, análisis del proceso y revisión de las normas

Si uno fuera a coger los gráficos de control procedentes de uno a varios años y para una característica particular, y ordenarlos según el tiempo, los gráficos podrían simplemente ponerse unos a continuación de otros, o podrían calcularse los límites de control de cada mes y representarlos, por orden, en un gráfico. Si se dibujan los valores para varias características diferentes en paralelo sobre el mismo gráfico se obtiene un cuadro todavía mejor. Este método de ver los gráficos de control es eficaz para comprobar todas las clases de trabajo, no sólo el control de un proceso, para ver si funciona satisfactoriamente a largo plazo. El método también se puede utilizar para el diagnóstico de CC.

Si se juntan las líneas centrales de \bar{x} , usualmente se obtienen patrones como los mostrados en la Figura 5.3. Los gráficos *R* dan la misma clase de patrón. Se pueden sacar las siguientes conclusiones a partir de estos gráficos:

Patrón a: o bien el control se está ejerciendo bien y se está produciendo un producto de calidad constante, o la tecnología se ha estancado y casi no se hace ninguna mejora.

Patrón b: no se está ejerciendo el control ni se está realizando el análisis. La calidad se está ajustando fundamentalmente en respuesta a los cambios económicos. En el peor de los casos, ésta es una empresa en la que no se puede confiar.

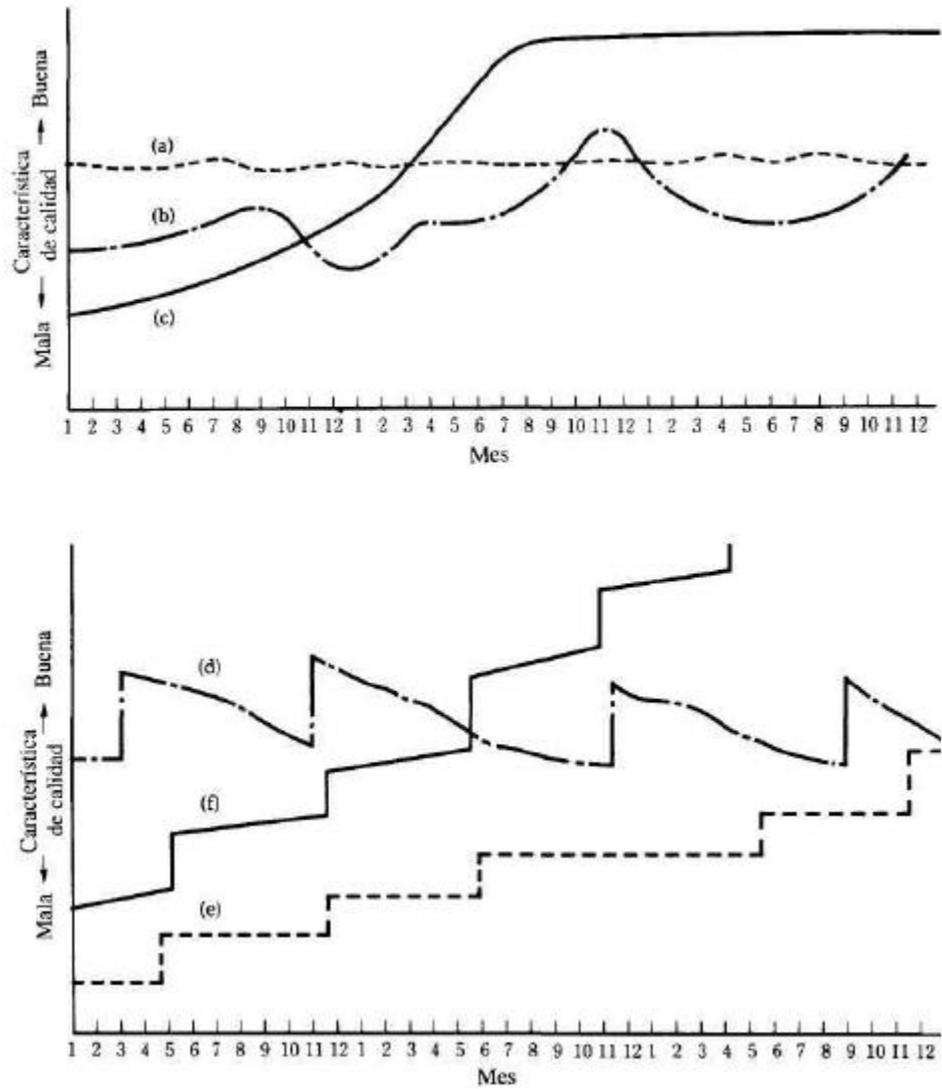


Figura 5.3: Cambios a largo plazo en un proceso (visión a largo plazo de los gráficos de control)

- Patrón c: el proceso se está analizando detenidamente todos los meses, se están revisando fielmente las normas de trabajo y se están efectuando unas mejoras y control incesantes. El concepto de control está impregnando gradualmente todas las partes de la empresa. El punto de saturación se alcanza aproximadamente después de seis a veinte meses. Cuando sucede esto, o bien se tienen que introducir mejoras en el equipo o se tiene que repensar radicalmente la tecnología.
- Patrón d: se llevan a cabo con frecuencia inversiones en equipo y experimentos en fábrica, pero no se utilizan al máximo y el control está ausente. El concepto de control no ha penetrado.
- Patrón e: se están persiguiendo activamente las mejoras técnicas a través de la mejora del equipo y de unos experimentos adecuadamente diseñados, y el control también es bueno. Éste es un buen ejemplo del estilo euronorteamericano.
- Patrón f: se están llevando a cabo mejoras continuas en los procesos e innovaciones técnicas a través de los métodos del diseño de experimentos e inversiones en equipo, el análisis de los procesos se está llevando a cabo diligentemente por medio del análisis de los datos anteriores de cada mes, y también se está ejerciendo un buen control. Éste es *el mejor enfoque al estilo japonés*.

5.8 Las ventajas de los gráficos de control y del estado controlado

Si los gráficos de control se utilizan competentemente como herramienta para comprobar los procesos, tienen las ventajas descritas más abajo, comparadas con los montones de números que se ven en los informes convencionales diarios:

- (1) Al expresar los datos gráficamente la información es más fácil de comprender. Se pueden detectar muy pronto los cambios temporales y las anomalías, y se simplifica el control.
- (2) Se puede apreciar de un vistazo el trabajo de un proceso durante un periodo de tiempo largo.
- (3) El concepto de variación es más fácilmente comprendido por los operarios y los directivos.
- (4) Los juicios son más objetivos puesto que se hacen en base a las líneas de control. Cesan las discusiones infructíferas y las disputas emocionales.

- (5) Es más fácil comprobar si una acción se está llevando a cabo fielmente con respecto a las causas particulares. También es más fácil comprobar los resultados de tales acciones.
- (6) Puesto que las variaciones anómalas se pueden acometer según las prioridades, es más fácil mejorar los procesos y llevarlos bajo control. La calidad en su sentido amplio mejora así.
- (7) Es posible aclarar gradualmente la autoridad y la responsabilidad dentro de la empresa.
- (8) Las normas de trabajo y otras normas se vuelven más racionales.
- (9) Es posible mantener el proceso en estado de control.
- (10) Es posible determinar científicamente las capacidades de los procesos.
- (11) El trabajo de los técnicos es más fácil de realizar.
- (12) Es más fácil que el puesto de trabajo acepte el apoyo del departamento técnico.
- (13) Es más fácil que los operarios, los supervisores de los puestos de trabajo y los círculos de CC vean si las normas de trabajo, los calibres y herramientas, las galgas, los instrumentos de medida, las piezas, etc., son adecuadas o no, lo que hace más fácil acometer acciones.
- (14) Los operarios, los supervisores de puestos de trabajo y los círculos de CC se interesan más en su trabajo, y se hace posible el control autónomo.
- (15) La recogida de estadísticos sobre las causas de las anomalías hace posible invertir racionalmente en equipos y aparatos.
- (16) Todo el mundo tiene más cuidado con los datos, las medidas y el muestreo.
- (17) Los directivos ganan tiempo para pensar en el futuro.

La estabilización de las variaciones debidas a las personas, los materiales, la maquinaria y los métodos de trabajo, y llevar los procesos bajo control es uno de los fines de la dirección, y todo funciona con mayor fluidez si se hace esto. Algunas ventajas especiales del estado controlado son las siguientes:

- (1) Los procesos pueden poner de manifiesto sus capacidades máximas.
- (2) El trabajo se normaliza y es más fácil de realizar.
- (3) Se puede reducir el número de medidas y ensayos realizados.
- (4) Los directivos se relajan y pueden delegar el trabajo.
- (5) Se pueden hacer planes para el futuro con confianza, y también se pueden firmar los contratos con tranquilidad.
- (6) Es posible efectuar mejoras técnicas según prioridades.
- (7) Quedan libres mucho tiempo y recursos para planificar el futuro.
- (8) Si el estado controlado satisface plenamente la calidad certificada, es posible garantizarla sin inspeccionar el producto, reduciendo así los costes de inspección.

- (9) La empresa pueden suministrar con confianza garantías de producto a sus clientes.
- (10) Se simplifica el control de presupuestos y de costes.

5.9 Establecimiento de criterios para hacer los ajustes

En la sección 5.3 y en otras partes he explicado con frecuencia la diferencia entre eliminar las causas de las anomalías y el ajuste. Aquí me gustaría hablar de cómo se deben determinar los criterios para hacer los ajustes. Los límites de control 3-sigma son adecuados para decidir si un proceso está fuera de control y eliminar las causas de las anomalías, pero los límites y los criterios para los ajustes deben establecerse estadísticamente desde un punto de vista diferente, teniendo en cuenta los valores de las especificaciones y otros factores.

Para empezar, me gustaría dejar claros los siguientes puntos:

- (1) El ajuste consiste en vigilar una situación (e.g., la longitud, el espesor, la humedad, etc.) y regular algo (e.g., girar una válvula o mezclar materias primas) según ciertos criterios.
- (2) Un proceso tiene cierta variación que existe aun cuando no se realice ningún ajuste, junto con una variación que cambia cuando se ajustan sus causas asignables.
- (3) En general, el ajuste significa alterar la variación y la media de la distribución que existe en ausencia del mismo. Por tanto, cuando se determinan los criterios para hacer los ajustes, se tienen que investigar los siguientes elementos:
 - (i) También deben calcularse la desviación estándar, la varianza y otros datos relativos a la variación en ausencia del ajuste (recorrido móvil, subagrupamiento racional, histogramas, error del muestreo, error de las medidas, etc.).
 - (ii) La relación entre el grado del ajuste y su efecto: esta relación no es necesariamente lineal (pueden ser necesarios la estimación de la diferencia entre las medias, la estratificación y el análisis de regresión).
 - (iii) El lapso de tiempo entre el ajuste y la aparición de su efecto (incluyendo la duración de la medición).
 - (iv) El lapso de tiempo entre la toma de datos y la emisión de un juicio, y la ejecución de un ajuste (tiempo de retroalimentación).

- (v) Los costes pertinentes, e.g., las pérdidas que surgen al no darse cuenta de que ha cambiado un proceso, los costes del ajuste y las pérdidas ocasionadas por pasarse en el ajuste.

También es necesario para este fin estudiar la filosofía y la teoría del control automático y obtener datos cuantitativos con las herramientas estadísticas.

Los criterios para hacer los ajustes se deciden combinando los números obtenidos con las investigaciones anteriores y la resolución de las ecuaciones teóricas, de forma que se estabilice el proceso, se optimicen los beneficios y se minimicen los costes. Esto no se tratará aquí debido al elevado número de situaciones posibles. Sin embargo, los límites de ajuste se pueden determinar a menudo incluso sin utilizar expresiones numéricas complejas si se conocen los valores anteriores. Por tanto, es importante empezar por llevar a cabo las investigaciones enumeradas.

Como criterios de ajuste, se tienen que decidir los siguientes elementos:

- (1) Qué datos se vigilarán para hacer los ajustes.
- (2) Cómo se recogerán esos datos. En este caso, puesto que es necesario estimar con precisión el promedio del proceso, se necesitan varios mecanismos en el análisis estadístico cuando la variación, el error del muestreo y el error de las medidas, en ausencia de los ajustes, son grandes. Por ejemplo, la media se puede calcular por medio del uso de un muestreo continuo o sistemático, o tomando un número grande de medidas, o se puede reducir radicalmente la variación del proceso en ausencia del ajuste.
- (3) Los límites de ajuste. No se debe realizar ningún ajuste a menos que los valores obtenidos en el paso 2 superen a ciertos límites de ajuste. Usualmente, estos límites no están claramente definidos, y a menudo se estropean los procesos con la realización de ajustes innecesarios o perjudiciales, i.e., por un exceso de control. Esto sucede cuando dejamos que nuestras acciones estén dictadas por la variación del proceso en ausencia del ajuste; en otras palabras, es el tipo de error "impulsivo". Si se superan los límites de ajuste, se debe realizar un ajuste con la cantidad necesaria tal como se calcula por medio de la relación, anteriormente investigada, entre el grado de ajuste y su efecto. Los límites de ajuste y las cantidades del mismo se deciden por medio del análisis que hace uso de los métodos estadísticos.

Los límites de ajuste deben colocarse a ambos lados de una línea central fijada en cierto valor de referencia; en mi experiencia, los límites no deben dibujarse en los valores ± 3 -sigma de la distribución de las medias sino en los valores $\pm 1,5$ -sigma o $\pm 2,5$ -sigma.

En algunos casos, los ajustes pueden ser continuos, mientras que en otros se tienen que hacer paso a paso. Cuando sea posible el ajuste continuo, se debe realizar un ajuste suficiente para restablecer el valor límite al valor de referencia. Cuando sólo es posible el ajuste paso a paso, esto tiene que tenerse en cuenta al calcular los límites de ajuste, y el ajuste debe realizarse de una vez o, si es necesario, en dos veces. Este enfoque también es útil cuando se calibran los instrumentos de medida.

Cuando se realizan las investigaciones, es mejor funcionar de la manera habitual, guardar los registros de las observaciones y los ajustes, y recoger los datos de los resultados a lo largo de un periodo de tiempo relativamente largo. Así es como se determinan los criterios para hacer los ajustes, pero una vez establecidos, los resultados deben ser comprobados, y los criterios (que son una forma de normas de trabajo) deben ser revisados adecuadamente.

Si los ajustes son complejos y requieren varios cálculos cada vez que se realizan, puede ser necesario un control por ordenador en la línea. En los casos sencillos, cuando se repite la misma clase de ajuste, el control automático puede ser suficiente. Sin embargo, los ajustes no son más que controlar los cambios debidos a una causa asignable alterando una causa asignable diferente. Nuestro fin último debe ser, por tanto, seleccionar las características de control convenientes, preparar los gráficos de control, controlar el propio sistema de control y finalmente, eliminar las causas verdaderas e instituir un sistema de control que pueda controlar el proceso satisfactoriamente sin ningún ajuste. En otras palabras, la situación ideal es aquella en la que el control por ordenador y el automático están ausentes.

La Garantía¹ de Calidad y la inspección

6.1 ¿Qué es la Garantía de Calidad?

La garantía de calidad (GC) es el alma del control de calidad. Expresado de manera sencilla, la garantía de calidad consiste en garantizar que un cliente pueda comprar con confianza un producto o servicio y disfrutar de su uso satisfactorio durante un periodo de tiempo largo. La garantía de calidad representa un tipo de promesa o contrato con el cliente respecto a la calidad.

En la práctica hay varios problemas en cuanto a la forma en que se interpreta la garantía de calidad. Algunas ideas equivocadas son las siguientes:

- (i) Si se está realizando una inspección estricta, se está llevando a cabo la garantía de calidad.
- (ii) Nuestra empresa practica la garantía de calidad ya que ofrecemos la sustitución gratuita de los productos defectuosos por otros buenos.
- (iii) La calidad está garantizada si las reparaciones son gratuitas durante cierto periodo de tiempo.

Los puntos (ii) y (iii) significan hacerse responsable de los recambios o las reparaciones pero no de garantizar la calidad. Por el contrario, es más como garantizar a los clientes que algunos productos serán defectuosos o se estropearán durante el uso. Las reparaciones y recambios gratuitos son, claro está, una parte importante de la garantía de calidad pero están lejos de serlo todo.

1

"Assurance" en inglés. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) traduce este término como "aseguramiento"; deben, pues, considerarse sinónimos "garantía" y "aseguramiento". (*N. de los T.*)

Terminología:

En el campo de la garantía de calidad abundan los términos tales como "seguridad", "compensación", "indemnización", "garantía"² y "garantía post-venta"³, y significan cosas ligeramente diferentes para las personas procedentes de distintas áreas empresariales (la profesión jurídica, los consumidores en general, la industria de la construcción, el campo del control de calidad, etc.). No hay reglas claras en cuanto a cómo deberían usarse.

Aquí utilizo el término "garantía post-venta" en el sentido de aceptar la responsabilidad e indemnizar al cliente por algo que vaya mal. Para un producto, el periodo que cubre la garantía post-venta significa un periodo de tiempo fijo a partir de la fecha de la compra y durante el cual el producto se reparará gratuitamente bajo ciertas condiciones. Para un coche, por ejemplo, el periodo de garantía post-venta puede ser de dos años o 50.000 kilómetros, lo primero que se alcance.

En contraste con esto, "garantía" (o aseguramiento) significa asegurar que los clientes obtendrán un uso satisfactorio de un producto durante un periodo de tiempo largo. El periodo de aseguramiento debe ser realmente el número de años durante los cuales se pueda utilizar el producto. Puesto que las piezas están sometidas a un desgaste y rotura normales, ello significa el número de años durante los cuales la empresa se compromete a reparar y hacer el mantenimiento no gratuito del producto después de la expiración del periodo de garantía. Claro que esto dependerá de cómo el usuario utilice su producto y en lo bien que se realicen las comprobaciones y el mantenimiento. Los coches, por ejemplo, duran más hoy día y creo que su periodo de aseguramiento debería fijarse, como mínimo, en quince años. Con algunos productos, hay obligación legal de que haya piezas disponibles durante tres, cinco o siete años después de que el producto haya sido puesto en el mercado, pero éstas son responsabilidades mínimas y cada empresa debe decidir su política respecto a los periodos de garantía y crear un sistema que permita el suministro de piezas durante periodos de tiempo mayores que éstos. Algunas empresas dicen suministrar piezas durante toda la vida, i.e., hacer que haya piezas disponibles mientras sus productos sigan operando. Los bienes duraderos van con certificados de garantía post-venta que indican un periodo de garantía post-venta de un año durante el cual una unidad será reparada o sustituida gratuitamente si se rompe debido a una fabricación defectuosa, pero también debería fijarse un periodo de aseguramiento independiente, ya que tales productos no se rompen inmediatamente o se quedan inutilizables tan pronto como termina el periodo de garantía post-venta de un año.

Para los productos cuya calidad se deteriora gradualmente después de su expedición, aunque no se utilicen (e.g., películas fotográficas, productos farmacéuticos, alimentos, etc.), creo que se debería fijar un periodo de aseguramiento (que dependerá del método de almacenamiento) que indique el número de años durante los cuales el producto seguirá siendo utilizable si se almacena de acuerdo con las precauciones establecidas.

²

En inglés, assurance. (*N. de los T.*)

³

En inglés, warranty. (*N. de los T.*)

6.2 Los principios de la Garantía de Calidad

Una empresa tiene que practicar la garantía de calidad con objeto de garantizar a sus clientes y usuarios que sus productos o servicios funcionarán satisfactoriamente antes de la compra, en el momento de la misma y durante cierto periodo de tiempo después; en otras palabras, sus productos o servicios tienen que ser suficientemente fiables para que satisfagan a los clientes y se ganen su confianza. Podremos afirmar justificadamente que se ha alcanzado la garantía de calidad si es posible vender confianza en la calidad de los productos o servicios de una empresa, o, aún más en general, confianza en la calidad de la misma empresa, de forma que los clientes se sientan seguros al comprarle incluso nuevos productos o servicios.

Para conseguirlo, se tienen que seguir los principios siguientes:

- (1) Adoptar al cien por cien el enfoque de que el cliente es lo primero, y adquirir unos conocimientos firmes de los requisitos de los clientes. Esto implica la clara identificación de lo que los clientes piden y de qué tipos de garantías exigen. Puesto que los diferentes países tienen diferentes situaciones y los propios consumidores se están polarizando y diversificando, a partir de ahora lo normal será fabricar artículos de gran variedad y de bajo volumen de producción. Igualmente, los consumidores no son, generalmente, profesionales de marketing y sus requisitos son, a menudo, nebulosos o subconscientes. Los vendedores –i.e., los productores y comerciantes- son profesionales y tienen que pedir a los consumidores que elaboren y aclaren sus requisitos. En contraste con esto, no hay manera de que el enfoque orientado a "sacar el producto", hacer primero un producto y luego salir y venderlo, satisfaga a los consumidores o pueda proporcionar la garantía de calidad.
- (2) Introducir una filosofía clara de que el cliente es lo primero, y asegurarse de que todo el mundo, desde el presidente de la empresa hacia abajo, está implicado en la calidad. Esto significa todos los empleados, incluyendo el *staff* de, ventas y de servicio, así como los proveedores de la empresa y los que están en las organizaciones distribuidoras. La garantía de calidad es decididamente imposible a menos que todo el mundo tenga interés en practicarla. Para conseguirlo no se necesita sólo el control de calidad por toda la empresa sino el control de calidad por todo el grupo, en el que todo el mundo, incluyendo los subcontratistas y distribuidores, trabaja en equipo para acometer la garantía de calidad.
- (3) Dar vueltas constantemente alrededor del ciclo de PHCA (ver la sección 1.4.1 y la Figura 1.2).

Por muy concienzudamente que practiquemos la filosofía de que el cliente es lo primero, por muy extensos que sean nuestros estudios de mercado y por muy cuidadosamente que diseñemos la calidad y tratemos de practicar la garantía de calidad, jamás podremos ser perfectos; además, las exigencias y expectativas de los consumidores cambian y aumentan constantemente. Esto significa que tenemos que dar vueltas incesantemente alrededor del ciclo de calidad del PHCA y no dejar jamás de mejorar la calidad.

- (4) Los productores y vendedores son responsables de la garantía de calidad. La responsabilidad de la garantía de calidad reside en el productor, i.e., la empresa que fabrica el producto. Cuando una empresa dedicada a las ventas, un supermercado o unos grandes almacenes proporciona a una empresa de fuera las especificaciones y encargos para hacer un producto, la responsabilidad de la garantía de calidad reside en el productor, i.e., en este caso, la empresa dedicada a las ventas, el supermercado o los grandes almacenes. El fabricante es responsable de la garantía de calidad si forma parte del mismo grupo.

Si un proveedor practica el CCT y tiene un sistema de garantía de calidad que funciona correctamente, un comprador puede comprar confiadamente sus productos sin inspeccionarlos. Entre el ochenta y el noventa por cien de las empresas japonesas que están adelantadas en el CCT compran sin hacer inspección.

Dentro de una empresa, la responsabilidad de la garantía de calidad reside en el departamento de planificación del producto, el departamento de diseño y el de fabricación. En principio, los departamentos de inspección y de garantía de calidad no son responsables de la garantía de calidad. El departamento de producción, por ejemplo, es responsable de practicar un buen control autónomo y una buena inspección y de poner en práctica la garantía de calidad que satisfaga al cliente. Si esto se hace con éxito, el *staff* de los departamentos de inspección y de garantía de calidad se puede reducir mucho. Los departamentos de inspección previa a la entrega y de garantía de calidad comprueban la calidad desde el punto de vista del consumidor e investigan los problemas relacionados con la responsabilidad civil por el producto (ver la sección 6.6). Realmente tienen muy poca responsabilidad por la garantía de calidad. Esto significa que si se reciben reclamaciones o manifestaciones de insatisfacción procedentes de los consumidores, la alta dirección debe poner sobre el tapete a los departamentos de compras, planificación, diseño y fabricación, y no a los departamentos de inspección o garantía de calidad. Antes de que pueda hacerlo, sin embargo, tiene que haber advertido claramente a esos departamentos de su responsabilidad en llevar a cabo la garantía de calidad y se

tiene que haber asegurado de que el sistema de garantía de calidad está instaurado.

- (5) Los principios anteriores de garantía de calidad se establecen desde el punto de vista del consumidor, pero dentro de una empresa "el proceso siguiente es su cliente", lo que significa que todo el mundo tiene que esforzarse por aplicar los principios con respecto al proceso siguiente a lo largo de la línea.

6.3 Los métodos y sistemas de la Garantía de Calidad

(1) Métodos de la Garantía de Calidad

Puesto que ya he explicado la evolución de la garantía de calidad en la sección 1.3, sólo lo resumiré brevemente aquí. Inmediatamente después de la introducción de la garantía de calidad en Japón empezamos a dejar atrás el tipo de garantía de calidad euronorteamericano orientado hacia la inspección, y pasamos al tipo de garantía de calidad orientado hacia el control de procesos en el cual se practica el control de los procesos en un intento de alcanzar cero defectos. Tuvimos éxito en mejorar la calidad y aumentar la productividad y pudimos producir buenos productos a precios razonables. Sin embargo, luego comprendimos que esto solo no era suficiente; si la planificación y el diseño de un nuevo producto o la selección de las materias primas eran malos, sería imposible garantizar la calidad por mucho que tratáramos de poner en práctica el control de procesos. A partir de la segunda mitad de los años cincuenta empezamos a ir más atrás del proceso de producción, y desplazar el centro de nuestros esfuerzos en garantía de calidad desde las etapas de planificación, diseño, prototipo y producción piloto a la etapa del desarrollo de nuevos productos.

Aun cuando se establezca un sistema para garantizar la calidad como el descrito más arriba, durante el desarrollo de nuevos productos se necesita un control de procesos adecuado mientras los productos se estén produciendo, y también se necesita una inspección del 100% mientras salgan productos defectuosos de la línea de producción.

Para crear un verdadero sistema de garantía de calidad, tenemos que ir aún más allá y poner en práctica un sistema de control de calidad por todo el grupo en el cual los subcontratistas, los proveedores, las organizaciones distribuidoras, las organizaciones para el servicio post-venta y todas las demás empresas relacionadas practiquen el control de calidad como si fueran una sola unidad. A algunas empresas les cuesta diez años establecer esta clase de sistema de garantía de calidad que cubra todas sus actividades por todo el mundo.

(2) Sistemas de Garantía de Calidad

En la sección 1.6.2 se explicó cómo poner en práctica un sistema de garantía de calidad que cubra todas las etapas, desde el desarrollo de nuevos productos hasta la comercialización y el servicio post-venta. Le ruego consulte trabajos tales como la *Guía de Garantía de Calidad*⁴.

Aquí me gustaría concentrarme en el desarrollo de nuevos productos, y mencionar algunas cuestiones especialmente importantes. La Figura 6.1 es básicamente la misma que la Figura 1.16.

En la práctica debe normalizarse cada paso de la garantía de calidad, prepararse las listas de comprobación e idear y poner en práctica métodos de control específicos para cada tipo de producto. Sin embargo, no todas estas actividades saldrán bien al primer intento. Se deben revisar los fallos, se deben normalizar los métodos para prevenir que vuelvan a repetirse, y se debe acumular la tecnología y la experiencia para que con el próximo producto no se cometan las mismas equivocaciones. Un sistema de garantía de calidad emergerá solamente si este proceso se repite muchas veces de manera controlada.

El segundo paso de la Figura 6.1 -después que la "idea" real haya sido formulada- es la *planificación del nuevo producto*. Cuando se desarrolla un nuevo producto, se deben redactar unos planes, meticulosamente pensados, para el nuevo producto, y utilizarlos como base para el trabajo posterior. Estos planes deben incluir los siguientes elementos:

- (1) El tipo de consumidor al que se dirige el producto.
- (2) El precio de venta y el coste unitario deseado (planificación de costes).
- (3) Previsión de las ventas mensuales y periodos de venta.
- (4) Planes de calidad (en la medida de lo posible deben expresarse con las propias palabras de los consumidores, dando las verdaderas características de calidad).
- (5) La fecha de lanzamiento deseada.

El *diseño de la calidad*, el paso siguiente, quiere decir empezar a estudiar detenidamente la calidad como se explicó en la sección 1.4, realizar el análisis de la calidad y los pasos de diseño y rediseño descritos más abajo (los pasos 3-10 de la Figura 6.1).

- (1) Investigar detenidamente qué características (i.e., comportamiento) se debe garantizar. No fiarse sólo de los estudios de mercado, la investigación de producto y las especificaciones de los compradores; escuchar detenidamente los verdaderos requisitos de calidad de los consumidores. En

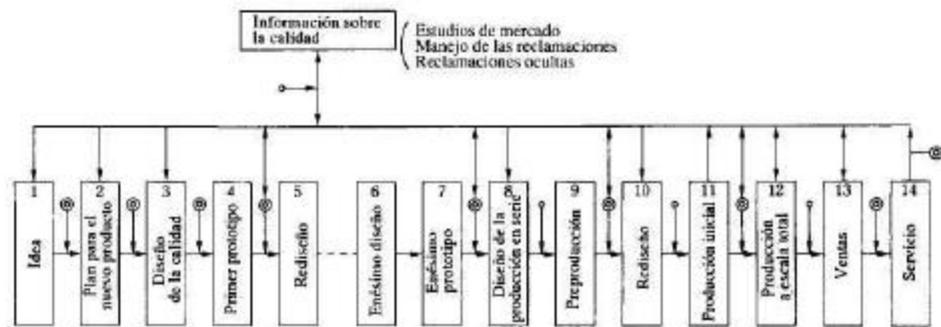


Figura 6.1: Los pasos de la Garantía de Calidad

particular, investigar concienzudamente el grado de importancia de cada cualidad y el método de medirla.

- (2) Decidir la duración del producto.
- (3) Comprobar los problemas relativos a la seguridad, el posible mal uso y la responsabilidad civil por el producto.
- (4) Decidir qué piezas deben ser recambiables, cuánto deben durar y con qué frecuencia se deben sustituir. Fijar los estándares de calidad con arreglo a ello, seleccionar los métodos de medida y evaluación para comprobar si las piezas cumplen estos estándares o no, y decidir los métodos de inspección y de los ensayos de duración y condiciones.
- (5) En esta etapa, preparar el Gráfico de Proceso de CC I y elaborar las directrices sobre cómo fabricar el producto y poner en práctica el control del proceso. Fijar también los estándares de las materias primas pertinentes y las tolerancias de las piezas. Comprobar las capacidades de los procesos de la empresa y de los proveedores necesarias para ello.
- (6) Fabricar prototipos y realizar ensayos operativos para comprobar su comportamiento y su duración. Hacer que todos los departamentos cooperen para evaluar la calidad. Si es preciso, hacer que el cliente realice estos ensayos operativos.
- (7) Preparar instrucciones operativas y calendarios de inspección y de mantenimiento.
- (8) Analizar la información y las capacidades de los procesos de los departamentos de fabricación, inspección, compras, ventas y servicio, y rediseñar inmediatamente la calidad.

En su sentido estricto, una *revisión del diseño* consiste en revisar los planos del diseño de un producto, pero aquí me gustaría enfocar el asunto desde una perspectiva más amplia, mencionando brevemente los elementos que se

tienen que comprobar (indicados con los símbolos O y O de la Figura 6.1) desde la etapa de la especificación del nuevo producto (paso 2) hasta la producción a escala total (paso 12). Una revisión del diseño, pues, debe abarcar lo siguiente:

- (1) Valoración del comportamiento, la fiabilidad, la mantenibilidad, la posibilidad de dar servicio, la seguridad (especialmente la prevención de la responsabilidad civil por el producto; ver la sección 6.6), las consideraciones ambientales, el diseño, la fabricabilidad, los gráficos de proceso de CC, el coste unitario, el coste del ciclo de vida, las leyes y reglamentos, las patentes, etc.
- (2) Determinación de los departamentos que deben participar en la revisión del diseño: ventas, planificación, diseño, garantía de calidad, inspección, fabricación y ensayo de prototipos, compras, tecnología de producción, fabricación, empaquetado y envío, contabilidad de costes, jurídico, patentes, etc.
- (3) Durante la revisión, una comprobación, desde el punto de vista del cliente, de si se pueden garantizar totalmente los argumentos de venta de la calidad del producto y su fiabilidad, se satisfacen los planes del nuevo producto y la calidad planificada, el producto se fabrica con facilidad y se puede producir al coste previsto, y si los elementos enumerados más arriba en (1) son satisfactorios. El propósito de esta revisión no es criticar a los departamentos de diseño y de fabricación de prototipos sino trabajar juntos para crear un buen producto.
- (4) Establecer claramente los datos disponibles sobre los ensayos de comportamiento y de fiabilidad, los subcontratistas, la fabricabilidad y las capacidades de los procesos, haciendo un hincapié especial en los datos incompletos relativos a la calidad de referencia y a los costes unitarios y en los problemas importantes de diseño y de fabricación del prototipo.
- (5) Hacer que tantas personas pertinentes como sea posible participen en el primer diseño y en la fabricación del primer prototipo, con objeto de sacar tantos problemas como sea posible y asegurarse de que el número de cambios en el diseño sigue la curva A de la Figura 6.2 y llega a cero en la etapa de la producción piloto o, por lo menos, en la etapa de producción inicial. Si el número de cambios en el diseño sigue la curva B de esta figura, la empresa es incompetente para el desarrollo de nuevos productos y conseguirá la reputación de que sus nuevos productos no son fiables.
- (6) El número de elementos de ensayo y condiciones para garantizar la calidad y la fiabilidad durante el desarrollo de un nuevo producto debe ser de varios cientos para un producto simple tal como un bolígrafo, o dos o tres

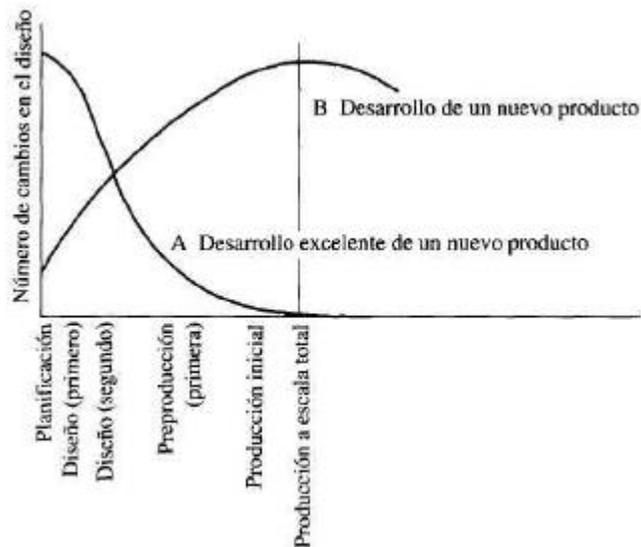


Figura 6.2: Tendencias del número de cambios en un diseño

mil para un producto más complejo tal como un automóvil. Estos elementos de ensayo y condiciones constituyen un cuerpo de conocimientos para la empresa, y las empresas que lo perfeccionan gradualmente y acumulan sus conocimientos técnicos en esta área tendrán éxito en el desarrollo de nuevos productos con una calidad y fiabilidad garantizadas. Estas clases de datos también deben archivar y guardarse cuidadosamente con miras a la prevención de la fiabilidad de los productos.

- (7) Las empresas que fabrican materiales, piezas y productos para uso industrial deben encontrar a usuarios bien dispuestos con los que llevar a cabo una investigación, desarrollo y evaluación conjuntas, en colaboración con la investigación interna propia del producto.

Los siguientes son los pasos clave en el *diseño y control de un proceso*:

- (1) Empezar a preparar el Gráfico de Proceso de CC II antes de la preproducción y terminarlo antes de la producción inicial.
- (2) Comprar materias primas y piezas que puedan satisfacer las normas de calidad y el proceso.
- (3) Poner en práctica un control minucioso e incorporar una calidad estable por medio del proceso. A veces son difíciles de garantizar, por medio de la inspección, la duración y la fiabilidad del producto, y en realidad la fiabilidad sólo se puede alcanzar asegurando un estado de control con una

dispersión pequeña. Podríamos incluso llegar a decir que alcanzar la fiabilidad depende totalmente de conseguir el estado controlado.

- (4) Eliminar las unidades defectuosas lo más pronto posible por medio de la inspección durante el proceso.
- (5) Decidir por adelantado qué clase de ensayos de duración se va a realizar durante el proceso, qué van a comprobar, en qué etapa y por quién van a ser realizados.

Los pasos de la *inspección* son:

- (1) Normalizar dónde, cuándo y qué clase de inspecciones se van a realizar.
- (2) Siempre que sea posible, la inspección del cien por cien y de las características sustitúas deben ser realizadas por el departamento de producción.
- (3) El departamento de inspección debe llevar a cabo los ensayos de comportamiento, las inspecciones desde el punto de vista de los consumidores y las inspecciones para comprobar las realizadas por el departamento de producción.
- (4) Se debe asignar un orden de prioridades a las características seleccionadas de entre las especificaciones de calidad o las dimensiones de los planos, y se debe determinar cuáles serán designadas como elementos de inspección, quién tomará esta decisión y cómo se regularán las inspecciones.
- (5) Las normas de inspección deben ser revisadas de acuerdo con la información suministrada por los consumidores y todos los departamentos de la empresa. Es especialmente importante que, en las inspecciones sensoriales, los niveles de inspección concuerden con los niveles de los consumidores.
- (6) De ser preciso, se deben hacer ensayos de duración y de comportamiento. También se debe investigar el estado de control de la fiabilidad y considerar las características de inspección sustitúas.
- (7) Debe automatizarse la inspección del cien por cien.

Los siguientes son los pasos a dar en el *servicio*:

- (1) Investigar los métodos para dar servicio y establecer una red de reparaciones.
- (2) Formar y desarrollar técnicos de reparaciones.
- (3) Preparar una provisión de piezas de recambio y elementos consumibles.
- (4) Retroalimentar la información sobre el recambio de piezas, las reparaciones, el servicio y las reclamaciones de una manera que sea fácilmente analizable por todos los departamentos pertinentes.

Si es preciso, establecer un grupo de garantía de calidad dentro de un departamento de la empresa capaz de adoptar un punto de vista objetivo (por ejemplo, el departamento de control de calidad de la oficina central), hacer que disponga libremente de la información sobre la calidad de todas las áreas y hacer que lleve a cabo auditorias de calidad que lo abarquen todo, desde el diseño hasta cómo los clientes utilizan los productos de la empresa. A este grupo también se le debe dar autoridad para que detenga los envíos de producto. Debe ser el centro para dar vueltas alrededor del ciclo de garantía de calidad en toda la empresa.

Unas pocas cuestiones a observar aquí son: primero, los costes tienden a aumentar durante la etapa de desarrollo y es necesario controlarlos y utilizar varias estratagemas para asegurarse de que se mantienen en lo previsto, procediendo exactamente de la misma manera que lo dicho más arriba y practicando el control de costes en todos los pasos. Segundo, es difícil mantener el desarrollo de un nuevo producto dentro de una programación fija; tiende a retrasarse, lo que ocasiona una garantía de calidad y de fiabilidad chapucera. Son esenciales un control sólido de los progresos y un control de la fecha tope. Puesto que muchos proyectos de desarrollo de nuevos productos se parecerán a los anteriores, es mejor decidir sobre una programación estándar. Por ejemplo, la producción piloto puede programarse para el octavo mes después de que haya sido emitido el plan para el nuevo producto, la producción a escala total para el décimo mes, y el lanzamiento del producto para el undécimo mes.

6.4 ¿Por qué se producen unidades defectuosas? Algunas modificaciones convenientes

Podremos decir que una empresa está practicando la garantía de calidad si no produce productos defectuosos en lo que al cliente se refiere, no en cuanto a lo que se refiere al fabricante. Ahora me gustaría explicar brevemente las clases de situaciones en que se dan las unidades defectuosas y algunas modificaciones que se pueden introducir. Los productos defectuosos aparecen en las siguientes situaciones:

- (i) Durante el proceso o en la etapa de la inspección previa a la entrega,
- (ii) Cuando se hacen productos de una calidad diferente a la exigida por el cliente.
- (iii) Cuando un producto se convierte en defectuoso antes de llegar al cliente.
- (iv) Durante la inspección en recepción del cliente,
- (v) Cuando un cliente ve que el producto es defectuoso al intentar utilizarlo.

- (vi) Cuando un producto se hace defectuoso durante el uso por parte del cliente,
- (vii) Cuando un producto se hace defectuoso como consecuencia de un uso incorrecto por parte del cliente.

Como toda esta lista sugiere, hay varios problemas en la definición de lo que es un producto defectuoso. Con objeto de garantizar la calidad, tenemos que estar seguros de hacer lo siguiente:

- (i) Identificar las características de calidad y los niveles exigidos por el cliente.
- (ii) Asegurarnos de que no se expiden artículos defectuosos,
- (iii) Decidir la definición y el periodo de duración del producto garantizado (fiabilidad).
- (iv) Idear modificaciones que hay que introducir si se producen artículos defectuosos.

Pensemos en las causas de los productos defectuosos y en las modificaciones que hay que introducir.

(1) ¿Por qué se expiden artículos defectuosos?

- (a) Porque se fabrican artículos defectuosos.
Solución: controlar el proceso de producción para que no suceda esto.
- (b) Debido a que las especificaciones de la calidad y la inspección no están claras, a la selección inadecuada de características (verdaderas y sustitutas) y sus valores, y a los estudios de mercado e investigaciones de producto inadecuados, i.e., definiciones poco claras de lo que constituye productos defectuosos y no defectuosos.
Solución: realizar el análisis de calidad y el despliegue de la función de calidad y comprobar que los resultados de este análisis sean correctos. Aunque la calidad se analice por medio de diagramas de causa y efecto y de tablas de despliegue de la función de calidad, es peligroso no comprobar si los resultados concuerdan con los hechos.
- (c) Porque no se conocen los verdaderos requisitos de los consumidores o son impracticables los ensayos de comportamiento previos a la entrega.
Solución: llevar a cabo más investigaciones de producto y de los ensayos operativos y de los métodos de inspección.
- (d) Porque no es factible la inspección del cien por cien.
Solución: dar prioridad al control o identificar las características sustitutas buenas y automatizar la inspección. Si se introduce la inspección automatizada, hay que tener cuidado con los errores de los sensores y la fiabilidad del equipo para la inspección automática.

- (e) Debido a errores en el diseño, la fabricación del prototipo, la producción, las compras, la inspección, el empaquetado, los instrumentos de medida, el muestreo, las medidas, la manipulación de los datos y los cálculos con los mismos, etc.
Solución: eliminar los errores por medio de un control estricto de estos trabajos. Los errores tales como la entrega de un producto equivocado son una evidencia muy obvia de la falta de control.
- (f) A causa de los errores debidos a la inspección por muestreo.
Solución: si es política de la empresa fijar ciertos niveles de inspección y llevar a cabo la inspección de muestreo, son inevitables algunas unidades defectuosas puesto que habrá una cierta proporción de ellas, estadística o probabilísticamente, que pase la inspección (ver la sección 6.9). El plan de muestreo tiene que estar diseñado estadísticamente y escrito en el contrato con el cliente. Hoy día no se utiliza mucho la inspección por muestreo en Japón puesto que los niveles de la fracción mínima de unidades defectuosas que se pueden garantizar con la inspección por muestreo son inaceptablemente elevados.
- (g) Porque se expiden deliberadamente productos defectuosos. Tales acciones son, claro está, totalmente bochornosas.

(2) La cuestión del tiempo de vida⁵ del producto

- (a) Primero de todo, ¿qué es el tiempo de vida de un producto y qué sucede cuando un producto llega al final de su vida útil? Se dice a menudo que la vida de un producto ha terminado cuando se rompe y ya no se puede usar más, pero esto es erróneo. Un producto alcanza el final de su vida útil cuando ya no puede rendir toda su potencialidad; en el caso de una máquina o de un instrumento de medida, por ejemplo, esto significa cuando ya no puede ejercer su capacidad total de proceso o funcionar con la precisión garantizada. Esta confusión con la definición significa que tenemos que empezar por aclarar la definición del tiempo de vida para cada uno de nuestros productos, sin olvidarnos de implicar a nuestros clientes en la discusión.
- (b) Los productos tienen que tener una vida garantizada. En el pasado había tendencia a adoptar la postura irresponsable de que un producto era bastante bueno si funcionaba correctamente en el momento de su expedición o si el cliente no observaba nada mal en el momento de la compra. Sin embargo, éste es un camino seguro para perder la confianza de los clientes -una confianza que tarda diez años en construirse pero que se puede

5

"Lifetime" en inglés. "Glossary of terms used in the management of quality". EUROPEAN ORGANIZATION FOR QUALITY, sixth edition, junio 1989, p. 743. (*N. de los T.*)