

**Introducción al**  
**CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**  
**Estrategias para el mejoramiento de la calidad**  
**y la productividad en la industria alimentaria**



**Arturo Inda Cunningham**  
**Consultor**  
**Saltillo, México**

**2007**

## TABLA DE CONTENIDO

	<i><b>página</b></i>
<b>I. ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
<b>II. NIVELES DE PERCEPCIÓN DE LA VARIACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>III. LAS CARTAS DE CONTROL DE SHEWHART</b> .....	<b>5</b>
<b>IV. TIPOS DE CARTAS Y CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE CONTROL</b> .....	<b>14</b>
<b>IV.1 TIPOS DE CARTAS DE CONTROL</b> .....	<b>14</b>
<b>IV.2 CÁLCULO Y SIGNIFICADO DE LOS LÍMITES DE CONTROL</b> ...	<b>15</b>
<b>IV.3 EJEMPLOS DE USO DE LAS CARTAS DE CONTROL</b> .....	<b>20</b>
IV.3.1 Uso de las Cartas de Control de Mediciones Individuales y Rangos Movibles (Cartas <b>x - R<sub>m</sub></b> ) .....	<b>20</b>
IV.3.2 Uso de las Cartas de Control de Promedios y Rangos (Cartas <b><math>\bar{X}</math> -R</b> ) .....	<b>21</b>
IV.3.3 Uso de las Cartas de Control para Número de Unidades Defectuosas (Cartas <b>np</b> ) .....	<b>23</b>
IV.3.4 Uso de las Cartas de Control para Fracción de Unidades Defectuosas (Cartas <b>p</b> ) .....	<b>24</b>
IV.3.5 Uso de las Cartas de Control para Número de Defectos (Cartas <b>c</b> ) .....	<b>25</b>
IV.3.6 Uso de las Cartas de Control para Número de Defectos por Unidad (Cartas <b>u</b> ) .....	<b>26</b>
<b>V. PLANEACIÓN PARA CARTAS DE CONTROL EFICACES</b> .....	<b>27</b>
<b>VI. OTRAS HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE PROCESOS</b> .....	<b>31</b>
<b>SINOPSIS</b> .....	<b>34</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>35</b>

## I. ANTECEDENTES

Todos percibimos a diario, ya sea en forma tácita o explícita, que en las empresas - como en cualquier otra organización - todo es variable, tanto a través del tiempo como de un departamento a otro o de una planta a otra. De hecho, esto no sucede solamente en la vida empresarial; Deming lo resumió diciendo que<sup>(1)</sup> “la variación es vida; o la vida es variación”.

Por ejemplo, no hay dos clientes idénticos, los efectos de la cultura corporativa sobre el desempeño son diferentes para todos los empleados, los tiempos de llegada y entrega de pedidos o documentación nunca son los mismos; los entornos económico, político y social cambian constantemente; todos aprendemos de forma diferente; las variaciones en tiempos, temperaturas, pH y composiciones en los procesos de fabricación de alimentos son un reto cotidiano, etc. Si observamos atentamente, podremos comprender que esto encierra un significado importante.

No es de sorprender, entonces, que cualquier variable o indicador de desempeño que midamos o apreciemos en la empresa - o en cualquiera de sus procesos - con el fin de tomar decisiones, va a estar también variando en el tiempo. Por consiguiente, si nuestro propósito es optimizar el desempeño de la empresa, entonces es indispensable tener un método para interpretar el significado de la variación; hacernos la misma pregunta crítica que hizo Deming<sup>(2)</sup>: “**¿Qué es lo que nos está tratando de decir la variación acerca de un proceso y de la gente que trabaja en él?**”

Parte de nuestro trabajo como gerentes consiste en intentar comprender lo que sucede y luego, en base a nuestra comprensión, tomar decisiones para el futuro. Normalmente, hacemos ésto con la ayuda de cifras o datos, que son un reflejo directo o indirecto de lo que sucede; es decir, de los acontecimientos. Sin embargo, como señala Donald Wheeler, discípulo de Deming y una de las figuras más conocidas en el campo de la aplicación de las herramientas de la gerencia de la variación, aunque vivimos en la “era de la informática”, sumergidos en cantidades industriales de datos de todo tipo, cuando tomamos datos para que sirvan como base para actuar, no siempre sabemos qué significan.

De acuerdo a Wheeler<sup>(3)</sup>, “no comprendemos cómo digerir los números para extraer el conocimiento que encierran ... padecemos de una deficiencia llamada **analfabetismo numérico**”. Es decir, almacenamos y usamos datos e información, pero nos equivocamos con frecuencia porque nos falta conocimiento, comprensión y sabiduría para interpretarlos. Esto no es un asunto de tecnología, sino de gerencia y es clave. Nuestro “analfabetismo numérico” se debe a que generalmente hacemos unas cuantas comparaciones entre los números actuales y los números del pasado (resultados previos) o los números del futuro (presupuestos y pronósticos). La cuestión aquí es que unas cuantas comparaciones son muy limitadas y, entonces, es altamente probable que nuestra interpretación sea, de buena fe, una visión errónea de la realidad.

¿Cómo administramos generalmente nuestras empresas? Wheeler<sup>(3)</sup> describe como sigue el contenido de un informe mensual típico: “Para cada variable o indicador importante, el informe:

- Da el valor actual.
- Incluye un valor promedio o presupuesto (meta).
- Compara el valor actual con este valor promedio o presupuesto.
- Compara el valor actual con el valor para el mismo mes del año pasado.
- Da el valor actual en lo que va del año.
- Compara este valor actual en lo que va del año con el valor promedio o presupuestado, y
- Compara el valor en lo que va del año con el valor para el mismo periodo del año pasado.

En forma colectiva, las cuatro comparaciones intentan suministrar alguna especie de contexto para interpretar los valores actuales. Sin embargo, puesto que estas comparaciones son en extremo limitadas, pueden proporcionar mensajes contradictorios y equivocados. En palabras de Myron Tribus, administrar una compañía por medio de los informes mensuales es como tratar de conducir un automóvil observando la línea amarilla por el espejo retrovisor”.

Las cifras que usualmente empleamos para tomar decisiones son cifras que reflejan lo que sucede en la compañía, los acontecimientos. Por ejemplo, en las reuniones mensuales de gerentes, es común escuchar “los rendimientos fueron 3% menores que el mes anterior, cuando que la meta era que subieran 2%” ... “quiero saber qué pasó y qué se va a hacer para que no se repita...”, etc. Al hacer esto, pensamos naturalmente que toda variación debe tener una causa directamente identificable y por eso pedimos explicaciones y exigimos averiguar quién es el responsable.

Sin embargo, como lo advierte Kume<sup>(4)</sup>, “ese es un enfoque directo y, a primera vista, parece ser eficiente. Pero, en la mayoría de los casos, las causas encontradas por medio de ese enfoque no son las verdaderas. Si se aplican soluciones a los defectos o fallas, basándose en el conocimiento de esas causas falsas, el intento puede ser infructuoso y el esfuerzo se perderá. El primer paso para encontrar la verdadera causa es una observación cuidadosa del fenómeno...luego de esa observación cuidadosa, la verdadera causa será evidente ...”.

Entonces, para comprender qué es lo que nos está tratando de decir la variación, lo primero que hay que hacer es **observar** el comportamiento de los datos durante un tiempo razonablemente largo. Al observar, comprendemos que los datos aislados de su contexto no tienen realmente significado para tomar decisiones hacia el futuro; y por lo tanto se vuelve importante tener conocimiento del contexto. Esto implica pasar a otro nivel más profundo de percepción de la realidad, al del comportamiento dinámico de los procesos a través del tiempo.

Desde luego, ese paso no es trivial. Implica ampliar los horizontes de tiempo y de espacio y un método para interpretar lo que uno observa. En términos de la práctica gerencial, implica ser más pacientes, no saltar a conclusiones, tener constancia de propósitos y aprender cosas nuevas tanto en la teoría, en forma de conceptos, como en la práctica, desarrollando nuevas habilidades instrumentales. No es sencillo, pero el apalancamiento que se obtiene es mucho mayor que el esfuerzo invertido, una manifestación más de la no-linealidad del aprendizaje.

En la industria de alimentos, tener procesos importantes variando fuera de control o alejados de su valor óptimo le imparte grandes pérdidas económicas – o de salud - a los consumidores y luego, como consecuencia, a la empresa misma. Pensemos, por ejemplo, en el aseguramiento de la inocuidad de nuestros productos. ¿Cómo podríamos tener un sistema HACCP eficaz con procesos fuera de control?

Más aún, dichas pérdidas no son una función lineal de la brecha entre los valores reales y el valor óptimo sino que, en la mayoría de los casos, como puntualiza Deming, son una función no lineal y asimétrica<sup>(1)</sup>. En otras palabras, las pérdidas generalmente crecen más que proporcionalmente con respecto a las variaciones. Por ejemplo, como todos sabemos, el crecimiento microbiano es exponencial aunque las variaciones de temperatura, pH o actividad de agua sean modestas.

Entonces, para tener una empresa competente, una de las responsabilidades primordiales de la alta gerencia es minimizar estas pérdidas innecesarias, haciendo cambios estructurales para mejorar los procesos, disminuyendo y estabilizando la variación y haciendo que las variables e indicadores importantes estén lo más cerca posible de su valor óptimo (que no es sino un reflejo de los deseos de los clientes, externos o “internos”). Pero, desde luego, lo que logremos será solamente **tan bueno como el método** que adoptemos para interpretar la variación.

## II. NIVELES DE PERCEPCIÓN DE LA VARIACIÓN

Los datos están en la superficie de la percepción. Puesto que son visibles, generalmente tenemos la ilusión de que son la realidad. Sin embargo, son solamente la punta del témpano perceptual. Hay dos niveles más profundos de percepción: **el comportamiento dinámico del sistema en el tiempo** y, más profundo aún, **el conocimiento y comprensión de la estructura** (el diseño de la empresa y su forma habitual de trabajar) que genera el comportamiento dinámico y, por ende, los datos. El grado de dificultad de comprensión aumenta con la profundidad del nivel de percepción, pero también aumenta la velocidad de aprendizaje. Más aún, con la experiencia aumenta en forma exponencial nuestra capacidad para intervenir la alta gerencia y haga los cambios de fondo que mejoran el sistema, haciéndolo menos complejo y más hábil para que se pueda predecir con menor incertidumbre las consecuencias de las decisiones. Eso disminuye la variación y el costo y aumenta la calidad y la productividad. Podemos decir que el **mejoramiento de la calidad es, en esencia, disminución de variación**, en la acepción más amplia y profunda del término.

**El primer paso para pasar al segundo nivel de percepción consiste en abandonar la costumbre de almacenar los datos en forma de tablas, manualmente o en memorias de computadoras y, en su lugar, graficarlos contra el tiempo en el orden en que se generan y a medida que ocurren.** El conocimiento que encierran los datos está cifrado justamente en su orden temporal. Los datos agregados en tablas, o en histogramas, no muestran el orden de aparición, careciendo entonces de contexto temporal y, por lo tanto, del grado necesario de utilidad para tomar decisiones correctas. Además, nuestras mentes simplemente no están diseñadas para construir modelos mentales dinámicos de procesos a partir de datos en tablas.

Puesto que de cualquier manera ya se incurrió en el esfuerzo y costo de obtener los datos y almacenarlos en forma de tablas, el costo y esfuerzo de ponerlos en **series de tiempo** (gráficas de datos vs. tiempo) son insignificantes. La gran diferencia es que las series de tiempo nos permiten observar un mapa visual del proceso “hablando por sí mismo”. Al graficar los datos contra el tiempo podemos observar “la película” y, como todos hemos experimentado, esto nos dirá mucho más acerca de la estructura que ver unas cuantas “fotografías” aisladas.

La observación es un proceso de descubrimiento acerca de lo que el desempeño de la empresa - a través de datos seleccionados por nosotros - nos está tratando de decir. Hay dos elementos esenciales para descubrir algo<sup>(5)</sup>: “Necesitamos un **acontecimiento crítico**, que contenga información con significado...pero nadie lo va a ver a menos que esté presente un **observador perceptivo**. Estos dos elementos, un acontecimiento crítico y un observador perceptivo, son esenciales. La mayoría de los acontecimientos no son críticos. No hay mucho que aprender de ellos. Son solamente parte de las cosas ordinarias que suceden todo el tiempo. Pero de vez en cuando sucede algo de lo cuál podemos aprender. Estos acontecimientos son comparativamente raros. También lo son los observadores perceptivos. Idealmente, no sólo poseen curiosidad natural sino además capacidad en el área relevante de conocimiento. Por consiguiente, se trata de juntar dos acontecimientos poco frecuentes. Si dependemos por completo de la casualidad, la probabilidad de tenerlos juntos es muy pequeña”.

Hay dos formas de aumentar la probabilidad de juntar un acontecimiento crítico y un observador perceptivo<sup>(5)</sup>: la primera consiste en **“asegurarse que los acontecimientos informativos que ocurren en forma natural sean captados por la atención de un observador perceptivo... a esto le llamaremos observación informada”**. Las cartas de control de Shewhart, que veremos enseguida, son la herramienta más importante para la observación informada. La segunda forma consiste en aumentar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento informativo. A esto se le llama “experimentación dirigida”<sup>(5)</sup>, que se conoce también como “diseño de experimentos” y que es un tema que está más allá del alcance de lo que aquí nos ocupa.

### III. LAS CARTAS DE CONTROL DE SHEWHART

Cuando en la empresa ocurre algún problema, falla o queja, el sentido común nos dice que actuemos sobre el sistema para corregir. Aunque este es un propósito noble, la gran mayoría de las veces el sistema nos derrotará y la situación empeorará. Esto se debe fundamentalmente a la no linealidad de los sistemas y a que no hemos sido capacitados a pensar en forma estadística.

Senge<sup>(6)</sup> lo expresa así: “Existe un desajuste fundamental entre la naturaleza de la realidad en sistemas complejos y nuestras formas predominantes de pensar acerca de dicha realidad. El primer paso para corregir ese desajuste consiste en abandonar la idea de que las causas y los efectos están cerca de sí, tanto en el tiempo como en el espacio”. Deming le llamó “manipulación” o “entrometimiento” a cambiar un proceso o sistema para tratar de corregir un error o defecto.

Walter A. Shewhart, el padre del Control de Procesos, inventó hace unos 80 años, en los laboratorios de Bell Telephone, una nueva forma de pensar acerca de la variación y desarrolló la herramienta fundamental para su interpretación, la Carta de Control. Shewhart concluyó<sup>(7)</sup> que hay dos clases de variación: a) la que se debe a causas comunes; es decir, a la forma en que se diseñó y se opera normalmente el sistema y b) la que se debe a causas especiales o asignables.

Las causas comunes son aquellas que son parte inherente del proceso o sistema y que afectan a todos los que están trabajando dentro de él. La variación debida a estas causas es **aleatoria** y refleja las variaciones de todo tipo que provienen del diseño del proceso o sistema y de su forma normal de operar. **La clave es que no es posible averiguar la causa de una variación debida a causas comunes.** Esta variación aleatoria proviene de un número muy grande de interacciones de todos los factores, tangibles e intangibles, que intervienen normalmente en el proceso. Entonces, cuando el proceso solamente se ve afectado por causas comunes, se dice que es **estable**, o que está en estado de **control estadístico**. De hecho, esta es la definición operacional que Shewhart hizo de estabilidad o estado de control estadístico de un proceso.

Las causas especiales son aquellas que no son parte del proceso o sistema, sino que ocurren debido a circunstancias específicas; no ocurren todo el tiempo ni necesariamente afectan a todos. Esta variación **no** es aleatoria, sino que sigue patrones **específicos** fácilmente reconocibles. Su causa se puede averiguar, o asignar, mediante una investigación, con ayuda de la gente que trabaja en el proceso y con el apoyo de otras herramientas como el Diagrama de Causa-Efecto, llamado también Diagrama de Ishikawa o de Espinas de Pescado, y el Diagrama de Pareto.

Al no comprender la distinción entre estos dos clases de causas, de buena fe se cometen los dos tipos de errores que se describen enseguida:

1. Tratar una falla, queja, error o accidente como si se debiera a algo especial o asignable, cuando de hecho proviene del sistema; es decir, que es variación aleatoria debida a causas comunes.
2. Tratarlos como si se debieran a causas comunes, cuando de hecho se debieron a alguna causa especial o asignable.

Cometer estos errores aumenta la variación, genera pérdidas insospechadas y causa desmoralización. En la gerencia tradicional generalmente no se distingue entre causas comunes y causas especiales; casi toda variación se interpreta como que se debe a causas especiales y por eso el primer tipo de error es el más común. Sucede algo indeseable y la reacción casi inmediata es responder como si se tratara de un acontecimiento aislado, esporádico. Se supone implícitamente que el sistema o proceso es exacto, que “nunca se equivoca”.

Esto no causaría muchos problemas si las causas especiales de variación fueran las predominantes, porque son las más fáciles de identificar y erradicar. Lamentablemente, la inmensa mayoría de los acontecimientos indeseables son causados por el proceso mismo; es decir, por la forma en que fue diseñado. Al desconocer cómo hacer esta distinción, los gerentes exigen entonces naturalmente una explicación y quieren saber quién es el responsable, como mencionamos antes. Al hacer ésto, se incurre en pérdidas innecesarias como las siguientes<sup>(8)</sup>:

- Culpar a la gente por problemas que están fuera de su control.
- Gastar dinero en equipo nuevo innecesario.
- Perder tiempo buscando explicaciones por lo que se percibió como una tendencia, siendo que de hecho nada ha cambiado.
- Tomar acciones cuando lo mejor hubiera sido no hacer nada.

Habiendo hecho la distinción entre variación “controlada” (dentro de control) y variación “descontrolada” (fuera de control), la intención de Shewhart fue que las cartas de control se usaran justamente como una herramienta para ayudarnos a distinguir entre las dos situaciones. En otras palabras, es una herramienta **para detectar la presencia de variación descontrolada**; es decir, de causas especiales o asignables de variación.

Las cartas de control son series de tiempo, en las que la gente en el proceso hace un “mapeo” de la variable de interés a través del tiempo. De allí su nombre; pues se trata de cartografía o elaboración de mapas de la “voz” del proceso, de su comportamiento dinámico en el tiempo.

A diferencia de lo que buscan los procedimientos estadísticos más comunes (histogramas, distribuciones de probabilidad, etc.), que es encontrar un modelo teórico para datos obtenidos de algún fenómeno definido, el propósito de las cartas de control de Shewhart es<sup>(9)</sup>: **determinar si una secuencia de datos se puede usar para hacer predicciones hacia el futuro cercano**. Por consiguiente, las cartas de control sirven para ayudarle a los gerentes a comprender cuándo pueden hacer predicciones con poco nivel de incertidumbre, y cuándo no pueden hacerlo.

Si un proceso o sistema se ve afectado por causas comunes **y** por causas especiales o asignables, se dice que es **inestable** o que está **fuera de control**, desde el punto de vista estadístico. Esta forma de interpretar la variación es fundamentalmente diferente a la tradicional, que se sustenta en términos de cumplimiento o incumplimiento con especificaciones; es decir, en términos de “bueno” o “malo”, de “pasa” o “no pasa”. El método de Shewhart fue inventado en la década de 1920, mientras que el concepto de especificaciones y tolerancias fue inventado cerca de cien años antes, durante la primera mitad del Siglo XIX.

La concepción tradicional de interpretación de la variación, en términos de cumplimiento o incumplimiento con especificaciones, tiene varias limitantes serias:

1. Supone implícitamente que las pérdidas impartidas a los clientes por falta de calidad son nulas mientras se cumple con las especificaciones y que se convierten súbitamente en inaceptables cuando se deja de cumplir con ellas. En otras palabras, la función de pérdida es una función escalón; basta una variación infinitesimal para que lo bueno se convierta en malo.
2. No proporciona información acerca de las causas de la variación y, por lo tanto, tampoco información para mejorar los procesos. Es, de hecho, una barrera contra el mejoramiento.
3. Es una visión dualista, pobre e incompleta, no sólo de las pérdidas impartidas a los clientes, sino de la naturaleza de los procesos.

4. No distingue entre “la voz del cliente”, las especificaciones, y “la voz del proceso”, lo que el proceso es capaz de producir.

La Figura 1 muestra un contraste entre ambas formas de interpretar la variación. Como podemos apreciar, las diferencias son de fondo; nada es igual, ni el enfoque, ni el propósito, ni la base, ni los métodos.

	<u>VARIACIÓN QUE INDICA DESEMPEÑO BUENO O MALO</u>	<u>VARIACIÓN QUE RESULTA DE CAUSAS COMUNES O ESPECIALES</u>
<b>ENFOQUE</b>	Resultados del proceso (producto o servicio)	Causas de la variación en el proceso
<b>PROPÓSITO</b>	Clasificar los resultados como aceptables o inaceptables	Suministrar una base para tomar acción sobre el proceso
<b>BASE</b>	Lo que quiere o necesita el cliente	Lo que el proceso realmente produce
<b>MÉTODOS</b>	Especificaciones, presupuestos, metas numéricas, otras formas para juzgar el desempeño	Cartas de Control de Shewhart

**FIGURA 1.** Dos interpretaciones de la variación<sup>(10)</sup>.

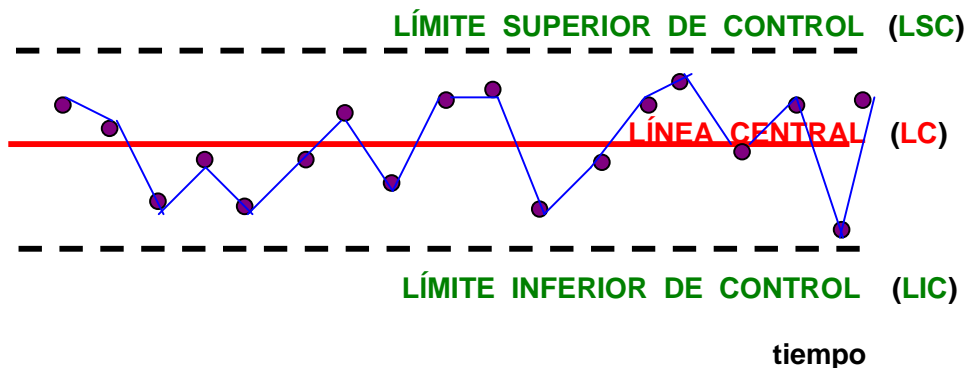
Cuando un proceso es estable, se dice que tiene identidad; es decir, que su desempeño en el futuro cercano es predecible y que, bajo el diseño actual, la calidad es la máxima posible y el costo es el mínimo posible. Si el proceso estable no cumple con los requerimientos de los “clientes” o si se desea tener mayor calidad, entonces se debe intervenir gerencialmente para hacer los cambios estructurales necesarios. A esto es a lo que se le llama mejoramiento de la calidad. Así pues, **mejorar la calidad implica trabajar sobre el sistema, sobre las causas comunes, para disminuir la variación.**

Por otro lado, si el proceso es inestable, no tiene identidad y su desempeño en el futuro cercano es impredecible. Lo primero que hay que hacer es corregir la situación y llevar el proceso a un estado de control. A esto es a lo que se le llama **resolver problemas o “apagar fuegos”**.

En el trabajo empresarial, hay que resolver problemas, pero es importante recordar que esto no mejora el sistema. Por ejemplo, cuando hay un incendio en un edificio, apagar el fuego y hacer reparaciones no mejora el edificio, simplemente lo deja como debería haber estado desde el principio. **En otras palabras, resolver problemas o apagar fuegos consiste en identificar y eliminar causas especiales de variación. Hay, pues, una importante diferencia entre resolver problemas y mejorar la calidad.** Los tipos de decisiones son diferentes y el énfasis de la responsabilidad no recae en las mismas personas dentro de la empresa, como se verá con mayor detalle más adelante



Las Cartas de Control de Shewhart son el método o definición operacional para averiguar en cuál de las dos situaciones nos encontramos. Su interpretación requiere, entre otras cosas, la observación atenta de un número razonablemente grande de datos; equivale a “ver la película” y en eso reside fundamentalmente su poder de predicción hacia el futuro cercano. La Figura 2 es un esbozo de la forma de una carta de control.



**FIGURA 2.** Características esenciales de una Carta de Control.

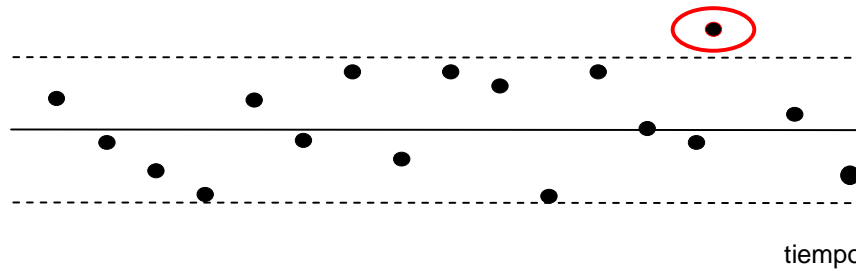
En el eje de las ordenadas, o eje vertical, se grafica una medida o valor del atributo de calidad que se desea observar y controlar. El eje de las abscisas, o eje horizontal, es *generalmente* tiempo. Los datos se grafican en tiempo real; es decir, a medida que ocurren los acontecimientos. La línea central es siempre el promedio de los datos graficados en el período observado.

Utilizando fórmulas algebraicas desarrolladas por Shewhart<sup>(10-12)</sup> se calculan, **a partir de los datos**, valores llamados Límites de Control que son una definición, para fines operacionales, de la frontera entre la zona de causas comunes y la zona de causas especiales. Aunque Shewhart se basó en teoría estadística, **sus Límites de Control fueron desarrollados con el propósito de minimizar el costo económico de cometer los dos tipos de errores descritos antes.**

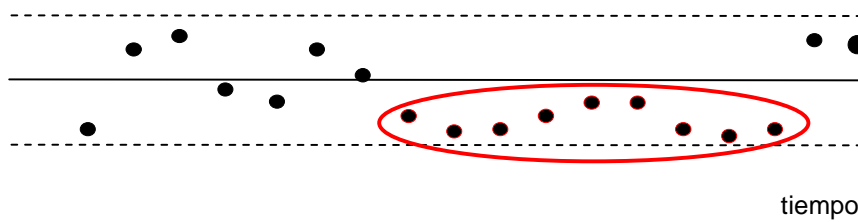
Cuando todos los datos están dentro de los Límites de Control y su distribución es **aleatoria**, se adopta el criterio que el proceso es estable; es decir, que tiene variación controlada dentro de límites predecibles hacia el futuro cercano. No se trata, desde luego, de estabilidad estática - es decir, de ausencia de variación - sino de estabilidad dinámica, como la de un avión comercial en vuelo bajo condiciones normales. Si hay datos fuera de los Límites de Control o si su distribución no es aleatoria, el criterio es que el proceso tiene causas especiales o asignables de variación y que, por consiguiente, está fuera de control, no tiene identidad y su desempeño, costo y calidad son impredecibles. La Figura 3 muestra las reglas para determinar visualmente si existen causas especiales de variación.

Es importante reconocer que los Límites de Control de Shewhart **no siempre dan la recomendación correcta**, debido en parte a la naturaleza probabilística del conocimiento - todos los datos contienen una mezcla compleja de “señal y “ruido” - y en parte a que siempre estamos haciendo inferencias acerca del proceso. Las Cartas de Control son mapas y el proceso equivale al territorio, por lo que es muy importante no confundir los primeros con el segundo. No hay solución exacta pero, como se mencionó antes, el propósito de Shewhart era minimizar las pérdidas económicas a través del tiempo, causadas por equivocaciones en la toma de decisiones.

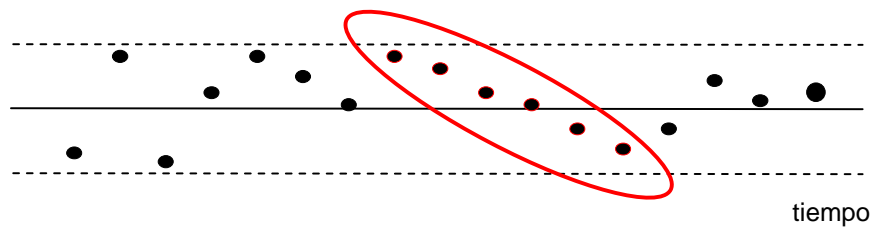
1. Un sólo punto fuera de los límites de control, por arriba o por debajo.



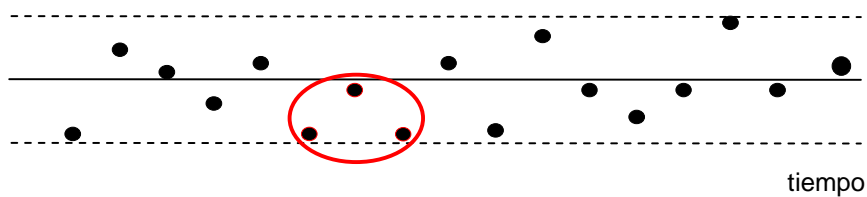
2. Una corrida de ocho o más puntos seguidos por encima (o por debajo) de la línea central.



3. Una tendencia (seis puntos o más, consecutivos, subiendo o bajando).



4. Dos de tres puntos seguidos cerca de un límite de control.



5. 10 de 11 puntos consecutivos en un mismo lado de la línea central.
6. 12 de 14 puntos consecutivos en un mismo lado de la línea central.
7. 16 de 20 puntos consecutivos en un mismo lado de la línea central.
8. Periodicidad (tendencias ascendentes y descendentes repetidas).

**FIGURA 3.** Reglas recomendadas para determinar si en una Carta de Control hay causas especiales de variación<sup>(10-12)</sup>.

**Es muy importante también recordar siempre que los Límites de Control se calculan estrictamente a partir de los datos generados por el proceso y no a partir de las especificaciones.** De hecho, uno de los errores más comunes en la industria es confundir Límites de Control con especificaciones. **Una Carta de Control indica lo que el proceso está haciendo y no lo que nosotros o los clientes quisieran que hiciera y, por eso, para evitar errores de juicio, las especificaciones no deben estar en una Carta de Control,** pues solamente confunden a la gente y hacen que se cometan errores involuntarios e innecesarios.

Desde luego, no se trata de ignorar las especificaciones, pero el estudio de comparación entre especificaciones y límites de control - llamado estudio de habilidad o capacidad del proceso - no se debe hacer sobre las Cartas de Control. El cálculo de la capacidad o habilidad de un proceso es un tópico que no se incluye en este documento.

Para mejorar la calidad, es necesario dejar de administrar por metas *numéricas* **si no tenemos evidencia que los procesos están bajo control y que son hábiles para cumplir con las metas.** Si solamente presionamos a la gente a cumplir con metas numéricas, sin saber si los procesos están bajo control o no, o si son hábiles o capaces de cumplir con las metas o no lo son, tiene tres maneras de proceder<sup>(13)</sup> :

- Pueden trabajar para mejorar el sistema.
- Pueden distorsionar el sistema.
- Pueden distorsionar los datos.

Las dos últimas maneras de proceder no requieren observación ni estudio. ¿Será tal vez esta la causa de su popularidad en las empresas?

Sin embargo, lograr que el proceso esté bajo control no significa necesariamente que el proceso sea de calidad desde el punto de vista del cliente. Una vez que el proceso está bajo control, libre de causas especiales de variación, su comportamiento dinámico predecible se debe comparar con las especificaciones. **Si cumple con ellas, se dice que el proceso es hábil o capaz.** Si no cumple, es necesario intervenir gerencialmente para hacer los cambios de fondo requeridos para disminuir la amplitud de la banda de variación, para modificar el promedio de lo que el proceso produce, o ambas cosas, hasta que lo que el proceso produce sea igual o mejor a lo que los clientes quieren. Para esto sí se necesitan las especificaciones, pues representan “la voz del cliente” y deben ser la guía de referencia para las intervenciones gerenciales de mejoramiento del proceso.

Una de las claves aquí es no intervenir en la estructura del proceso si éste está fuera de control. Después de todo, si el proceso es impredecible, existe una altísima probabilidad de que un cambio sin conocimiento de causa lo empeore, en lugar de mejorarlo. Por otro lado, lograr que el proceso sea justamente hábil; es decir, que justo cumpla con las especificaciones, es solamente el primer paso y no la meta. La alta gerencia tiene la responsabilidad de seguir mejorando el proceso continuamente, hasta dejar a las especificaciones atrás, “perdidas detrás del horizonte”.

Así, **tener un proceso hábil es indispensable, pero nunca suficiente,** ya que no todo lo que cumple con especificaciones tiene la misma calidad ni el mismo costo. Otra empresa puede tener procesos más hábiles y entonces contará con la preferencia de los clientes. Dicho de otra manera, es perfectamente posible tener - por ejemplo - certificación ISO e ir a la quiebra tarde o temprano. En la vida empresarial es importante contar con este tipo de certificaciones, en particular porque muchos clientes las exigen. El punto es que nunca se debiera olvidar que deben ser vistas solamente como el primer paso. Para que sea eficaz, el mejoramiento de procesos se necesita realizar en tres fases consecutivas en el tiempo:

1. Control o estabilización del proceso, mediante la identificación y eliminación subsiguiente de causas especiales de variación.
2. Mejoramiento del proceso ya bajo control, mediante intervenciones gerenciales para efectuar los cambios estructurales necesarios para que el proceso sea *hábil*; es decir, que cumpla con los requerimientos de los “clientes”.
3. Seguimiento atento del proceso para asegurar que se mantienen las mejoras, sin olvidar que siempre habrá cosas adicionales por mejorar.

Con demasiada frecuencia, muchas empresas se limitan a la primera fase, a eliminar causas especiales, bajo las suposiciones implícitas de que todo es cuestión de resolver problemas y de apagar incendios, y de que si tan sólo todos los demás hicieran lo que los gerentes ordenan, la empresa iría viento en popa.

Deming se refirió a esta situación como una trayectoria típica de frustración<sup>(14)</sup>: “Un programa de mejoramiento arranca con entusiasmo, exhortaciones, reuniones de resurgimiento, carteles, promesas. La calidad se convierte en una religión. La calidad, medida según los resultados de inspecciones durante las auditorías finales, muestra al comienzo un mejoramiento dramático, mejor y mejor cada mes. Todo el mundo espera que la trayectoria de mejoramiento continúe...en lugar de éso, el éxito se detiene en seco. En el mejor de los casos, la curva se nivela. Pudiera inclusive cambiar de dirección. El desánimo se apodera de todos. Los gerentes naturalmente se preocupan. Piden, ruegan, suplican, imploran, rezan...les suplican a los dirigentes de las áreas de producción y de ensamble con sarcasmo, acoso, y amenazas, basados en la terrible verdad de que si no hay mejoramiento substancial, y pronto, estaremos fuera del negocio. ¿Qué ha sucedido? El mejoramiento rápido y estimulante que se vio al inicio provino de la eliminación de causas especiales, detectadas por sentido común. Todo esto fue razonablemente sencillo. Pero a medida que se fueron agotando las fuentes obvias de mejoramiento, la curva de mejoramiento se niveló y se volvió estable a un nivel inaceptable”.

Pero esto no es todo. Tener conocimientos adecuados sobre Control de Procesos y aplicar sus herramientas es, de nuevo, indispensable pero insuficiente. Es igualmente importante que la gente en la empresa tenga los conocimientos y la capacidad de aprendizaje acerca de los procesos que se desean controlar y mejorar; es decir, acerca de la ciencia y tecnología de los alimentos que la empresa ofrece a los clientes. Pero aún esta poderosa combinación es insuficiente, pues es imprescindible que la empresa tenga una filosofía gerencial, una cultura corporativa, que permita y estimule que fructifiquen los esfuerzos de mejoramiento y los conocimientos obtenidos.

Mientras existan barreras u obstáculos que impidan usar lo aprendido con las Cartas de Control y con las otras herramientas de apoyo, poco o nada sucederá; no habrá mejoramiento significativo de la calidad ni disminución perdurable de los costos. Le corresponde a la alta gerencia crear un campo propicio, pensar en forma sistémica, tener definiciones operacionales, saber algo acerca de la psicología del cambio, de la naturaleza de la motivación intrínseca, de los beneficios de la cooperación y de los estragos de la competencia entre el personal.

En otras palabras, ***para ser eficaz, el control estadístico de procesos debe ser parte de un sistema más grande que lo contenga.*** Russell Ackoff<sup>(15)</sup> relata cómo, por no hacer ésto, fracasaron más de las dos terceras partes de los esfuerzos de mejoramiento de calidad en Estados Unidos durante la década de los años 80. Fueron esfuerzos antisistémicos, *implantados más no integrados*, en un sistema más grande plagado de barreras y obstáculos tales como:

- Políticas de compras y de contratación basadas en el precio.
- Sistemas de recompensas basados en el desempeño individual.

- Insuficiente inversión en capacitación, en investigación y desarrollo y en investigación de las necesidades y deseos futuros de los clientes.
- Una atmósfera en la que prevalecen la competencia, el temor y la desconfianza.

No es indispensable que los gerentes de la empresa tengan los conocimientos técnicos detallados acerca de cómo seleccionar Cartas de Control específicas para variables particulares, ni de cómo tomar los datos o cuándo tomarlos o cuántos tomar cada periodo. Lo que sí es importante es que comprendan los principios básicos de los métodos para el control de procesos, para que sean líderes eficaces de los esfuerzos de mejoramiento. Por ejemplo, deben saber que “la gente idónea para identificar causas especiales no es la misma que la que se necesita para identificar causas comunes y esto es cierto también en lo que se refiere a eliminar las causas”<sup>(8)</sup>.

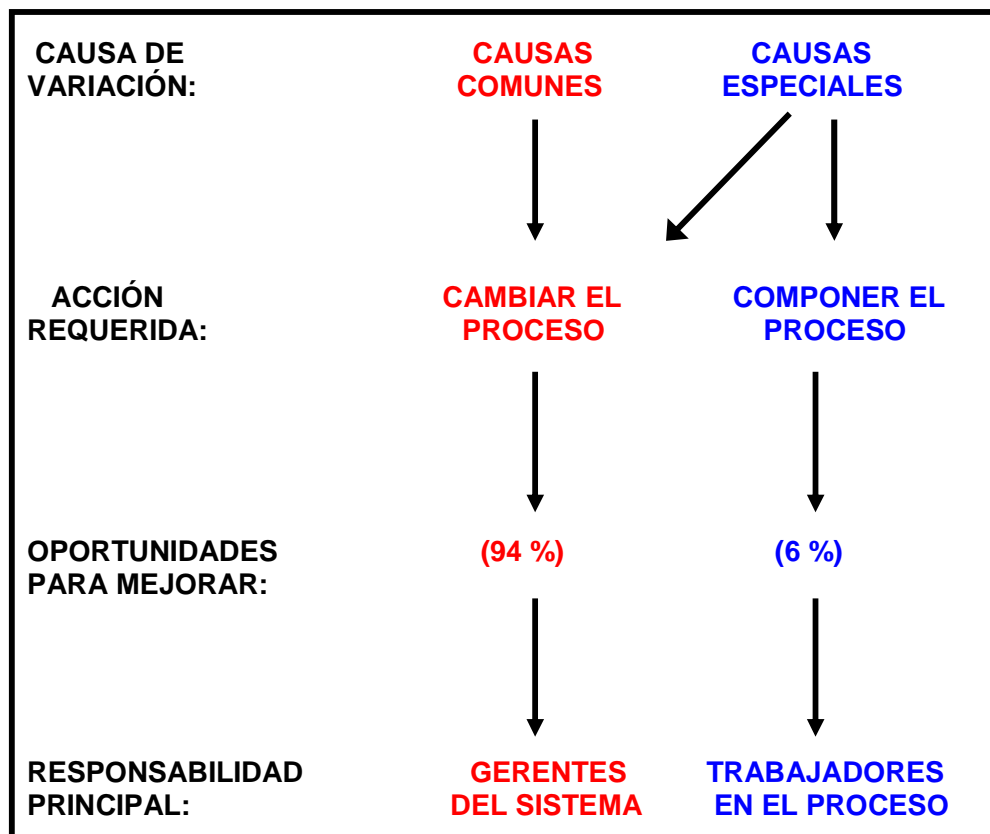
**Los principales responsables de identificar causas especiales son los trabajadores** en el proceso, ya que ellos conocen el proceso mejor que nadie y son los que usualmente llevan las Cartas de Control. Les siguen los supervisores y los especialistas técnicos, cuyo papel fundamental es ayudar a los trabajadores a eliminar dichas causas.

Por otro lado, **los principales responsables de identificar causas comunes son los gerentes**, en parte porque se requiere mayor profundidad de comprensión de la empresa como un todo. Ellos son también los principales responsables de disminuir la variación debida a estas causas porque los medios y la autoridad para modificar el sistema están concentradas en sus manos. Esto es central, porque la gran mayoría de la variación se debe a causas comunes; es decir, al diseño de la empresa y sus procesos. En otras palabras, la gran mayoría de las acciones de mejoramiento requieren la intervención de la alta gerencia. La Figura 4 muestra un resumen de las acciones requeridas según las causas de variación y de en quiénes reside la responsabilidad principal para el mejoramiento.

El sendero del mejoramiento de la calidad es arduo y lento pero, con el tiempo, los beneficios para todos crecen en forma exponencial. Se requiere constancia en los propósitos y en el aprendizaje. **Los avances se miden en años.** Es sabia la advertencia de Deming en este sentido<sup>(16)</sup>: “los tímidos y los débiles de carácter, así como los que esperan resultados rápidos, están condenados a la desilusión”.

Shewhart desarrolló sus Cartas de Control para procesos de manufactura y esa sigue siendo su principal aplicación. Sin embargo, una de las mayores aportaciones de Deming fue que descubrió que el mayor número de áreas de oportunidad para su uso reside en otras áreas: finanzas, contabilidad, gerencia de personal, capacitación, ventas, selección de proveedores, evaluación del desempeño de la gente, no solamente en la industria sino también en la educación y el gobierno.

Recordemos que, en cualquier país, la mayoría de la gente trabaja en servicios. Aún en las empresas de manufactura, muchos de los procesos son procesos de servicios de apoyo. Nos referimos a todos los procesos de apoyo en las empresas de manufactura – contabilidad, mantenimiento, compras, administración de personal, etc. - y a prácticamente todos los procesos en las empresas de servicios. Deming observó que “la ineficiencia en una organización de servicios, como en una de manufactura, eleva los precios al consumidor y baja su nivel de vida ...el costo de la vida, si es alto, lo es porque pagamos más de lo necesario por lo que obtenemos. Esto es inflación pura”<sup>(17)</sup>.



**FIGURA 4.** Diagrama esquemático del mejoramiento de la calidad.  
Adaptado de Nolan y Provost<sup>(8)</sup>.

Las características principales de los procesos administrativos y de servicios son que tienen tres tipos de variables típicas que quisiéramos controlar y mejorar:

**1. Tiempo.** Tiempos de respuesta a solicitudes o quejas, tiempos para procesar o duplicar información, tiempos extra que pagar a los empleados, tiempos de entrega, tiempos de vencimiento en cartera de clientes o en cuentas por pagar, tiempos para producir cotizaciones o cheques, tiempos muertos en computadoras y fotocopiadoras, tiempos para hacer requisiciones de compras y pedidos, tiempos para que el personal aplique los conocimientos adquiridos en cursos, seminarios, ferias industriales, congresos y convenciones, tiempo en que un mismo tipo de capacitación ha dejado de ser eficaz y es necesario dar al personal otro tipo de capacitación, tiempos para el desarrollo de nuevos productos y servicios, etc.

**2. Dinero.** Costos de los consumos de electricidad, combustibles y vapor; costos incurridos por las variaciones entre pedidos y despachos, costos de las devoluciones, costos de formulación, costos por bajos rendimientos, costos de los servicios que se prestan entre sí distintas áreas funcionales de la empresa tales como laboratorio analítico, mantenimiento, contabilidad, administración de personal, auditoría interna, etc.

**3. Errores y fallas.** Errores de facturación, errores en la elaboración de cheques, quejas de los clientes, errores en las mediciones de inventarios, frecuencia de accidentes de trabajo, ausentismo, rotación de personal, errores al transcribir información contable al sistema computacional, etc.

Las Cartas de Control que se usan para procesos de servicios son las mismas que las que usan para los procesos de manufactura. Lo que es diferente es la naturaleza del proceso y, en ocasiones, el propósito de llevar una Carta para el control de una variable en particular. Desde luego, la única manera de aprender a usar las Cartas de Control es usándolas. Como dice Myron Tribus<sup>(18)</sup>: “Se hace para aprender, no se aprende para hacer”.

#### IV. TIPOS DE CARTAS Y CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE CONTROL

Una de las primeras cosas que hay que hacer al usar una carta de control es organizar los datos que nos interesan de alguna manera racional que nos permita darles seguimiento a través del tiempo. Esto se hace a través de sub-grupos; es decir, de varias mediciones tomadas en un punto dado en el tiempo, que luego se agrupan antes de graficarlos. El concepto de “sub-agrupamiento” de los datos es uno de los componentes más importantes del método de Shewhart y consiste<sup>(11)</sup> “en organizar - es decir, clasificar, agrupar, estratificar - los datos de un proceso de tal manera que se asegure que haya la mayor similitud posible entre los datos dentro de cada sub-grupo y la mayor diferencia posible entre los datos dentro de diferentes sub-grupos”.

La manera más común de obtener sub-grupos es manteniendo “constante” el tiempo en el que se toman los datos que van dentro de un sub-grupo. En otras palabras, se incluyen en un sub-grupo solamente datos tomados al mismo tiempo, o dentro de un periodo seleccionado de tiempo. De esta manera, los datos tomados a distintos tiempos - o en distintos periodos de tiempo - estarán en distintos sub-grupos. Es así como se optimiza la probabilidad de detectar causas de variación que ocurren a través del tiempo. Desde luego, los sub-grupos también se pueden ordenar en base a otros factores tales como proveedores, turnos, operarios, etc., para investigar si la variación se pudiera deber a estos factores. A esto se le llama **estratificación de los datos de los sub-grupos** y es equivalente al concepto de “no mezclar peras con manzanas”.

Si estos sub-grupos de mediciones o valores muestran un comportamiento consistente a través del tiempo, de acuerdo a los criterios descritos en la Figura 3, podemos concluir que el proceso está bajo control y que su desempeño en el futuro cercano será igual al actual. Por otro lado, si los sub-grupos muestran un comportamiento inconsistente a través del tiempo, lo razonable es concluir que el proceso muestra variación descontrolada, por lo que hay que buscar y encontrar la causa. Al hablar de sub-grupos, es importante tomar en cuenta que existen algunas situaciones en las que los sub-grupos contienen solamente un dato; es decir, en las que el tamaño del sub-grupo,  $n$ , es  $n=1$ . Por ejemplo, esto sucede cuando el proceso solamente genera un dato en cada periodo de tiempo que nos interesa (costo mensual de producción, o datos de ventas, por ejemplo) o cuando las mediciones provienen de un lote de producto, en sistemas de producción intermitentes (atributos de calidad de queso proveniente de una cuba o tina de quesería, por ejemplo).

##### IV.1 TIPOS DE CARTAS DE CONTROL

Todo conjunto de datos provenientes de un proceso real tiene dos atributos indispensables para su control: una medida de su tendencia central (el promedio, la mediana, etc.) y una medida de su dispersión (el rango, la desviación estándar, etc.). Por consiguiente, las distintas combinaciones posibles de tamaño de sub-grupos (de un dato o de más de un dato), de medidas seleccionadas de tendencia central y de dispersión (promedio o mediana, rango o desviación estándar), y de tipos de preguntas que queremos contestar (nos puede interesar controlar una variable, o nos puede interesar controlar el porcentaje o fracción de artículos defectuosos, o el número de defectos en una misma unidad de producto) dan lugar a que en la industria se usen varios tipos de cartas de control. La Tabla 1 muestra las cartas más comunes.

TABLA 1

## TIPOS MÁS COMUNES DE CARTAS DE CONTROL DE SHEWHART

<p><b>CARTAS DE CONTROL PARA <i>VARIABLES CON VALORES CONTINUOS</i></b> <b>(DATOS BASADOS EN <i>MEDICIONES DE VARIABLES</i>)</b></p> <p>Carta de control de Mediciones Individuales y Rangos Móviles (Carta <math>\bar{x} - R_m</math>) Carta de control de Promedios y Rangos (Carta <math>\bar{X} - R</math>) Carta de control de Promedios y Desviación Estándar (Carta <math>\bar{X} - s</math>)</p>
<p><b>CARTAS DE CONTROL PARA <i>ATRIBUTOS CON VALORES DISCRETOS</i></b> <b>(DATOS BASADOS EN <i>CONTEO O CLASIFICACIÓN DE ATRIBUTOS</i>)</b></p> <p>Carta de control para número de unidades defectuosas (Carta <math>np</math>) Carta de control para fracción de unidades defectuosas (Carta <math>p</math>) Carta de control para número de defectos (Carta <math>c</math>) Carta de control para número de defectos por unidad (Carta <math>u</math>)</p>

Los tamaños típicos de sub-grupos para cartas de variables están dentro del rango de 3 a 6. Algunas de las variables más comunes en la industria son: costo, tiempo, dimensiones, peso, viscosidad, concentración, rendimiento, temperatura, pH, etc. Los tamaños típicos de sub-grupos para cartas de atributos están típicamente dentro del rango de 30 a 1,000.

## IV.2 CÁLCULO Y SIGNIFICADO DE LOS LÍMITES DE CONTROL

En la práctica, para saber si un proceso está en un grado razonable de control, se necesitan graficar por lo menos 100 observaciones consecutivas. Entonces, por ejemplo, si se trata de una carta de promedios y rangos con sub-grupos de tamaño 4, se necesitan por lo menos 25 sub-grupos antes de calcular los límites de control. Esta no es una regla estricta; si Usted necesita averiguar si un proceso es estable y solamente tiene 20 sub-grupos por el momento, ¡hágalo!

En cualquier tipo de carta de control, los límites de control se calculan usando la siguiente fórmula general:

$$\text{Límites de control} = (\text{valor promedio}) \pm 3 (\text{desviación estándar})$$

Este tipo de desviación estándar representa la variación debida al azar<sup>(12)</sup> o aleatoria. **Es muy importante recordar que esta NO es la desviación estándar de los datos graficados en la carta.** Los cálculos de los límites de control y los criterios para decidir si un proceso está o no dentro de control no fueron seleccionados arbitrariamente. Fueron construidos por Shewhart de manera que los límites de control fueran “robustos”.

Lo que esto significa es que, por ejemplo, inclusive si se incluyen datos que están fuera de control para hacer los cálculos, los límites son lo suficientemente buenos para detectar dicha falta de control. Más aún, para los cálculos de los límites de control, no hay ningún requerimiento de que los datos sigan la distribución normal. En este sentido también son “robustos”; es decir, nos darán la respuesta correcta independientemente de la distribución que sigan los datos.



Las Tablas 2 y 3 muestran las fórmulas para el cálculo de los límites de control de las cartas  $\bar{x} - R_m$  (de mediciones individuales y rangos móviles),  $\bar{X} - \bar{R}$  (de promedios y rangos) y  $\bar{X} - s$  (de promedios y desviaciones estándar). La Tabla 4 muestra los valores de los factores que aparecen en dichas fórmulas. En la carta  $\bar{X} - R$ , el tamaño de los subgrupos es constante. La carta  $\bar{X} - s$  se usa cuando el tamaño de los subgrupos es variable.

**TABLA 2**  
**LÍMITES DE CONTROL PARA CARTAS DE VALORES CONTINUOS**  
 **$\bar{x} - R_m$  y  $\bar{X} - \bar{R}$  (DATOS BASADOS EN MEDICIONES)**

TIPO DE CARTA	LÍNEA CENTRAL	LÍMITES DE CONTROL
<b><math>\bar{x} - R_m</math></b>		
(Mediciones Individuales y Rangos Móviles)		
<b>Mediciones Individuales</b>	$LC = \bar{\bar{X}}$	$LSC = \bar{\bar{X}} + 2.66 \bar{\bar{R}}_m$ $LIC = \bar{\bar{X}} - 2.66 \bar{\bar{R}}_m$
Donde $\bar{\bar{X}}$ es el valor promedio de las mediciones individuales y $\bar{\bar{R}}_m$ es el valor promedio de los rangos móviles $R_{mi}$ .		
<b>Rangos Móviles</b>	$LC = \bar{\bar{R}}_m$	$LSC = 3.27 \bar{\bar{R}}_m$ $LIC$ <i><b>no existe</b></i>
<b><math>\bar{X} - \bar{R}</math></b>		
(Promedios y Rangos)		
<b>Promedios</b>	$LC = \bar{\bar{X}}$	$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{\bar{R}}$ $LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{\bar{R}}$
Donde $\bar{\bar{X}}$ es el gran promedio (promedio de los promedios), $\bar{\bar{R}}$ es el valor promedio de los rangos y $A_2$ es un factor cuyo valor depende del tamaño (n) de los sub-grupos (Tabla 4).		
<b>Rangos</b>	$LC = \bar{\bar{R}}$	$LSC = D_4 \bar{\bar{R}}$ $LIC = D_3 \bar{\bar{R}}$
donde $D_3$ y $D_4$ son factores cuyo valor depende del tamaño (n) de los sub-grupos (Tabla 4).		

**TABLA 3**  
**LÍMITES DE CONTROL PARA CARTAS DE VALORES CONTINUOS  $\bar{X} - s$**   
**(Promedios y Desviación estándar) <sup>(10-12)</sup>**

	LÍNEA CENTRAL	LÍMITES DE CONTROL
<b>Promedios</b>	$LC = \bar{X}$	$LSC = \bar{X} + A_3 \bar{s}$ $LIC = \bar{X} - A_3 \bar{s}$
<p>donde <math>\bar{X}</math> es el gran promedio (promedio de los promedios), <math>\bar{s}</math> es el valor promedio de las desviaciones estándar y <math>A_3</math> es un factor cuyo valor depende del tamaño (n) de los sub-grupos (Tabla 4).</p>		
<b>Desviaciones estándar</b>	$LC = \bar{s}$	$LSC = B_4 \bar{s}$ $LIC = B_3 \bar{s}$
<p>donde <math>D_3</math> y <math>D_4</math> son factores cuyo valor depende del tamaño (n) de los sub-grupos (Tabla 4).</p>		

**TABLA 4**  
**VALORES DE LOS FACTORES PARA EL CÁLCULO DE LOS LÍMITES**  
**DE CONTROL EN CARTAS  $\bar{X} - R$  y  $\bar{X} - s$  <sup>(10-12)</sup>**

n	A <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	1.88	-	3.27
3	1.02	-	2.57
4	0.73	-	2.28
5	0.58	-	2.11
6	0.48	-	2.00
7	0.42	0.08	1.92
8	0.37	0.14	1.86
n	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	2.66	-	3.27
3	1.95	-	2.57
4	1.63	-	2.27
5	1.43	-	2.09
6	1.29	0.03	1.97
7	1.18	0.12	1.88
8	1.10	0.19	1.82

La Tabla 5 muestra las fórmulas para el cálculo de los límites de control de las cartas de atributos. Estas gráficas se usan cuando la característica de calidad se representa por el número de artículos o unidades defectuosas, por la fracción de unidades defectuosas, por el número de defectos, o por el número de defectos por artículo.

Los datos para las cartas de atributos difieren de los datos para las cartas de variables de dos maneras<sup>(20)</sup>: son siempre valores enteros - ya que provienen de contar - y siempre se refieren a un contexto o "área de oportunidad" para ser interpretados. Un ejemplo común de "área de oportunidad" es el número de artículos examinados para ver cuántos son defectuosos.

Si nos interesa controlar el número de unidades defectuosas y el área de oportunidad es de tamaño constante, se usa la carta **np**. La carta **p** se usa para situaciones en las que el "área de oportunidad" es de tamaño variable a través del tiempo - aunque también se puede usar para casos en los que el "área de oportunidad" es de tamaño constante - y en ella se grafica la fracción de unidades defectuosas. Como ejemplo, la carta que se emplea en el Experimento de las Cuentas Rojas<sup>(19)</sup> de Deming es una carta de este tipo.

La carta **c** se usa para controlar el número de defectos (incidencias o no conformidades) y el "área de oportunidad" es de tamaño constante. Finalmente, la carta **u** se usa cuando el "área de oportunidad" es de tamaño variable y, en ese caso, se grafica el número de defectos (incidencias o no conformidades) por "unidad". Esta "unidad" puede ser un artículo, o una región, o un proveedor, dependiendo de la naturaleza del proceso.

Una de las grandes cualidades de las cartas de control de Shewhart es que **la interpretación de las cartas (los criterios visuales descritos en la Figura 3) es la misma en todos los casos.**

Es muy importante recordar que, al trabajar con las cartas de control de Shewhart, los límites de control se deben recalcular cuando los existentes ya no son apropiados. Esto se hace cuando se han identificado y eliminado causas especiales de variación o cuando se hace una mejora (cambio estructural o re-diseño) en el proceso. Desde muchos puntos de vista, hay que tomar en cuenta que **un proceso mejorado es un proceso nuevo.**

### IV.3 EJEMPLOS DE USO DE LAS CARTAS DE CONTROL

#### IV.3.1 Uso de las Cartas de Control de Mediciones Individuales y Rangos Móviles (Cartas **x - R<sub>m</sub>**).

Una vez al mes, el Departamento de Comercio de EUA da a conocer las cifras de la balanza comercial (diferencia entre importaciones y exportaciones) de ese país. La Figura 5 muestra, en forma de carta de mediciones individuales, los datos de dicha balanza comercial en el periodo entre enero de 1988 y diciembre de 1989<sup>(8)</sup>. Como las importaciones son mayores que las exportaciones, la carta muestra el comportamiento del déficit comercial en ese periodo.

**TABLA 5**  
**LÍMITES DE CONTROL PARA CARTAS DE ATRIBUTOS, CON VALORES DISCRETOS (DATOS BASADOS EN CONTEO)** <sup>(10-12)</sup>

TIPO DE CARTA	LÍNEA CENTRAL	LÍMITES DE CONTROL
<b>c</b>  (Número de defectos)	$LC = \bar{c}$	$LSC = \bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}}$ $LIC = \bar{c} - 3 \sqrt{\bar{c}}$
<p>donde <math>\bar{c}</math> es <math>= \sum (C/k)</math>, <math>C</math> es el número de defectos por sub-grupo y <math>k</math> es el número de sub-grupos.</p>		
<b>u</b>  (número de defectos /unidad)	$LC = \bar{u} = (\sum c / \sum n)$	$LSC = \bar{u} + 3 \sqrt{\bar{u}/n}$ $LIC = \bar{u} - 3 \sqrt{\bar{u}/n}$
<p>donde <math>c</math> es el número de defectos por sub-grupo, <math>n</math> es el número de áreas de oportunidad en un sub-grupo y <math>u</math> es el número de defectos por área de oportunidad = <math>c/n</math>.</p>		
<b>np</b>  (número de unidades defectuosas)	$LC = \bar{np}$	$LSC = \bar{np} + 3 \sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})}$ $LIC = \bar{np} - 3 \sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})}$
<p>donde <math>n</math> es el área de oportunidad, <math>\bar{p}</math> es la proporción promedio de unidades defectuosas, y <math>\bar{np}</math> es el número promedio de unidades defectuosas.</p>		
<b>p</b>  (fracción de unidades defectuosas)	$LC = \bar{p}$	$LSC = \bar{p} + 3 \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$ $LIC = \bar{p} - 3 \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$
<p>donde <math>p</math> es la fracción de unidades defectuosas (<math>d/n</math>), <math>d</math> es el número de unidades defectuosas en un sub-grupo, <math>n</math> es el número de unidades muestreadas en un sub-grupo, <math>\bar{p}</math> es el valor promedio de <math>p</math> (es decir, <math>\sum p / \sum k</math>) y <math>k</math> es el número de sub-grupos.</p>		

Como podemos apreciar, la carta muestra que el déficit comercial fue estable durante esos dos años. En otras palabras, como lo explican Nolan y Provost<sup>(8)</sup>, “esto significa que no hubo cambio en el sistema de causas que produce el déficit”. Más aún, comentan que (como todos vemos a diario en los noticieros) “los medios de comunicación reportan las variaciones mensuales en el déficit como si indicaran un cambio” ... “un aumento del déficit respecto al mes anterior se reporta como si fuera una señal de que hay problemas y de que se está deteriorando la economía”... “los analistas financieros, tanto del sector público como del privado, dan explicaciones de las alzas y las bajas: una huelga de gran magnitud, mal tiempo, y cosas por el estilo. Los mercados financieros responden a estos reportes y explicaciones”. Las pérdidas (innecesarias) al dar una interpretación equivocada de los datos como éstos son<sup>(8)</sup>: “perder tiempo buscando explicaciones para una tendencia percibida cuando de hecho nada ha cambiado” y “los mercados financieros responden en función de la variación de las cifras mensuales, cuando de hecho hubiera sido mejor ignorarlas. Sus respuestas introducen variación innecesaria al sistema económico”.

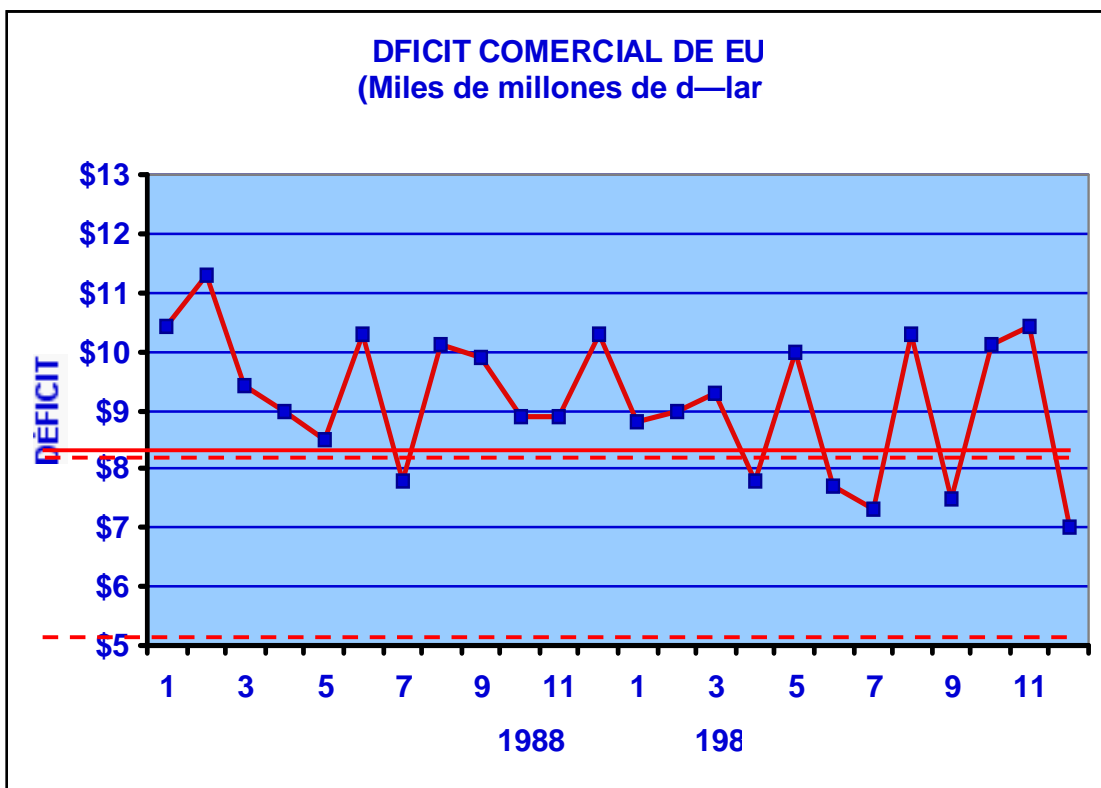


FIGURA 5. Carta de control para el déficit comercial de EUA<sup>(8)</sup>.

IV.3.2 Uso de las Cartas de Control de Promedios y Rangos (Cartas  $\bar{X}$  - R)

En una planta de yogurt para beber se tomaron los siguientes datos de peso de envases llenos de producto, con peso nominal declarado en la etiqueta de 300 g. Se tomaron cinco envases consecutivos de la línea de envasado - justo a la salida de la máquina llenadora - cada hora. Los datos (para 19 horas) se muestran enseguida. Son datos de llenado neto, a los cuáles ya se les ha deducido el peso del envase. ¿Qué se puede decir acerca de este proceso?

Fecha	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23
Hora	10	11	12	13	14	15	16	17	09	10	11	12	13	14	15	16	17	09	10
Peso(g)	277	293	323	242	250	248	255	306	335	262	241	306	303	331	318	260	296	275	243
	298	281	246	286	306	309	337	310	301	247	319	335	290	308	306	262	302	292	308
	245	322	247	300	316	303	320	253	336	268	243	268	247	337	286	310	310	244	259
	282	263	241	246	285	336	264	337	258	242	275	330	327	308	256	246	273	311	266
	259	285	268	311	323	334	319	274	270	316	337	296	243	291	249	302	329	313	294

Lo primero que se hace es calcular el promedio y el rango de cada sub-grupo:

$\bar{X}$	272	289	265	277	296	306	299	296	300	267	283	307	282	315	283	276	302	287	274
R	53	59	82	69	73	88	82	84	78	74	96	67	84	46	69	64	56	69	65

El gran promedio (promedio de los promedios) es  $\bar{\bar{X}} = 288.2$ , y el rango promedio es  $\bar{\bar{R}} = 71.5$ . Estos son los valores de las líneas centrales (LC) de las cartas de promedios y rangos, respectivamente.

Entonces, los límites de control para los promedios son:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{\bar{R}} = 288.2 + (0.58)(71.5) = 329.7$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{\bar{R}} = 288.2 - (0.58)(71.5) = 246.7$$

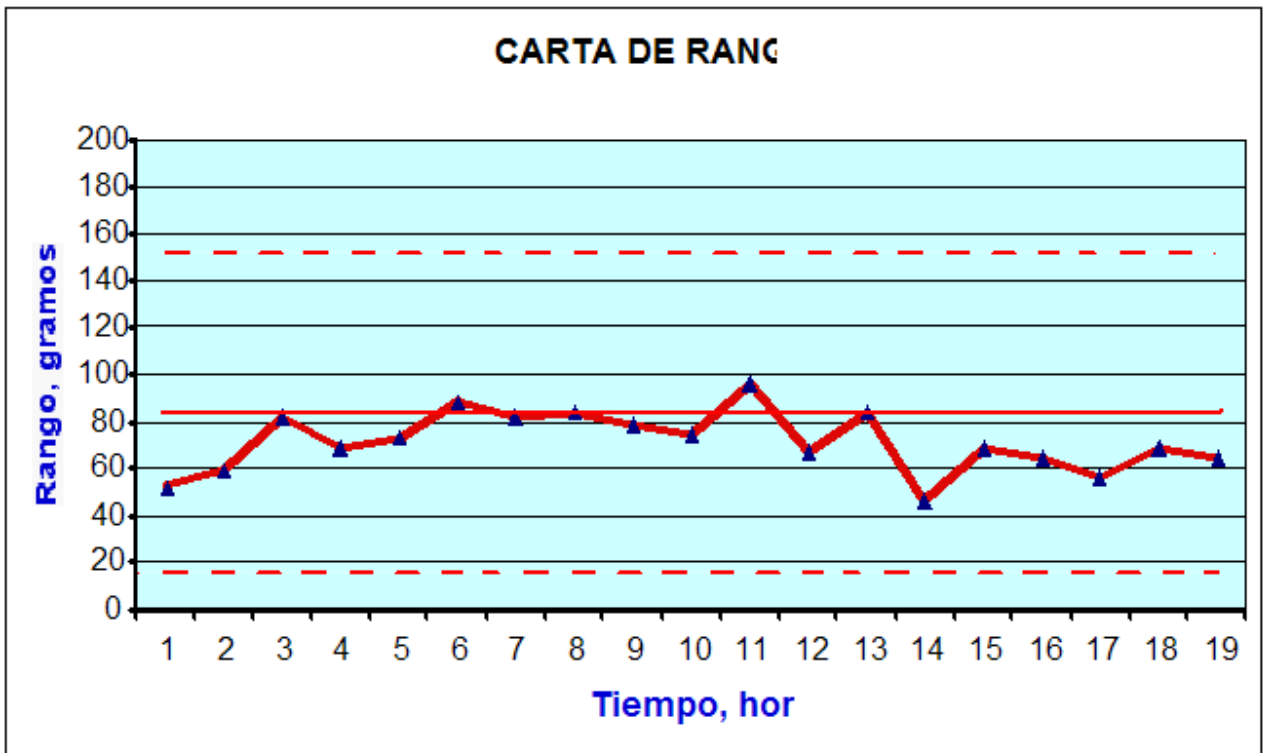
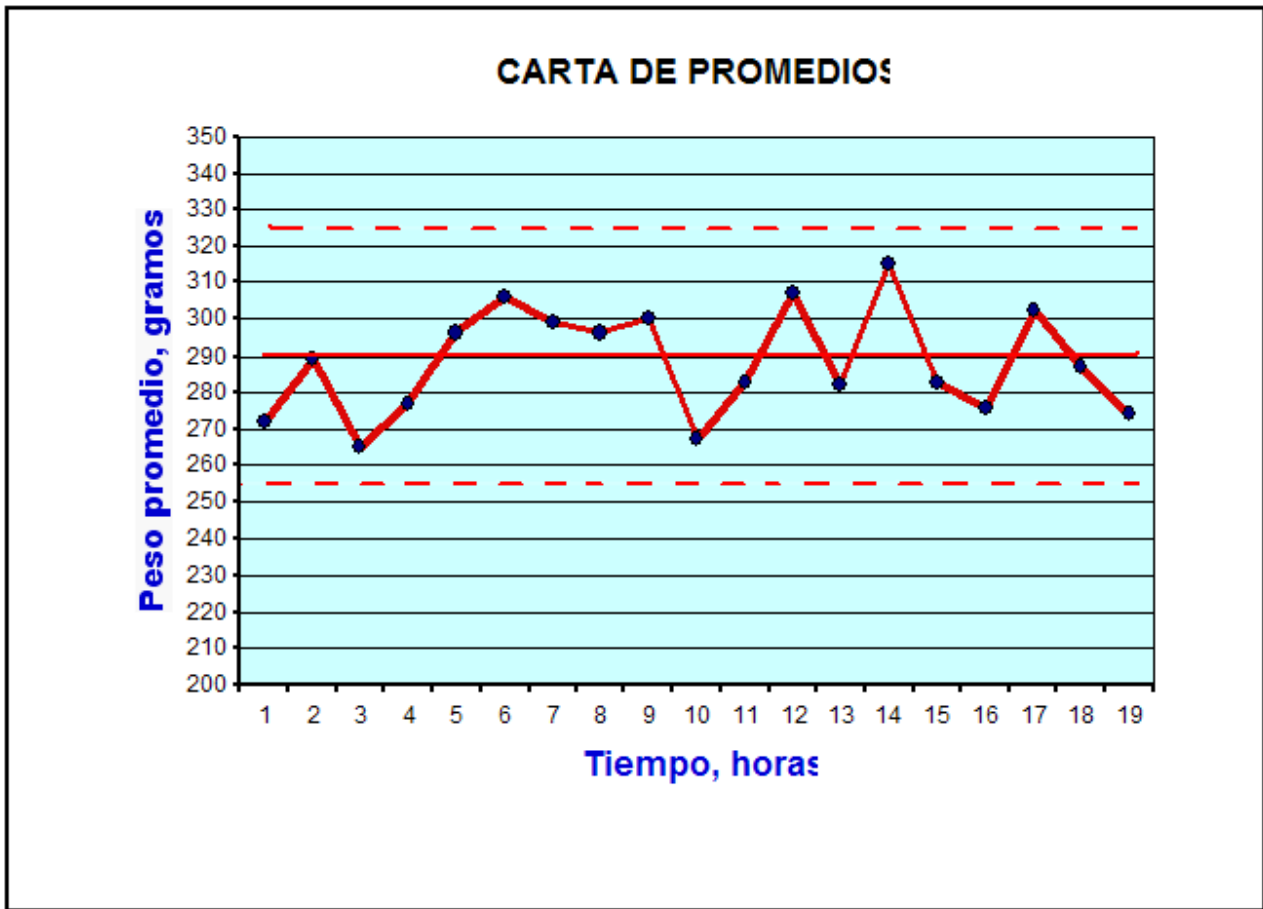
Donde 0.58 es el valor de  $A_2$  para sub-grupos de tamaño 5 (Tabla 3). Los límites de control para los rangos son:

$$LSC = D_4 \bar{\bar{R}} = (2.11)(71.5) = 150.9$$

Donde 2.11 es el valor de  $D_4$  para sub-grupos de tamaño 5 (Tabla 3).

$$LIC = D_3 \bar{\bar{R}}, \text{ no existe (no hay valor para este factor en la Tabla 3).}$$

La Figura 6 muestra la carta de control. El proceso está bajo control, pero no es hábil (el llenado promedio no cumple con el valor nominal). Para hacerlo hábil, es responsabilidad de los gerentes hacer los cambios estructurales para hacer que el promedio de lo que el proceso produce coincida con lo que se desea. Posteriormente, hay que continuar trabajando sobre el proceso para que la variación con respecto al promedio sea cada vez menor; es decir, para que la calidad sea cada vez mayor. A esto es a lo que se le conoce como mejoramiento continuo.



IV.3.3 Uso de las Cartas de Control para número de unidades defectuosas (Cartas np)

A continuación se muestran datos acerca de las entregas de pollo congelado en un centro de distribución durante un periodo de 18 meses. Las entregas se clasifican como “a tiempo” y “tardías”. Se hacen aproximadamente 150 entregas mensuales. ¿Está bajo control este proceso?

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Entregas tardías	33	22	36	24	30	18	20	27	20	30	19	24	22	9	13	15	10	9

El número total de entregas tardías es =  $\sum pn = (36 + 22 + \dots + 15 + 10 + 9) = 381$

El número total de entregas es  $150 \times 18 = 2700$ .

Entonces,  $\bar{p} = 381/2700 = 0.1411$

$LC = \bar{p}n = 0.1411 \times 150 = 21.17$

$LSC = \bar{p}n + 3[\bar{p}n(1-\bar{p})]^{0.5} = 21.17 + 3[21.17(1-0.1411)]^{0.5} = 21.17 + 12.79 = 34.0$

$LIC = \bar{p}n - 3[\bar{p}n(1-\bar{p})]^{0.5} = 21.17 - 12.79 = 8.4$

La Figura 7 muestra la carta de control. El proceso está fuera de control, pero algo ha sucedido en los últimos 5 meses que ha hecho que disminuyan las entregas tardías en ese periodo. Hay que averiguar qué fue, para incorporarlo a los procedimientos normales de operación, si es posible.

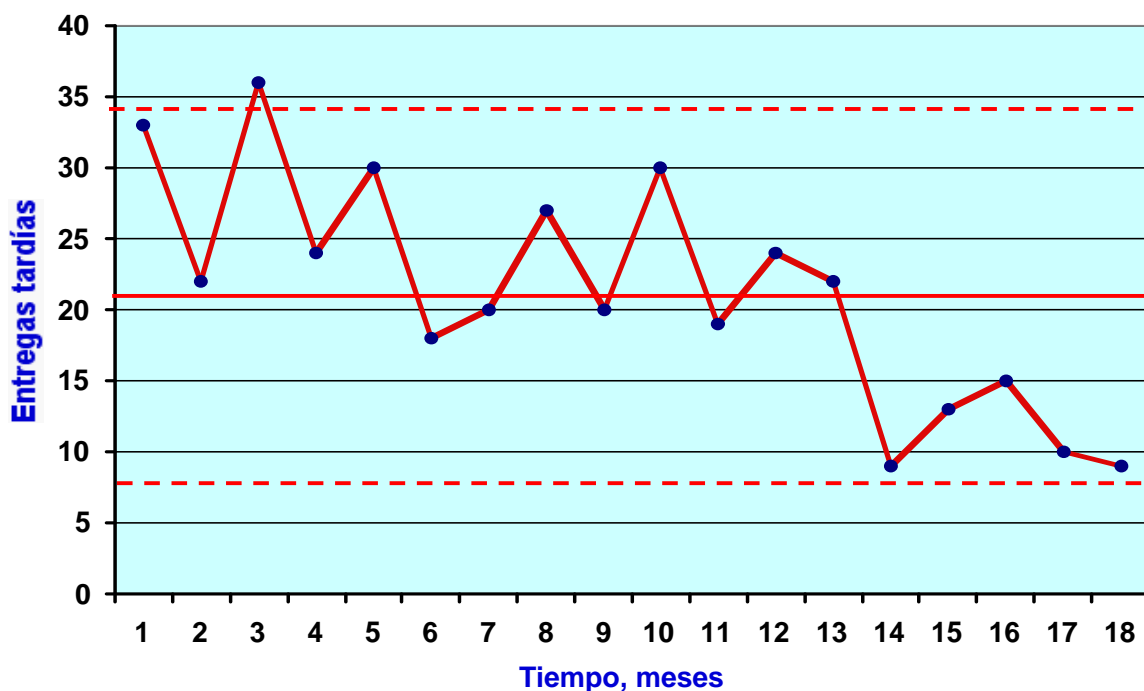


Figura 7. Carta de control para entregas de pollo congelado.



IV.3.4 Uso de las Cartas de Control para fracción de unidades defectuosas (Cartas p)

Este es un ejemplo del Departamento de Recursos Humanos de una empresa que cuenta con 19 empleados. Trabajan 5 días a la semana. A continuación se muestran los datos de ausentismo durante un periodo de 18 semanas. ¿A qué conclusiones puede llegar el gerente de Recursos Humanos?

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Días-Personal	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Ausentes	6	3	7	5	0	4	8	6	3	5	2	4	3	0	4	6	7	9
Porcentaje de ausentismo	6.3	3.2	7.4	5.3	0	4.2	8.4	6.3	3.2	5.3	2.1	4.2	3.2	0	4.2	6.3	7.4	9.5

Los 19 empleados y los 5 días se combinan para formar un “área de oportunidad” de tamaño 5x19 = 95.

Entonces,  $\bar{p} = \sum p/k = (6.3 + 3.2 + 7.4 + \dots + 7.4 + 9.5)/18 = 4.81$  (valor de la línea central)

$LSC = \bar{p} + 3[\bar{p}(1 - \bar{p})/n]^{0.5} = 4.81 + 3[(4.81)(100-4.81)/18]^{0.5} = 4.81 + 3(5.04) = 19.9$

El LIC no existe (puesto que no puede ser un número negativo).

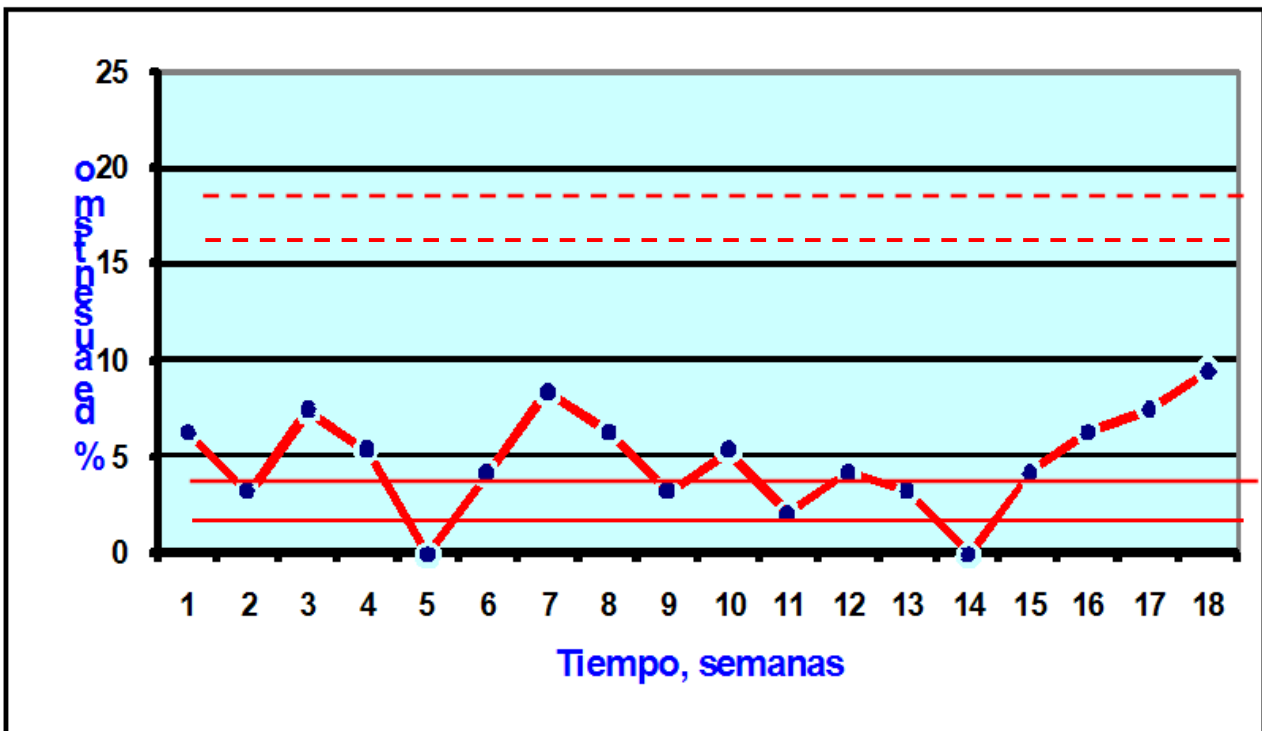


Figura 8. Carta de control para ausentismo en una empresa.

La Figura 8 muestra la carta de control para este ejemplo. La conclusión es que el ausentismo en la empresa es estable, con una posible tendencia a la alza comenzando en la semana 15. Hay que averiguar, por ejemplo, si a partir de la semana 15 hay alguna posible causa especial, tal como el inicio de una epidemia de gripe en la comunidad.

IV.3.5 Uso de las Cartas de Control para número de defectos (Cartas c)

Este es un ejemplo de número de errores en el área de recepción de materias primas de una empresa. Hay muchos tipos de errores que pueden ocurrir durante este proceso y en este ejemplo se examina el comportamiento del número de errores de todo tipo a través de un periodo de 19 semanas. Hay aproximadamente el mismo número de entregas por semana, cerca de 500.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Errores de todo tipo	31	44	10	26	49	63	19	28	55	33	35	57	22	7	14	11	19	16	5

Puesto que el número de entregas semanales es aproximadamente igual todas las semanas, el "área de oportunidad" (500) es constante y podemos usar esta carta.

Entonces,  $\bar{C} = \sum (C/k) = (31 + 44 + \dots + 16 + 5)/19 = 28.6$  (valor de la línea central)

$LSC = \bar{C} + 3 (\bar{C})^{0.5} = 28.6 + 3(5.35) = 44.7$

$LIC = \bar{C} - 3 (\bar{C})^{0.5} = 28.6 - 3(5.35) = 12.6$

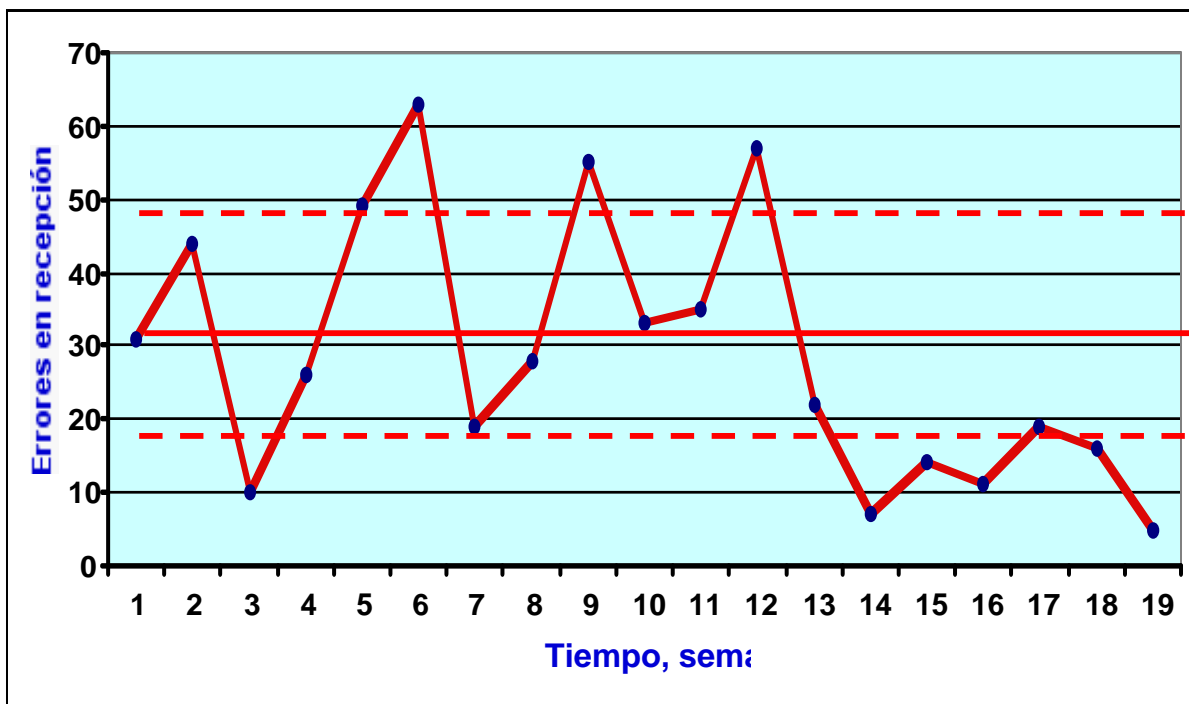


Figura 9. Carta de control para errores en el área de recepción de materias primas.

CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

La Figura 9 muestra la carta de control. El proceso está plagado de causas especiales; las de las primeras 12 semanas aumentaron los errores y las de las últimas seis los disminuyeron. De cualquier forma, el proceso es inestable e impredecible. Hay que identificar las causas especiales, tomar medidas preventivas para no vuelvan a ocurrir las indeseables y tratar de incorporar al sistema las deseables, si es posible.

IV.3.6 Uso de las Cartas de Control para número de defectos por unidad (Cartas u)

En una empresa se hace una evaluación anual del número de accidentes de tráfico de su flota de transporte en 14 regiones distintas del país. Desde luego, la distancia total recorrida en cada región es distinta para el periodo. Se desea saber si hay diferencias importantes en el historial de accidentes de tráfico en las distintas regiones.

Los datos para el último año son los siguientes:

Región	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Millones de kms. recorridos	9.3	4.1	9.6	7.8	8.0	11.1	8.6	8.4	4.2	5.0	5.3	4.7	9.2	6.9
Número de accidentes	21	5	22	24	7	22	20	15	4	12	4	9	24	9
Accidentes por millón de kms.	2.26	1.22	2.29	3.08	0.88	1.98	2.33	1.79	0.95	2.4	0.75	1.91	2.61	1.3

Entonces,

$$LC = \bar{u} = (\sum c) / (\sum n) = (21 + 5 + \dots + 24 + 9) / (9.3 + 4.1 + \dots + 9.2 + 6.9) = 1.94$$

$$LSC = \bar{u} + 3(\bar{u}/n)^{0.5}$$

$$LIC = \bar{u} - 3(\bar{u}/n)^{0.5}$$

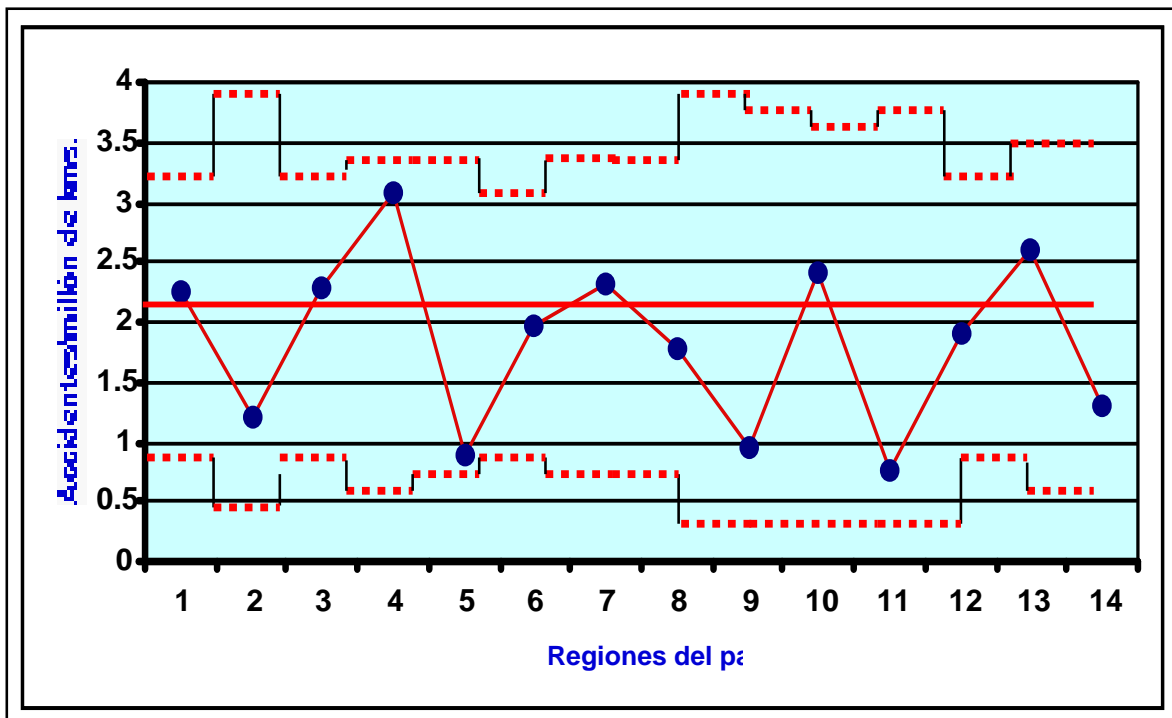
Los límites de control son diferentes para cada región, porque la distancia recorrida - "área de oportunidad" - en cada una de ellas (en este caso **n**, expresado en millones de kilómetros recorridos durante el año) es diferente.

Región	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>LSC</b>	3.31	4.00	3.29	3.44	3.42	3.19	3.36	3.38	3.98	3.81	3.76	3.87	3.32	3.53
<b>LIC</b>	0.57	0.12	0.59	0.44	0.46	0.69	0.52	0.50	—	0.07	0.13	0.01	0.56	0.35

La Figura 10 muestra la carta de control. El proceso es estable, con un promedio de 1.94 accidentes por cada millón de kilómetros recorridos, y no hay diferencias significativas entre las 14

regiones. Entonces, si se desea disminuir el número de accidentes de tráfico, hay que trabajar *sobre* el sistema; es decir, hacer cambios de fondo en los procedimientos

Este es un caso en el que el comportamiento de la calidad no se observa como función del tiempo, sino como función del espacio (las regiones). En otros casos, nos pudiera interesar observar el comportamiento de la calidad como función del servicio que proporcionan distintos proveedores, etc.



**Figura 10.** Accidentes de tráfico en distintas regiones atendidas por una empresa.

## V. PLANEACIÓN PARA CARTAS DE CONTROL EFICACES

Cuando tenemos ante nosotros un proyecto o problema que resolver empleando una carta de control, debemos tener en mente uno o varios objetivos específicos. Al principio comenzamos con fragmentos de conocimiento, pero nuestro propósito y reto últimos son que lleguemos a predecir, con poca incertidumbre, el desempeño del proceso que nos interesa controlar o mejorar y, de tratarse de éste último, que podamos predecir las consecuencias de nuestras decisiones al intervenir en el proceso para hacer cambios de fondo. Ésto, desde luego, requiere aprendizaje.

Desde luego, la cultura corporativa tiene una fuerte influencia sobre la velocidad del aprendizaje. Si estamos acostumbrados a emplear rutinas defensivas, a seguir haciendo las cosas de la manera de siempre, a manera de protegernos contra el descubrimiento de la necesidad de cambiar, va a ser difícil que aprendamos. Tendremos temor a equivocarnos, seguiremos pensando que “el enemigo está afuera” y que son los demás los que deben cambiar y facilitarnos el proceso de aprendizaje. De ser así, seguiremos centrando nuestra atención en los acontecimientos y en los datos aislados, fuera de contexto. Bajo estas condiciones, es difícil que fructifique el esfuerzo de llevar cartas de control.

En contraste, si estamos abiertos al cambio, comenzaremos a observar el comportamiento de los procesos en el tiempo con la ayuda de una carta de control y esto nos permitirá avizorar, con incertidumbre decreciente, las tendencias hacia el futuro. Luego, sin temor, podemos pasar a niveles más profundos de percepción, a comenzar a establecer relaciones entre la estructura del sistema y comportamiento dinámico de sus procesos en el tiempo, lo que nos facilita significativamente averiguar dónde hay que intervenir gerencialmente para efectuar aquellos cambios estructurales que nos permitirán obtener mejores resultados en el futuro. Así, nos comenzamos a convertir en una empresa abierta al aprendizaje.

Delavigne y Robertson<sup>(21)</sup> describen una serie de fases en un proceso de aprendizaje, en la que las fronteras entre las fases no son discretas, sino continuas. Las primeras fases han sido distinguidas de las demás porque son las fases previas, aquellas en las que no hay realmente aprendizaje. El hilo que corre a través de las cuatro últimas fases es la obtención de conocimientos nuevos.

### Fases sin aprendizaje

- Ignorar los problemas
- Manipular los símbolos de solución

### Fases de aprendizaje

- Resolver problemas
- Definir problemas
- Cuestionar problemas
- Adoptar un principio de aprendizaje

Algunas de las características más importantes que Delavigne y Robertson mencionan al referirse a la sexta fase - adoptar un principio de aprendizaje - son las siguientes<sup>(21)</sup>:

- “Reconocemos la naturaleza provisional del conocimiento; comprendemos que nunca es perfecto y que está sujeto a revisión en cualquier momento.
- No esperamos que el conocimiento nuevo llegue a nuestras mentes sin esfuerzo o estudio.
- Usamos pensamientos de orden más elevado, al examinar y reflexionar lo que hacemos.
- Comprendemos que los planes, procedimientos y relaciones no son más que suposiciones. No culpamos cuando los resultados difieren de las predicciones o expectativas, sino que los tomamos como oportunidades para aprender conocimientos nuevos.
- En forma intrínseca sentimos un impulso hacia la aceptación de soluciones sistémicas u holísticas y nuestra perspectiva de sistema se ha ampliado, para incluir no solamente a nuestro grupo inmediato, sino también a nuestra organización y a la comunidad. No se disminuye el valor de los individuos.

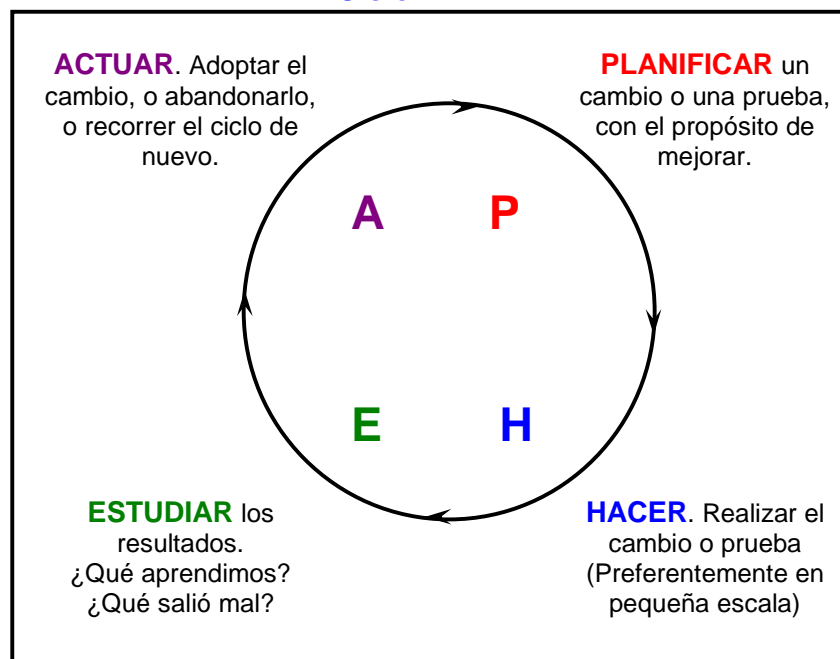
El arribo a esta fase de aprendizaje estará marcado en forma inevitable por cambios en nuestra forma de pensar; es decir, por manifestaciones de una transformación individual. Claramente, para optimizar el esfuerzo de aprendizaje, siempre es conveniente contar con un método o una guía. Por ejemplo, el proceso de aprendizaje se puede representar como un proceso secuencial e iterativo en el tiempo, en el que la parte esencial consiste en “darle vueltas” a través del tiempo al Ciclo de Shewhart o Ciclo de Deming, que se muestra en la Figura 11.

Como podemos apreciar, **el ciclo comienza con la planificación**. De este paso, Deming<sup>(22)</sup> dice lo siguiente: “Alguien tiene una idea para el mejoramiento de un producto o de un proceso. Esta es la etapa cero y es parte intrínseca del Paso 1. Conduce a un plan para realizar una prueba,

comparación o experimento. El Paso 1 es la piedra angular de todo ciclo. Un arranque apresurado puede ser ineficaz, costoso y frustrante. La gente es propensa a pasar por alto este paso. Está ansiosa por moverse, por estar activa, por verse ocupada, por irse al Paso 2.

La etapa de planificación puede comenzar con una selección entre varias sugerencias. ¿Cuál podemos probar? Compare los posibles resultados de las opciones posibles. De las distintas sugerencias, ¿cuál parece ser la más promisoría en términos de conocimiento nuevo o de utilidades? El problema puede consistir en cómo alcanzar una meta factible. El lector puede notar que, para adoptar el cambio, o para abandonarlo, *se requiere predicción*".

### El Ciclo de Shewhart Para Aprendizaje y Mejoramiento El Ciclo P H E A



**FIGURA 11.** Un diagrama de flujo para el aprendizaje y para el mejoramiento de un producto o de un proceso<sup>(22)</sup>.

Al decidir usar una carta de control, es muy importante no “brincarse” la etapa “cero” de planificación. Moen, Nolan y Provost<sup>(11)</sup> advierten que “muchos intentos para usar cartas de control no han sido exitosos por falta de preparación y planificación”. Hacen un llamado a planificar con cuidado las cartas de control y para ello proponen el formato que se muestra en la Tabla 6.

Al llenar el formato, es importante recordar lo siguiente:

- Las cartas más útiles no son las que se usan para medir las características de calidad de los resultados finales que son importantes para los clientes, sino las que se usan para controlar las variables de proceso que afectan dichas características. En otras palabras, entre más “aguas arriba” en el proceso, más útiles son.
- El objetivo específico de la carta es el que usualmente determina la estrategia para sub-agrupar los datos.
- La frecuencia de obtención de datos para los sub-grupos depende tanto del objetivo de la carta como de las limitaciones - de costo, por ejemplo - de la disponibilidad de mediciones.

- No se debe pasar por alto documentar la información acerca del proceso, de los cambios que se hacen, de la identificación de causas especiales y de los resultados de las investigaciones de dichas causas. Esta información debiera incluir diagramas de flujo (idealmente Flujogramas de Despliegue), diagramas de causa y efecto, etc.,
- Se debe identificar claramente a los responsables de las distintas tareas.
- La carta debe tener espacio para un número razonablemente grande de datos y espacio para documentar en resumen las decisiones y la información más relevantes del proceso, incluyendo fechas y el nombre de las persona que hace las mediciones.

**TABLA 6**  
**FORMATO RECOMENDADO PARA PLANIFICAR UNA CARTA DE CONTROL <sup>(11)</sup>**

<b>Objetivo de la carta:</b> _____	
<b>Muestreo, mediciones y manera de sub-agrupar:</b>	
Variable(s) que se van a graficar: _____	
Método de medición: _____	
Magnitud de la variación que se puede medir: _____	
Punto (sitio) de muestreo: _____	
Estrategia para hacer los sub-grupos: _____	
Frecuencia de los sub-grupos: _____	
<b>Causas especiales más probables:</b> _____	
<b>Notificaciones requeridas:</b>	
<b>Notificación</b>	<b>Responsable</b>
_____	_____
_____	_____
<b>Plan de reacción para puntos fuera de control (adjuntar una copia):</b>	
_____	
<b>Administración de la carta:</b>	
<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>
Tomar las mediciones	_____
Registrar los datos en la carta	_____
Calcular las estadísticas	_____
Graficar las estadísticas	_____
Extender/cambiar los límites de control	_____
Archivar	_____
<b>Programación para analizar la carta:</b> _____	
_____	

## VI. OTRAS HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE PROCESOS

Una vez que las personas en el proceso han detectado en sus Cartas de Control una causa especial de variación, es importante averiguar a la brevedad a qué se debe, para eliminarla y volver a meter al proceso en estado de control. **Es importante hacer esta averiguación o investigación en grupo, pues la(s) causa(s) y la solución pudieran estar en otras partes del sistema.** De hecho, es muy probable encontrar que los factores fueron varios y no solamente uno.

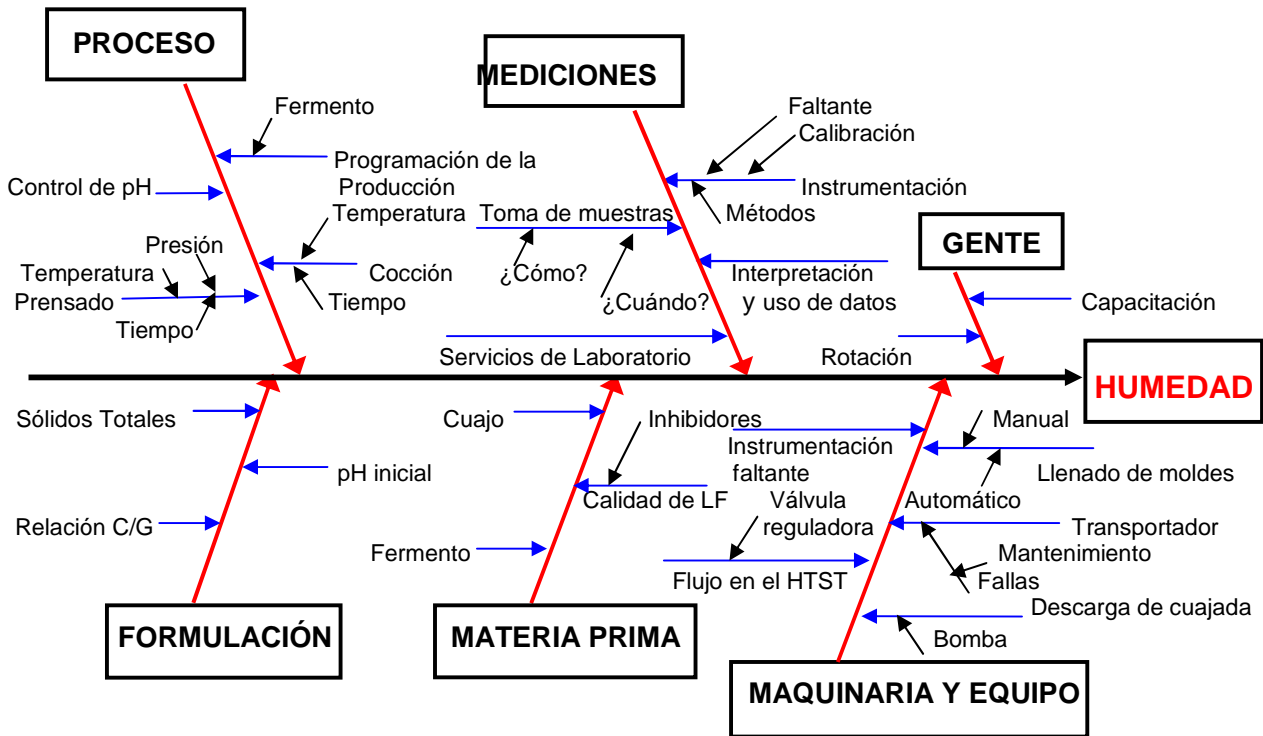
Hay un número significativo de herramientas de apoyo para el mejoramiento de procesos<sup>(4,23)</sup>, pero las principales son los Diagramas de Ishikawa y los Diagramas de Pareto. Los Diagramas de Ishikawa sirven para ayudarle al grupo a identificar las causas más probables por las que el proceso se salió de control y los Diagramas de Pareto sirven para ayudar a identificar cuáles son las más críticas.

Los Diagramas de Ishikawa muestran las relaciones principales entre atributos de calidad y los factores que los afectan directamente. Así, se conocen también por el nombre de Diagramas de Causa y Efecto. La Figura 12 muestra un ejemplo, acerca de cuáles son los principales factores que tienen influencia sobre el contenido de humedad en un queso. Como vemos, la estructura del diagrama es similar a la de un esqueleto de pescado, por lo que estos diagramas reciben también el nombre de Diagramas de Espinas de Pescado.

El procedimiento descrito abajo para construir y usar los Diagramas de Ishikawa con eficacia está basado en el que recomienda Kume<sup>(4)</sup>:

1. Determine el atributo de calidad afectado.
2. Escríbalo, de la forma más concreta posible, en el lado derecho de una hoja de papel; dibuje el esqueleto de pescado de izquierda a derecha y encierre el atributo en un cuadrángulo.
3. Identifique las causas probables más relevantes mediante el examen y discusión en grupos participativos. Escriba las causas primarias que afectan al atributo de calidad al extremo de las “espinas” grandes y enciérrelas en cuadrángulos.
4. Escriba las causas secundarias, aquellas que afectan a las primarias, como “espinas” de tamaño medio y escriba las causas terciarias que afectan a las “espinas” de tamaño medio como “espinas” pequeñas.
5. Siempre intente escoger atributos y causas que sean medibles. Cuando esto no sea posible, busque variables medibles indirectas que estén correlacionadas con las anteriores.
6. Identifique causas sobre las que sea posible actuar. El mejoramiento requiere acciones.
7. Mejore continuamente el Diagrama, a medida que lo va usando.
8. Registre cualquier información relevante (fecha, producto, participantes, proceso, etc.)
9. Recuerde que el Diagrama es particularmente útil cuando se usa en combinación con un Diagrama de Pareto.





**FIGURA 12.** Ejemplo de un Diagrama de Ishikawa.  
(Factores que afectan el contenido de humedad en un queso).

Los Diagramas de Pareto son gráficas de barras que describen la frecuencia de distintos tipos de problemas. Puesto que casi siempre hay más problemas que recursos y los problemas tienden a ser complejos, es importante concentrarnos en aquellos pocos cuya resolución tendrá el mayor impacto en el mejoramiento. Esta es la conocida regla del “80/20”; la mayoría de los problemas y de su costo provienen de un número relativamente pequeño de causas o, dicho de otra manera, una estrategia inteligente de resolución de problemas se basa en estudiar y atender aquellos pocos que son vitales y deja de momento a un lado los muchos que son relativamente triviales.

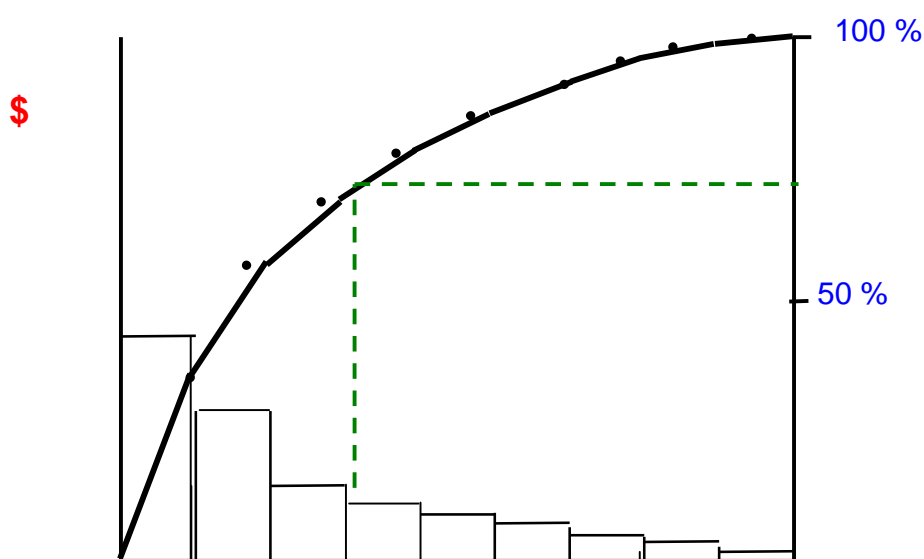
Una vez resueltos los vitales, se procede con el mismo criterio a resolver los demás, uno o dos a la vez, pero no todos a la vez. De nuevo, la siguiente recomendación acerca de cómo construir Diagramas de Pareto está basada en la que hace Kume<sup>(4)</sup>:

1. Decida cuáles problemas se van a investigar y cómo se van a recolectar los datos.
2. Diseñe una hoja de datos para llevar el conteo de los problemas, por categorías, con espacio para registrar subtotales y total.

3. Escriba los datos en la hoja y calcule los subtotales y el total.
4. Haga una lista de categorías, totales individuales, totales acumulativos, porcentajes del total global y porcentajes acumulativos.
5. Arregle las categorías en orden de cantidad, de mayor a menor. La categoría "otros", la acumulación de pequeños problemas que no representa un porcentaje considerable, se debe poner en la última línea.
6. Dibuje dos ejes verticales y un eje horizontal. El eje vertical izquierdo tendrá una escala que va de cero al total global; el eje vertical derecho tiene una escala que va del 0% al 100%. El eje horizontal se divide en tantos intervalos como número de categorías exista.
7. Haga un diagrama de barras.
8. Dibuje la curva acumulativa o Curva de Pareto, que une los puntos correspondientes a los valores acumulativos, situados sobre el lado derecho de las barras.
9. Escriba cualquier información relevante (categorías, cantidades, unidades, fecha, periodo estudiado, participantes, etc.)
10. Recuerde que el Diagrama es particularmente útil cuando se usa en combinación con el Diagrama de Ishikawa.

La Figura 13 muestra un ejemplo de un Diagrama de Pareto, en el que se han identificado nueve causas que contribuyen al costo de una cierta operación. En este ejemplo, tres de las nueve causas representan poco más del 70 % del costo.

Al hacer en grupo las investigaciones descritas arriba, es importante observar la problemática desde distintos puntos de vista. Por ejemplo, los "pocos vitales" en número no necesariamente son los "pocos vitales" en costo o en insatisfacción del cliente. Típicamente, el grupo debiera ver la problemática desde las perspectivas de cantidad, de costo monetario y de impacto en la satisfacción del cliente. La observación y estudio desde distintas perspectivas le permitirán al grupo tomar mejores decisiones para actuar. Finalmente, si encuentra problemas que se pueden resolver con facilidad, resuélvalos, aunque su importancia sea menor; de otra manera, se quedarán durante mucho tiempo en la categoría de "otros".



**FIGURA 13.** Un Diagrama de Pareto.

Como gerente, Usted no necesita ser un experto en el uso de todas las herramientas para poder comenzar a aprovecharlas. Como mencionamos anteriormente, la única manera de aprender a usarlas es usándolas. Identifique junto con la gente el proceso más importante que le interesa controlar y mejorar y comience por lo pronto a graficar los datos contra el tiempo y a observarlos. Sin embargo, es recomendable que cuente con la ayuda de una persona experimentada ya que tratándose de las cartas de control, por ejemplo, muchas veces no es obvio saber cuál carta usar (en ocasiones se puede usar más de una carta), cómo sub-agrupar los datos, o con qué frecuencia tomarlos.

### SINOPSIS

Controlar los procesos es indispensable para mejorar la calidad y la productividad, e implica disminuir la variación en los procesos. Por lo tanto, es muy importante saber qué es lo que nos está tratando de decir la variación. En este sentido, el valor de los datos está contenido en el orden en que ocurren en el tiempo. Por eso, es mucho mejor graficar los datos contra el tiempo, y observarlos permanentemente, que solamente almacenarlos en forma de tablas.

Hay dos tipos de causas de la variación: las causas comunes, que afectan a todos y que se deben al diseño del sistema y a la forma habitual de operarlo, y las causas especiales o asignables, que ocurren de vez en cuando y no necesariamente afectan a todos.

El mejoramiento implica trabajar sobre las causas comunes, haciendo cambios estructurales con el fin de disminuir la variación, y es ante todo responsabilidad de los gerentes, con la ayuda de los demás.

Identificar y corregir causas especiales de variación es indispensable, pero no es mejoramiento, sino resolución de problemas. Los principales responsables para esto son la gente en el proceso, con ayuda de sus jefes.

Las cartas de control de Shewhart son la principal herramienta para el control de procesos. Hay dos familias de cartas de control: las cartas para variables con valores continuos (datos basados en mediciones de variables) y las cartas para atributos con valores discretos (datos basados en conteo o clasificación de atributos).

Otras herramientas de apoyo son los Diagramas de Ishikawa o de Espina de Pescado, que se usan para estudiar los factores que afectan los atributos de calidad que nos interesa controlar y mejorar, y los Diagramas de Pareto, que se usan para establecer prioridades.

El uso de cartas de control y otras herramientas no es suficiente por sí mismo; es indispensable además que el medio ambiente laboral sea adecuado para que fructifiquen los esfuerzos. Se requiere compromiso, constancia de propósitos, disposición para trabajar y aprender juntos, y actuar sin temor. Mejorar procesos es una tarea de años.

## REFERENCIAS

1. Deming, W. Edwards. 1993. **The New Economics for Industry, Government, Education.** Capítulo 10. “*Some lessons in variation*”. Massachusetts Institute of Technology Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA, EUA.
2. Referencia 1. Capítulo 4. “*A System of Profound Knowledge*”.
3. Wheeler, Donald J. 1993. **UNDERSTANDING VARIATION. THE KEY TO MANAGING CHAOS.** *Introducción.* SPC Press, Knoxville, TN, EUA.
4. Kume, Hitoshi. 1985. **HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS BÁSICAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD.** *Prefacio.* (Edición en español impresa en 1994). Editorial Norma, Bogotá, Colombia.
5. Box, George y S. Bisgaard. 1987. “*The Scientific Context of Quality Improvement*”. Reporte No. 25. Center for Quality and Productivity Improvement. University of Wisconsin, Madison, WI, EUA.
6. Senge, Peter M. 1990. **THE FIFTH DISCIPLINE. The Art and Practice of the Learning Organization.** Parte 1. Capítulo 1. “*Give Me a Lever Enough...And Single-Handed I Can Move the World*”. Doubleday Currency, New York, NY, EUA.
7. Shewhart, Walter A. 1986. **STATISTICAL METHOD FROM THE VIEWPOINT OF QUALITY CONTROL. Edited and with a New Foreword by W. Edwards Deming.** (Reedición íntegra del trabajo publicado originalmente por la Escuela de Graduados, Departamento de Agricultura de EUA, Washington, D.C., en 1939). Dover Publications, Inc., Mineola, NY, EUA.
8. Nolan, Thomas W. y Lloyd P. Provost. 1990. “*Understanding Variation*”. Quality Progress, **XXIII** (5):70 -78.
9. Wheeler, Donald J. y David S. Chambers. 1992. **UNDERSTANDING STATISTICAL PROCESS CONTROL.** Capítulo 3. “*Shewhart’s Control Charts*”. SPC Press, Knoxville, TN, EUA.
10. Referencia 9. Apéndice “*Tablas*”.
11. Moen, Ronald D., Nolan, Thomas W. y Lloyd P. Provost. 1991. **IMPROVING QUALITY THROUGH PLANNED EXPERIMENTATION.** Capítulo 2. “*Control Charts*”. McGraw -Hill, Inc., New York, NY, EUA.
12. Referencia 4. Capítulo VII. “*Gráficas de Control*”.
13. Neave, Henry R. 1990. **THE DEMING DIMENSION.** Capítulo 4. “*Variation and the Control of Processes*”. SPC Press, Knoxville, TN, EUA.
14. Deming, W. Edwards. 1986. **OUT OF THE CRISIS.** Capítulo 11. “*Common Causes and Special Causes of Improvement. Stable System*”. Massachusetts Institute of Technology Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA, EUA.
15. Ackoff, Russell. 1995. En: “*La Visión Panorámica*”. Videocinta, volumen II de **MEJOR GERENCIA PARA UN MUNDO CAMBIANTE.** Producida y dirigida por Clare Crawford-Mason. CC-M Productions, Inc., Silver Spring, MD, EUA.

16. Referencia 14. *Prólogo*.
17. Referencia 14. Capítulo 7. "*Service Organizations*".
18. Tribus, Myron. 1994. "*La Transformación de Administración en Liderazgo. Nueve Eslabones de la Cadena*". Presentado en el seminario "Dirigiendo y Administrando la Organización como un Sistema". Centro de Productividad de Monterrey, A.C., Grupo Román, C.A. y Desarrollo y Comunicación Empresarial, S.A. de C.V. Octubre. Monterrey, México.
19. Referencia 1. Capítulo 7. "*The Red Beads*".
20. Referencia 9. Capítulo 10. "*Control Charts for Data Based on Counts*".
21. Delavigne, K.T. y J. D. Robertson. 1994. **DEMING'S PROFOUND CHANGES. When Will the Sleeping Giant Awaken?** Capítulo 4. "*Gaining New Knowledge*". PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, EUA.
22. Referencia 1. Capítulo 6. "*Management of People*".
23. Mizuno, Shigeru (Editor). 1988. **MANAGEMENT FOR QUALITY IMPROVEMENT. THE SEVEN NEW QC TOOLS**. Productivity Press, Cambridge, MA, EUA.