

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS-ABIERTOS

**CONTROL ESTADISTICO DE LA CALIDAD DE PROCESOS INDUSTRIALES  
MEDIANTE EL USO DE COMPUTADORA**

Del 30 de mayo al 13 de junio de 1994.

**DIRECTORIO DE PROFESORES**

1. Ing. Rubén Téllez Sánchez  
Prof. de la Subjefatura del área de  
Ingeniería de Sistemas  
DEPFI, UNAM  
Ciudad Universitaria  
04510 México, D.F.  
Tel. 550 52 15 Ext. 4482, 4486
  
2. M. en I. Rafael Brito Ramírez  
Director General  
BRIKA, S.A.C.V.  
Huasteca 169  
Col. Industrial  
Tel. 537 21 85
  
3. M. en I. Augusto Villareal Aranda  
Director de Operaciones  
Grupo Vea  
Av. Pacífico 213  
Col. Los Reyes  
04330 México, D.F.  
Tel. 544 28 89, 544 28 91
  
4. Dr. Octavio Rascón Chávez  
Av. Popocatepetl 506-B  
Col. Xoco  
03330 México, D.F.  
Tel. 688 97 52, 682 34 79

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS

**CONTROL ESTADISTICO DE LA CALIDAD DE PROCESOS INDUSTRIALES  
MEDIANTE EL USO DE COMPUTADORA**

Del 30 de mayo al 13 de junio de 1994  
**DIRECTORIO DE ASISTENTES**

1. Jesús Alvarez Medina  
Apaseo El Grande 3871  
Col. San Felipe de Jesús  
07510 México, D.F.  
Tel. 753 70 13
2. Martín Gudiño Irineo  
Paraiso 5  
Col. San Lucas Patoni  
54100 Tlalnepantla, Edo. de México  
Tel. 392 97 84
3. Ing. Javier León Cárdenas  
Jefe del área de física  
Universidad La Salle  
Benjamín Franklin 47  
Col. Condesa  
06140 Méxioc, D.F.  
Tel. 277 25 76
4. Abraham Eduardo Velázquez Guzmán  
Circuito interior 180  
Fracc. Izcalli, Ecatepec  
55030 Ecatepec de Morelos, Edo. de México  
Tel. 787 60 87
5. Ing. José Santos Velueta Cabrera  
Asesor de la Subdirección Técnica  
Com. Fed. de Electricidad  
Rodano 14 piso 6  
Col. Cuauhtémoc  
11590 México, D.F.  
Tel. 203 08 74
6. Ing. Isaac A. Venancio Pineda  
Gerente de Producción  
Niquex, S.A. C.V.  
Cellini 209  
Col. Alfonso XIII  
01460 México, D.F.  
Tel. 598 20 78

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS  
**CONTROL ESTADISTICOS DE CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE COMPUTADORA**  
Del 30 de Mayo al 13 de Junio de 1994.

| FECHA                   | HORARIO      | TEMA   | PROFESOR                      |
|-------------------------|--------------|--|-------------------------------|
| Lunes 30 y<br>Martes 31 | 17 a 21 hrs. | <p>Evolución, importancia, naturaleza y objetivos del control de calidad.<br/>Filosofía y metodología de E. Deming, J. Juaran y P. Grosby, el aseguramiento de calidad y el control estadístico de calidad.<br/>Papel de los métodos estadísticos en la administración del proceso productivo y la calidad.<br/>Como reunir datos, propósitos, obtención clasificación y análisis.<br/>Planillas de inspección e histogramas: Objetivo, construcción y usos.</p> | M. en I. Rubén Téllez Sánchez |
| Miércoles 1             | 17 a 21 hrs. | <p>Diagramas causas-efecto y de dispersión: Objetivos, construcción y aplicaciones.<br/>Análisis de pareto: concepto metodología y empleo, estratificación.<br/>Uso de métodos y gráficas.</p>   |                               |
| Jueves 2                | 17 a 21 hrs. | <p>Análisis de paquetes de computo para control de calidad.<br/>Aplicaciones con computadora</p>   | M. en I. Rafael Brito Ramírez |
| Viernes 3 y<br>Lunes 6  | 17 a 21 hrs. | <p>Conceptos de estadística y probabilidades<br/>Elaboración e interpretación de cartas de control de medias, rangos y desviaciones estándar. Habilidad, capacidad y estabilidad del proceso.</p>  | M. en I. Rubén Téllez Sánchez |
| Martes 7                | 17 a 21 hrs. | <p>Aplicaciones con computadora<br/>Elaboración e interpretación de cartas de control de número y proporciones de defectuosos, de números de defectos por unidad y por muestra y deméritos.</p>  | M. en I. Rafael Brito Ramírez |
| Miércoles 8             | 17 a 21 hrs. | <p>Habilidad, capacidad y estabilidad del proceso.<br/>Aplicaciones con computadora</p>  |                               |

| FECHA                    | HORARIO      | TEMA   | PROFESOR  |
|--------------------------|--------------|--|---|
| Jueves 9 y<br>Viernes 10 | 17 a 21 hrs. | Pruebas de hipótesis estadísticas<br>Que es el muestro de inspección<br>y cuándo es necesario<br>Calidad del lote y curvas caracte_rísticas de operación<br>Planes de muestreo, simple, doble,<br>múltiple, secuencial y para produc_ción continua, ajuste de planeas. | Dr. Octavio A. Rascón Chávez<br>M. en I. Augusto Villarreal<br>Aranda |
| Lunes 13                 | 17 a 21 hrs. | Aplicaciones con computadora.  | M. en I. Rafael Brito Ramírez   |



EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE



CURSO: CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE COMPUTADORA.

FECHA: Del 30 de mayo al 13 de junio de 1994.

|                              |                                    | DOMINIO DEL TEMA | EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES | MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION). | PUNTUALIDAD |  |
|------------------------------|------------------------------------|------------------|--|---|-------------|--|
| CONFERENCISTA                |                                    |                  |  |   |             |  |
| 1                            | M. en I. Rubén Téllez Sánchez      |                  |  |   |             |  |
| 2                            | M. en I. Rafael Brito Ramírez      |                  |  |   |             |  |
| 3                            | Dr. Octavio A. Rascón Chávez       |                  |  |   |             |  |
| 4                            | M. en I. Augusto Villarreal Aranda |                  |  |   |             |  |
|                              |                                    |                  |  |   |             |  |
|                              |                                    |                  |  |   |             |  |
|                              |                                    |                  |  |   |             |  |
|                              |                                    |                  |  |   |             |  |
|                              |                                    |                  |  |   |             |  |
|                              |                                    |                  |  |   |             |  |
| ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10 |                                    |                  |  |   |             |  |

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

**CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE COMPUTADORA.**

Del 30 de mayo al 13 de junio de 1994.

| T E M A                      |   | ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA  | GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA | GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA | UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA |
|------------------------------|---|---|---|---|----------------------------|
|                              | 1 | Evolución, importancia, naturaleza y objetivos del control de calidad, filosofía y metodología de E. Deming, J. Juaran y P. Crosby, el aseguramiento de calidad y el control estadístico de calidad. Papel de los métodos estadísticos en la administración del proceso productivo y la calidad. Como reunir datos, propósitos, obtención clasificación y análisis. Planillas de inspección e histogramas. Objetivo, construcción y usos. |   |   |                            |
|                              | 2 | Diagramas causas-efecto y de dispersión: Objetivos, construcción y aplicaciones, Análisis de Pareto; concepto metodología y empleo, estratificación. Uso de métodos y gráficas.   |   |   |                            |
|                              | 3 | Análisis de paquetes de computo para control de calidad. Aplicaciones con computadora.  |   |   |                            |
|                              | 4 | Conceptos de estadística y probabilidades, elaboración e interpretación de cartas de control de medias, rangos y desviaciones estándar, habilidad capacidad y estabilidad del proceso.  |   |   |                            |
|                              | 5 | Aplicaciones con computadora, elaboración e interpretación de cartas de control de número y proporciones de defectuosos, de números de defectos por unidad y por muestra y deméritos. Habilidad, capacidad y estabilidad del proceso.   |   |   |                            |
| ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10 |   |   |   |   |                            |

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.  
**CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE COMPUTADORA.**

Del 30 de mayo al 13 de junio de 1994.

| T E M A                      |  | ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA. | GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA | GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA | UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA |  |
|------------------------------|--|-------------------------------------|---|---|----------------------------|--|
| 6                            | Aplicaciones con computadora   |                                     |   |   |                            |  |
| 7                            | Pruebas de hipótesis estadísticas. Que es el muestreo de inspección y cuánto es necesario.   |                                     |   |   |                            |  |
|                              | Calidad del lote y curvas características de operación.<br>Planes de muestreo, simple, doble, múltiple, secuencial y para producción continua, ajuste de planes. |                                     |   |   |                            |  |
| 8                            | Aplicaciones con computadora.  |                                     |   |   |                            |  |
|                              |  |                                     |   |   |                            |  |
|                              |  |                                     |   |   |                            |  |
|                              |  |                                     |   |   |                            |  |
|                              |  |                                     |   |   |                            |  |
|                              |  |                                     |   |   |                            |  |
| ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10 |  |                                     |   |   |                            |  |

EVALUACION DEL CURSO

| C O N C E P T O  |   |  |
|------------------|---|--|
| 1.               | APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS |  |
| 2.               | CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS        |  |
| 3.               | GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL CURSO      |  |
| 4.               | CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO         |  |
| 5.               | CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO              |  |
| 6.               | CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CUSO                   |  |
| 7.               | GRADO DE MOTIVACION LOGRADO EN EL CURSO         |  |
| EVALUACION TOTAL |   |  |

ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10

1.- ¿Qué le pareció el ambiente en la División de Educación Continua?

MUY-AGRADABLE

AGRADABLE

DESAGRADABLE

2.- Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

PERIODICO EXCELSIOR  
ANUNCIO TITULADO DI  
VISION DE EDUCACION  
CONTINUA

PERIODICO NOVEDADES  
ANUNCIO TITULADO DI  
VISION DE EDUCACION  
CONTINUA

FOLLETO DEL CURSO

CARTEL MENSUAL

RADIO UNIVERSIDAD

COMUNICACION CARTA,  
TELEFONO, VERBAL, ETC.

REVISTAS TECNICAS

FOLLETO ANUAL

CARTELERA UNAM "LOS  
UNIVERSITARIOS HOY"

GACETA  
UNAM

3.- Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería

AUTOMOVIL  
PARTICULAR

OTRO MEDIO

4.- ¿Qué cambios haría en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

---

---

---

5.- ¿Recomendaría el curso a otras personas?

SI

NO

6.- ¿Qué periódico lee con mayor frecuencia?

---

---

7.- ¿Qué cursos le gustaría que ofreciera la División de Educación Continua?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

8.- La coordinación académica fué:

EXCELENTE

\_\_\_\_\_

BUENA

\_\_\_\_\_

REGULAR

\_\_\_\_\_

MALA

\_\_\_\_\_

9.- Si está interesado en tomar algún curso INTENSIVO ¿Cuál es el horario más conveniente para usted?

LUNES A VIERNES  
DE 9 a 13 H. Y  
DE 14 a 18 H.  
(CON COMIDA)

\_\_\_\_\_

LUNES A VIERNES  
DE 17 a 21 H.

\_\_\_\_\_

LUNES A MIERCOLES  
Y VIERNES DE  
18 a 21 H.

\_\_\_\_\_

MARTES Y JUEVES  
DE 18 A 21 H.

\_\_\_\_\_

VIERNES DE 17 a 21 H.  
SABADOS DE 9 a 14 H.

\_\_\_\_\_

VIERNES DE 17 A 21 H.  
SABADOS DE 9 a 13 H.  
DE 14 a 18 H.

\_\_\_\_\_

OTRO

\_\_\_\_\_

10.- ¿Qué servicios adicionales desearía que tuviere la División de Educación Continua, para los asistentes?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

11.- Otras sugerencias:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



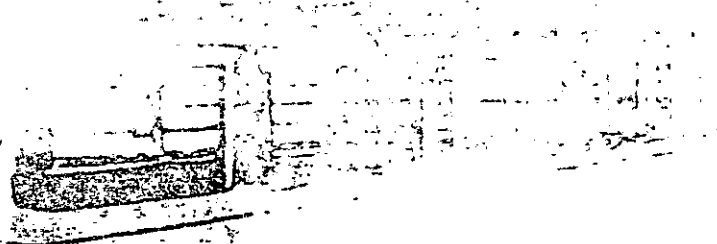


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

*CURSOS ABIERTOS*

*CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS  
INDUSTRIALES, MEDIANTE COMPUTADORA.*

*MUESTREO DE INSPECCION.*



*DR. OCTAVIO RASCON CHAVEZ  
M EN I. AUGUSTO VILLAREAL ARA*

*PALACIO DE MINERIA.*



## MUESTREO DE INSPECCION

Por: M en I Augusto Villarreal Aranda\*

### 1. Introducción

El muestreo de inspección (o de aceptación) se define como el conjunto de todas las acciones que realiza el receptor de producto terminado para asegurar la calidad de éste, después de recibirlo del productor.

Este tipo de muestreo puede ser aplicado por un consumidor a los productos que recibe de un vendedor, por un departamento de inspección de producto terminado a los productos recibidos de los departamentos de producción, etc., es decir, se aplica en aquellas ocasiones en que un número grande de unidades producidas se presenta para inspección en forma de lotes, y en donde la forma

\* Secretario Académico, División de Estudios Superiores, Facultad de Ingeniería, UNAM y Profesor Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

lógica de realizar esa tarea es mediante el empleo de la técnica que usa atributos (sirve, no sirve, o pasa, no pasa), con el fin de evitar la tan costosa y tardada inspección al 100%.

Generalmente, con la inspección de lote por lote del producto terminado, existe el acuerdo entre productor y receptor en que

- a. los lotes aceptados por el plan de muestreo que se emplee serán aceptados por el receptor como buenos a excepción de aquellas unidades detectadas como defectuosas en todos los lotes durante el proceso de muestreo, las cuales serán reemplazadas por unidades buenas por el productor.
- b. los lotes rechazados por el plan de muestreo le serán devueltos al productor para su rectificación.

Sin embargo, existen algunas variantes sobre el acuerdo mencionado. Por ejemplo, algunos receptores de producto terminado emplean la opción de inspeccionar al 100% los lotes rechazados para eliminar los elementos defectuosos, y trasladar el costo de esa operación al productor. Lo anterior se realiza con frecuencia cuando el receptor tiene urgencia de emplear las unidades que recibe del productor. En última instancia, el objetivo que se persigue es responsabilizar al productor por la deficiente calidad de un producto terminado.

Para determinar la calidad de un lote, es factible seleccionar una, dos o múltiples muestras aleatorias del mismo, lo cual

conduce a considerar planes de muestreo simples, dobles, o múltiples para aceptarlo o rechazarlo. La explicación de cómo y cuándo se emplean estos tipos de muestreo se discutirá en esta parte del curso.

## 2. Plan de muestreo simple

Cómo se dijo anteriormente, el muestreo de aceptación se aplica a las producciones en masa cuando un *productor* abastece de lotes de artículos a un *receptor*. En situaciones como ésta, se debe decidir individualmente sobre la aceptación o rechazo de cada lote.

En este caso particular, la decisión que se toma se basa en el resultado que se obtiene al inspeccionar una muestra de tamaño "n" que se toma de un lote de "N" artículos, de la cual se determina el número de defectuosos, "X", esto es, de artículos que no cumplen las especificaciones nominales (tamaño, color, resistencia, etc.)

Si el número "X" de artículos defectuosos en la muestra es menor o igual que un número especificado "c" menor que "n", se acepta el lote; si el número de defectuosos es mayor que "c", se rechaza. A "c" se le llama el número tolerable de artículos defectuosos o número de aceptación. Por lo tanto, las alternativas son

$X \leq c$  se acepta el lote

$X > c$  se rechaza el lote

Resulta evidente que el productor y el receptor deben quedar de acuerdo en cierto *plan de muestreo*, es decir, en cierto tamaño  $n$  de muestra y cierto número de aceptación  $c$ . Puesto que en este caso el acuerdo se basa en la extracción de una muestra aleatoria única del lote de  $N$  artículos, el plan de muestreo a emplearse se denomina *plan de muestreo simple*.

### 2.1 Probabilidad de aceptación de un lote

Supóngase que si  $X \leq c$  se acepta un lote, es decir, ocurre el evento  $A = \{\text{el número de artículos defectuosos en la muestra extraída del lote es menor o igual que el número de aceptación}\}$ . En este caso, la probabilidad de dicho evento no depende únicamente del tamaño  $n$  de la muestra y del número de aceptación  $c$ , sino también del número total de artículos defectuosos que se encuentran en el lote, " $M$ ". Si se supone además que el muestreo se realiza sin remplazo, la probabilidad de dicho evento es hipergeométrica, es decir

$$P(A) = P\{X \leq c\} = \sum_{x=0}^c \frac{\binom{M}{x} \binom{N-M}{n-x}}{\binom{N}{n}} \quad (2.1)$$

Si no hay artículos defectuosos en el lote, entonces  $M = 0$ , y el único valor posible que puede asumir  $X$  es también 0, por lo cual

$$P(A) = P\{X \leq c\} = \frac{\binom{0}{0} \binom{N}{n}}{\binom{N}{n}} = 1$$

Es decir, la probabilidad de aceptar un lote en el cual no hay elementos defectuosos es igual a la unidad.

Si todos los artículos en un lote son defectuosos, entonces  $M = N$ , y el valor de  $X$  debe ser igual a  $n$ , por lo que

$$P(A) = P(X \leq c) = P(\emptyset) = 0$$

en virtud de que la condición inicial es que  $c < n$ . Lo anterior indica que la probabilidad de aceptar un lote en el cual todos los artículos son defectuosos es nula.

Conviene hacer notar también que si se mantienen fijos el tamaño de la muestra y el número de aceptación al incrementarse el valor de  $M$ , el número de artículos defectuosos en un lote, decrece la probabilidad  $P(A)$  de aceptación de este último.

### Ejemplo 2.1

Considérese un plan de muestreo simple para el cual  $N = 10$ ,  $c = 0$  y  $n = 5$ . Obténganse los valores de  $P(A)$  cuando

a.  $M = 1$

b.  $M = 3$

### Solución

a. En este caso, la probabilidad de aceptación es

$$P(A) = P\{X = 0\} = \frac{C_0^1 C_{5-0}^{10-1}}{C_5^{10}} =$$

$$= \frac{\frac{1!}{0!(1-0)!} \cdot \frac{9!}{5!(9-5)}}{\frac{10!}{5!(10-5)!}} = \frac{\frac{9 \times 8 \times 7 \times 6}{4 \times 3 \times 2 \times 1}}{\frac{10 \times 9 \times 8 \times 7 \times 6}{5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1}} = 0.5$$

b. Para este caso, se obtiene

$$P(A) = P\{X \leq 0\} = P\{X = 0\} = \frac{C_0^3 C_{5-0}^{10-3}}{C_5^{10}} =$$

$$= \frac{\frac{3!}{0!(3-0)!} \cdot \frac{7!}{5!(7-5)!}}{\frac{10!}{5!(10-5)!}} = \frac{\frac{7 \times 6}{2 \times 1}}{\frac{10 \times 9 \times 8 \times 7 \times 6}{5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1}} = 0.0833$$

Lo anterior indica que un plan de muestreo simple para el cual se mantenga fijo el tamaño de la muestra, aun cuando se incremente el número de elementos defectuosos en los lotes, o el número total de elementos en estos últimos, proporciona buena protección en contra de la aceptación errónea de lotes malos.

## 2.2 Curva característica de operación

Dentro de un plan de muestreo simple, al considerar un número fijo de aceptación,  $c$ , y cuando se obtiene una muestra aleatoria de  $n$  artículos de un lote para saber si éste se acepta o no, es evidente que se desconoce el número total de artículos defectuosos,  $M$ , dentro del mismo. Para que este número se pudiera

conocer en forma precisa, se requeriría haber realizado una inspección al 100% en el lote, pero entonces no tendría caso el considerar un plan de muestreo simple.

Por lo anterior, para realizar el cálculo de la probabilidad de aceptación de un lote determinado cuando se desconoce el valor de M, se debe introducir una modificación dentro de la fórmula 2.1. Para ello, considérese que si se divide el número de elementos defectuosos entre el total de elementos para un lote de terminado, se obtiene la fracción de defectuosos

$$p = \frac{M}{N} \tag{2.2}$$

en el lote. Si p se multiplica por 100, se obtiene el porcentaje de elementos defectuosos en dicho lote.

Puesto que M puede tomar dentro de un lote de tamaño N cualquiera de los N + 1 valores 0, 1, 2, 3, ..., N-1, N, p puede asumir entonces los N + 1 valores, 1/N, 2/N, 3/N, ..., N-1/N, 1. Por lo tanto, la probabilidad de aceptación P (A) únicamente se puede definir para los valores mencionados de p.

Si en la ec 2.2 se despeja el valor de M, se obtiene

$$M = Np$$

en forma tal que la ec 2.1 se puede escribir como

$$P(A; p) = P\{X \leq c\} = \sum_{x=0}^c \frac{C_X^{Np} C_{n-X}^{N-Np}}{C_n^N} \quad (2.3)$$

siendo las probabilidades así obtenidas hipergeométricas.

Si se mantienen fijos los valores de  $n$  y  $c$ , se pueden graficar las probabilidades de aceptación de un lote en función de los valores de la fracción de elementos defectuosos en el mismo, es decir, de los valores de  $p$ . Dicha gráfica contendrá  $N + 1$  puntos, a través de los cuales se puede dibujar la llamada *curva característica de operación* (o curva CO) de un plan de muestreo simple.

### Ejemplo 2.2

La fábrica Z elabora cartuchos de dinamita, y los empaqueta en cajas de 20 unidades. El comprador W acepta cada caja únicamente si al extraer una muestra de dos cartuchos encuentra que ambos son buenos. Elaborar la curva característica de operación correspondiente.

### Solución

En este caso, se tiene que  $N = 20$ ,  $n = 2$  y  $c = 0$ . Por lo tanto, las probabilidades de aceptación son, empleando la ec

2.3

$$P(A; p) = P\{X \leq 0\} = \frac{C_0^{20p} C_{2-0}^{20-20p}}{C_2^{20}}$$



$$= \frac{20p!}{0!(20p-0)!} \frac{(20-20p)!}{2!(20-20p-2)!} = \frac{20!}{2!(20-2)!}$$

$$= \frac{20p!}{0!20p!} \frac{(20-20p)!}{2 \times 1 \times (18-20p)!} = \frac{18!(20-20p)!}{20!(18-20p)!} = \frac{20!}{2 \times 1 \times 18!}$$

$$= \frac{(20 - 20p)(19 - 20p)}{380}$$

Si se le asignan a  $p$  los 21 valores  $0, 1/20, 2/20, 3/20, \dots, 19/20, 1$ , se obtienen los correspondientes de  $P(A; p)$ . Por ejemplo, para  $p = 10/20 = 0.5$ , la probabilidad de aceptación es

$$P(A; 0.5) = \frac{[20 - 20(10/20)][19 - 20(10/20)]}{380} = \frac{(20 - 10)(19 - 10)}{380} = \frac{(10)(9)}{380} = \frac{90}{380} = 0.237$$

Siguiendo el procedimiento anterior, se obtienen los puntos siguientes:

| P            | P (A; p) |
|--------------|----------|
| 0/20 = 0.00  | 1.000    |
| 1/20 = 0.05  | 0.900    |
| 2/20 = 0.10  | 0.805    |
| 3/20 = 0.15  | 0.716    |
| 4/20 = 0.20  | 0.632    |
| 5/20 = 0.25  | 0.553    |
| 6/20 = 0.30  | 0.479    |
| 7/20 = 0.35  | 0.411    |
| 8/20 = 0.40  | 0.347    |
| 9/20 = 0.45  | 0.289    |
| 10/20 = 0.50 | 0.237    |
| 11/20 = 0.55 | 0.189    |
| 12/20 = 0.60 | 0.147    |
| 13/20 = 0.65 | 0.111    |
| 14/20 = 0.70 | 0.079    |
| 15/20 = 0.75 | 0.053    |
| 16/20 = 0.80 | 0.032    |
| 17/20 = 0.85 | 0.016    |
| 18/20 = 0.90 | 0.005    |
| 19/20 = 0.95 | 0.000    |
| 20/20 = 1.00 | 0.000    |

La curva característica de operación correspondientes es la que se hace pasar por los puntos anteriores, y se presenta en la Fig 2.1.

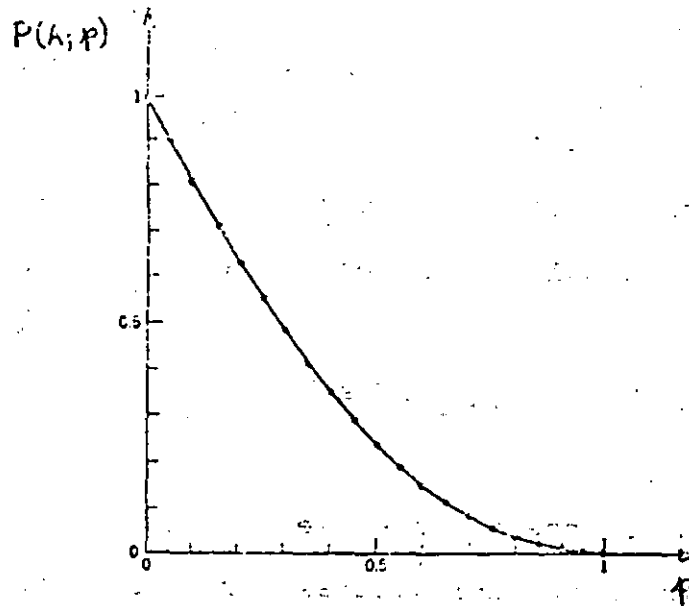


Fig 2.1 Curva CO para un plan de muestreo simple, con  $N = 20$ ,  $n = 2$  y  $c = 0$ .

En la Fig 2.1 se puede observar que a medida que se hace más grande la fracción de defectuosos en el lote (o el número de artículos defectuosos), la probabilidad de aceptación del mismo se va haciendo cada vez menor. Los casos extremos se dan en  $p = 0$ , en que la aceptación del lote es un evento seguro, y en  $p = 1$ , cuando es imposible aceptarlo.

### 2.3 Empleo de la aproximación binomial para construir la curva CO

En la mayor parte de los casos prácticos, el porcentaje de artículos defectuosos en un lote será pequeño (menor del 10%), en tanto que el tamaño del mismo será muy grande (1000 elementos, 10000 elementos, etc), y el de la muestra usualmente será varias veces menor, de tal manera que es posible aproximar las probabilidades dadas por la distribución hipergeométrica (ecs 2.1 y 2.3) empleando la distribución binomial. En particular, la aproximación es buena cuando  $N \leq 10 n$ . En estos casos, se puede escribir

$$P(A; p) = P\{X \leq c\} \doteq \sum_{x=0}^c C_x^n p^x (1-p)^{n-x} \quad (2.4)$$

Se debe observar que siempre se define a p como en la ec 2.2, y que serán mejor aproximadas por la ecuación anterior aquellas probabilidades de aceptación para las cuales el valor de p sea pequeño.

#### Ejemplo 2.3

En el caso del ejemplo 2.2 anterior, aproxímense las probabilidades de aceptación hipergeométricas para los distintos valores de p mediante la distribución binomial.

#### Solución

En este caso sí es posible realizar la aproximación pedida, ya que se verifica la condición  $N \geq 10n$ , porque siendo  $N = 20$  y  $n = 2$  se tiene que  $20 \geq 10(2)$ . Por ejemplo, para  $p = 0.2$ , la

aproximación binomial dada por la ec 2.4 conduce al valor

$$P(A; 0.2) = P\{X \leq 0\} = C_0^2 (0.2)^0 (1-0.2)^{2-0}$$

$$= \frac{2!}{0!(2-0)!} (0.8)^2 = 0.640$$

en contra del valor exacto 0.632 obtenido mediante la ec 2.3.

Procediendo en forma similar se calculan los restantes valores de  $P(A; p)$ , los cuales se presentan de 0.1 en 0.1 en la tabla siguiente, junto con los anteriormente obtenidos en el ejemplo 2.2 para fines de comparación.

| P    | Hipergeométrica<br>$P(A; p)$ | Binomial<br>$P(A; p)$ |
|------|------------------------------|-----------------------|
| 0.00 | 1.000                        | 1.000                 |
| 0.10 | 0.805                        | 0.810                 |
| 0.20 | 0.632                        | 0.640                 |
| 0.30 | 0.479                        | 0.490                 |
| 0.40 | 0.347                        | 0.360                 |
| 0.50 | 0.237                        | 0.250                 |
| 0.60 | 0.147                        | 0.160                 |
| 0.70 | 0.079                        | 0.090                 |
| 0.80 | 0.032                        | 0.040                 |
| 0.90 | 0.005                        | 0.010                 |
| 1.00 | 0.000                        | 0.000                 |

En la tabla se puede observar que las probabilidades de aceptación se aproximan bastante más a las exactas cuando el valor de  $p$  se encuentra en la vecindad de  $p = 0.10$ .

#### 2.4 Empleo de la aproximación de Poisson para construir la curva CO

Como ya se vio, la distribución hipergeométrica se puede aproximar adecuadamente mediante la binomial cuando  $N \geq 10$  y  $p \leq 0.1$ . A su vez, la distribución binomial puede aproximarse suficientemente bien mediante la de Poisson cuando se cumple lo anterior y  $np$  es menor de 15, lo cual evita en ocasiones la gran cantidad de labor numérica que se requiere para calcular las probabilidades de aceptación mediante las distribuciones hipergeométrica y binomial.

Entonces, si se hace  $\lambda = np$  para la distribución de Poisson, se puede escribir

$$P(A; p) = P\{X \leq c\} = e^{-np} \sum_{x=0}^c \frac{(np)^x}{x!}$$

La aproximación anterior es muy útil cuando los lotes son grandes, ya que como se puede apreciar, la ec 2.4 no requiere del manejo de dicho dato para el cálculo de las probabilidades de aceptación que se emplean para construir la curva CO.

## Ejemplo 2.4

Obténanse los valores de  $P(A; p)$  para  $p = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5$  y  $1.0$  en el caso del plan de muestreo simple del ejemplo 2.2, aproximando mediante la distribución de Poisson.

## Solución

Se sabe que  $n = 2$  y  $c = 0$ , por lo que

$$np = 2(0) = 0; \quad P(A; 0) = \frac{e^{-0} 0^0}{0!} = 1$$

$$np = 2(0.1) = 0.2; \quad P(A; 0.1) = \frac{e^{-0.2} 0.2^0}{0!} = 0.818$$

$$np = 2(0.2) = 0.4; \quad P(A; 0.2) = \frac{e^{-0.4} 0.4^0}{0!} = 0.670$$

$$np = 2(0.3) = 0.6; \quad P(A; 0.3) = \frac{e^{-0.6} 0.6^0}{0!} = 0.549$$

$$np = 2(0.5) = 1.0; \quad P(A; 0.5) = \frac{e^{-1.0} 1.0^0}{0!} = 0.367$$

$$np = 2(1.0) = 2.0; \quad P(A; 1.0) = \frac{e^{-2.0} 2.0^0}{0!} = 0.135$$

En la siguiente tabla se comparan los valores hipergeométricos exactos con los obtenidos mediante las aproximaciones binomial y de Poisson.

| p   | P (A;p)<br>Hipergeométrica | P (A; p)<br>Binomial | P (A;p)<br>Poisson |
|-----|----------------------------|----------------------|--------------------|
| 0   | 1.000                      | 1.000                | 1.000              |
| 0.1 | 0.805                      | 0.810                | 0.818              |
| 0.2 | 0.632                      | 0.640                | 0.670              |
| 0.3 | 0.479                      | 0.490                | 0.549              |
| 0.5 | 0.237                      | 0.250                | 0.367              |
| 1.0 | 0.000                      | 0.000                | 0.135              |

Como se puede observar en la tabla anterior, las probabilidades de aceptación calculadas con la fórmula de Poisson difieren bastante de las exactas y de las binomiales cuando p no se encuentra cercano al valor 0.1. Sin embargo, hay que considerar que en el problema anterior los tamaños del lote y la muestra son bastante pequeños, por lo que la aproximación de Poisson no puede ser muy buena.

De hecho, la forma práctica para construir las curvas CO se fundamenta en el método aproximado de Poisson, considerando que los lotes que entrega el productor son muy grandes, y haciendo uso de la tabla 2.1 que se presenta adelante, en la cual se proporcionan, en función del número de aceptación c y del valor  $\lambda = np$ , las probabilidades de aceptación

$$P(A; p) = P\{X \leq c\} = e^{-np} \sum_{x=0}^c \frac{(np)^x}{x!}$$

multiplicadas por mil.



TABLA 2.1

TERMINOS ACUMULATIVOS DE LA APROXIMACION  
DE POISSON A BINOMIAL

| $\frac{c}{np}$ | 0    | 1    | 2    | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | $\frac{c}{np}$ |
|----------------|------|------|------|---|---|---|---|---|---|----------------|
| 0.02           | 950  | 1000 |      |   |   |   |   |   |   | 0.02           |
| 0.04           | 981  | 995  | 1000 |   |   |   |   |   |   | 0.04           |
| 0.06           | 993  | 997  | 1000 |   |   |   |   |   |   | 0.06           |
| 0.08           | 997  | 998  | 1000 |   |   |   |   |   |   | 0.08           |
| 0.10           | 998  | 999  | 1000 |   |   |   |   |   |   | 0.10           |
| 0.15           | 999  | 1000 |      |   |   |   |   |   |   | 0.15           |
| 0.20           | 1000 |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.20           |
| 0.25           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.25           |
| 0.30           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.30           |
| 0.35           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.35           |
| 0.40           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.40           |
| 0.45           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.45           |
| 0.50           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.50           |
| 0.55           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.55           |
| 0.60           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.60           |
| 0.65           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.65           |
| 0.70           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.70           |
| 0.75           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.75           |
| 0.80           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.80           |
| 0.90           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 0.90           |
| 1.00           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.00           |
| 1.10           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.10           |
| 1.20           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.20           |
| 1.30           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.30           |
| 1.40           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.40           |
| 1.50           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.50           |
| 1.60           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.60           |
| 1.70           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.70           |
| 1.80           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.80           |
| 1.90           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 1.90           |
| 2.00           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.00           |
| 2.10           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.10           |
| 2.20           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.20           |
| 2.30           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.30           |
| 2.40           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.40           |
| 2.50           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.50           |
| 2.60           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.60           |
| 2.70           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.70           |
| 2.80           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.80           |
| 2.90           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 2.90           |
| 3.00           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.00           |
| 3.10           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.10           |
| 3.20           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.20           |
| 3.30           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.30           |
| 3.40           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.40           |
| 3.50           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.50           |
| 3.60           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.60           |
| 3.70           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.70           |
| 3.80           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.80           |
| 3.90           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 3.90           |
| 4.00           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.00           |
| 4.10           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.10           |
| 4.20           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.20           |
| 4.30           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.30           |
| 4.40           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.40           |
| 4.50           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.50           |
| 4.60           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.60           |
| 4.70           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.70           |
| 4.80           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.80           |
| 4.90           |      |      |      |   |   |   |   |   |   | 4.90           |

| $\frac{c}{np}$ | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | $\frac{c}{np}$ |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|
| 5.00           | 007 | 040 | 123 | 265 | 440 | 616 | 762 | 867 | 932 | 5.00           |
| 5.10           | 006 | 037 | 116 | 251 | 423 | 598 | 747 | 856 | 925 | 5.10           |
| 5.20           | 006 | 034 | 109 | 238 | 406 | 581 | 732 | 845 | 918 | 5.20           |
| 5.30           | 005 | 031 | 102 | 225 | 390 | 563 | 717 | 833 | 911 | 5.30           |
| 5.40           | 004 | 029 | 095 | 213 | 373 | 546 | 702 | 822 | 903 | 5.40           |
| 5.50           | 004 | 027 | 088 | 202 | 358 | 529 | 686 | 809 | 894 | 5.50           |
| 5.60           | 004 | 024 | 082 | 191 | 342 | 512 | 672 | 797 | 886 | 5.60           |
| 5.70           | 003 | 022 | 077 | 180 | 327 | 495 | 658 | 784 | 877 | 5.70           |
| 5.80           | 003 | 021 | 072 | 170 | 315 | 476 | 638 | 771 | 867 | 5.80           |
| 5.90           | 003 | 019 | 067 | 160 | 299 | 462 | 622 | 753 | 851 | 5.90           |
| 6.00           | 002 | 017 | 062 | 151 | 285 | 446 | 606 | 744 | 847 | 6.00           |
| 6.10           | 002 | 016 | 058 | 143 | 272 | 430 | 590 | 730 | 837 | 6.10           |
| 6.20           | 002 | 015 | 054 | 134 | 259 | 414 | 574 | 716 | 826 | 6.20           |
| 6.30           | 002 | 013 | 050 | 126 | 247 | 399 | 558 | 702 | 815 | 6.30           |
| 6.40           | 002 | 012 | 046 | 119 | 233 | 381 | 542 | 687 | 803 | 6.40           |
| 6.50           | 002 | 011 | 043 | 112 | 224 | 369 | 527 | 673 | 792 | 6.50           |
| 6.60           | 001 | 010 | 040 | 105 | 213 | 355 | 511 | 658 | 780 | 6.60           |
| 6.70           | 001 | 009 | 037 | 099 | 202 | 341 | 493 | 643 | 767 | 6.70           |
| 6.80           | 001 | 009 | 034 | 093 | 192 | 327 | 476 | 628 | 755 | 6.80           |
| 6.90           | 001 | 008 | 032 | 087 | 182 | 314 | 463 | 614 | 742 | 6.90           |
| 7.00           | 001 | 007 | 030 | 082 | 173 | 301 | 450 | 599 | 729 | 7.00           |
| 7.10           | 001 | 006 | 025 | 072 | 156 | 276 | 420 | 569 | 703 | 7.10           |
| 7.20           | 001 | 005 | 022 | 063 | 140 | 253 | 392 | 539 | 676 | 7.20           |
| 7.30           | 000 | 004 | 019 | 055 | 125 | 231 | 365 | 512 | 648 | 7.30           |
| 7.40           | 000 | 004 | 016 | 048 | 112 | 210 | 338 | 481 | 620 | 7.40           |
| 7.50           | 000 | 003 | 014 | 042 | 100 | 191 | 313 | 453 | 593 | 7.50           |
| 7.60           | 000 | 003 | 012 | 037 | 089 | 174 | 290 | 425 | 565 | 7.60           |
| 7.70           | 000 | 002 | 010 | 032 | 077 | 157 | 267 | 399 | 537 | 7.70           |
| 7.80           | 000 | 002 | 009 | 028 | 072 | 142 | 246 | 373 | 509 | 7.80           |
| 7.90           | 000 | 001 | 007 | 024 | 062 | 123 | 226 | 348 | 482 | 7.90           |
| 8.00           | 000 | 001 | 006 | 021 | 055 | 116 | 207 | 324 | 456 | 8.00           |
| 8.10           | 000 | 001 | 005 | 018 | 049 | 104 | 189 | 301 | 430 | 8.10           |
| 8.20           | 000 | 001 | 005 | 016 | 043 | 093 | 173 | 279 | 404 | 8.20           |
| 8.30           | 000 | 001 | 004 | 014 | 037 | 081 | 157 | 258 | 380 | 8.30           |
| 8.40           | 000 | 001 | 003 | 012 | 033 | 075 | 143 | 239 | 356 | 8.40           |
| 8.50           | 000 | 001 | 003 | 010 | 029 | 067 | 130 | 220 | 333 | 8.50           |
| 8.60           | 000 | 000 | 002 | 009 | 025 | 060 | 118 | 203 | 311 | 8.60           |
| 8.70           | 000 | 000 | 002 | 008 | 023 | 053 | 107 | 186 | 290 | 8.70           |
| 8.80           | 000 | 000 | 002 | 007 | 020 | 045 | 097 | 171 | 269 | 8.80           |
| 8.90           | 000 | 000 | 001 | 006 | 017 | 042 | 087 | 157 | 250 | 8.90           |
| 9.00           | 000 | 000 | 001 | 005 | 015 | 037 | 079 | 143 | 232 | 9.00           |
| 9.10           | 000 | 000 | 001 | 004 | 013 | 033 | 071 | 131 | 215 | 9.10           |
| 9.20           | 000 | 000 | 001 | 004 | 012 | 029 | 064 | 119 | 198 | 9.20           |
| 9.30           | 000 | 000 | 001 | 003 | 010 | 026 | 057 | 108 | 183 | 9.30           |
| 9.40           | 000 | 000 | 001 | 003 | 009 | 023 | 051 | 099 | 169 | 9.40           |
| 9.50           | 000 | 000 | 001 | 002 | 008 | 020 | 046 | 093 | 155 | 9.50           |
| 9.60           | 000 | 000 | 000 | 002 | 007 | 018 | 041 | 081 | 143 | 9.60           |
| 9.70           | 000 | 000 | 000 | 002 | 006 | 016 | 037 | 073 | 131 | 9.70           |
| 9.80           | 000 | 000 | 000 | 001 | 005 | 014 | 033 | 066 | 120 | 9.80           |
| 9.90           | 000 | 000 | 000 | 001 | 004 | 012 | 029 | 060 | 109 | 9.90           |
| 10.00          | 000 | 000 | 000 | 001 | 004 | 011 | 026 | 054 | 100 | 10.00          |
| 10.10          | 000 | 000 | 000 | 001 | 003 | 009 | 023 | 049 | 091 | 10.10          |
| 10.20          | 000 | 000 | 000 | 001 | 003 | 008 | 020 | 044 | 083 | 10.20          |
| 10.30          | 000 | 000 | 000 | 001 | 002 | 007 | 017 | 039 | 075 | 10.30          |
| 10.40          | 000 | 000 | 000 | 001 | 002 | 006 | 016 | 035 | 068 | 10.40          |
| 10.50          | 000 | 000 | 000 | 000 | 002 | 005 | 014 | 032 | 062 | 10.50          |
| 10.60          | 000 | 000 | 000 | 000 | 002 | 005 | 013 | 028 | 056 | 10.60          |
| 10.70          | 000 | 000 | 000 | 000 | 001 | 004 | 011 | 025 | 051 | 10.70          |
| 10.80          | 000 | 000 | 000 | 000 | 001 | 004 | 010 | 023 | 048 | 10.80          |
| 10.90          | 000 | 000 | 000 | 000 | 001 | 003 | 009 | 020 | 042 | 10.90          |
| 11.00          | 000 | 000 | 000 | 000 | 001 | 003 | 008 | 018 | 037 | 11.00          |

A continuación se presenta un ejemplo práctico de construcción de una curva CO mediante el método descrito, haciendo uso de la tabla 2.1.

### Ejemplo 2.5

Supóngase que un receptor de producto terminado adopta el plan de muestreo simple siguiente:

- a. Recibe lotes de ciertos artículos con 1000 unidades c/u.
- b. Extrae de cada lote una muestra aleatoria de 20 artículos.
- c. Si la muestra extraída contiene dos o más artículos defectuosos, rechaza el lote. De no ser así, lo acepta.

Constrúyase la curva CO correspondiente.

### Solución

Puesto que el tamaño de los lotes es grande, se pueden aproximar adecuadamente las probabilidades de aceptación mediante la distribución de Poisson. Para ello, se considera en la práctica que con los valores

$$P(A; p) = 0.98, 0.95, 0.70, 0.50, 0.20, 0.10, 0.05, 0.02$$

se puede definir suficientemente bien la curva CO.

Para construir la curva del plan de muestreo simple indicado, considérese que  $c = 1$  y  $n = 20$ . En la columna para la cual  $c = 1$  en la tabla 2.1, se puede ver que el valor más cercano a 980 (0.98 de probabilidad) es 982. Para dicho valor, el correspondiente de  $np$  es 0.2, siendo por lo tanto  $p = \frac{np}{n} = \frac{0.2}{20} = 0.01$ .

El valor más cercano a 950 (0.95 de probabilidad) es en la tabla el 951. Para este valor,  $np = 0.35$  y  $p = \frac{0.35}{20} = 0.0175$ .

Siguiendo el procedimiento anterior, se llega a

| P (A;p) | np    | p      |
|---------|-------|--------|
| 1.000   | 0.00  | 0.000  |
| 0.982   | 0.20  | 0.010  |
| 0.951   | 0.35  | 0.0175 |
| 0.699   | 1.10  | 0.055  |
| 0.493   | 1.70  | 0.085  |
| 0.199   | 3.00  | 0.150  |
| 0.099   | 3.90  | 0.195  |
| 0.052   | 4.70  | 0.235  |
| 0.021   | 5.80  | 0.290  |
| 0.000   | 20.00 | 1.000  |

En la Fig 2.2 siguiente se presenta la curva caracterís-  
tica de operación correspondiente al problema.

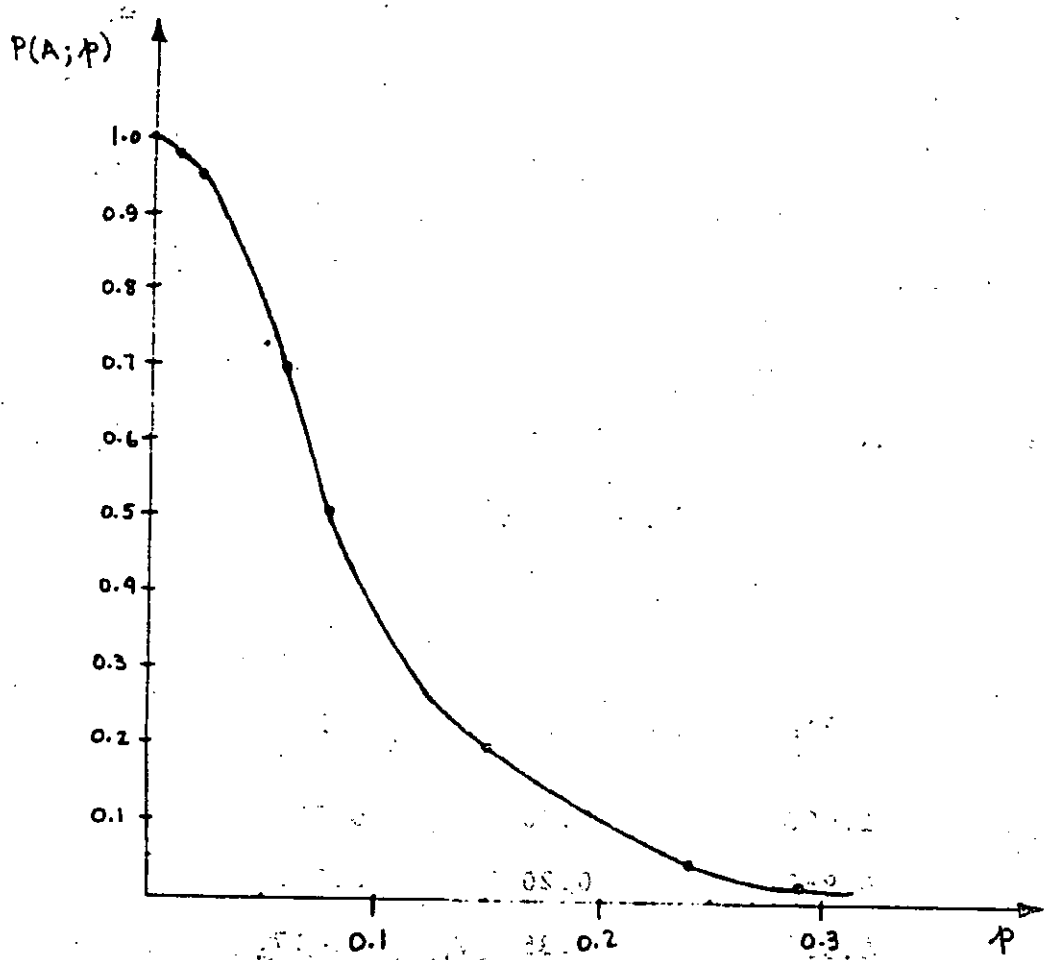


Fig 2.2 Curva característica de  
operación para plan de  
muestreo simple con lote  
grande,  $c = 1$  y  $n = 20$ .

## 2.5 Riesgos en el muestreo de aceptación

Al realizarse los muestreos de aceptación, el productor y el receptor de lotes de artículos tienen intereses distintos al definir un plan de muestreo. El productor puede pedir que la probabilidad,  $\alpha$ , de rechazar un lote "bueno" o "aceptable" sea pequeña. Por su parte, el receptor puede exigir que la probabilidad de aceptar un lote "malo" o "no aceptable" sea una cantidad pequeña  $\beta$ .

Para cumplir con ambos compromisos, supóngase que productor y receptor deciden que un lote para el cual  $p$  es menor o igual que cierto número  $p_0$  es un lote aceptable, en tanto que un lote para el que  $p$  es mayor o igual que cierto número  $p_1$  ( $p_1 > p_0$ ) es un lote no aceptable, es decir:

Si  $p \leq p_0$  lote aceptable

Si  $p > p_1$  lote no aceptable

De acuerdo con lo anterior,  $\alpha$  es la probabilidad de rechazar un lote con  $p \leq p_0$  y se llama riesgo del productor, correspondiendo al error de tipo I que se comete al probar una hipótesis estadística. Por otra parte,  $\beta$  es la probabilidad de aceptar un lote con  $p > p_1$ , se llama riesgo del receptor, y corresponde al error de tipo II que se comete al realizar una prueba de hipótesis.

A  $p_0$  se le acostumbra llamar *nivel de calidad aceptable* (NCA), y a  $p_1$  *nivel de calidad rechazable* (NCR), o *porcentaje de defectuosos tolerable en un lote* (PDTL). A un lote con  $p_0 < p < p_1$  se le llama *lote indiferente*.

En la práctica es usual que el acuerdo entre productor y receptor establezca lo siguiente

$$\alpha = \text{Riesgo del productor} \approx 1 - P(A; p)_{0.95} = 0.05$$

$$\beta = \text{Riesgo del receptor} \approx P(A; p)_{0.10} = 0.10$$

**Ejemplo 2.6**

Para un plan de muestreo simple en el que  $n = 300$  y  $c = 5$ , obténganse los valores de  $p_0$  y  $p_1$ .

**Solución**

Empleando la tabla 2... y considerando los valores  $P(A; p)$  que definen adecuadamente a la curva  $CO$ , se obtiene:

... un lote con  $p_0$  y  $p_1$  se llama *lote aceptable* y *lote rechazable* respectivamente. El error de tipo I que se comete al procesar un lote con  $p_0$  es  $\alpha$  y el error de tipo II que se comete al procesar un lote con  $p_1$  es  $\beta$ . Por otra parte,  $\beta$  es la probabilidad de que un lote con  $p_1$  se llame *lote aceptable* y  $\alpha$  es la probabilidad de que un lote con  $p_0$  se llame *lote rechazable*.

| P (A;p) | np     | P      |
|---------|--------|--------|
| 1.000   | 0.00   | 0.0000 |
| 0.980   | 2.10   | 0.0070 |
| 0.951   | 2.60   | 0.0087 |
| 0.703   | 4.50   | 0.0150 |
| 0.495   | 5.70   | 0.0190 |
| 0.210   | 7.80   | 0.0260 |
| 0.104   | 9.20   | 0.0307 |
| 0.048   | 10.60  | 0.0353 |
| 0.020   | 12.00  | 0.0400 |
| 0.000   | 300.00 | 1.0000 |

De acuerdo con la tabla, se tiene que

$$\alpha = 1 - P(A; p)_{0.951} = 0.0499 ; p_0 = 0.0087$$

$$\beta = P(A; p)_{0.104} = 0.104 ; p_1 = 0.0307$$

En la Fig 2.3 que se presenta a continuación, se muestra la curva CO del plan simple en cuestión, así como los valores del NCA y del NCR.

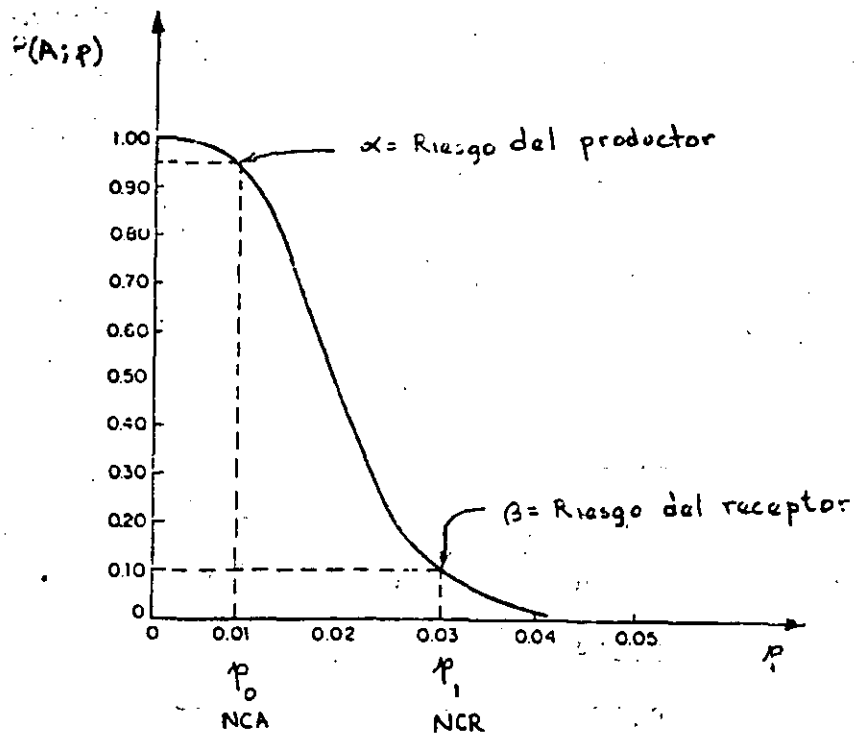


Fig 2.3 Curva CO para plan de muestreo simple con  $n = 300$  y  $c = 5$ .

## 2.6 Cálculo de $n$ y $c$ a partir de $p_0$ , $p_1$ , $\alpha$ y $\beta$ .

Al observar la Fig 2.3 se puede concluir que los puntos  $(p_0, 1 - \alpha)$  y  $(p_1, \beta)$  se localizan en la curva CO. Tomando ello en cuenta, existe un método iterativo aproximado para determinar los valores de  $n$  y  $c$ , considerando conocidos los de  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ , de manera que la curva CO pase muy cerca de los puntos mencionados. Dicho procedimiento se expondrá en el ejemplo que sigue, haciendo uso de la tabla 2.1.



### Ejemplo 2.7

Para cierto plan de muestreo simple, se fijan los riesgos siguientes:

- a. Productor: Aquellos lotes que contengan un 1% de artículos defectuosos se rechazarán en el 5% de los casos.
- b. Receptor: Los lotes que contengan un 6% de artículos defectuosos se aceptarán en el 10% del total de casos.

¿Cuáles son los valores del tamaño de la muestra y del número de aceptación que se deben emplear para dicho plan?

#### Solución

De acuerdo con los datos del problema, se desprende que

$$\alpha = 0.05 \quad ; \quad p_0 = 0.01$$

$$\beta = 0.10 \quad ; \quad p_1 = 0.06$$

- a. Se considera  $c = 0$ , con lo cual, de la tabla 2.1,

$$np_0 \text{ (para } \alpha = 0.05 \text{ o } P(A; 0.01) = 0.95) \doteq 0.05$$

$$np_1 \text{ (para } \beta = 0.10) = 2.30$$

Entonces

$$n_{\alpha} = \frac{np_0}{p_0} = \frac{0.05}{0.01} = 5$$

$$n_{\beta} = \frac{np_1}{p_1} = \frac{2.30}{0.06} = 38$$

Obviamente, se debe verificar que  $n_{\alpha} = n_{\beta}$ ; no siendo este el caso, se hace ahora  $c = 1$ .

- b. Se considera  $c = 1$ , obteniéndose ahora de la tabla 2.1 lo siguiente

$$np_0 \text{ (para } \alpha = 0.05) = 0.35$$

$$np_1 \text{ (para } \beta = 0.10) = 3.90$$

Por lo tanto

$$n_{\alpha} = \frac{0.35}{0.01} = 35$$

$$n_{\beta} = \frac{3.90}{0.06} = 65$$

Tampoco se verifica que  $n_{\alpha} = n_{\beta}$ ; por lo tanto, se hace

$c = 2$ .

c. Se considera  $c = 2$ , y

$$np_0 \text{ (para } \alpha = 0.05) \doteq 0.82$$

$$np_1 \text{ (para } \beta = 0.10) \doteq 5.32$$

Ahora, se tiene que

$$n_\alpha = \frac{0.82}{0.01} = 82$$

$$n_\beta = \frac{5.30}{0.06} = 88$$

Ahora  $n_\alpha$  y  $n_\beta$  se parecen bastante, pero aún no son iguales. Por lo tanto, se hace  $c = 3$  para saber si la diferencia se hace más pequeña.

d. Se considera  $c = 3$ , y se obtiene

$$np_0 \text{ (para } \alpha = 0.05) \doteq 1.37$$

$$np_1 \text{ (para } \beta = 0.10) \doteq 6.68$$

Luego

$$n_{\alpha} = \frac{1.37}{0.01} = 137$$

$$n_{\beta} = \frac{6.68}{0.06} = 112$$

Se observa que ahora la diferencia se hace más grande, por lo que el valor real de  $n$  se debe encontrar entre 82 y 88 elementos para  $c = 2$ . Con el fin de ajustar adecuadamente el valor de  $n$ , se puede hacer

$$n = \frac{n_{\alpha} + n_{\beta}}{2} = \frac{82 + 88}{2} = 85$$

Por lo tanto, el plan de muestreo simple es el siguiente

$$\alpha = 0.05 \quad ; \quad \beta = 0.10$$

$$p_0 = 0.01 \quad ; \quad p_1 = 0.06$$

$$n = 85 \quad ; \quad c = 2$$

cuya curva CO se muestra en la Fig 2.4.

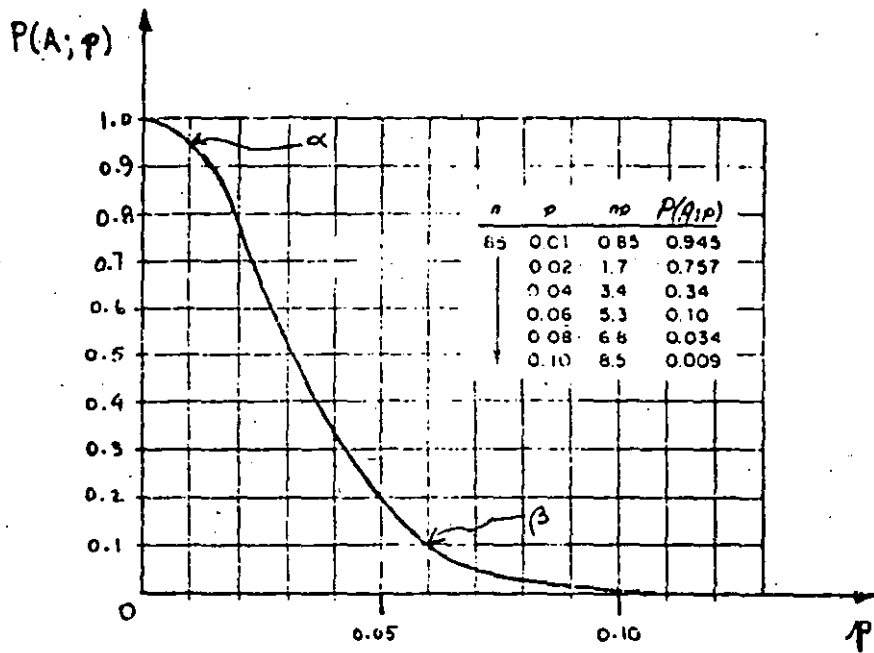


Fig 2.4 Curva CO ajustada para  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $p_0$  y  $p_1$  conocidos.

## 2.7 Comentarios sobre la curva CO

Al comparar las curvas CO de las Figs 2.3 y 2.4, se puede observar que, no obstante el número más grande de artículos defectuosos que permite en la muestra el plan de muestreo asociado a la curva CO de la Fig 2.3, se trata de un mejor plan de aceptación de lotes, en el sentido de que proporciona riesgos más favorables al receptor.

En efecto, ambos planes consideran  $\alpha = 0.05$ ,  $\beta = 0.10$  y  $p_0 \approx 0.01$ , pero el plan de la Fig 2.4 aceptará lotes con 6% de defectuosos ( $p_1 \approx 0.06$ ) en el 10% del total de casos, en tanto que el de la Fig 2.3 aceptará lotes con 3% de defectuosos ( $p_1 \approx 0.03$ )

en el mismo número de casos.

En muchas ocasiones no se comprende con claridad el porqué de un número de aceptación mayor de cero en los planes de muestreo. Si se observa la Fig 2.5, se puede apreciar que las curvas CO (a), (b) y (c) corresponden a planes de muestreo que evitan los artículos defectuosos en la muestra ( $c = 0$ ), pero que tienen riesgos de productor y receptor distintos. Los planes de las curvas CO (d) y (e) consideran 4 y 7 defectuosos en la muestra, respectivamente.

Se observa que las curvas CO con  $c = 0$  se caracterizan por patrones cóncavos, en tanto que aquellas con  $c \neq 0$  semejan curvas S invertidas.

Los planes de muestreo con  $c = 0$  usualmente penalizan más al productor. Asimismo, aquellos planes en que  $c$  es mayor de cero proporcionan riesgos más favorables al productor o al receptor, y en muchos casos a ambos.

Se puede afirmar que el riesgo para el receptor se hace más pequeño conforme se incrementa el tamaño de la muestra, en tanto que el riesgo para el productor decrece conforme se permiten uno o más artículos defectuosos en la misma. Esto se puede aclarar si se observan los riesgos en las curvas (c) y (d) de la Fig 2.5.

Las curvas (d) y (e) consideran esencialmente el mismo riesgo para el productor (NCA  $\approx 0.01$  en  $\alpha = 0.05$ ), pero la (e) conside-

ra un tamaño de muestra mayor, por lo que el receptor corre un riesgo menor. La curva (f) corresponde a la curva ideal CO, ya que ese plan de muestreo acepta todos los lotes con uno por ciento o menos de artículos defectuosos, y rechaza todos los lotes que contengan más del 1% de defectuosos. Dicha curva obviamente no se puede obtener con las técnicas usuales de muestreo de aceptación.

Lo anterior indica que un plan de muestreo simple será más efectivo en tanto su curva CO correspondiente se asemeje más a la curva ideal de operación.

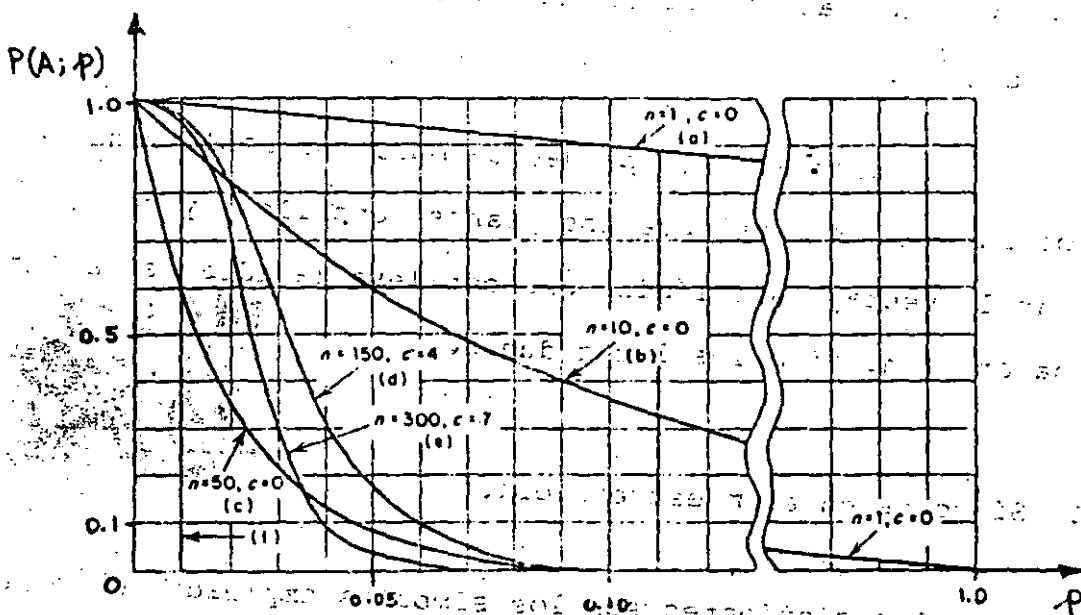


Fig 2.5 Distintos planes de muestreo con  $c = 0$  y  $c \neq 0$ .

### 3. Plan de muestreo doble

Un plan de muestreo simple requiere que se tome una decisión sobre la aceptación o rechazo de un lote tomando como base la evidencia de una muestra extraída del mismo.

Sin embargo, un plan de muestreo doble implica la posibilidad de posponer la decisión sobre la aceptación o rechazo de un lote hasta que una segunda muestra haya sido extraída. Dicho lote podrá ser aceptado inmediatamente si la primera muestra es muy buena, o rechazado enseguida si la primera muestra es bastante mala. Si la primera muestra no es ni muy buena ni muy mala, la decisión se basa en la evidencia de la primera y segunda muestras combinadas.

En general, los planes de muestreo doble conducen a menos inspección total que los planes sencillos, y también proporcionan la ventaja psicológica que conlleva la idea de dar una segunda oportunidad a los lotes dudosos.

#### 3.1 Símbolos en el muestreo doble

Los siguientes son los símbolos empleados en conexión con el muestreo doble:



- $N$  = tamaño del lote  
 $n_1$  = tamaño de la primera muestra  
 $c_1$  = número de aceptación para la primera muestra  
 $n_2$  = tamaño de la segunda muestra  
 $n_1 + n_2$  = tamaño de la muestra combinada  
 $c_2$  = número de aceptación para la muestra combinada

### 3.2 Interpretación del plan de muestreo doble

Considérese un plan de muestreo doble para el cual se fijan los valores de  $N$ ,  $n_1$ ,  $c_1$ ,  $n_2$  y  $c_2$  ( $c_2 > c_1$ ). La interpretación del proceso que se realiza con dicho plan es la siguiente:

- Se inspecciona una primera muestra de tamaño  $n_1$  extraída del lote de tamaño  $N$ .
- Se acepta el lote si la muestra anterior contiene  $c_1$  o menos artículos defectuosos.
- Se rechaza el lote si el número de defectuosos en la muestra excede el valor  $c_2$ .
- Si la primera muestra contiene  $c_1 + 1$ ,  $c_1 + 2$ , etc. o  $c_2$  artículos defectuosos, se extrae e inspecciona una segunda con  $n_2$  elementos.

- e. Se acepta el lote sobre la base de la muestra combinada con  $n_1 + n_2$  elementos si dicha muestra contiene  $c_2$  artículos defectuosos o menos.
- f. Se rechaza el lote si la muestra combinada contiene más de  $c_2$  defectuosos.

### 3.2 Curva CO de un plan de muestreo doble

De acuerdo con lo que se ha explicado, existen cuatro posibilidades de que se acepte o se rechace un lote sometido para muestreo doble. Dichas posibilidades son

- a. Aceptación después de la primera muestra.
- b. Rechazo después de la primera muestra.
- c. Aceptación después de la segunda muestra.
- d. Rechazo después de la segunda muestra.

Tomando como base lo anterior, se explicará a través del ejemplo siguiente la forma como se construye la curva CO para el plan de muestreo doble.

#### Ejemplo 3.1

Considérese el plan de muestreo doble para el cual el tamaño del lote es muy grande,  $n_1 = 50$ ,  $c_1 = 1$ ,  $n_2 = 100$  y  $c_2 = 3$ .

Constrúyase la curva CO correspondiente.

### Solución

Para determinar los puntos de la curva CO, es necesario calcular las probabilidades de que si se toma una segunda muestra el lote sea aceptado, para distintos valores de  $p$ . Para ilustrar lo anterior considérese inicialmente el valor  $p = 0.02$ .

Entonces, un lote puede ser aceptado según el plan anterior en cualquiera de las formas siguientes:

- a. un defectuoso o menos en la primera muestra
- b. dos defectuosos en la primera muestra, seguido de cero o un defectuoso en la segunda muestra
- c. tres defectuosos en la primera muestra, seguidos de cero defectuosos en la segunda muestra.

La probabilidad de aceptar un lote es entonces igual a la suma de las probabilidades de estos diferentes modos por los cuales puede ser aceptado.

Inicialmente, se deben calcular las probabilidades de tener uno o menos, dos o menos y tres o menos defectuosos en la primera muestra. Lo anterior equivale a considerar un plan de muestreo simple para el cual  $n_1 = 50$  y  $c = 1, 2, 3$ . A continua-

Entonces se deben calcular las probabilidades de tener exactamente dos y tres defectuosos en la primera muestra.

Entonces, con  $n_1 p = 50(0.02) = 1.00$ , se obtiene, empleando la tabla 2.1 y siendo  $X$  el número de elementos defectuosos

$$P\{X \leq 1\}_1 = 0.736 \quad c = 1 \quad n_1 p = 1.00$$

$$P\{X \leq 2\}_1 = 0.920 \quad c = 2 \quad n_1 p = 1.00$$

$$P\{X \leq 3\}_1 = 0.981 \quad c = 3 \quad n_1 p = 1.00$$

$$P\{X = 2\}_1 = P\{X \leq 2\}_1 - P\{X \leq 1\}_1 = 0.920 - 0.736 = 0.184$$

$$P\{X = 3\}_1 = P\{X \leq 3\}_1 - P\{X \leq 2\}_1 = 0.981 - 0.920 = 0.061$$

El subíndice fuera de la llave indica que la probabilidad del evento se calcula con base en la primera muestra.

Ahora bien, si en la primera muestra hay dos defectuosos, los cálculos relacionados con la segunda muestra deberán basarse en  $n_2 p = 100(0.02) = 2$ . El tomar la segunda muestra e inspeccionarla equivale, para efectos de los cálculos, a considerar un nuevo plan de muestreo simple para el resto del lote con número de aceptación igual a 1, ya que este elemento, sumado a los dos defectuosos considerados, permite la aceptación del lote.

Por lo tanto,

$$P\{X \leq 1\}_2 = 0.406 \quad c = 1, \quad n_2 p = 2$$

Si en la primera muestra hay tres defectuosos, los cálculos para la segunda muestra se deben basar en  $n_2 p = 100(0.02)$  y un número de aceptación igual a cero, es decir

$$P\{X \leq 0\}_2 = 0.135 \quad c = 0, \quad n_2 p = 2$$

La probabilidad de aceptación es, empleando el concepto de independencia de eventos, la suma de las probabilidades siguientes:

$$P\{\text{un defectuoso o menos en la primera muestra}\} = P\{X \leq 1\}_1 = 0.736$$

$$\begin{aligned} + P\{\text{dos defectuosos en la primera muestra, seguidos de cero o un defectuoso en la segunda}\} &= P\{X = 2\}_1 P\{X \leq 1\}_2 = (0.184)(0.406) = \\ &= 0.075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + P\{\text{tres defectuosos en la primera muestra, seguidos de cero defectuosos en la segunda}\} &= P\{X = 3\}_1 P\{X \leq 0\}_2 = (0.061)(0.135) = \\ &= 0.008 \end{aligned}$$

Entonces,

$$P \{A; 0.02\} = 0.736 + 0.075 + 0.008 = 0.819$$

es decir, el punto (0.02, 0.819) se encuentra sobre la curva CO del plan de muestreo doble.

En la forma descrita anteriormente, se pueden calcular también los puntos restantes para definir la curva CO, quedando finalmente

| P (A; p) | P     |
|----------|-------|
| 0.98     | 0.012 |
| 0.95     | 0.015 |
| 0.82     | 0.020 |
| 0.70     | 0.027 |
| 0.50     | 0.037 |
| 0.20     | 0.065 |
| 0.10     | 0.080 |
| 0.05     | 0.100 |
| 0.02     | 0.136 |

La gráfica de la curva CO correspondiente al plan de muestreo doble propuesto se presenta en la Fig 3.1

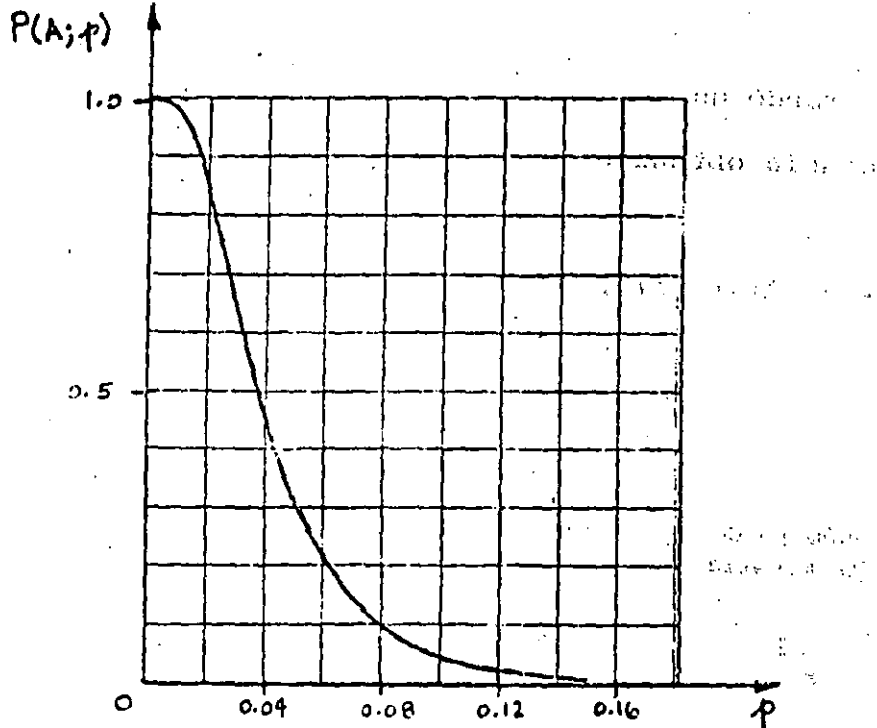


Fig 3.1 Curva CO para plan de muestreo doble con  $n_1 = 50$ ,  $c_1 = 1$ ,  $n_2 = 100$ ,  $c_2 = 3$ .

#### 4. Plan de muestreo múltiple

De la misma manera que los planes de muestreo doble pueden diferir la decisión sobre la aceptación o rechazo de un lote hasta que haya sido tomada una segunda muestra, otros planes pueden permitir la extracción de cierto número de muestras antes de que una decisión sea tomada.

Los planes de muestreo múltiple son usados cuando se permite la extracción de tres o más muestras de un tamaño preestablecido, y cuando la decisión sobre la aceptación o rechazo de un lote se debe tomar después de la séptima muestra extraída, consi-

de modo que no es permitida la aceptación de ese lote con la evidencia obtenida de la primera muestra.

### 4.1 Interpretación de un plan de muestreo múltiple

Considérese el siguiente plan de muestreo múltiple:

| Número de la muestra | Tamaño de la muestra individual | Tamaño de la muestra combinada | Número de aceptación, c | Número de rechazo, r |
|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1                    | 20                              | 20                             | -                       | 2                    |
| 2                    | 20                              | 40                             | 0                       | 3                    |
| 3                    | 20                              | 60                             | 1                       | 3                    |
| 4                    | 20                              | 80                             | 2                       | 4                    |
| 5                    | 20                              | 100                            | 2                       | 4                    |
| 6                    | 20                              | 120                            | 2                       | 4                    |
| 7                    | 20                              | 140                            | 3                       | 4                    |

La forma de interpretar el plan anterior es la siguiente:

- a. Se extrae e inspecciona una muestra de 20 elementos. Si dos o más son defectuosos, se rechaza el lote; si hay uno o cero defectuosos, se extrae e inspecciona una segunda muestra de 20 elementos. (La aceptación del lote no se permite con la primera muestra.)
- b. Si en la muestra combinada (20+20=40), no hay ningún defectuoso, se acepta el lote; si 1, 2 o 3 o más artículos son defectuosos se rechaza. De encontrarse uno o dos defectuosos, se toma una tercera muestra de 20 elementos.



- c. Si en la muestra combinada ( $40 + 20 = 60$ ) hay un defectuoso, se acepta el lote; si 3 o más artículos son defectuosos, se rechaza. De encontrarse dos defectuosos, se toma una cuarta muestra de 20 elementos.
- d. Si en la muestra combinada ( $60 + 20 = 80$ ) hay dos defectuosos, se acepta el lote; si 4 o más son defectuosos, se rechaza. De encontrarse tres defectuosos, se toma una quinta muestra de 20 elementos.
- g. Si en la muestra combinada ( $120 + 20 = 140$ ) hay tres defectuosos, se acepta el lote. Si hay cuatro defectuosos o más, se rechaza.

#### 4.2 Curva CO de un plan de muestreo múltiple

La curva característica de operación de un plan de muestreo múltiple se puede obtener siguiendo un procedimiento semejante al empleado en el caso del muestreo doble, haciendo uso de probabilidades condicionales y suponiendo la descomposición del plan múltiple en varios planes sencillos. Desde luego, el cálculo de las probabilidades de aceptación es bastante más complejo, pero el razonamiento es básicamente el mismo.

A continuación, se describirá mediante un ejemplo el procedimiento para la construcción de la curva Co.

#### Ejemplo 4.1

Considérese el plan de muestreo múltiple descrito anteriormente, y constrúyase la curva Co correspondiente, suponiendo un lote de tamaño grande.

#### Solución

Los siguientes cálculos corresponden a un solo punto de la curva, para el cual  $p = 0.02$ . Cada una de las muestras contiene 20 artículos, por lo que para cada una de ellas se tendrá  $np = 20(0.02) = 0.4$ . Entrando con este valor a la tabla 2.1, y considerando que  $X$  denota el número de artículos defectuosos, se obtienen, también para cada muestra, las probabilidades incondicionales siguientes:

$$P_0 = P\{X = 0\} = P\{X \leq 0\} = 0.670$$

$$P_1 = P\{X = 1\} = P\{X \leq 1\} - P\{X \leq 0\} = 0.938 - 0.670 = 0.268$$

$$P_2 = P\{X = 2\} = P\{X \leq 2\} - P\{X \leq 1\} = 0.992 - 0.938 = 0.054$$

tomando en cuenta que A = aceptación, R = rechazo y CM = continúa muestreo, se hace enseguida el análisis muestra por muestra para obtener la probabilidad  $P(A; 0.02)$ .

a. Muestra 1 (M1)

número de aceptación =  $c = 0$  (no hay)

número de rechazo =  $r = 2$

0 def M1  $\Rightarrow P_0 = 0.670 \Rightarrow$  CM (0 def)

1 def M1  $\Rightarrow P_1 = 0.268 \Rightarrow$  CM (1 def)

2 def M1  $\Rightarrow R$  (2 def)

Probabilidad de aceptación = 0.000

b. Muestra 2 (M2)

$c = 0$

$r = 3$

0 def M1, 0 def M2  $\Rightarrow P_{00} = (0.670)(0.670) = 0.449 \Rightarrow$  A (0 def)

0 def M1, 1 def M2  $\Rightarrow P_{01} = (0.670)(0.268) = 0.1795 \Rightarrow$  CM (1 def)

0 def M1, 2 def M2  $\Rightarrow P_{02} = (0.670)(0.054) = 0.0362 \Rightarrow$  CM (2 def)

0 def M1, 3 def M2  $\Rightarrow R$  (3 def)

1 def M1, 0 def M2  $\Rightarrow P_{10} = (0.268)(0.670) = 0.1795 \Rightarrow$  CM (1 def)

1 def M1, 1 def M2  $\Rightarrow P_{11} = (0.268)(0.268) = 0.0718 \Rightarrow$  CM (2 def)

1 def M1, 2 def M2  $\Rightarrow R$  (3 def)

Probabilidad de aceptación = 0.449

Nuevos valores:

$$P_1 = P \{ \text{un defectuoso en M2} \} = 0.1795 + 0.1795 = 0.359$$

$$P_2 = P \{ \text{dos defectuosos en M2} \} = 0.0362 + 0.0718 = 0.108$$

c. Muestra 3 (M3)

$$c = 1$$

$$r = 3$$

$$1 \text{ def M2, } 0 \text{ def M3} \Rightarrow P_{10} = (0.359)(0.670) = 0.2405 \Rightarrow A \text{ (1 def)}$$

$$1 \text{ def M2, } 1 \text{ def M3} \Rightarrow P_{11} = (0.359)(0.268) = 0.0962 \Rightarrow CM \text{ (2 def)}$$

$$1 \text{ def M2, } 2 \text{ def M3} \Rightarrow \Rightarrow R \text{ (3 def)}$$

$$2 \text{ def M2, } 0 \text{ def M3} \Rightarrow P_{20} = (0.108)(0.670) = 0.0723 \Rightarrow CM \text{ (2 def)}$$

$$2 \text{ def M2, } 1 \text{ def M3} \Rightarrow \Rightarrow P \text{ (3 def)}$$

Probabilidad de aceptación = 0.2405

Nuevo valor:

$$P_2 = P \{ \text{dos defectuosos en M3} \} = 0.0962 + 0.0723 = 0.1685$$

d. Muestra 4 (M4)

$$2 \text{ def M3, } 0 \text{ def M4} \Rightarrow P_{20} = (0.1685)(0.670) = 0.1129 \Rightarrow P \text{ (2 def)}$$

$$2 \text{ def M3, } 1 \text{ def M4} \Rightarrow P_{21} = (0.1685)(0.268) = 0.0452 \Rightarrow CM \text{ (3 def)}$$

$$2 \text{ def M3, } 2 \text{ def M4} \Rightarrow \Rightarrow R \text{ (4 def)}$$

Probabilidad de aceptación = 0.1129

Nuevo Valor:

$$P_3 = P \{3 \text{ defectuosos en M4}\} = 0.0451$$

e. Muestra 5 (M5)

$$c = 2$$

$$r = 4$$

3 def M4, 0 def M5  $\Rightarrow P_{30} = (0.0451)(0.670) = 0.0302 \Rightarrow$  CM (3 def)

3 def M4, 1 def M5  $\Rightarrow \Rightarrow$  R (4 def)

Probabilidad de aceptación = 0.000

Nuevo valor:

$$P_3 = P \{3 \text{ defectuosos en M5}\} = 0.0302$$

f. Muestra 6 (M6)

$$c = 2$$

$$r = 4$$

3 def M5, 0 def M6  $\Rightarrow P_{30} = (0.0302)(0.670) = 0.0202 \Rightarrow$  CM (3 def)

3 def M5, 1 def M6  $\Rightarrow \Rightarrow$  R (4 def)

Probabilidad de aceptación = 0.900

Nuevo valor

$$P_3 = P \text{ (tres defectuosos en M6)} = 0.0202$$

g. Muestra 7 (M7)

$$c =$$

$$r = 4$$

$$3 \text{ def M6, } 0 \text{ def M7} \Rightarrow P_{30} = (0.0202)(0.670) = 0.0135 \Rightarrow a \text{ (3 def)}$$

$$3 \text{ def M6, } 1 \text{ def M7} \Rightarrow \dots \Rightarrow b \text{ (4 def)}$$

Probabilidad de aceptación = 0.0135

De acuerdo con lo anterior, la probabilidad de aceptación de un lote, sujeto al plan de muestreo múltiple propuesto con  $p = 0.02$ , es

$$P(A; 0.02) = 0.449 + 0.2405 + 0.1129 + 0.0135 = 0.8159$$

Siguiendo el método descrito, se pueden calcular los valores de las probabilidades de aceptación para distintos valores de  $p$ , con los cuales se definen los puntos necesarios para construir la curva característica de operación correspondiente, que se presenta en la Fig 4.1.

Fine de la muestra...  
Dr. Bob...  
Dr. Bob...

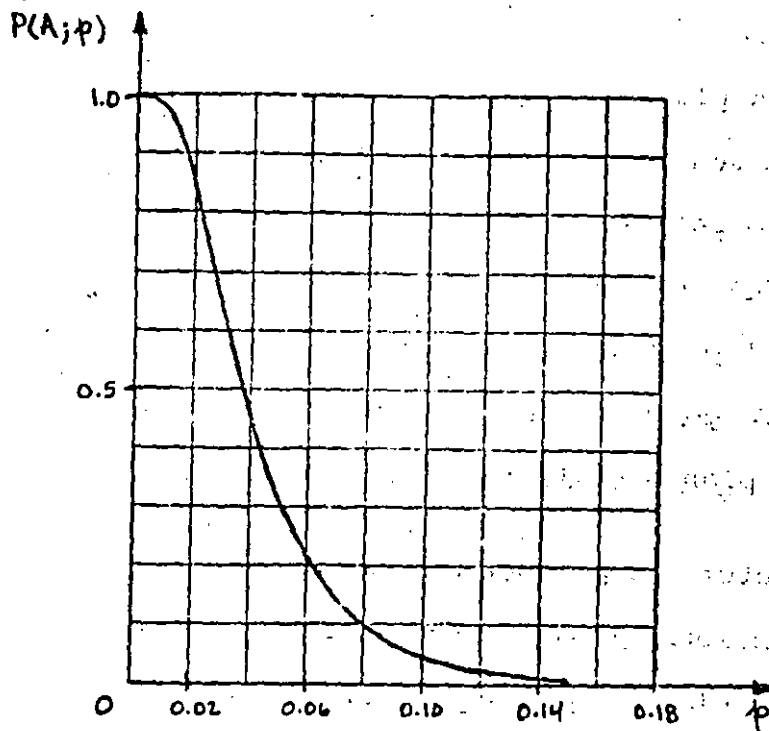


Fig 4.1 Curva CO para un plan de muestreo múltiple.

### 5. Ventajas y desventajas de los planes de muestreo simples, dobles y múltiples

En general, los tres esquemas de muestreo de aceptación que se han presentado se pueden ajustar para proporcionar a lotes con valores de  $p$  determinados prácticamente la misma probabilidad de ser aceptados; es decir, si se desea, se puede lograr que las curvas características de operación para los planes simples, dobles y múltiples sean muy parecidas.

No obstante lo anterior, puede suceder que un plan de muestreo de aceptación que ha dado buen resultado para un productor

o producto, resulte no tan efectivo para otros. La efectividad de los distintos planes de muestreo expuestos se puede juzgar si se analizan las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, en términos de cuatro factores importantes: El número medio de artículos inspeccionados, el costo de administración del plan, la aceptación por parte del producto, y la información sobre calidad de los lotes obtenida a largo plazo. En la tabla 5.1 se compara la efectividad de los tres planes estudiados.

Los factores mencionados en la tabla 5.1 deben ser considerados al seleccionar un plan de muestreo. Por ejemplo, en aquellos casos en que el costo de inspección de cada artículo es elevado, la reducción en el número de artículos inspeccionados puede justificar el empleo del muestreo múltiple no obstante su gran complejidad y elevado costo de administración.

Por otro lado, el muestreo simple puede ser el adecuado si el costo de entrenamiento de personal es muy apreciable. Finalmente, si el problema es de acuerdo entre receptor y productor del plan a emplear, posiblemente la solución sea el muestreo doble, ya que es psicológicamente bien aceptado por ambas partes.



TABLA 5.1

COMPARACION ENTRE LOS PLANES DE  
MUESTREO SIMPLE, DOBLE Y MULTIPLE

| Factor  | Plan simple (PS)       | Plan doble (PD)            | Plan múltiple (PM)                  |
|---|------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Número medio de artículos inspeccionados                            | El más grande de todos | De 5 a 40% menos que en PS | Aproximadamente 25% menos que en PD |
| Costos de administración (entrenamiento, registros, personal, etc.) | El más bajo de todos   | Mayor que el de PS         | El más alto de todos                |
| Aceptación por parte del productor                                  | Regular                | Adecuada                   | Poca                                |
| Información a largo plazo sobre calidad de los lotes                | La mayor               | Menos que en PS            | La menor                            |

Ejemplo 3.1 (con  $p = 0.02$ )

a. Muestra 1 (M1)

$$c = 1$$

$$r = 4$$

$$np = 50(0.02) = 1.0 ; P_0 = 0.368 ; P_1 = 0.368 ; P_2 = 0.184 ; P_3 = 0.061$$

|          |                           |                          |
|----------|---------------------------|--------------------------|
| 0 def M1 | $\Rightarrow P_0 = 0.368$ | $\Rightarrow A$ (0 def)  |
| 1 def M1 | $\Rightarrow P_1 = 0.368$ | $\Rightarrow A$ (1 def)  |
| 2 def M1 | $\Rightarrow P_2 = 0.184$ | $\Rightarrow CM$ (2 def) |
| 3 def M1 | $\Rightarrow P_3 = 0.061$ | $\Rightarrow CM$ (3 def) |
| 4 def M1 | $\Rightarrow$             | $\Rightarrow R$ (4 def)  |

Probabilidad de aceptación = 0.736

b. Muestra 2 (M2)

$$c = 3$$

$$r = 4$$

$$np = 100(0.02) = 2 ; P_0 = 0.135 ; P_1 = 0.271 ; P_2 = 0.271 ; P_3 = 0.323$$

|                    |   |                         |
|--------------------|---|-------------------------|
| 2 def M1, 0 def M2 | $\Rightarrow P_{2,0} = (0.184)(0.135) = 0.0248$ | $\Rightarrow A$ (2 def) |
| 2 def M1, 1 def M2 | $\Rightarrow P_{2,1} = (0.184)(0.271) = 0.0498$ | $\Rightarrow A$ (3 def) |
| 2 def M1, 2 def M2 | $\Rightarrow$                                   | $\Rightarrow R$ (4 def) |
| 3 def M1, 0 def M2 | $\Rightarrow P_{3,0} = (0.061)(0.135) = 0.0082$ | $\Rightarrow A$ (3 def) |
| 3 def M1, 1 def M2 | $\Rightarrow$                                   | $\Rightarrow R$ (4 def) |

Probabilidad de aceptación = 0.819

$$\therefore P(A; 0.02) = 0.736 + 0.0833 = 0.8193 \approx 0.819$$

TABLA K. LETRAS CLAVE PARA EL TAMAÑO DE MUESTRAS  
—MIL-STD-105 (ESTÁNDAR ABC)

| Tamaño del lote<br>o partida | Niveles de inspección<br>generales |    |     |
|------------------------------|------------------------------------|----|-----|
|                              | I                                  | II | III |
| 2-8                          | A                                  | A  | B   |
| 9-15                         | A                                  | B  | C   |
| 16-25                        | B                                  | C  | D   |
| 26-50                        | C                                  | D  | E   |
| 51-90                        | C                                  | E  | F   |
| 91-150                       | D                                  | F  | G   |
| 151-280                      | E                                  | G  | H   |
| 281-500                      | F                                  | H  | J   |
| 501-1 200                    | G                                  | J  | K   |
| 1 201-3 200                  | H                                  | K  | L   |
| 3 201-10 000                 | J                                  | L  | M   |
| 10 001-35 000                | K                                  | M  | N   |
| 35 001-150 000               | L                                  | N  | P   |
| 150 001-500 000              | M                                  | P  | Q   |
| 500 001 y más.               | N                                  | Q  | R   |

TABLA L. TABLA MAESTRA PARA INSPECCION NORMAL (MUESTREO SENCILLO)—MIL-STD-105D (ESTÁNDAR AUC)

| Letra clave para el tamaño de la muestra | Tamaño de la muestra | Niveles de calidad aceptable (inspección normal) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
|--|----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|
|  |                      | 0.010  | 0.015 | 0.025 | 0.040 | 0.065 | 0.10  | 0.15  | 0.25  | 0.40  | 0.65  | 1.0   | 1.5   | 2.5   | 4.0   | 6.5   | 10    | 15    | 25    | 40    | 65    | 100   | 150   | 250   | 400   | 650   | 1000  |       |       |  |  |  |  |
|  |                      | Ac Re  | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re |  |  |  |  |
| A  | 3                    |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| B  | 3                    |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| C  | 3                    |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| D  | 8                    |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| E  | 13                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| F  | 20                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| G  | 32                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| H  | 50                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| J  | 80                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| K  | 125                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| L  | 200                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| M  | 315                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| N  | 500                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| P  | 800                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| Q  | 1250                 |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| R  | 2000                 |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |

↓ = Use el primer plan de muestreo abajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o mayor al tamaño del lote o corrida, hágase la inspección del 100%.  
 ↑ = Use el primer plan de muestreo arriba de la flecha.  
 Ac = Número de aceptación.  
 Re = Número de rechazo.

TABLA M. TABLA MAESTRA PARA INSPECCION CERRADA (MUESTREO SENCILLO)—MIL-STD-105D (ESTÁNDAR AUC)

| Letra clave para el tamaño de la muestra | Tamaño de la muestra | Niveles de calidad aceptable (inspección cerrada) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
|--|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|
|  |                      | 0.010   | 0.015 | 0.025 | 0.040 | 0.065 | 0.10  | 0.15  | 0.25  | 0.40  | 0.65  | 1.0   | 1.5   | 2.5   | 4.0   | 6.5   | 10    | 15    | 25    | 40    | 65    | 100   | 150   | 250   | 400   | 650   | 1000  |       |       |  |  |  |  |
|  |                      | Ac Re   | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re |  |  |  |  |
| A  | 3                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| B  | 3                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| C  | 5                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| D  | 8                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| E  | 13                   |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| F  | 20                   |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| G  | 32                   |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| H  | 50                   |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| J  | 80                   |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| K  | 125                  |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| L  | 200                  |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| M  | 315                  |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| N  | 500                  |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| P  | 800                  |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| Q  | 1250                 |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| R  | 2000                 |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |
| S  | 3150                 |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |  |

↓ = Use el primer plan de muestreo abajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o mayor al tamaño del lote o corrida, hágase la inspección del 100%.  
 ↑ = Use el primer plan de muestreo arriba de la flecha.  
 Ac = Número de aceptación.  
 Re = Número de rechazo.

TABLA N. TABLA MAESTRA PARA INSPECCION REDUCIDA (MUESTREO SENCILLO)—MIL-STD-105D (ESTANDAR AIC)

| Letra clave para el tamaño de la muestra | Tamaño de la muestra | Niveles de calidad aceptable (inspección normal) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|--|----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|  |                      | 0.010  | 0.015 | 0.025 | 0.040 | 0.065 | 0.10  | 0.15  | 0.25  | 0.40  | 0.65  | 1.0   | 1.5   | 2.5   | 4.0   | 6.5   | 10    | 15    | 25    | 40    | 65    | 100   | 150   | 250   | 400   | 650   | 1000  |  |
|  |                      | Ac Re  | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re |  |
| A  | 2                    |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| B  | 3                    |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| C  | 5                    |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| D  | 8                    |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| E  | 13                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| F  | 20                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| G  | 32                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| H  | 50                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| I  | 80                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| J  | 125                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| K  | 200                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| L  | 315                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| M  | 500                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| N  | 800                  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| P  | 1250                 |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| Q  | 2500                 |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| R  | 5000                 |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |

↓ = úsese el primer plan de muestreo abajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o mayor al tamaño del lote o corrida, hágase la inspección del 100%.  
 † = úsese el primer plan de muestreo arriba de la flecha.  
 Ac = número de aceptación.  
 Re = número de rechazo.  
 † Si el número de aceptación ha sido excedido, y el número de rechazo no ha sido alcanzado, acéptese el lote, pero reinstálase su inspección normal.

TABLA O. TABLA MAESTRA PARA INSPECCION NORMAL (MUESTREO DOBLE)—MIL-STD-105D (ESTANDAR AIC)

| Letra clave para el tamaño de la muestra | Tamaño de la muestra | Niveles de calidad aceptable (inspección normal) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|--|----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|  |                      | 0.010  | 0.015 | 0.025 | 0.040 | 0.065 | 0.10  | 0.15  | 0.25  | 0.40  | 0.65  | 1.0   | 1.5   | 2.5   | 4.0   | 6.5   | 10    | 15    | 25    | 40    | 65    | 100   | 150   | 250   | 400   | 650   | 1000  |  |
|  |                      | Ac Re  | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re |  |
| A  |                      |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| B  | Primera Segunda      | 2 2  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| C  | Primera Segunda      | 3 3  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| D  | Primera Segunda      | 5 5  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| E  | Primera Segunda      | 8 8  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| F  | Primera Segunda      | 13 13  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| G  | Primera Segunda      | 20 20  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| H  | Primera Segunda      | 32 32  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| J  | Primera Segunda      | 50 50  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| K  | Primera Segunda      | 80 80  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| L  | Primera Segunda      | 125 125  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| M  | Primera Segunda      | 200 200  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| N  | Primera Segunda      | 315 315  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| P  | Primera Segunda      | 500 500  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| Q  | Primera Segunda      | 800 800  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| R  | Primera Segunda      | 1250 1250  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |

= Úsese el primer plan de muestreo abajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o mayor al tamaño del lote o corrida, hágase la inspección del 100%.  
 † = Úsese el primer plan de muestreo arriba de la flecha.  
 Ac = Número de aceptación.  
 Re = Número de rechazo.  
 † Úsese el plan de muestreo sencillo correspondiente (o alternativamente, úsese el plan de muestreo doble hacia abajo, cuando esté disponible).

| Letra | Plan de muestreo | Tamaño del lote | Tamaño de la muestra | Niveles de calidad aceptable (inspección normal) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------|------------------|-----------------|----------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|       |                  |                 |                      | 0  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| I     | Primera          | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Cuarta           | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| K     | Primera          | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Cuarta           | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| F     | Primera          | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| C     | Primera          | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| H     | Primera          | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| J     | Primera          | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

↓ = Úsese el primer plan de muestreo abajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o mayor al tamaño del lote o corrido, házase la inspección del 100%.

↑ = Úsese el primer plan de muestreo arriba de la flecha.

Ac = Número de aceptación.

Re = Número de rechazo.

↓ = Úsese el plan de muestreo sencillo correspondiente (o alternativamente, úsese el plan de muestreo múltiple abajo, cuando esté disponible).

↑ = Úsese el plan de muestreo doble correspondiente (o alternativamente, úsese el plan de muestreo sencillo abajo, cuando esté disponible).

! = La aceptación no se permite a este tamaño de muestra.

TABLA R. TABLA MAESTRA PARA INSPECCION NORMAL (MUESTREO MULTIPLE)—MIL-STD-105D (ESTÁNDAR ABC) (Continúa)

| Letra | Plan de muestreo | Tamaño del lote | Tamaño de la muestra | Niveles de calidad aceptable (inspección normal) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------|------------------|-----------------|----------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|       |                  |                 |                      | 0  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| K     | Primera          | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 25              | 32                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| L     | Primera          | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 50              | 63                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M     | Primera          | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 100             | 125                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| N     | Primera          | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 200             | 250                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| P     | Primera          | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 500             | 625                  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Q     | Primera          | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 1000            | 1250                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| R     | Primera          | 2000            | 2500                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Segunda          | 2000            | 2500                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Tercera          | 2000            | 2500                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Quinta           | 2000            | 2500                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|       | Septima          | 2000            | 2500                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

↓ = Úsese el primer plan de muestreo abajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o mayor al tamaño del lote o corrido, házase la inspección del 100%.

↑ = Úsese el primer plan de muestreo arriba de la flecha.

Ac = número de aceptación.

Re = número de rechazo.

↓ = Úsese el plan de muestreo sencillo correspondiente (o alternativamente, úsese el plan de muestreo múltiple abajo, cuando esté disponible).

↑ = La aceptación no se permite con este tamaño de muestra.

1985

**Paquetes estadísticos  
para la familia IBM PC  
y compatibles**

**CONSULTORES EDITORIALES  
AREA DE INFORMATICA Y COMPUTACION**

**Antonio Vaquero Sánchez**  
Catedrático de Informática  
Facultad de Ciencias Físicas  
Universidad Complutense de Madrid  
ESPAÑA

**Raymundo Hugo Rangel G.**  
Físico, Facultad de Ciencias, UNL  
Profesor, Carrera Ing. en Computación  
Facultad de Ingeniería, UNAM

**Gerardo Quiroz Vieyra**  
Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica IPN  
Carter Wallace, S.A.  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Docente DCSA  
MEXICO

**Allonso Pérez Gama**  
Ingeniero Electrónico  
Universidad Nacional de Colombia  
COLOMBIA

**José Portillo**  
Universidad de Lima  
PERU

**Luis Ernesto Ramírez**  
Coordinador de Informática  
Escuela de Administración y Contaduría  
Universidad Católica Andrés Bello, UCAH  
VENEZUELA

# Paquetes estadísticos para la familia IBM PC y compatibles

**PATRICIA B. SEYBOLD  
LINDA O'KEEFFE  
JAY KLAGGE**

Traducción

**LUIS HERNANDEZ YAÑEZ**  
Departamento de Informática y Automática  
Facultad de Ciencias Físicas  
Universidad Complutense

Revisión técnica

**ANTONIO VAQUERO SANCHEZ**  
Catedrático de Informática  
Facultad de Ciencias Físicas  
Universidad Complutense

**Byte Books/McGraw-Hill**

MADRID • BOGOTA • BUENOS AIRES • GUATEMALA • LISBOA • MEXICO  
NUEVA YORK • PANAMA • SAN JUAN • SANTIAGO • SAO PAULO  
AUCKLAND • HAMBURGO • LONDRES • MONTREAL • NUEVA DELHI • PARIS  
SAN FRANCISCO • SINGAPUR • ST. LOUIS • SIDNEY • TOKIO • TORONTO





DIRECCION GENERAL DE  
SERVICIOS DE COMPUTO  
A. D. C. 1984  
BIBLIOTECA

#### PAQUETES ESTADISTICOS PARA LA FAMILIA IBM PC Y COMPATIBLES

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

DERECHOS RESERVADOS © 1988, respecto a la primera edición en español por McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. Manuel Ferrero, 13. 28036 Madrid. ESPAÑA

Traducido de la primera edición en inglés de  
STATISTICAL PACKAGES FOR THE IBM PC FAMILY

Copyright © MCMLXXXVI, por Seybold Publications, Inc.  
ISBN: 0-07-056320-9

ISBN: 84-7615-190-X  
Depósito legal: M. 39.475/1987

Compuesto en Fernández Ciudad, S. L.  
Impreso en LAVEL, Industria gráfica

De esta edición se han impreso 3.500 ejemplares en diciembre de 1987

PRINTED IN SPAIN - IMPRESO EN ESPAÑA

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Prefacio   | ix |
| Agradecimientos  | xi |
| 1. Paquetes estadísticos: "Ampliando" la hoja de cálculo | 1  |
| Usuarios   | 4  |
| Soporte en la toma de decisiones                         | 4  |
| El papel de la estadística                               | 7  |
| 2. Paquetes estadísticos: Una cuestión de gustos         | 11 |
| Criterios  | 13 |
| Estadísticas descriptivas                                | 14 |
| Análisis de regresiones                                  | 16 |
| ADV  | 16 |
| Análisis de series temporales                            | 17 |
| La escena está dispuesta                                 | 19 |
| 3. ESP   | 21 |
| Buena gestión de datos                                   | 24 |
| Soporte de usuario                                       | 25 |
| Procesamiento multi-tarea                                | 27 |
| Sumario  | 27 |
| 4. Lionheart   | 33 |
| Documentación excepcional                                | 35 |
| Fácil entrada de datos                                   | 37 |
| Falta de problemas de ejemplo                            | 37 |
| Sumario  | 39 |

[ v ]

|   |            |
|---|------------|
| <b>5. MicroTSP</b>                          | <b>45</b>  |
| Entrada de datos flexible                   | 47         |
| Sumario                                     | 49         |
| <b>6. NWA Statpak</b>                       | <b>55</b>  |
| Gestión de ficheros                         | 58         |
| Documentación                               | 60         |
| Gráficos modestos                           | 60         |
| Sumario                                     | 62         |
| <b>7. Statmate/Plus</b>                     | <b>65</b>  |
| Operaciones a ciegas                        | 69         |
| Manual pobre                                | 71         |
| Sumario                                     | 71         |
| <b>8. SPSS/PC</b>                           | <b>75</b>  |
| Profusas posibilidades                      | 77         |
| Documentación                               | 78         |
| Explicación de los errores                  | 78         |
| Ayuda que ayuda                             | 78         |
| Sumario                                     | 80         |
| <b>9. Systat</b>                            | <b>85</b>  |
| Documentación de soporte                    | 88         |
| Gráficos útiles                             | 89         |
| Sumario                                     | 92         |
| <b>10. Statpro</b>                          | <b>97</b>  |
| Documentación excelente                     | 99         |
| Gráficos para todos                         | 102        |
| Una seria omisión                           | 102        |
| Sumario                                     | 103        |
| <b>11. StatPac</b>                          | <b>107</b> |
| Gráficos efectivos                          | 111        |
| ¿Reorganizar el manual?                     | 111        |
| Sumario                                     | 114        |
| <b>12. Análisis de las ofertas actuales</b> | <b>119</b> |
| Consideraciones generales                   | 121        |
| Proceso de análisis comparativo             | 123        |
| Análisis comparativo                        | 136        |
| Sumario                                     | 141        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>13. Perspectivas para el futuro</b>           | <b>143</b> |
| Perfil de las cosas que están por venir          | 145        |
| Herramienta de enseñanza                         | 147        |
| Ganando audiencia                                | 148        |
| Epilogo  | 149        |
| <b>Glosario</b>                                  | <b>151</b> |
| <b>Direcciones de distribuidores de software</b> | <b>157</b> |
| <b>Índice</b>                                    | <b>159</b> |



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE COMPUTADORA**

**INTRODUCCION  
EVOLUCION DE LA CALIDAD  
ENFOQUES DE E. DEMING, J. JURAN  
P. CROSBY, K. ISHIKAWA  
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD  
PAPEL DE METODOS ESTADISTICOS  
EN LA ADMINISTRACION DE LA CALIDAD.**

**EXPOSITOR:  
M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ**

**1994**

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285  
Teléfonos: 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 521-4020 AL 26

# HISTORIA DEL CONTROL TOTAL DE CALIDAD.

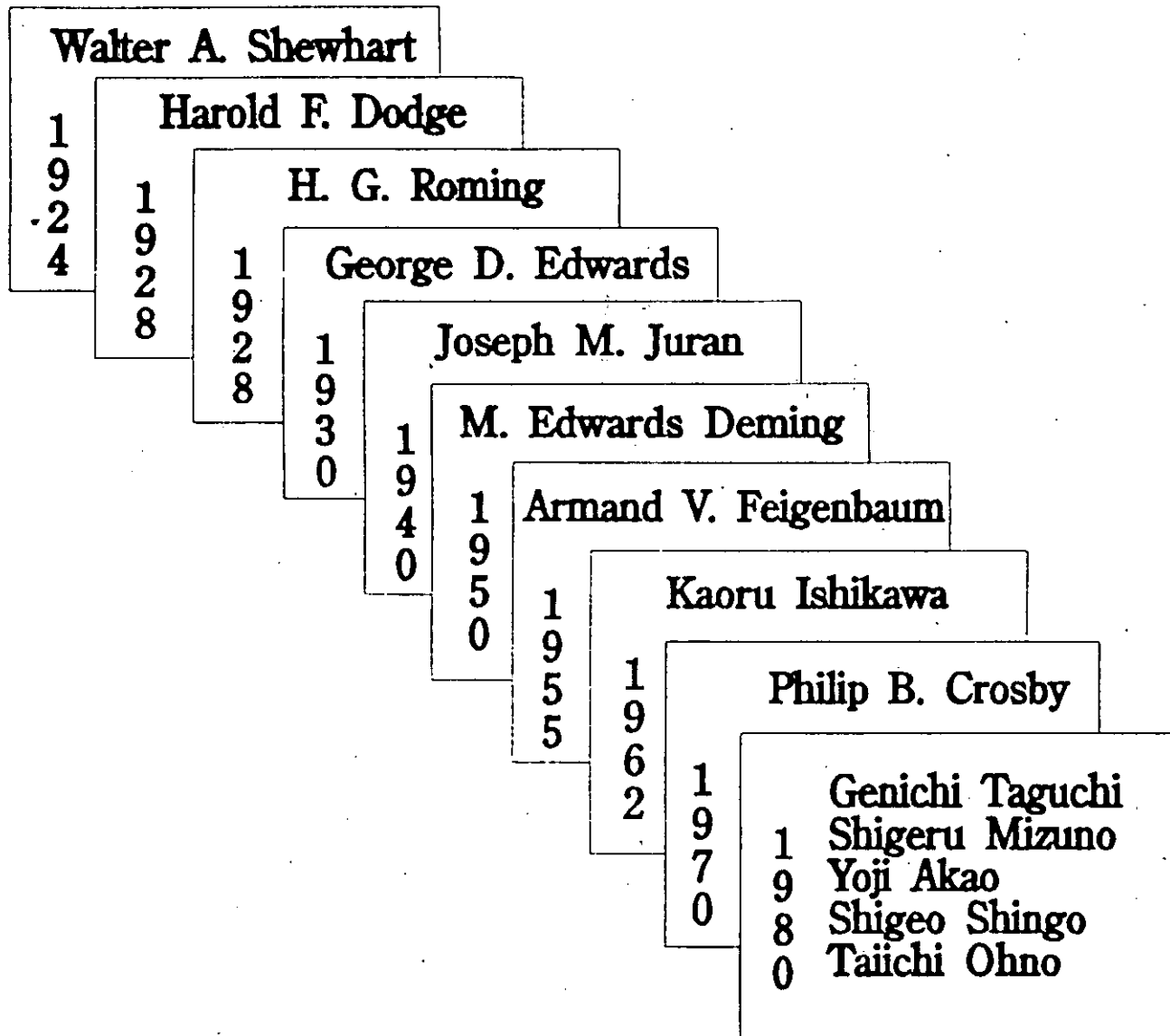
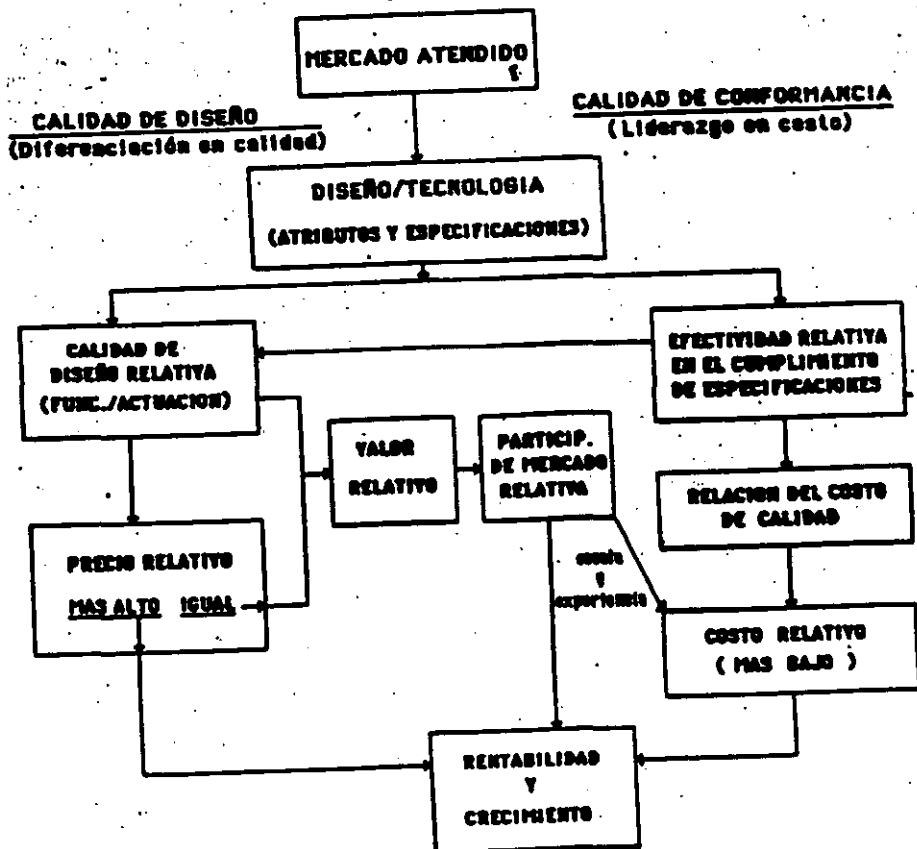
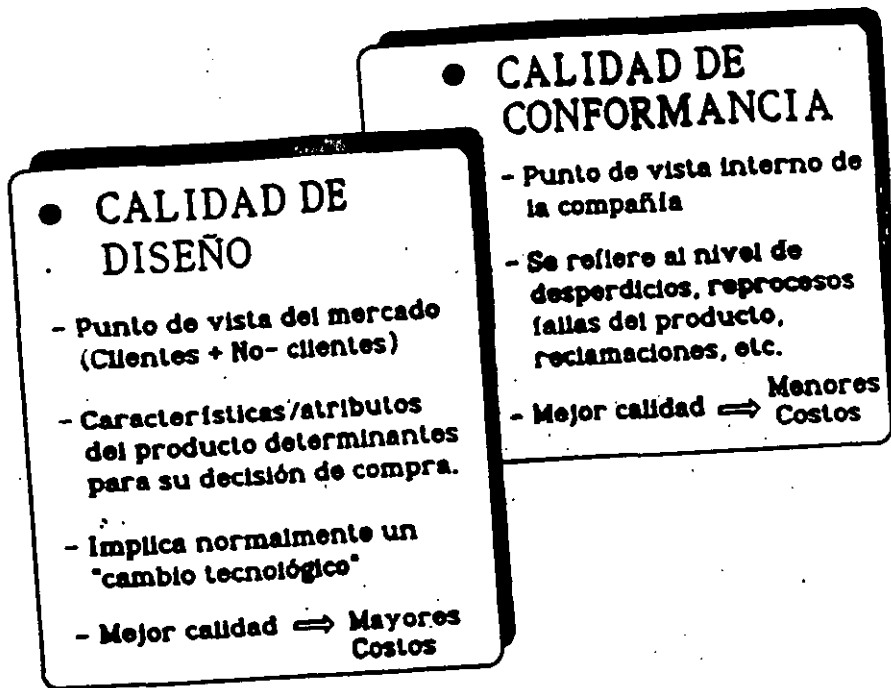


Figura 1

# ADECUACION AL USO DOS DIMENSIONES



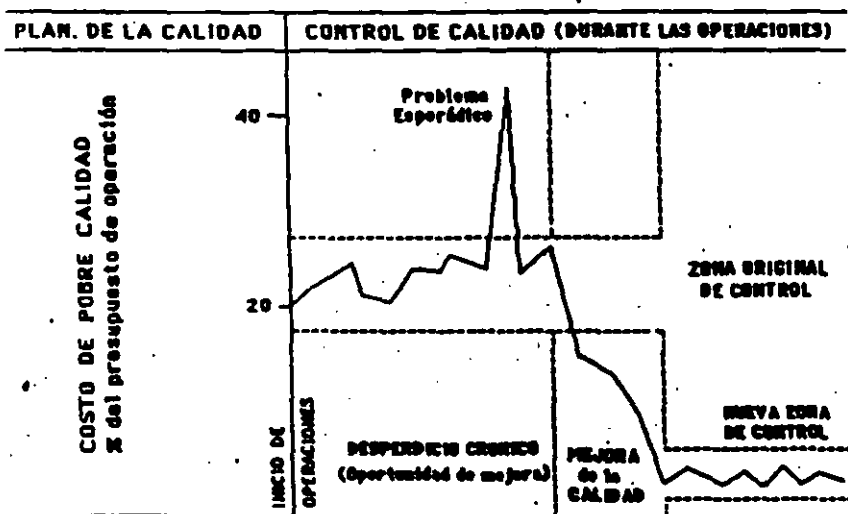
## LA ADMINISTRACION DE LA CALIDAD CONSISTE DE TRES PROCESOS BASICOS:

- PLANEACION DE LA CALIDAD
- CONTROL DE LA CALIDAD
- MEJORA DE LA CALIDAD

## EL PROCESO DE PLANEACION DE LA CALIDAD:

1. Identifique quiénes son los clientes, externos e internos, y cuáles son sus necesidades.
2. Identifique las características de calidad resultantes.
3. Establezca medios de medición.
4. Establezca metas de calidad que cumplan con las necesidades de clientes y proveedores, con un costo mínimo conjunto.
5. Establezca un proceso capaz de satisfacer las metas bajo condiciones de operación.
6. Compruebe la habilidad del proceso.

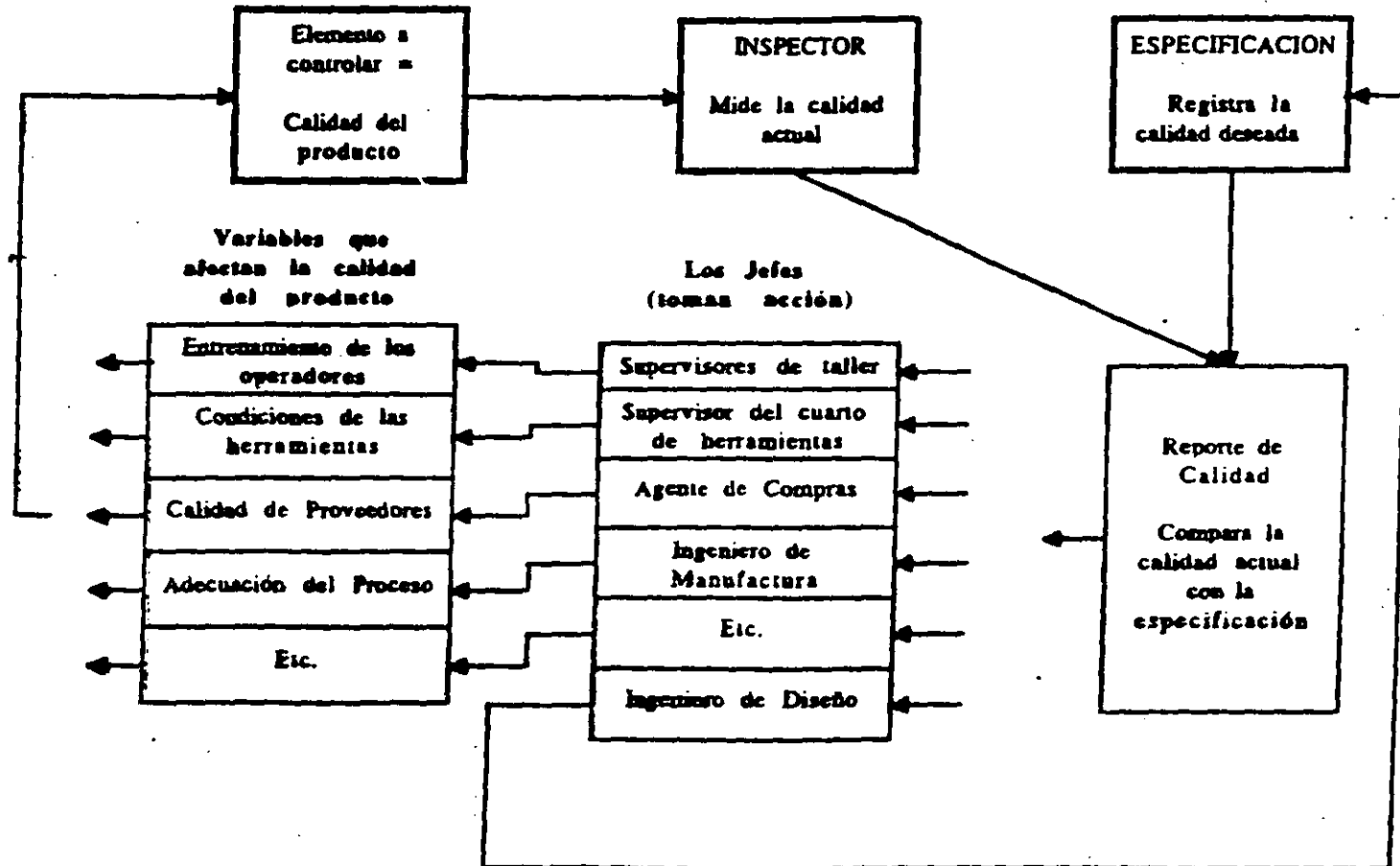
## ADMINISTRACION DE LA CALIDAD



## EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD:

1. Seleccionar el elemento a controlar - ¿ qué voy a controlar ?.
2. Seleccione las unidades de medición
3. Establezca mediciones.
4. Establezca estándares de actuación (estándar).
5. Mida la actuación actual (elemento sensor).
6. Interprete la diferencia.
7. Tome acciones en base a la diferencia.

# EL CICLO DE CONTROL



## EL PROCESO DE MEJORA DE LA CALIDAD:

1. Prueba de la necesidad de mejora.
2. Identifique los proyectos específicos.
3. Organícese para conducir los proyectos.
4. Organícese para el diagnóstico (descubrimiento de las causas).
5. Lleve a cabo el diagnóstico para encontrar las causas.
6. Proporcione soluciones.
7. Compruebe que las soluciones sean efectivas bajo condiciones de operación.
8. Establezca los controles necesarios para mantener las ganancias.



## SECUENCIA PARA LLEVAR A CABO UN PROYECTO

### DE MEJORA

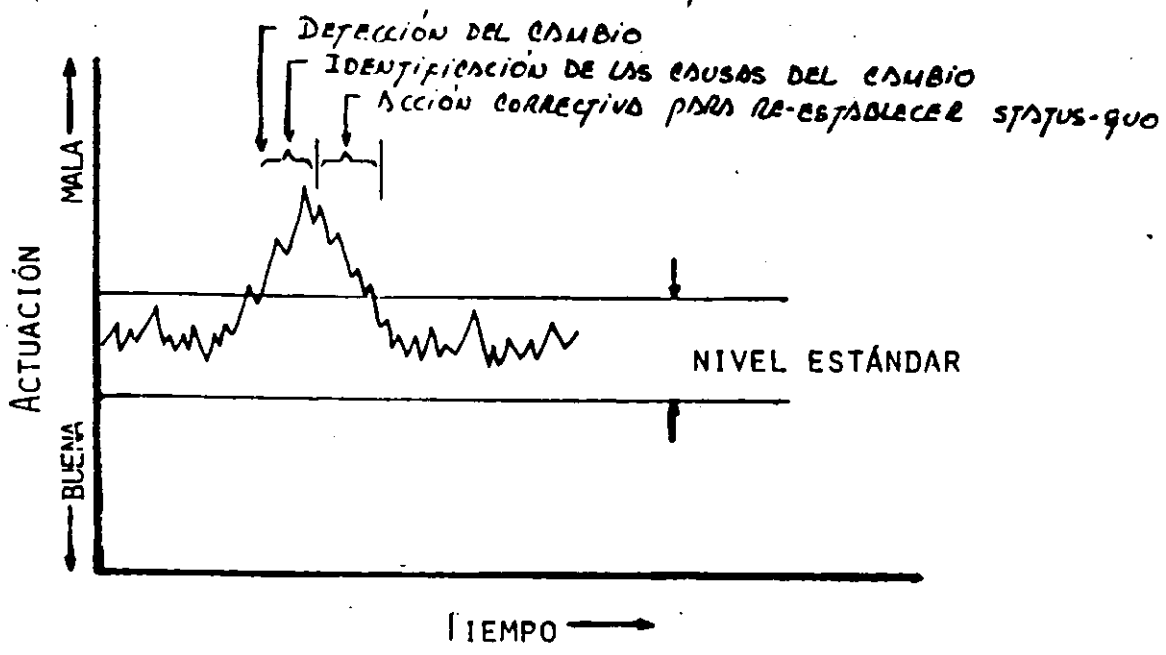
- PRUEBA DE LA NECESIDAD.
- IDENTIFICACION DEL PROYECTO.
- ORGANIZACION PARA EL MEJORAMIENTO

### VIAJE DEL DIAGNOSTICO

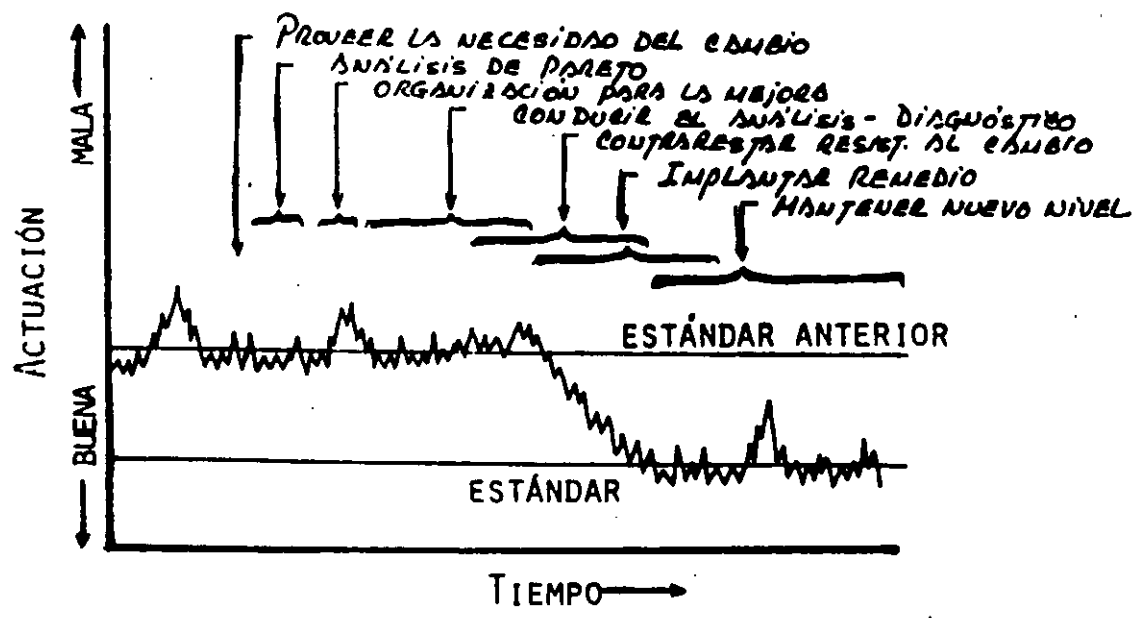
- ENNUMERAR SINTOMAS EN SU ORDEN DE FRECUENCIA.
- APLICAR PRINCIPIO DE PARETO.
- DISEÑO DE UN PLAN PARA RECOLECTAR Y ANALIZAR INFORMACION (USO DE HERRAMIENTAS).
- PRESENTAR RESULTADOS.

### VIAJE DEL REMEDIO

- SELECCION DE ALTERNATIVAS.
- ACCION REPARADORA.
- ENFRENTARSE CON LA RESISTENCIA AL CAMBIO.
- ESTABLECER CONTROLES PARA ASEGURAR LO GANADO.



GRAF. 2.1 MANTENER EL STATUS-QUO - CONTROL



GRAF: 2.2 MEJORA DE CALIDAD

FUENTE: J.M. JURAN, "MANAGERIAL BREAKTHROUGH", MCGRAW HILL BOOK CO., 1964, p. 7

## LOS CATORCE PASOS DE P.B. CROSBY

1. COMPROMETERSE LA DIRECCION A MEJORAR LA CALIDAD
2. EQUIPO DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD
3. MEDICION DE LA CALIDAD
4. EVALUACION DEL COSTO DE CALIDAD
5. CONCIENCIA DE CALIDAD
6. ACCION CORRECTIVA
7. COMITE PARA PROGRAMA DE CERO DEFECTOS
8. ENTRENAMIENTO DE LOS SUPERVISORES
9. DIA DE CERO DEFECTOS
10. FIJAR METAS
11. ELIMINACION DE CAUSAS DE ERRORES
12. RECONOCIMIENTOS
13. ENCARGADOS DE MEJORAR LA CALIDAD
14. HACERLO DE NUEVO

| CUADRO DE MADUREZ DE LA ADMINISTRACION DE CALIDAD<br>Evaluador  |   |  |
|---|---|--|
| Categorías de Medición  | Etapa I<br>Incertidumbre  | Etapa II<br>Despertar  |
| Actitud y comprensión de la dirección.                          | No entienden a la calidad como una herramienta de dirección. Tienden a culpar al departamento de calidad por los "problemas de calidad".  | Reconocen que la administración de calidad puede ser de utilidad, pero no están dispuestos a proveer el dinero o el tiempo necesario para llevarla a cabo.                           |
| Situación organizacional de la calidad                          | La función de calidad está oculta en los departamentos de Ingeniería o producción. La inspección probablemente no forma parte de la organización. Énfasis en la evaluación y selección. | Se nombra un encargado de calidad más enérgico, pero el énfasis principal aún está en la evaluación y en sacar el producto. Aún es parte de producción o de algún otro departamento. |
| Manejo de problemas.  | Se afrontan los problemas conforme éstos se presentan; no se resuelven; definición inadecuada; muchos gritos y acusaciones.   | Se forman equipos de trabajo para atacar los problemas más importantes. Nadie solicita soluciones a largo plazo.   |
| Costo de la calidad como % de las ventas.                       | Reportado: Desconocido<br>Real: 20%   | Reportado: 3%<br>Real: 18%   |
| Acciones para el mejoramiento de la calidad.                    | No existen actividades organizadas. No se entienden estas actividades.  | Se intentan iniciativas "motivacionales" de corto plazo.   |
| Resumen de la postura de la compañía con respecto a la calidad. | "No sabemos por qué tenemos problemas con la calidad".  | "¿Es absolutamente inevitable tener siempre problemas con la calidad?"   |

Unidad

| Etapa III<br>Ilustración  | Etapa IV<br>Sabiduría  | Etapa V<br>Certeza   |
|---|--|--|
| Al ir realizando el proceso de mejoramiento de calidad, se aprende más de administración de la calidad; se da ayuda y más apoyo.                              | Participación. Se entienden los absolutos de la administración de la calidad. Reconocen su papel personal en dar un énfasis continuo.                                | Consideran a la administración de la calidad una parte esencial del sistema de la compañía.  |
| El departamento de calidad cae bajo la alta dirección; toda la evaluación es incorporada y el gerente desempeña un papel en la administración de la compañía. | El gerente de calidad es un ejecutivo de la compañía; reporte eficaz de la situación y acción preventiva. Se ocupa de asuntos del consumidor y proyectos especiales. | El gerente de calidad pertenece al comité de dirección. La principal preocupación es la prevención. La calidad encabeza las ideas. |
| Se establece comunicación para la acción correctiva. Se afrontan abiertamente los problemas y se resuelven de manera ordenada.                                | Se identifican los problemas en sus etapas iniciales de desarrollo. Todas las funciones están abiertas a sugerencias y mejoras.                                      | Excepto en los casos más raros, se previenen los problemas.  |
| Reportado: 8%<br>Real: 12%  | Reportado: 6.5%<br>Real: 8%  | Reportado: 2.5%<br>Real: 2.5%  |
| Implantación del proceso de 14 pasos, entendiendo y estableciendo cada paso   | Se continúa con el proceso de 14 pasos y se inicia la etapa de Asegurar. (Aclarar con certeza)   | El mejoramiento de la calidad es una actividad normal y continua.  |
| "A través del compromiso de la dirección y mejorando la calidad, estamos identificando y resolviendo nuestros problemas"                                      | "La prevención de defectos forma parte rutinaria de nuestra operación"   | "Sabemos por qué no tenemos problemas con la calidad".   |

## ONCE PUNTOS DE ISHIKAWA

1. Compromiso auténtico de la Alta Dirección con la estrategia de la Calidad

2. Políticas y procedimientos congruentes

3. Educación paulatina en Control Total de Calidad

4. Participación de todos en los programas de Control Total de Calidad

5. Concepto de Control en base a ser objetivos a través de juicios basados en datos reales y significativos

6. Controlar el proceso

7. Concientizar a todos que la organización hacia fuera es "relativa", que existe en función del cliente, y que por no estar solo en el mercado, está en competencia

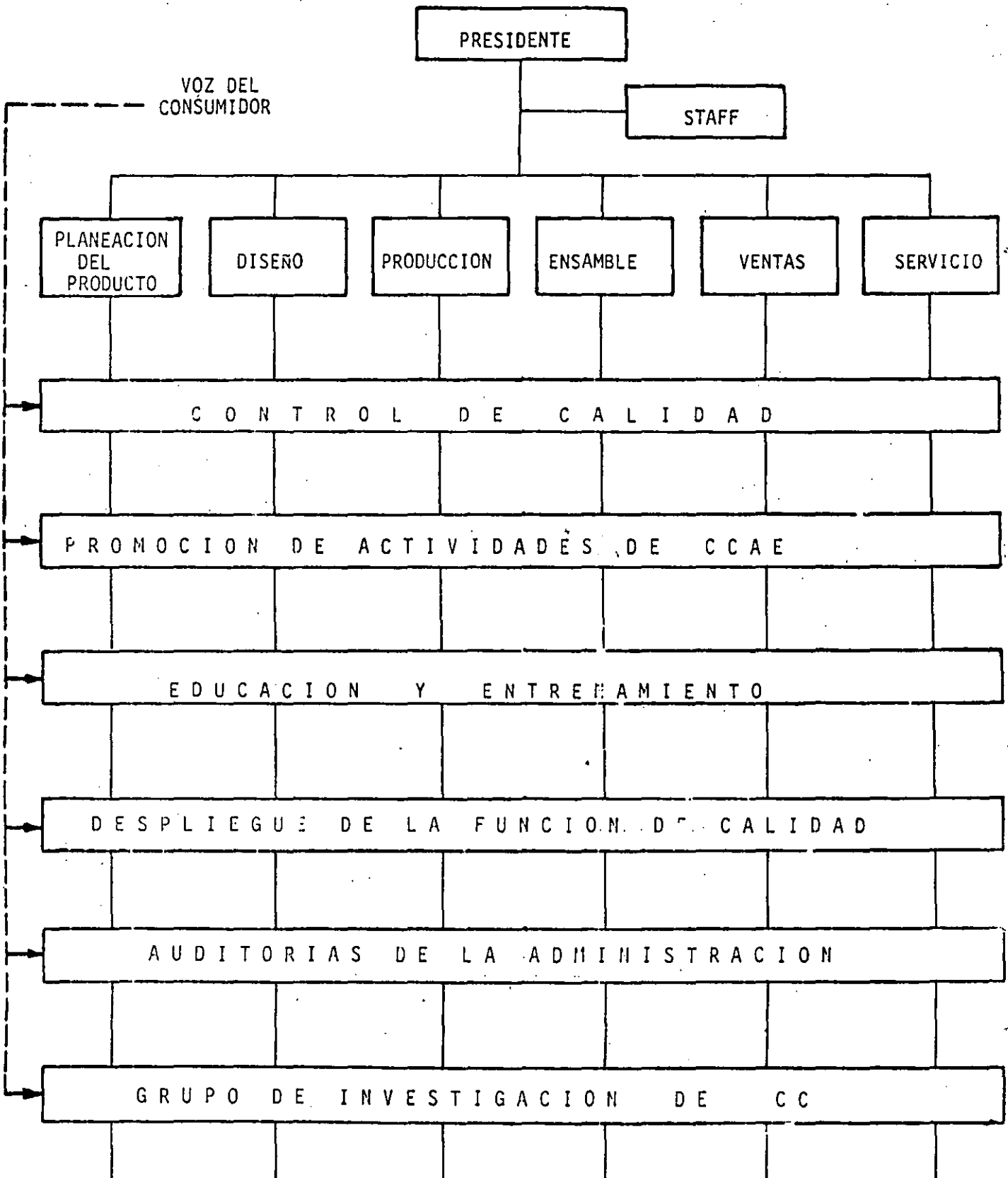
8. La organización internamente está formada de una cadena de clientes y proveedores internos: "el siguiente en el proceso es mi cliente"

9. Estandarización para definir y precisar lo que quiere el cliente

10. Uso de métodos estadísticos

11. Actividades de los pequeños grupos (círculos de control de calidad)

# LA CADENA DE CALIDAD





| FACTOR  | DEMIING  | JURAN  | ISHIKAWA.   |
|---|--|--|---|
| <p>1.-Involucrar la Alta Dirección</p>  | <p>No la involucra directamente por su incapacidad para comprender a detalle el -- proceso, pero si están comprometidos con ella. Es compromiso de ella monitorear constantemente en busca de problemas. Es tarea de la A. Admón, - proyectar la nueva filosofía en cascada.</p> | <p>Para Jurán la A. Admón es - una facilitadora de los grupos de trabajo y quienes - desarrollan la calidad es la mediana Admón. quién debe vender la idea a la Alta Ger., de implantar control de calidad por proyecto ( o proyecto a proyecto)</p> | <p>Debe prepararse en lo que es el control de calidad - (conocer el CTC a la Japonesa). La alta Admón debe asumir - el liderazgo de la Implementación de la calidad y siempre debe estar a la vanguardia (la involucra fuertemente). La Alta Admón desarrolla - los planes Política etc. del C.C.</p> |
| <p>2.-Técnicas Estadísticas.<br/>- 7 Herramientas<br/>- Control Estadístico de Calidad<br/>- Diseño de Exp.<br/>- Pareto.</p> | <p>Pueden ser usadas sólo para diagnóstico y no como fin.</p>  | <p>Debe usarse como un medio pero no como una panacea - que resuelve todos los males. Se usa mas que nada - como diagnóstico y control</p>   | <p>Deben implementarse las 7 herramientas básicas, debe implementar programas pendientes a enseñar las técnicas estadísticas. Aún la A. Admón debe usar datos, - métodos, estadísticas etc. (si le da importancia).</p>   |
| <p>3.- Cambio Cultural.</p>   | <p>Para adoptar una nueva filosofía, es imprescindible un cambio cultural. La. A. Gerencia tiene a su cargo esta responsabilidad</p>   | <p>No propone un cambio cultural sino más bien un cambio de actitudes por medio de la motivación.</p>  | <p>Precisamente al cambio cultural dado en Japón se debe al éxito del CTC en el Japón (Es muy importante - para Ishikawa).</p>  |

| FACTOR   | DEMING.  | JURAN   | ISHIKAWA.   |
|--|--|---|---|
| 4.- Estilos de Liderazgo.  | Es participativo con una fuerte responsabilidad en la Administración.  | Debe nombrarse un líder por grupo de trabajo y por (líder formal), proyecto.  | El liderazgo es participativo, rotativo y voluntario.   |
| 5.- Tecnología   | No toca en su exposición el aspecto de la Tecnología.  | Jurán contempla y define la habilidad del proceso con un aspecto fundamental en la planeación de calidad en una empresa. Esta habilidad del proceso en producto de la tecnología existente en la empresa. | No habla del aspecto tecnológico aunque si habla de técnicas solamente.   |
| 6.- Métodos y sistemas Administrativos.  | Le da un enfoque de control de calidad por áreas, elimina barreras interdepartales, con una fuerte participación de la Alta Admón. Su aportación en esta variable sólo es contraponerse el sistema administrativo tradicional. | Establece grupos de trabajo y por proyectos e involucra a la Alta Admón. como un coordinador de los mismos y se basa en diagnósticos organizacionales.  | Todo lo basa en círculos de calidad, esta es su principal aportación definiendo las tareas de la alta y mediana administración.   |
| 7.- Adecuación y compatibilidad con otros esquemas para incrementar la productividad | Deming va de acuerdo a los cambios organizacionales (Desarrollo Organizacional) Como esquema, tampoco está contra el esquema de la Ingeniería Industrial.  | Acepta cambios Tecnológicos y cambios en el esquema organizacional.   | Es muy específico en su enfoque y no va contra otros esquemas excepto con las teorías de Taylor, también parece hacer sentir que el enfoque a la japonesa es lo máximo. |

| FACTOR   | DÉNING  | J U R A N   | I S H I K A W A.  |
|--|---|---|---|
| 8.-Control de --<br>Proceso de im-<br>plementación | Ninguno de los grupos habla del " Como" implementar el control de proceso, aunque -- algunos si dicen " Que ", "Dónde" y " Quién" implementa el control de proceso. |   |   |
| 9.- Diagnóstico-<br>como punto -<br>de partida.    | No usa el diagnóstico como punto de partida sino una búsqueda y solución de problemas continuamente.  | Aquí Juran hace mucho énfasis en el diagnóstico real de las causas y no el del - reflejo. | No menciona nada sobre diagnóstico como punto de partida dando la impresión de que el CTC Puede empezar en cualquier punto. |
| 10.- Medición<br>del proceso<br>de cambio.         | Salvo Crosby los demás no mencionan nada respecto a esta variable.  |   |   |
| 11.- Sindicatos.                                   | Nadie toca esta variable en su exposición. Ishikawa lo menciona pero una crítica a los EE.UU. pero no habla en si sobre los sindicatos.                             |   |   |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
NOTAS DEL CURSO DE CALIDAD TOTAL  
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

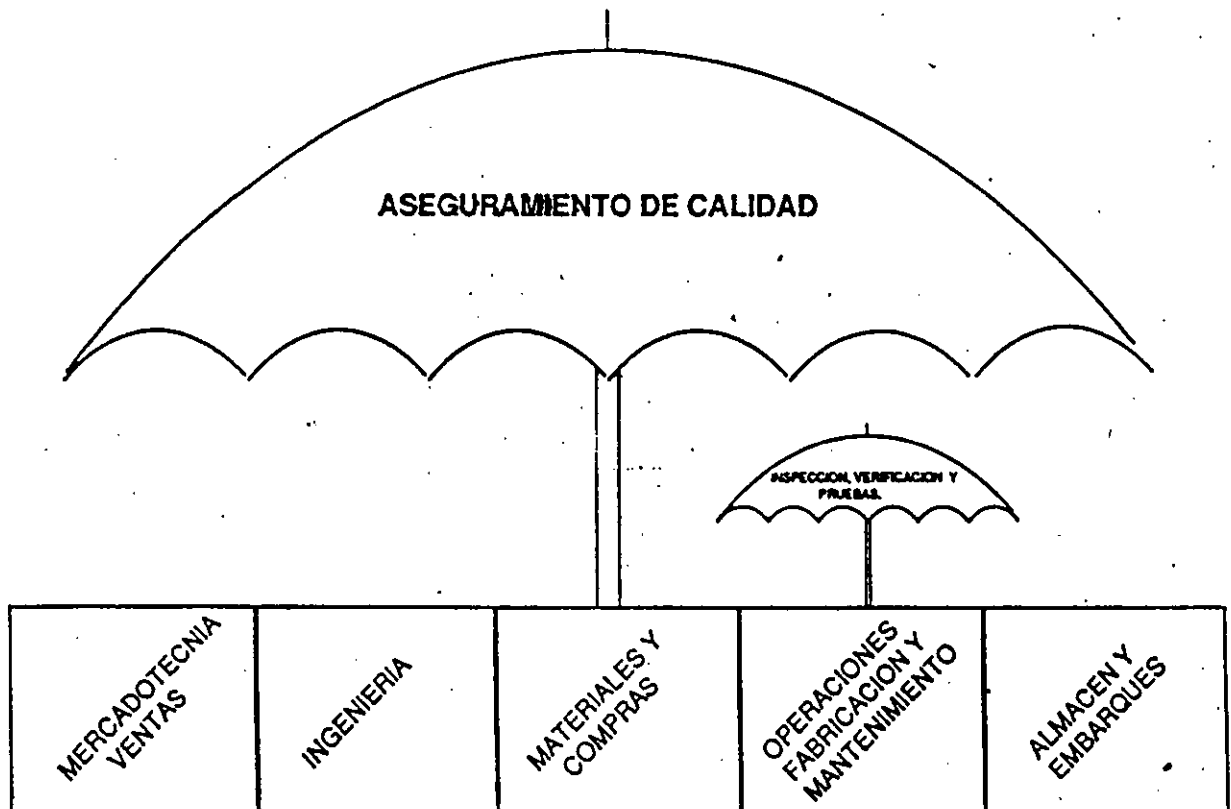


Antes de arrancar con el tema que nos ocupa se darán ciertas definiciones con el objeto de hablar un lenguaje común:

**CALIDAD:** Para el Dr. Juran la calidad no es únicamente el cumplimiento de normas técnicas, sino también, el grado de adecuación al uso, es decir, "el grado de aptitud con que un producto o servicio satisface la función para el cual fue creado". Una definición más global es: "Anticipar, identificar y satisfacer las necesidades de los clientes internos y externos en forma continua".

**CONTROL TOTAL DE CALIDAD:** Para el Dr. Ishikawa practicar el control de calidad "es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor".

**ASEGURAMIENTO DE CALIDAD:** Según la norma ANSI N45.2 el aseguramiento de calidad comprende "Todas aquellas acciones planeadas o sistemáticas necesarias para suministrar la confianza adecuada de que un producto o instalación se comportará satisfactoriamente en servicio".



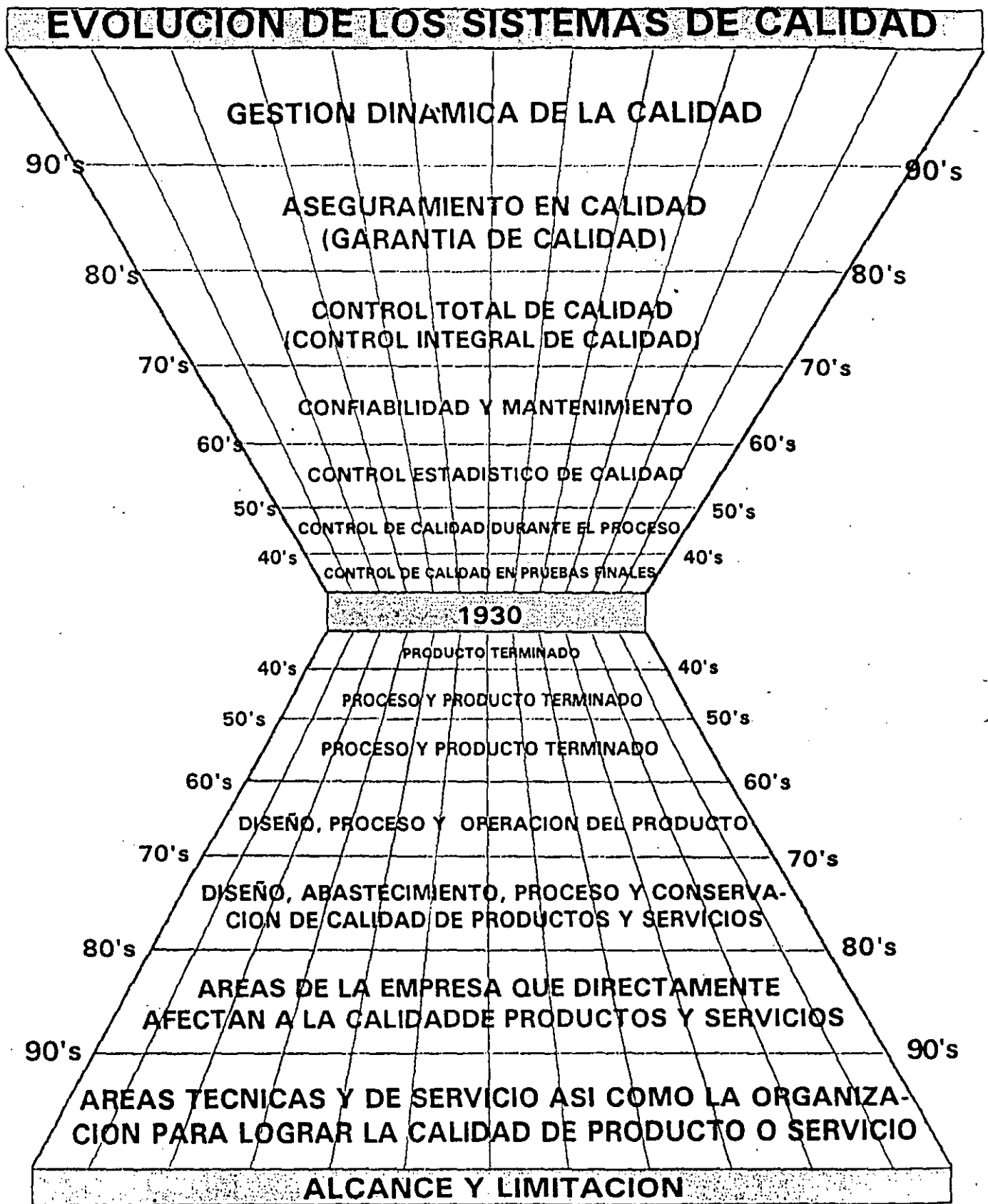


Figura 2. Etapas de evolución de los sistemas de calidad. Tomado de la revista TECNOLAB del Laboratorio de pruebas de la CFE en Irapuato, Gto.

## REFERENCIAS A LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CALIDAD DE PROVEEDORES CON ISO 9000 / NOM - CC

| TITULO DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE CALIDAD DE PROVEEDORES | INCISO O SUBINCISO CORRESPONDIENTE |          |         |          |         |          |         |          |
|--|------------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
|  | ISO9001                            | NOM-CC-3 | ISO9002 | NOM-CC-4 | ISO9003 | NOM-CC-5 | ISO9004 | NOM-CC-6 |
| 1 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION DE LA EMPRESA                    | 4.1                                | 6.1      | 4.1     | 6.1      | 4.1     | 5.1      | 4       | 4        |
| 2 SISTEMA DE CALIDAD   | 4.2                                | 6.2      | 4.2     | 6.2      | 4.2     | 5.2      | 5       | 5        |
| 3 REVISION DE CONTRATO   | 4.3                                | 6.3      | 4.3     | 6.3      | -       | 5.3      | 7       | 7        |
| 4 CONTROL DE DISEÑO  | 4.4                                | 6.4      | -       | -        | -       | -        | 8       | 8        |
| 5 CONTROL DE DOCUMENTACION   | 4.5                                | 6.5      | 4.4     | 6.4      | 4.3     | 5.4      | 17      | 17.2     |
| 6 CONTROL DE ADQUISICIONES   | 4.6                                | 6.6      | 4.5     | 6.5      | -       | -        | 9       | 9        |
| 7 PRODUCTOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE                           | 4.7                                | 6.7      | 4.6     | 6.6      | -       | -        | -       | -        |
| 8 IDENTIFICACION Y RASTREABILIDAD DEL PRODUCTO                     | 4.8                                | 6.8      | 4.7     | 6.7      | 4.4     | 5.5      | 11.2    | 11.2     |
| 9 CONTROL DE PROCESOS  | 4.9                                | 6.9      | 4.8     | 6.8      | -       | -        | 10      | 10       |
| 10 PROCESOS ESPECIALES   | 4.9.2                              | 6.10     | 4.8.2   | 6.9      | -       | -        | 11.4    | 11.4     |
| 11 INSPECCION Y PRUEBA   | 4.10                               | 6.11     | 4.9     | 6.10     | 4.5     | 5.6      | 12      | 12       |
| 12 EQUIPO DE INSPECCION , MEDICION Y PRUEBAS                       | 4.11                               | 6.12     | 4.10    | 6.11     | 4.6     | 5.7      | 13      | 13       |
| 13 ESTADO DE INSPECCION Y PRUEBA                                   | 4.12                               | 6.13     | 4.11    | 6.12     | 4.7     | 5.8      | 11.7    | 11.7     |
| 14 CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME                                 | 4.13                               | 6.14     | 4.12    | 6.13     | 4.8     | 5.9      | 14      | 14       |
| 15 ACCIONES CORRECTIVAS  | 4.14                               | 6.15     | 4.13    | 6.14     | -       | -        | 15      | 15       |
| 18 MANEJO, ALMACENAJE, EMBARQUE Y ENTREGA                          | 4.15                               | 6.16     | 4.14    | 6.15     | 4.9     | 5.10     | 16      | 16       |
| 17 REGISTROS DE CALIDAD  | 4.16                               | 6.17     | 4.15    | 6.16     | 4.10    | 5.11     | 17.3    | 17.3     |
| 18 AUDITORIAS DE CALIDAD   | 4.17                               | 6.18     | 4.16    | 6.17     | -       | -        | 5.4     | 5.4      |
| 19 CAPACITACION Y ADIESTRAMIENTO                                   | 4.18                               | 6.19     | 4.17    | 6.18     | 4.11    | 5.12     | 18      | 18       |
| 20 SERVICIO AL CLIENTE   | 4.19                               | 6.20     | -       | -        | -       | -        | 16.2    | 16.2     |
| 21 TECNICAS ESTADISTICAS   | 4.20                               | 6.21     | 4.18    | 6.19     | 4.12    | 5.13     | 20      | 20       |
| 22 RESPONSABILIDAD SOCIAL  | -                                  | -        | -       | -        | -       | -        | -       | -        |



CODIGO : \_\_\_\_\_  
 FOLIO : \_\_\_\_\_  
 FECHA : \_\_\_\_\_

**REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE CALIDAD DE PROVEEDORES**

**DESCRIPCION**

**ESTADO ACTUAL DEL PROVEEDOR**

**ESTADO DESEADO DEL PROVEEDOR**

|  |  |   |  |  |
|--|--|---|--|--|
| <p>12.- EQUIPO DE INSPECCION, MEDICION Y PRUEBAS</p> | <p>Control, calibración y mantenimiento del equipo de inspección, medición y prueba a fin de garantizar la conformidad de los requisitos especificados.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control e identificación del equipo</li> <li>- Programa de calibración</li> <li>- Mantenimiento</li> <li>- Instructivos de operación</li> </ul>      | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>                           | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>                           |
| <p>13.- ESTADO DE INSPECCION Y PRUEBA</p>            | <p>Identificar el estado de inspección y prueba de materiales, elementos y productos, indicando la conformidad de los requisitos establecidos.</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación de la inspección</li> <li>- Registros de inspección</li> </ul>  | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>   | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>   |
| <p>14.- CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME</p>          | <p>Procedimientos para garantizar la utilización de producto conforme a los requisitos establecidos o a razones válidas y documentadas.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación de no conformidad</li> <li>- Disposición de productos no conformes</li> <li>- Segregación de productos no conformes</li> </ul>        | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>   | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>   |
| <p>15.- ACCIONES CORRECTIVAS</p>                     | <p>Procedimientos documentados para establecer y controlar acciones correctivas, con el objeto de identificar No conformidades, minimizarlas y evitar su repetición, así como también, cambios para el mejoramiento del producto y del sistema de calidad de la empresa.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación y análisis de la causa</li> <li>- Implantación de acciones preventivas</li> <li>- Control y Validación</li> </ul>                      | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>   | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>   |
| <p>16.- MANEJO, ALMACENAJE, EMBARQUE Y ENTREGA</p>   | <p>Establecer y mantener procedimientos documentados, para el manejo, almacenaje, empaque, embarque y entrega de productos, con el fin de evitarles daños y deterioros.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manejo</li> <li>- Almacenaje</li> <li>- Empaque</li> <li>- Embarque</li> <li>- Entrega</li> </ul>  | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p> | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p> |
| <p>17.- REGISTROS DE CALIDAD</p>                     | <p>Establecer y mantener registros de calidad para demostrar que el producto y el sistema de calidad cumplen con los requisitos establecidos, y a su vez para retroalimentar, mejorar el producto y el sistema de calidad.</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación y diseño de registros de calidad</li> <li>- Control de registros de calidad</li> <li>- Disposición de registros de calidad</li> </ul> | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>   | <p><input type="radio"/><br/><input type="radio"/><br/><input type="radio"/></p>   |

**REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE CALIDAD DE PROVEEDORES**

**DESCRIPCION**

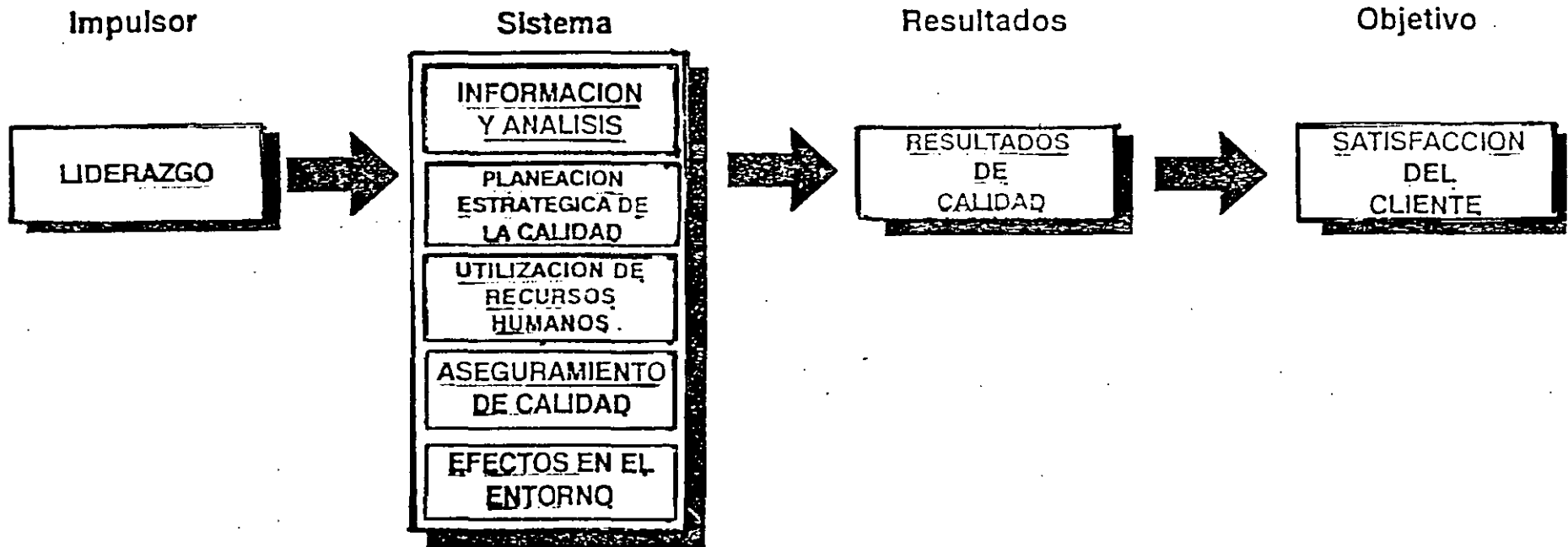
**ESTADO ACTUAL DEL PROVEEDOR**

**ESTADO DESEADO DEL PROVEEDOR**

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
| <p>18.- AUDITORIAS DE CALIDAD</p>          | <p>Establecer un sistema planeado y documentado de auditorías Internas de calidad, para verificar que se cumplan eficazmente todas las actividades relativas al sistema de calidad y comprobar su adecuación.</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planeación de auditorías de calidad</li> <li>- Programación de auditorías de calidad</li> <li>- Documentación de auditorías</li> <li>- Acciones correctivas</li> </ul>  | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○<br/>○</p>       | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○<br/>○</p>       |
| <p>19.- CAPACITACION Y ADIES-TRAMIENTO</p> | <p>Establecer y mantener procedimientos para detectar las necesidades de formación del personal cuyas funciones afectan a la calidad, con el objeto de mejorar su capacidad de trabajo y resolución de problemas</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación de necesidades</li> <li>- Planeación, Ejecución y Evaluación</li> <li>- Selección de personal</li> <li>- Calificación de personal.</li> </ul>  | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○<br/>○</p>       | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○<br/>○</p>       |
| <p>20.- SERVICIO AL CLIENTE</p>            | <p>Establecer y mantener procedimientos para efectuar y verificar el servicio al cliente de acuerdo a los requisitos establecidos, con el objeto de mejorar la imagen y competitividad de la empresa.</p>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Servicio de Postventa</li> <li>- Atención y retroalimentación de Devoluciones</li> <li>- Control de Equipo de Instalación</li> <li>- Reparación de equipo</li> <li>- Verificación de registros del cliente</li> </ul> | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○<br/>○<br/>○</p> | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○<br/>○<br/>○</p> |
| <p>21.- TECNICAS ESTADISTICAS</p>          | <p>Empleo convencional de técnicas estadísticas establecidas por procedimientos con el objetivo de verificar la aceptabilidad de la capacidad del proceso y características del producto.</p>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación del uso</li> <li>- Selección de técnicas</li> <li>- Resultados</li> </ul>  | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○</p>             | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○</p>             |
| <p>22.- RESPONSABILIDAD SOCIAL</p>         | <p>Establecer y mantener procedimientos para la aplicación y desarrollo de métodos de reducción de contaminantes.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Programa de reducción de contaminantes</li> <li>- Programa de tratamiento de aguas residuales</li> <li>- Programa de seguridad, limpieza y salud</li> <li>- Participación con la comunidad</li> </ul>                 | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○<br/>○</p>       | <p style="text-align: center;">○<br/>○<br/>○<br/>○</p>       |



# NUEVO PREMIO NACIONAL DE CALIDAD (MEXICO)



## C A L I D A D

- MANERA DE SER DE UNA PERSONA O COSA.
- GRADO QUE EN PRODUCTO SATISFACE LAS NECESIDADES DE UN CLIENTE.
- GRADO DE EXCELENCIA Y MEDIDA DE BONDAD POR MEDIO DE LA CUAL SE JUZGA LA CAPACIDAD DE LAS COSAS PARA SATISFACER UNA NECESIDAD.
- RESULTADO DE UNA COMBINACION DE CARACTERISTICAS DE DISEÑO Y MANUFACTURA QUE DETERMINAN EL GRADO DE SATISFACCION QUE SE PROPORCIONE AL CONSUMIDOR DURANTE SU USO.
- MEJOR PRODUCTO PARA UN CONSUMIDOR DENTRO DE LAS CONDICIONES DE USO Y PRECIO.

## C O N T R O L D E C A L I D A D

- CONJUNTO DE ESFUERZOS EFECTIVOS DE LOS DIFERENTES GRUPOS DE UNA ORGANIZACION PARA LA INTEGRACION, EL DESARROLLO Y LA SUPERACION DE LA CALIDAD DE UN PRODUCTO A FIN DE HACER POSIBLE FABRICACION Y SERVICIO A SATISFACCION COMPLETA DEL CONSUMIDOR Y NIVEL MAS ECONOMICO.
- FUNCION ADMINISTRATIVA CUYO OBJETIVO ES MANTENER LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS QUE ELABORA UNA EMPRESA, DE ACUERDO A UNA LINEA DE NORMAS ESTABLECIDAS.

## C O N T R O L E S T A D I S T I C O D E C A L I D A D

- CONTROL DE CALIDAD EN EL QUE SE UTILIZAN METODOS ESTADISTICOS.
- SISTEMA DE PREVISION, INSPECCION, ANALISIS Y ACCION, APLICADO A UN PROCESO DE TAL MANERA QUE, POR MEDIO DE UNA PEQUEÑA PARTE DEL PRODUCTO Y CON EL ANALISIS DE LOS DATOS DE LAS CARACTERISTICAS DE CALIDAD, SE PUEDA DETERMINAR LA ACCION A SEGUIR, PARA MANTENER UN NIVEL DESEADO DE CALIDAD.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS  
INDUSTRIALES MEDIANTE COMPUTADORA**

**HERRAMIENTAS PARA LA CALIDAD**

**EXPOSITOR:  
M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ**

1994

# INDICE

---

---

|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| <b>COMO USAR ESTE LIBRO</b> | <b>7</b> |
|-----------------------------|----------|

## **SECCION I**

### **CONCEPTOS BASICOS, DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA**

|   |           |
|---|-----------|
| <i>1. Razón de ser de una empresa</i>         | <b>11</b> |
| <i>2. Calidad, eficiencia y productividad</i> | <b>13</b> |
| <i>3. Control y Mejora de la Calidad</i>      | <b>19</b> |

## **SECCION II**

### **INTRODUCCION A LA ESTADISTICA**

|   |           |
|---|-----------|
| <i>1. Conceptos Básicos</i>                             | <b>25</b> |
| <i>2. La importancia de los datos</i>                   | <b>27</b> |
| <i>3. Medidas descriptivas de los datos</i>             | <b>29</b> |
| <i>4. Puntos esenciales para la obtención de datos</i>  | <b>35</b> |
| <i>5. Gráficas generales</i>                            | <b>39</b> |
| <i>6. Concepto de análisis estadístico de problemas</i> | <b>45</b> |

## **SECCION III**

### **HERRAMIENTAS ESTADISTICAS BASICAS**

|   |            |
|---|------------|
| <i>1. Siete herramientas estadísticas</i> | <b>49</b>  |
| <i>2. Diagrama de pareto</i>              | <b>51</b>  |
| <i>3. Histogramas</i>                     | <b>61</b>  |
| <i>4. Diagrama de causa y efecto</i>      | <b>79</b>  |
| <i>5. Diagrama de dispersión</i>          | <b>93</b>  |
| <i>6. Estratificación</i>                 | <b>111</b> |

---

|   |     |
|---|-----|
| 7. <i>Gráficas de control</i>             | 117 |
| 8. <i>Hojas de verificación o chequeo</i> | 141 |

## **SECCION IV**

### **HERRAMIENTAS ADMINISTRATIVAS BASICAS**

|  |     |
|--|-----|
| 1. <i>Introducción</i>                                 | 151 |
| 2. <i>Diagrama de afinidad</i>                         | 155 |
| 3. <i>Diagrama de relaciones</i>                       | 165 |
| 4. <i>Diagrama matricial</i>                           | 171 |
| 5. <i>Análisis matricial de variaciones</i>            | 179 |
| 6. <i>Diagrama de árbol</i>                            | 187 |
| 7. <i>Gráfica de proceso de decisiones programadas</i> | 195 |
| 8. <i>Diagrama de flechas</i>                          | 201 |

## **SECCION V**

### **USO DE LAS HERRAMIENTAS BASICAS**

|  |     |
|--|-----|
| 1. <i>Preliminares</i>                       | 209 |
| 2. <i>Recomendaciones importantes</i>        | 211 |
| 3. <i>Principales usos</i>                   | 213 |
| 4. <i>Como resolver problemas de calidad</i> | 215 |
| 5. <i>Caso práctico</i>                      | 233 |
| 6. <i>Prevención de problemas</i>            | 255 |

## **SECCION VI**

### **EJERCICIOS HERRAMIENTAS BASICAS**

#### **EJERCICIOS DE LA SECCION II**

#### **CAPITULO 5**

##### **Gráficas generales**

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 1. <i>Gráfica de barras</i> | 261 |
| 2. <i>Gráficas lineales</i> | 262 |
| 3. <i>Gráfica de puntos</i> | 262 |

#### **CAPITULO 2**

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 1. <i>Tipos de datos</i> | 264 |
|--------------------------|-----|

#### **CAPITULO 3**

|   |     |
|---|-----|
| 1. <i>Medidas descriptivas de los datos</i> | 265 |
|---|-----|

## EJERCICIOS DE LA SECCION III

### CAPITULO 2

- 1. *Diagrama de Pareto* 268
- 2. *Diagrama de Pareto: confirmación de la mejora* 269
- 3. *Diagrama de Pareto: ejemplo de usos del diagrama* 270

### CAPITULO 3

- 1. *Histograma* 272

### CAPITULO 4

- 1. *Tormenta de ideas* 276
- 2. *Diagrama de causa y efecto* 277

### CAPITULO 5

- 1. *Diagrama de dispersión* 278
- 2. *Diagrama de dispersión: Análisis de regresión y correlación* 278

### CAPITULO 6

- 1. *Estratificación* 282
- 2. *Estratificación: Histogramas* 282

### CAPITULO 7

- 1. *Gráfica de control  $\bar{X} - R$*  284
- 2. *Gráfica de control np (número de defectivos)* 285

### CAPITULO 8

- 1. *Hojas de verificación* 286

## EJERCICIOS DE LA SECCION IV

### CAPITULO 2

- 1. *Diagrama de afinidad* 287

### CAPITULO 3

- 1. *Diagrama de relaciones* 288

### CAPITULO 4

- 1. *Diagrama de árbol* 288

|  |     |
|--|-----|
| <b>CAPITULO 7</b>  |     |
| <i>1. Gráfica de proceso de decisiones programadas</i>   | 288 |
| <b>EJERCICIOS DE LA SECCION V</b>  |     |
| <b>CAPITULO 3</b>  |     |
| <i>1. Principales usos de las herramientas estadísticas y administrativas</i>                      | 289 |
| <b>CAPITULO 4</b>  |     |
| <i>1. Combinación de herramientas: diagrama de pareto, Gráfica lineal y diagrama de dispersión</i> | 290 |
| <i>2. Diagrama de pareto, estratificación y gráfica de control</i>                                 | 292 |
| <i>3. Gráfica de control, histograma y CP</i>  | 295 |
| <i>4. Diagrama de causa y efecto y otras herramientas estadísticas</i>                             | 295 |
| <i>5. , 6. y 7. Combinación de Herramientas: Secuencia logica</i>                                  | 296 |
| <b>COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DE LOS EJERCICIOS</b>  | 297 |
| <b>ANEXO</b>   |     |
| <i>Tormenta de ideas</i>   | 299 |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | 305 |

## **COMO USAR ESTE LIBRO**

---

Esta obra consta de cinco secciones, y para un mejor aprovechamiento deberá estudiarse siguiendo su secuencia. En la primera sección, referente a conceptos y definiciones, se explica la relación entre calidad y productividad y cómo la búsqueda de la calidad trae como consecuencia la productividad.

Esta sección es para comprender la teoría básica de la calidad y la evolución del proceso de toma de decisiones para la solución y prevención de problemas.

La segunda sección es para aprender ó reafirmar conceptos y teoría básica de estadística: tipos de datos y sus medidas descriptivas y el concepto de análisis estadístico de problemas, es requisito el contenido de esta sección para el estudio de la siguiente.

La tercera y cuarta sección son para aprender la teoría, usos, el procedimiento para construir o elaborar cada una de las catorce herramientas y como combinarlas. Aunque se incluyen ejemplos es conveniente practicarlas haciendo los ejercicios del libro. Además también es recomendable obtener o tomar datos relacionados con el trabajo y utilizarlos para practicar estas herramientas.

La quinta sección es la razón de ser de este libro: no solo desarrollar habilidades en el manejo de las herramientas, sino también habilidades para resolver y prevenir problemas de calidad y productividad. Esta quinta sección da la explicación final para el uso de las herramientas como metodología de solución de problemas, por lo que el caso práctico presentado deberá ser bien comprendido. Es recomendable que los conceptos vertidos aquí sean discutidos y analizados en sesiones de trabajo de grupo para su aplicación práctica.

Para el personal profesional administrativo de los diferentes departamentos de las empresas, es recomendable formar grupos de trabajo para el estudio de todo el libro, para practicar la construcción o elaboración de cada una de las herramientas y para desarrollar un proyecto de mejora (problema seleccionado para su análisis y solución, o prevención de un problema) y poder así comprobar la gran efectividad de



## Conceptos Básicos

Este concepto no está limitado al producto, sino se extiende a Calidad de servicio y precio.

Calidad es {  
Producto  
Servicio (entregas, etc.)  
Precio

En realidad la calidad del producto o servicio no tiene significado, excepto en la referencia de las necesidades del consumidor. Y el precio no tiene significado, excepto en la referencia de la calidad del producto o servicio.

- **Calidad en sentido amplio**

El concepto calidad por lo general se utiliza para asociar hechos o cosas que nos producen alguna satisfacción. Inclusive el término "buena calidad en un producto o servicio" significa, simplemente, que el producto o servicio tiene la característica de ser bueno (útil) para el fin que fue diseñado..

Calidad en sentido amplio significa:

calidad de producto,  
calidad de servicio,  
calidad de precio,  
calidad de proceso,  
calidad de administración,  
calidad de trabajo,  
calidad del ser humano, etc.

**La Administración de empresas para calidad total, se refiere al conjunto de actividades para mejorar la calidad empresarial.**

## B) Definición de Calidad

- Calidad es satisfacer las necesidades del consumidor (definición básica).
- Calidad es hacer las cosas necesarias bien a la primera vez (calidad en el trabajo).

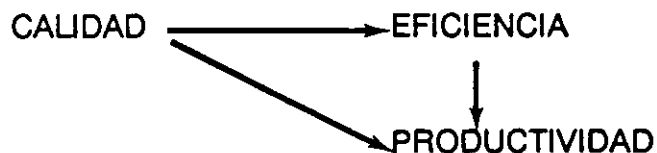
Calidad es la meta de cualquier actividad humana: individuos, grupos, empresas o instituciones.

La esencia del concepto de calidad es:  
**PIENSE EN LOS DEMAS**

Mejorar la calidad implica: mejores productos y servicios; menos errores, defectos, fallas, demoras, desperdicios, devoluciones, etc. incrementandose por consecuencia la eficiencia y productividad.

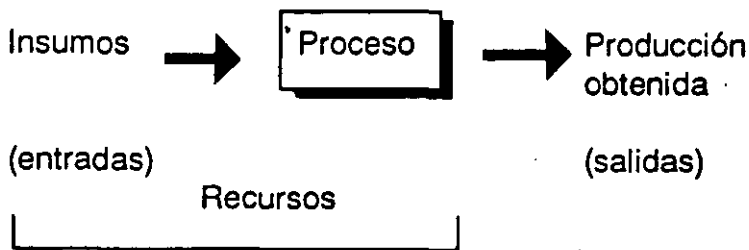
La búsqueda de la calidad no se limita a satisfacer las necesidades del consumidor, sino también es una meta dentro de la empresa; es la búsqueda de la mejora en cada proceso, cada operación, cada sistema, cada trabajo. Resultando de esto el concepto de cliente-proveedor interno: "El siguiente departamento es nuestro cliente".

Lo anterior tiene como resultado una mayor eficiencia y auténtica productividad.



C) Definición de Eficiencia y Productividad

- Eficiencia es hacer el trabajo sistemáticamente con menos recursos. Por ejemplo, es producir mas piezas en cierta máquina con menos energía. La eficiencia se refiere a la optimización de ciertos recursos.
- Productividad es la relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados.



$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción obtenida}}{\text{Recursos utilizados}}$$

Los recursos generalmente se dividen en: insumos, capital y personal. Separándose a su vez -generalmente para empresas de manufactura- los insumos en materiales y energía.

La productividad es un concepto mas integral que la eficiencia. Es la responsabilidad de la Alta Dirección; una auténtica productividad se logra, en términos prácticos, a través de asegurar la calidad decidida por el diseño e incrementando la eficiencia.

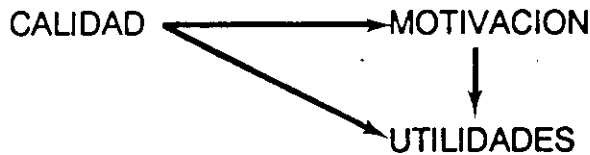
$$\text{Aseguramiento de la Calidad} + \text{Alta eficiencia} = \text{Alta Productividad}$$

La productividad es un concepto amplio, a nivel de toda la empresa, pero dependiente de la Calidad. La mayor productividad del mundo, pero con el producto o servicio que no tenga mercado, es todo para nada.

La productividad es una medición (índice) de la actuación de una empresa o un departamento; no puede ser meta individual, por tanto común.

La calidad es el único elemento en la administración de empresas que puede ser meta común (todo el personal). Imaginemos el impacto, en aspectos de negocios y en aspectos humanos, por hacer las cosas necesarias bien a la primera vez.

La calidad es un objetivo permanente, que requiere del compromiso, voluntad y participación de todo el personal.



### ***3. Control y Mejora de la Calidad***

---

El control y mejora de la calidad para la producción de bienes y servicios requiere de utilizar diversas técnicas y herramientas para la correcta toma de decisiones, lo que hace necesario obtener datos.

En la manufactura de productos generalmente se cuenta con datos estadísticos (números), a diferencia de la producción de servicios donde no siempre se cuenta con datos estadísticos; sin embargo lo importante es contar con información descriptiva y organizarla para separar hechos de simples opiniones, esto permite administrar científicamente y facilitar el uso de la creatividad del personal.

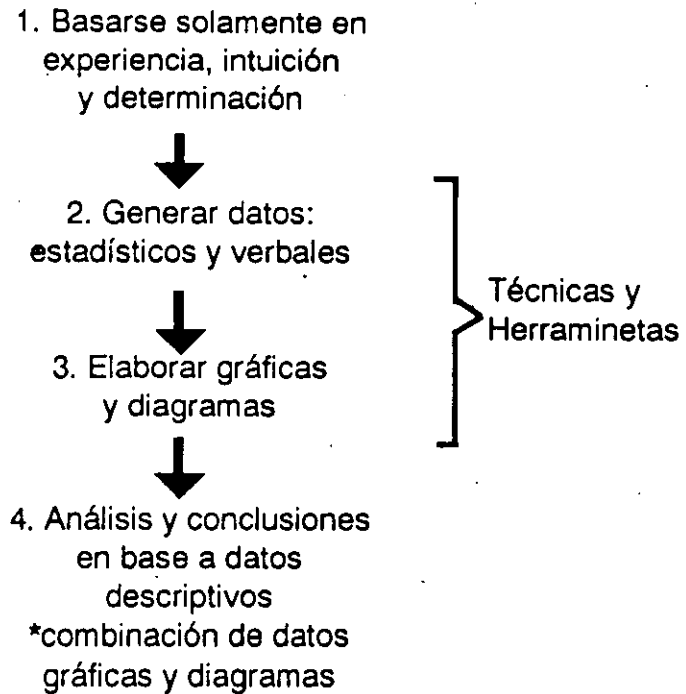
Los datos se clasifican básicamente en datos estadísticos y datos verbales.

- 1). Datos estadísticos: Son datos que provienen de mediciones y conteos
- 2). Datos verbales: Son datos que provienen de intuición y lógica.

Tanto los datos estadísticos como los verbales (no estadísticos) son datos descriptivos. Por ejemplo:

1. Datos estadísticos (números).
  - a) Mediciones: Ventas (\$); peso (grs.)
  - b) Conteos: Errores; fallas, defectos
2. Datos verbales (palabras, opiniones).
  - a) Intuición: Baja motivación del personal
  - b) Lógica: Falta de procedimiento de trabajo

La administración científica en su proceso de toma de decisiones ha evolucionado de la siguiente manera:



La utilización de técnicas y herramientas es variado, sin embargo considerando que el control y mejora de la calidad es un esfuerzo unido entre todo el personal de una compañía, se han seleccionado técnicas y herramientas básicas para crear un lenguaje común en toda la organización.

Las técnicas y herramientas básicas se han agrupado considerando principalmente la naturaleza de los datos y para crear una metodología, sistemática y ordenada para la correcta toma de decisiones.

**HERRAMIENTAS BASICAS**

| <b>DATOS ESTADISTICOS</b><br>7 Herramientas Estadísticas   | <b>DATOS VERBALES</b><br>7 Herramientas Administrativas  |
|--|--|
| 1. Diagrama de Pareto<br>2. Histograma<br>3. Diagrama de Causa y Efecto<br>4. Estratificación<br>5. Diagrama de Dispersión<br>6. Gráficas de Control<br>7. Hojas de Verificación (chequeo) | 1. Diagrama de Afinidad<br>2. Diagrama de Relaciones<br>3. Diagrama de Arbol<br>4. Diagrama Matricial<br>5. Matriz de Variaciones<br>6. Gráfica de Proceso de Decisiones Programadas<br>7. Diagrama de Flechas |

Las anteriores catorce herramientas básicas forman parte de una metodología para identificación, análisis, solución y prevención de problemas, la cual demanda la combinación de herramientas. En apoyo a esta metodología y a algunas de las herramientas básicas se utilizan, gráficas generales y la tormenta de ideas. Ver anexo1.

**HERRAMIENTAS DE APOYO**

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| Datos Estadísticos | Datos verbales    |
| Gráficas Generales | Tormenta de Ideas |

De las siete herramientas estadísticas anteriores, el diagrama de causa y efecto es la única que no trata con datos numéricos sin embargo es una herramienta clave en el proceso del análisis para la solución o prevención del problema; básicamente es el puente entre el problema y la acción correctiva o preventiva ya que permite identificar y seleccionar las causas.

## **SECCION II.**

---

### **INTRODUCCION A LA ESTADISTICA**

**"SOLO EN DIOS CREO.....  
TODOS LOS DEMAS TRAIGAN DATOS!"  
Director Anónimo**



## ***1. Conceptos Básicos***

---

La mayoría de la toma de decisiones en una empresa depende de observar valores numéricos, llamados genéricamente datos. Los cuales deben ordenarse, analizarse e interpretarse en forma de gráficas y valores, para lo cual se hace necesario el uso de la estadística. Por otra parte, este es el enfoque científico en cualquier campo.

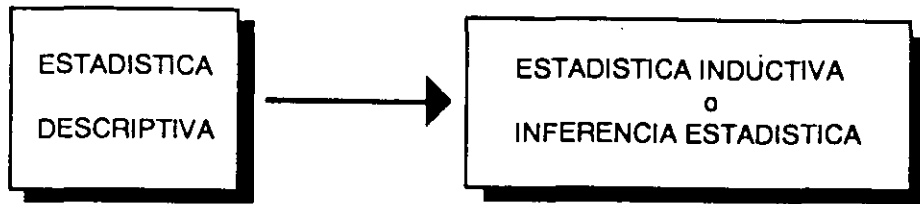
La estadística comprende la recopilación de datos, presentación, análisis e interpretación de resultados con el propósito de evaluar objetivamente la confiabilidad de las inferencias y decisiones basadas en estimaciones y pruebas estadísticas con dichos datos.

### **DEFINICION**

- Estadística descriptiva. - Es aquella que aplica los procedimientos que permiten organizar y resumir los datos colectados, de modo de tener una presentación ordenada en ellos.
- Estadística inductiva. - Es aquella que trata de obtener conclusiones generales a partir de datos que se deducen de muestras para la correcta toma de decisiones.

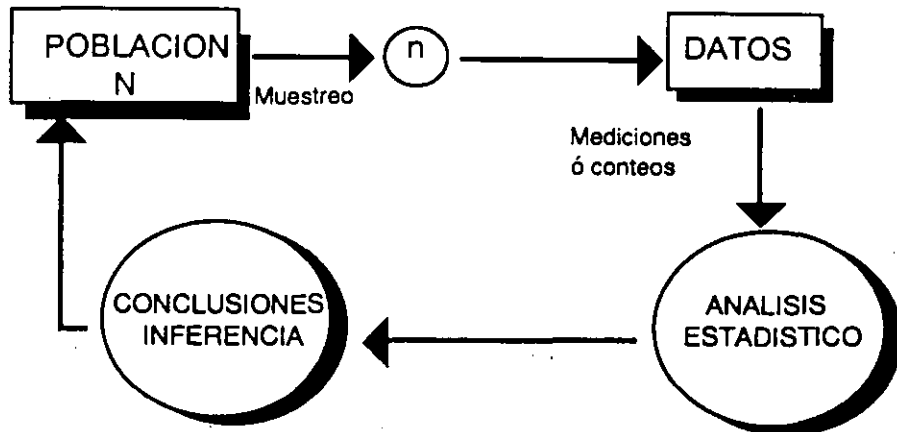
En las últimas décadas, la evolución de la estadística ha hecho pasar de la estadística descriptiva a la estadística inductiva la cual es más comunmente llamada inferencia estadística. En otra palabras, la estadística es ahora un proceso de inducción lógica que partiendo de los datos de una parte ( $n$ ) establece un juicio sobre todo el conjunto ( $N$ ).

## EVOLUCION DE LA ESTADISTICA



En realidad la estadística inductiva o inferencia estadística se trata desde el punto de vista "Teoría de decisión"; y es por esto, que la estadística en su forma actual se ha dejado sentir con más fuerza en la administración de empresas.

## FUNCION DE LA ESTADISTICA COMO METODO CIENTIFICO



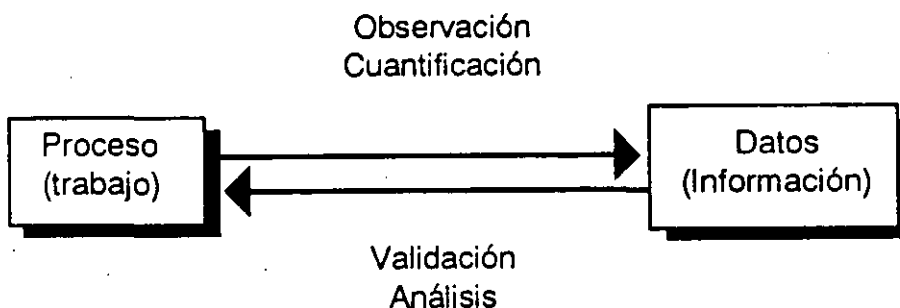
Población N: puede ser por ejemplo, un conjunto de individuos, un proceso de producción o un lote de productos.

## 2. La importancia de los datos

---

NUNCA DISCUTA SI NO TIENE DATOS

Los datos son la base para la correcta toma de decisiones y acciones.



Mucho mejor que solo emplear la experiencia, intuición y determinación; obtener correctamente y analizar datos.

Alrededor de la operación diaria de las organizaciones se generan muchos datos que varían de acuerdo a su finalidad y proceso involucrado, por tanto es necesario clasificarlos en términos de su propósito real, por ejemplo:

- A) Datos que ayuden a entender la situación actual.
- B) Datos para análisis del proceso.
- C) Datos para el control del proceso.
- D) Datos para la aceptación o el rechazo de productos.

Para poder tomar acciones apropiadas es necesario evaluar las condiciones que prevalecen, las cuales son reveladas por los datos, por lo que es importante determinar si representan las condiciones típicas reales o no. Este problema puede

plantearse de la siguiente forma:

- 1) ¿Revelan los datos la realidad?
- 2) ¿Son cotejados, analizados y comprobados los datos, de tal forma que revelan la realidad?

El inciso número uno ilustra un problema de método de muestreo, de cómo se obtienen los datos (el muestreo al azar es el más recomendable). El número dos es un problema de procedimiento o método estadístico, de como se representan los datos para su interpretación.

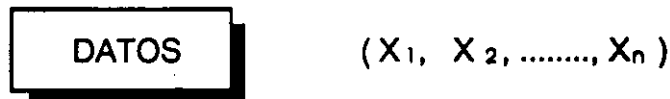
Tiene especial importancia conocer bien el uso que se le va a dar a los datos, o sea, es necesario estar consciente de su propósito, ya que son la base para poder tomar una acción apropiada en la búsqueda de las mejoras y la estabilización del control en los procesos para el mejoramiento de la calidad y la productividad.

Los datos estadísticos se clasifican en:

- 1) Datos por mediciones.- Tecnicamente se les denomina datos continuos. Son datos que provienen de mediciones efectuadas, por ejemplo: pesos, densidades, longitudes, espesores, rendimientos, resultados de ventas; son valores dentro de un rango lógico establecido.
- 2) Datos por conteos.- Tecnicamente se les denomina datos discretos. Son datos que provienen de conteos, por ejemplo: burbujas de una botella de vidrio, defectos en un trozo de tela, errores del sistema de nómina, etc. Estos datos no se podrían definir por fracciones o números decimales (como los continuos); concretamente son datos que guardan relación estricta con números enteros.

### 3. Medidas descriptivas de los datos

---

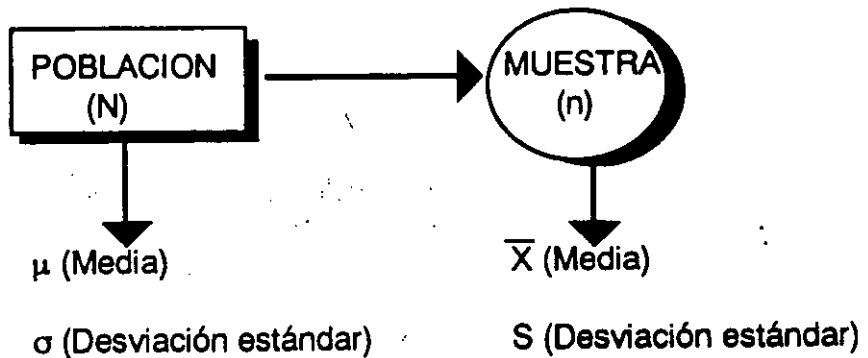


Los datos estadísticos simplemente son números referidos a cierta variable o factor  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , por lo tanto es necesario calcular ciertas medidas que permitan describir mejor lo que los datos representan.

Generalmente se requiere conocer la tendencia y dispersión de los datos; es por esto que las medidas descriptivas de los datos se clasifican en:

- 1) Medidas de tendencia central (o localización).
- 2) Medidas de dispersión (o variación).

Para la representación de estas medidas descriptivas se utilizan letras latinas para datos reales que provienen de muestras, y letras griegas para representar a la población como distribución teórica. Ejemplo:



$\bar{X}$  es un estimado de  $\mu$ , y S es un estimado de  $\sigma$  cuando la muestra tomada corresponde a esa población

$$\bar{X} \cong \mu$$

$$S \cong \sigma$$

Las medidas descriptivas de mayor utilización son las siguientes:

### Medidas de tendencia central

- 1) Media ( $\bar{X}$ ). - Comunmente usada como medida de agrupación de datos. Se define:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$\Sigma$  = sumatoria

$X_i$  = valor observado

$n$  = tamaño de la muestra

- 2) Mediana ( $\tilde{X}$ ). - Se define como el valor que divide en dos partes iguales a un conjunto de datos, arreglados en orden de magnitud.

Ejemplos:

a) Si  $n$  es impar: 2, 8, 5, 4, 1, 3, 9  $\longrightarrow n = 7,$   
 Ordenados: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9  $\longrightarrow \bar{X} = 4$

b) Si  $n$  es par: 2, 8, 3, 5, 6, 1  $\longrightarrow n = 6,$

Ordenados: 1, 2, 3, 5, 6, 8  $\longrightarrow \tilde{X} = \frac{3+5}{2} = 4$

$\tilde{X} = 4$  (mediana media)

- 3) Moda (M). - Se define como el valor que se presenta con mayor frecuencia en un conjunto de datos.

Ejemplo: 2, 1, 2, 0, 3, 0, 0, 4, 0  $\longrightarrow M = 0$

## **4. Puntos esenciales para la obtención de datos**

---

A continuación una serie de aspectos que deberán considerarse para la obtención correcta de datos y su sumarización.

### **1. Aclarar el propósito de la obtención de datos.**

Es vital tener bien claro cual es el propósito para obtener datos, y obtener datos razonables. Generalmente los propósitos son los siguientes:

#### **A) Datos para análisis.**

Son datos que necesitamos para comprender una cierta situación, presente o pasada, con el fin de mejorarla.

Generalmente estos datos se utilizan para comprender la situación actual de ciertos problemas. Por ejemplo, los tipos de fallas de cierto equipo; los errores en el sistema de nómina; devoluciones de los últimos tres meses; resultados de ventas; artículos defectuosos; pruebas o experimentos; diagnósticos; encuestas, etc

#### **B) Datos para el control del proceso (o sistema).**

Son datos que necesitamos obtener sistemáticamente y en períodos de tiempo más cortos, para poder monitorear un proceso o sistema con el fin de mantenerlo dentro de ciertos límites u objetivos.

Por ejemplo, mediciones de muestras de cierto producto cada hora o por cada lote; número de errores por día de cierto sistema; devoluciones por día; variables de proceso, etc.

#### **C) Datos de Inspección.**

Son datos que necesitamos para decidir, el aceptar o rechazar cierto producto.

Generalmente estos datos son resultados de verificar ciertas características de calidad en productos. Estos datos pueden emplearse posteriormente para los anteriores propósitos:

Análisis o Control, es cuestión de arreglar dicha información.

D) Datos para Auditoría de Calidad.

Son datos necesarios de obtener para verificar el cumplimiento de ciertas políticas, desempeños, etc. y detectar áreas de oportunidad con la única finalidad de ayudar al personal a hacer bien su trabajo.

**2. Llevar a cabo un muestreo correcto:**

- Para ésto es necesario entender claramente la relación entre población, muestra y datos.



Ejemplo: A) Población = una ciudad

Muestra = Grupo de personas a encuestar seleccionadas

B) Población = Proceso de Producción

Muestra = Ciertos artículos cada hora.

- La muestra debe ser tal que represente en forma correcta a la población.

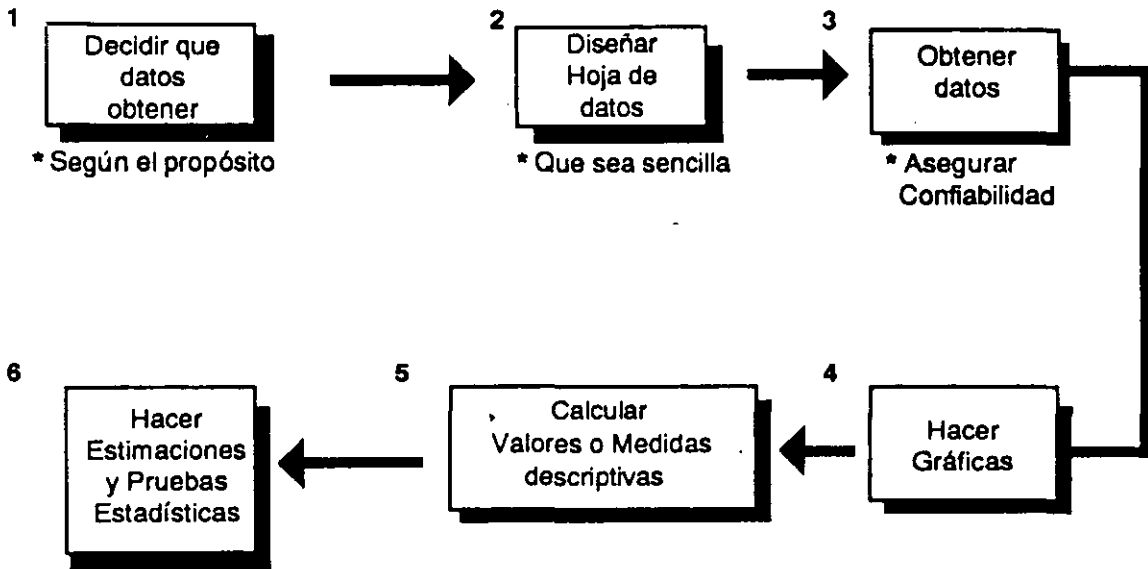
**3. Confiabilidad de los datos.**

- Es importante asegurarse que las mediciones o conteos a obtener sean bien hechos; sean correctos. Los instrumentos o equipo a utilizar deben verificarse y asegurarse la capacitación del personal.

**4. Sumarización de datos.**

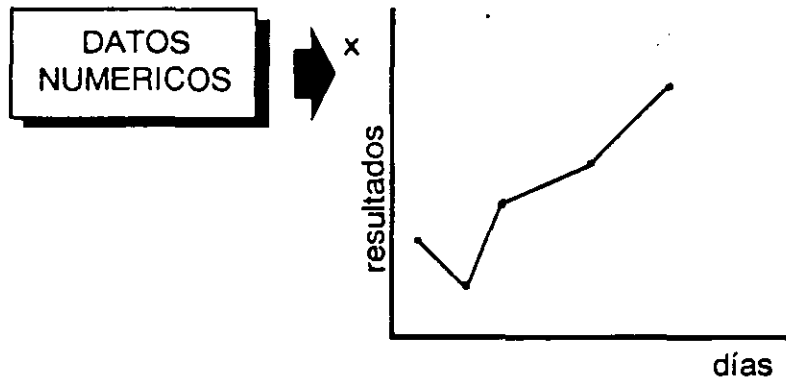
Para sumarizar los datos es necesario seguir el procedimiento mostrado a continuación.





### UNA GRAFICA DICE MAS QUE MIL PALABRAS

---



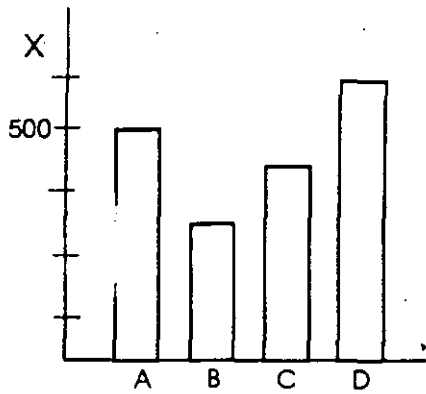
\* Es mejor datos que teoría abstracta; mucho mejor que solo datos utilizar gráficas o diagramas\*

Existe la idea de que las gráficas son difíciles de aplicar para Control y Mejora de Calidad en productos y servicios, ya que estas requieren un alto nivel de conocimientos en métodos estadísticos. Ciertamente existen tipos de gráficas complicadas en su construcción y entendimiento, pero la intención aquí es tratar con tipos de gráficas sencillas que nos ayuden de una manera eficiente en la solución de problemas para el control y mejoramiento de la calidad y productividad. Por lo tanto, es importante comprender la utilización práctica que tienen los diferentes tipos de gráficas.

El propósito de una gráfica (figura o diagrama) es transmitir más rápido y eficiente información importante en forma sumariada, ayudándonos a utilizar nuestra visión sensitiva. En otras palabras, los datos numéricos escritos en un papel no son suficientes, sino que al transformarlos en figuras gráficas, su impacto es más grande para:

TIPO

• **GRAFICA DE BARRAS:**

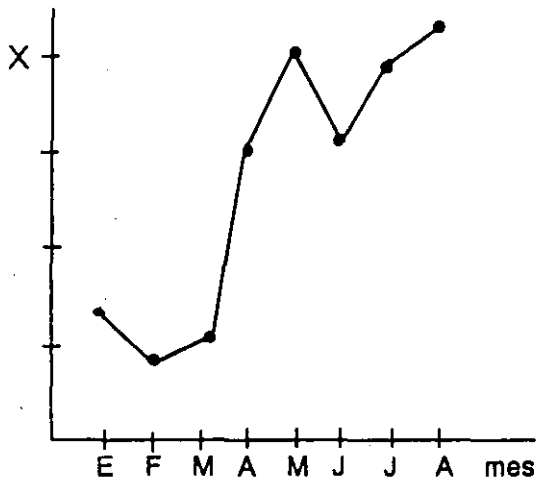


"La separación entre las barras es la mitad o igual a la anchura de la barra"

PRINCIPAL USO

Comparar varios factores cuantificados que se expresan por la longitud de la barra.

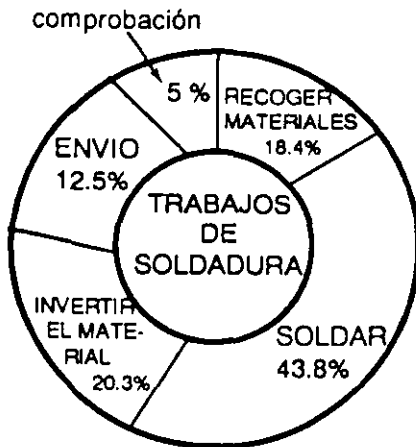
• **GRAFICA DE TENDENCIA (LINEAL)**



Apreciar la tendencia o el cambio de un factor cuantificado en cierto intervalo de tiempo.

\* Atención a la escala (intervalo)\*

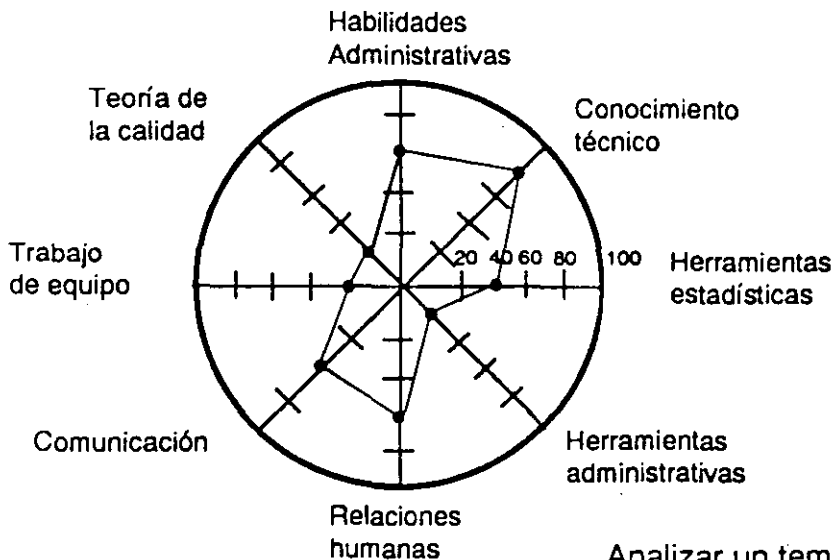
• GRAFICA DE PASTEL



Comparar los % de composición del total de un factor.

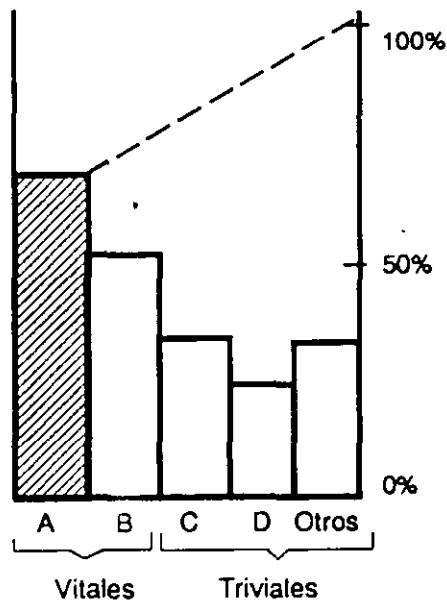
" Empezar en las 12 y colocar primero el de mayor % o el primero en el proceso"

GRAFICA DE RADAR



Analizar un tema en diferentes aspectos y en cierto momento.

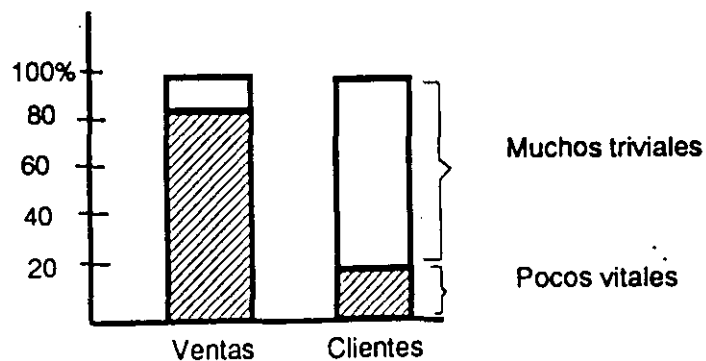
## 2. Diagrama de Pareto



El diagrama de Pareto es una gráfica de barras que representa en forma ordenada, de mayor a menor, los problemas sujetos a estudio, tales como: defectivos, fallas, errores, devoluciones, demoras, accidentes, etc.

Principio de Pareto:

El principio en el cual está basado el diagrama es el siguiente:



- \* La fecha debe indicar el lapso durante el cual se tomaron los datos; por ejemplo una semana, un mes o un día
- \*\*  $130/1200 = 0.1083$
- \*\*\*  $130/280 = 0.464$

3. Trace los ejes horizontal y vertical. En el horizontal seleccione un intervalo adecuado (por lo general un centímetro), para representar los tipos de factores y especifique cuáles son. En el vertical seleccione una división adecuada en números enteros y fácil de leer, que represente el número de ocurrencia de cada factor tipo. Ver figura 2.1.
4. Trace las barras correspondientes a los tipos de factores y ocurrencia. Ver figura 2.1.
5. Trace la curva acumulada de ocurrencias y la escala de porcentaje de composición (eje vertical derecho). Divida esta escala en cuatro partes iguales: 25, 50, 75 y 100%, con el fin de ver el efecto de la mejora, de acuerdo al objetivo. Ver figura 2.1.

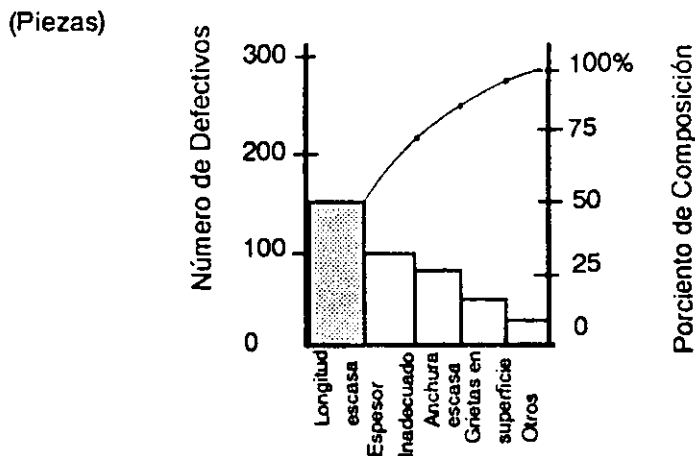
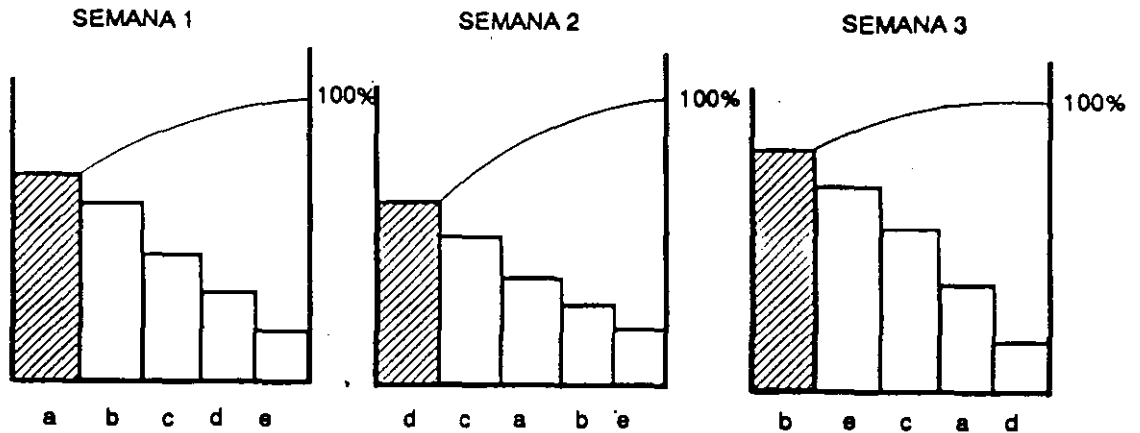


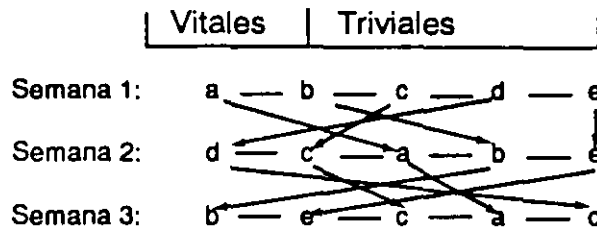
Fig. 2.1. Diagrama de Pareto

En la construcción del Diagrama de Pareto, algunas veces es más con-

Herramientas estadísticas



Análisis de cambio de orden



El análisis de cambio de orden permite comprender mejor la situación.

En este caso los procedimientos de operación y los factores a controlar (variables) en el proceso deberán ser revisados para su estandarización. Para realizar una mejora los problemas vitales deberán mantenerse, pudiendo haber algún cambio de orden en los triviales.

IDENTIFICACION DE PROBLEMAS VITALES

1. Obtener los Datos.

Determinar el período de tiempo para los datos y construya el Diagrama.

- El período de tiempo debe ser tal que permita que todos los problemas sucedan.

2. Cambiar el factor tiempo.

Dividir el período de tiempo anterior en dos, tres o cuatro subperíodos y construir los Diagramas correspondientes.

- Ejemplo: Si se decidió un mes en el paso 1, dividir los datos en dos subperíodos de 15 días cada uno o cuatro de una semana cada uno.

3. Analizar el cambio de orden.

Analizar el cambio de orden de los problemas y determinar si los problemas vitales prevalecen.

El Diagrama de Pareto concierne a resultados no deseables o desviaciones de objetivos. Es utilizado para encontrar el problema mayor, partiendo de identificar previamente los problemas vitales.

1. Producto o Servicio:

Defectivo; defectos; fallas; errores; reclamaciones; desviaciones; quejas; reprocesos; retrabajos.

2. Costo:

No Calidad; pérdidas; gastos.

3. Entrega (servicio):

Retrasos; incumplimientos; quejas.

4. Seguridad:

Accidentes; paros; errores.

**Recomendaciones para su uso**

1. Clasificar los datos de diferentes maneras y construya varios tipos de diagramas de Pareto.

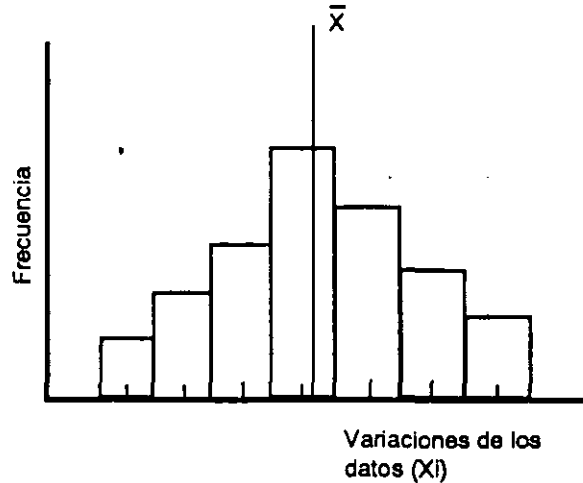
Es necesario comprender la esencia del problema observándolo desde diferentes ángulos.



Es necesario utilizar varias formas de clasificación de los datos hasta identificar los pocos vitales, lo que es el objetivo.

2. No es deseable que la barra de "otros" represente un alto porcentaje.
3. Verificar las implicaciones financieras de los problemas, utilizando el eje vertical del diagrama como valor económico.

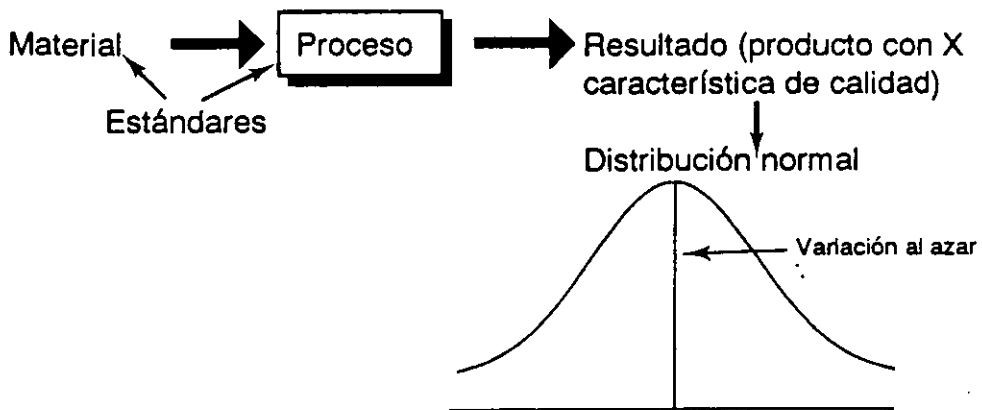
### 3. Histogramas



El histograma es una gráfica de barras que presenta los datos agrupados y ordenados, con el fin de determinar las veces en que ocurren las variaciones de dichos datos.

Mientras que el diagrama de Pareto representa en el eje horizontal datos discretos: Tipos de problemas, fallas, errores, etc, el histograma representa datos continuos, o sea datos que provienen de mediciones.

La utilización del histograma parte del siguiente concepto:



9. Decidir la medida representativa del eje vertical.

Puede ser de dos formas:

- a) Frecuencia (es el conteo de datos de cada clase). Es la que generalmente se usa.
- b) Porcentaje (es el conteo de datos en cada clase respecto al número total de datos), y se usa cuando la comparación entre dos o más histogramas es necesaria, y n es diferente.

10. Dibujar el histograma y además:

- a) Anotar su título y todos los detalles posibles.
- b) Describir la unidad de medición de los ejes horizontal y vertical.
- c) Escribir el valor de  $\bar{X}$  (promedio de los datos) y el de S (desviación estándar). Dibujar la línea que represente  $\bar{X}$ .
- d) Dibujar, si existen, los límites de especificación o los límites de tolerancia.

El siguiente es un ejemplo desarrollado de acuerdo a los anteriores pasos. Datos de Espesores de un bloque de metal en mm.

| Datos  | $X_M$       | $X_m$       |
|--|-------------|-------------|
| <u>3.56</u> 3.46 3.48 3.50 <u>3.42</u> 3.43 3.52 3.49 3.44 3.50        | 3.56        | 3.42        |
| 3.48 <u>3.56</u> 3.50 3.52 3.47 3.48 3.46 3.50 3.56 <u>3.38</u>        | 3.56        | 3.38        |
| 3.41 <u>3.37</u> 3.47 3.49 3.45 3.44 <u>3.50</u> 3.49 3.46 3.46        | 3.50        | 3.37        |
| <u>3.55</u> 3.52 <u>3.44</u> 3.50 3.45 3.44 3.48 3.46 3.52 3.46        | 3.55        | 3.44        |
| 3.48 3.48 3.32 3.40 <u>3.52</u> 3.34 3.46 3.43 <u>3.30</u> 3.46        | 3.52        | <u>3.30</u> |
| 3.59 <u>3.63</u> 3.59 3.47 3.38 3.52 3.45 3.48 <u>3.31</u> 3.46        | 3.63        | 3.31        |
| <u>3.40</u> 3.54 3.46 3.51 3.48 3.50 <u>3.68</u> 3.60 3.46 3.52        | <u>3.68</u> | 3.40        |
| 3.48 3.50 <u>3.56</u> 3.50 3.52 <u>3.46</u> 3.48 3.46 3.52 3.56        | 3.56        | 3.46        |
| 3.52 3.48 <u>3.46</u> 3.45 3.46 3.54 <u>3.54</u> 3.48 3.49 <u>3.41</u> | 3.54        | 3.41        |
| 3.41 3.45 <u>3.34</u> 3.44 3.47 3.47 3.41 3.48 <u>3.54</u> 3.47        | 3.54        | 3.34        |

$X_M$ : El valor más grande en el renglón

$X_m$ : El valor más pequeño en el renglón

4. Contar el número de tipos posibles de datos entre X máx. y X mín. (K).

$$K = \frac{X_{\text{máx.}} - X_{\text{mín.}}}{a} + 1$$

5. Determinar el tamaño provisional de las clases del histograma (c').

$$c' = (K/\sqrt{n}) a$$

6. Decidir el tamaño de clase para el histograma (c).

Si para clasificar los datos es fácil usar el tamaño provisional  $c'$ , se selecciona  $c'$  como  $c$ . De otra forma, se selecciona  $c$  para un valor cercano de  $c'$ , valor de las series decimales de 1, 2 o 5.

Por ejemplo, los valores de C serían:

...., 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100, ...  
 ...., 0.002, 0.02, 0.2, 2, 20, 200, ...  
 ...., 0.005, 0.05, 0.5, 5, 50, 500, ...

7. Decidir la frontera menor de la clasificación ( $C_1$ ).

$$C_1 = X_{\text{mín.}} - \frac{a}{2}$$

8. Decidir las fronteras de las clases, en forma de tabla de frecuencias:

TABLA DE FRECUENCIAS

| Frontera de clase |                        | Valor medio<br>de clase | Frecuencia |
|-------------------|------------------------|-------------------------|------------|
| Inferior          | Superior               |                         |            |
| $C_1 \rightarrow$ | $C_1 + C$              | $C_1 + C/2$             | :          |
| $C_1 + C$         | $\rightarrow C_1 + 2C$ | $C_1 + 3C/2$            |            |
| $C_1 + 2C$        | $\rightarrow C_1 + 3C$ | $C_1 + 5C/2$            |            |

1.  $n = 100$

2.  $X_{\max.} = 3.68, X_{\min.} = 3.30$

3.  $a = .01$

4.  $K = \frac{X_{\max.} - X_{\min.}}{a} + 1 = \frac{3.68 - 3.30}{0.01} + 1 = 39$

5.  $C' = (K/\sqrt{n}) \quad a = (39/\sqrt{100}) (0.01) = 0.039$

6.  $C = 0.05$

7.  $C_1 = X_{\min.} - \frac{a}{2} = 3.30 - \frac{0.01}{2} = 3.295$

8. Tabla de frecuencia.

| FRONTERA DE CLASE | Valor Medio | CONTEO | FREC. |
|-------------------|-------------|--------|-------|
| 3.295 --- 3.345   | 3.32        |        | 5     |
| 3.345 --- 3.395   | 3.37        |        | 3     |
| 3.395 --- 3.445   | 3.42        |        | 15    |
| 3.445 --- 3.495   | 3.47        |        | 42    |
| 3.495 --- 3.545   | 3.52        |        | 24    |
| 3.545 --- 3.595   | 3.57        |        | 8     |
| 3.595 --- 3.645   | 3.62        |        | 2     |
| 3.645 --- 3.695   | 3.67        |        | 1     |

9. Medida del eje vertical: frecuencia.

10. Dibujar el histograma.

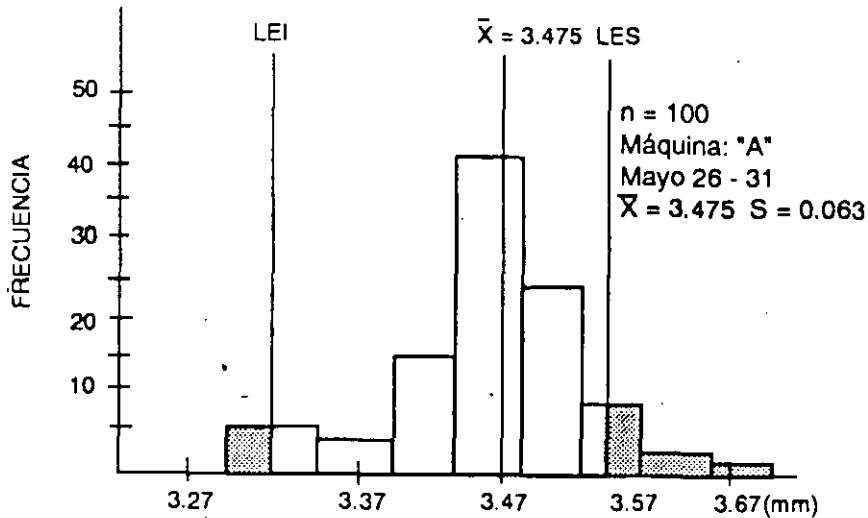


Fig. 3.1. Histograma para espesores de un bloque de metal

**Cómo calcular el promedio y la desviación estándar de los datos.**

A) Utilizando las fórmulas correspondientes (Sección II, cap. 3).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Se puede emplear una calculadora con funciones estadísticas para facilitar los cálculos.

B) Considerando la agrupación de los datos.

Este procedimiento parte de utilizar la tabla de frecuencias hecha para construir el histograma, los pasos a seguir son los siguientes.

1. Determine el valor X representativo que reemplazará el valor medio de la clase, asignando un 0 a la clase con mayor frecuencia y escribiendo a partir de este valor hacia abajo: 1, 2, 3, ..... y hacia arriba: -1, -2, -3, ....
2. Calcule el producto Xf, donde X son los valores determinados representativos para las clases en el paso anterior y f es la frecuencia correspondiente a cada clase.
3. Calcule: X<sup>2</sup>f, el cual es igual a: (X) (Xf).
4. Calcule las sumas de: f, Xf y X<sup>2</sup>f, respectivamente.
5. Calcule la media de la muestra y la desviación estándar de la muestra:

$$\bar{X} = X_0 + (\Sigma Xf/n) (C)$$

$$S = C \sqrt{\left[ \frac{\Sigma X^2 f - \frac{(\Sigma Xf)^2}{n}}{n-1} \right]}$$

donde: X<sub>0</sub> = media temporal asignada  
 C = valor del intervalo de clase  
 n = tamaño de la muestra

Ejemplo: considerando la tabla de frecuencias de los datos anteriores:  
 Pasos 1 al 4.-

TABLA DE FRECUENCIAS

| Frontera de clase | Valor medio            | Conteo | Frec      | X   | Xf  | X <sup>2</sup> f |
|-------------------|------------------------|--------|-----------|-----|-----|------------------|
|                   |                        |        | f         |     |     |                  |
| -----             | 3.32                   |        | 5         | -3  | -15 | 45               |
| -----             | 3.37                   |        | 3         | -2  | -6  | 12               |
| -----             | 3.42                   |        | 15        | -1  | -15 | 15               |
| -----             | 3.47*                  |        | 42        | 0   | 0   | 0                |
| -----             | 3.52                   |        | 24        | 1   | 24  | 24               |
| -----             | 3.57                   |        | 8         | 2   | 16  | 32               |
| -----             | 3.62                   |        | 2         | 3   | 6   | 18               |
| -----             | 3.67                   |        | 1         | 4   | 4   | 16               |
|                   | *X <sub>0</sub> = 3.47 |        | Sumas=100 | --- | 14  | 162              |

5.- Cálculo de  $\bar{X}$  y S:

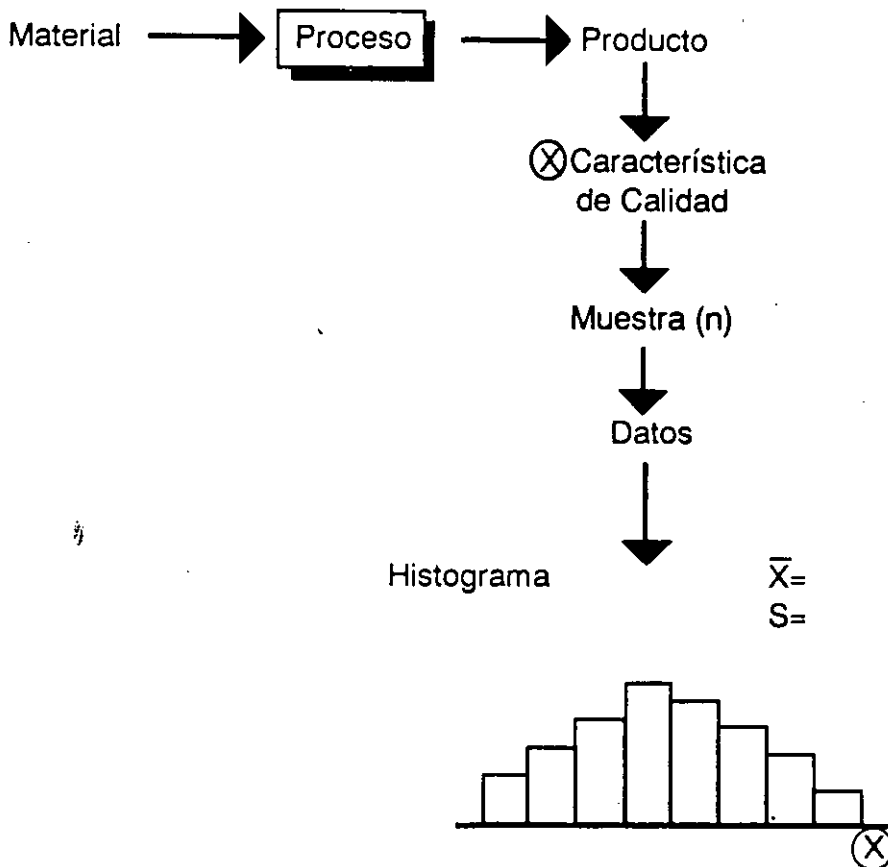
$$X_o = 3.47, C = 0.05, n = 100$$

$$\bar{X} = 3.47 + (14/100) (0.05) = 3.477^*$$

$$S = 0.05 \sqrt{\left[162 - \frac{(14)^2}{100}\right] / (100 - 1)} = 0.0635^*$$

\* Valores de la media de la muestra y de la desviación estándar de la muestra.

El histograma revela información valiosa respecto al proceso de producción, tal como la estabilidad del proceso, lo que implica que los procedimientos estándar son cumplidos, así como el cumplimiento de las especificaciones definidas para el producto resultante.





1. Determine el valor X representativo que reemplazará el valor medio de la clase, asignando un 0 a la clase con mayor frecuencia y escribiendo a partir de este valor hacia abajo: 1, 2, 3, ..... y hacia arriba: -1, -2, -3, ....
2. Calcule el producto Xf, donde X son los valores determinados representativos para las clases en el paso anterior y f es la frecuencia correspondiente a cada clase.
3. Calcule: X<sup>2</sup>f, el cual es igual a: (X) (Xf).
4. Calcule las sumas de: f, Xf y X<sup>2</sup>f, respectivamente.
5. Calcule la media de la muestra y la desviación estándar de la muestra:

$$\bar{X} = X_0 + (\Sigma Xf/n) (C)$$

$$S = C \sqrt{\left[ \frac{\Sigma X^2 f - \frac{(\Sigma Xf)^2}{n}}{n-1} \right]}$$

donde: X<sub>0</sub> = media temporal asignada  
 C = valor del intervalo de clase  
 n = tamaño de la muestra

Ejemplo: considerando la tabla de frecuencias de los datos anteriores:  
 Pasos 1 al 4.-

TABLA DE FRECUENCIAS

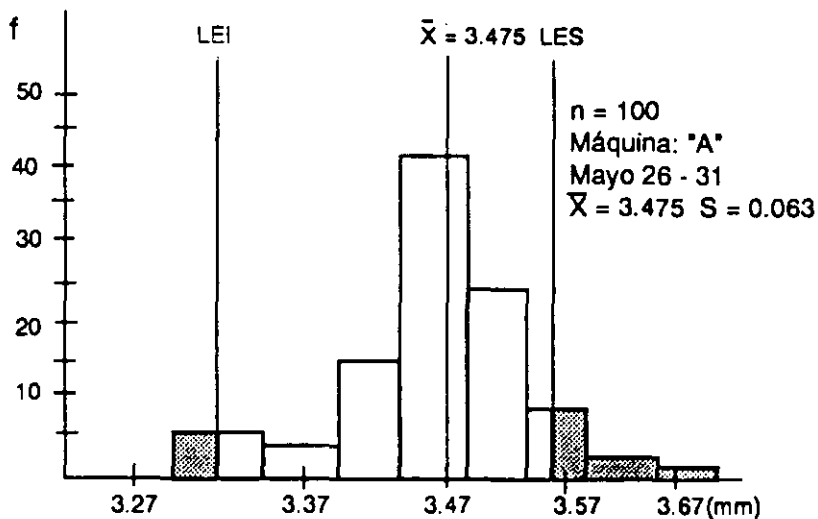
| Frntera de clase | Valor medio            | Conteo | Frec      | X   | Xf  | X <sup>2</sup> f |
|------------------|------------------------|--------|-----------|-----|-----|------------------|
|                  |                        |        | f         |     |     |                  |
| -----            | 3.32                   |        | 5         | -3  | -15 | 45               |
| -----            | 3.37                   |        | 3         | -2  | -6  | 12               |
| -----            | 3.42                   |        | 15        | -1  | -15 | 15               |
| -----            | 3.47*                  |        | 42        | 0   | 0   | 0                |
| -----            | 3.52                   |        | 24        | 1   | 24  | 24               |
| -----            | 3.57                   |        | 8         | 2   | 16  | 32               |
| -----            | 3.62                   |        | 2         | 3   | 6   | 18               |
| -----            | 3.67                   |        | 1         | 4   | 4   | 16               |
|                  | *X <sub>0</sub> = 3.47 |        | Sumas=100 | --- | 14  | 162              |

Analizando la forma del histograma podemos establecer, si es aproximadamente parecida a una distribución normal, que existe estabilidad de proceso; analizando la dispersión (s), podemos comparar la variación natural del proceso (6 s), con las especificaciones, etc.

En síntesis, por medio del histograma podemos encontrar y definir situaciones problemáticas.

### Usos del histograma

- 1) Conocer la forma, localización y dispersión\* de la distribución del proceso - (población).



Preguntas comunes para analizar el histograma, con base en este ejemplo:

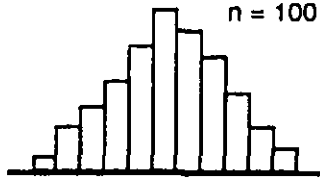
- ¿Cuál es el espesor más común de los bloques de metal? (la moda).
- ¿Qué tan grande es la dispersión? (la desviación estándar).
- ¿Es simétrica la distribución? (parecida a una distribución normal).
- ¿Es sesgada? ¿Distorsionada? (no es normal).
- ¿Tiene una sola tendencia central?.
- ¿En síntesis, cuales son las características de la producción? .

\* Localización = media ( $\bar{X}$ ).

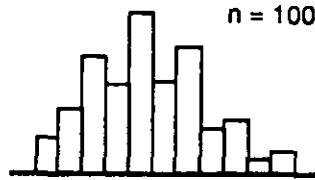
Dispersión = desviación estándar (s).

## Herramientas Estadísticas

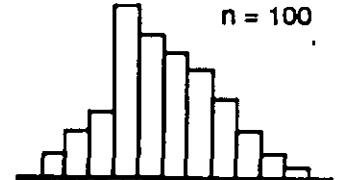
A continuación algunas posibles formas de histogramas, como patrones comunes y su justificación:



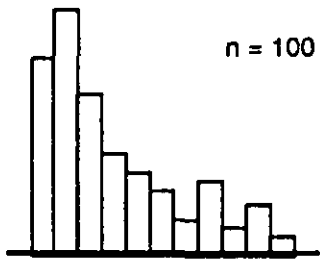
A) TIPO DE DISTRIBUCION NORMAL.



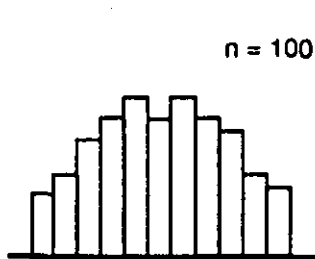
B) TIPO "SERRUCHO"



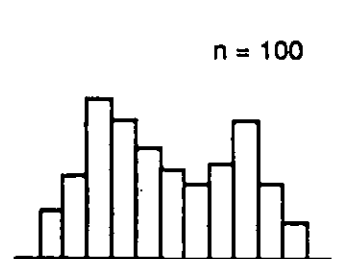
C) TIPO SESGADA



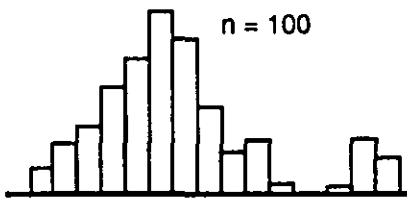
D) TIPO "PENDIENTE"



E) TIPO "MESETA"



F) "DOS PICOS"



G) DATOS AISLADOS

A) Tipo de distribución normal.

El Histograma de una muestra tomada de un proceso aleatorio bien controlado (distribución normal), siempre será de este tipo, si la muestra proviene de una población grande o indeterminada. La distribución normal, también es conocida como la distribución del error.

B) Tipo serrucho.

Tendremos esta forma cuando el tamaño de la clase del histograma (c), no ha sido establecida como el número entero de veces la unidad mínima de los dígitos de los datos (a). O sea que  $c \neq (k/\sqrt{n}) (a)$ .

C) Tipo sesgada.

Estos histogramas se observan en casos de defectos o fallas, puesto que son muestras que provienen de una población con distribución sesgada, o sea, un tipo de distribución binomial o Poisson.

D) Tipo pendiente.

Si existe un solo límite de especificación, los datos obtenidos nos darán esta forma de histograma, debido a la preparación y ajuste del proceso. Ya que el supervisor y los trabajadores normalmente no desean producir defectos.

E) Tipo meseta.

Este es un caso en el que los datos provienen de varias poblaciones con distribución normal: y fueron mezclados.

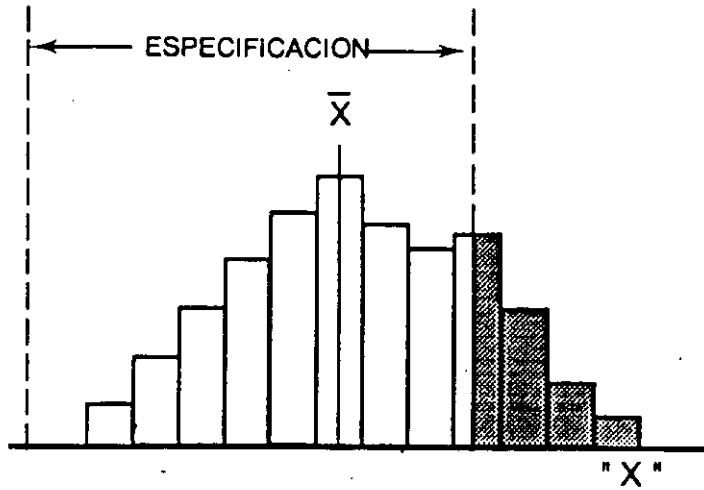
F) Dos picos.

Aquí se trata de datos de muestras de dos poblaciones con distribución normal.

G) Datos aislados.

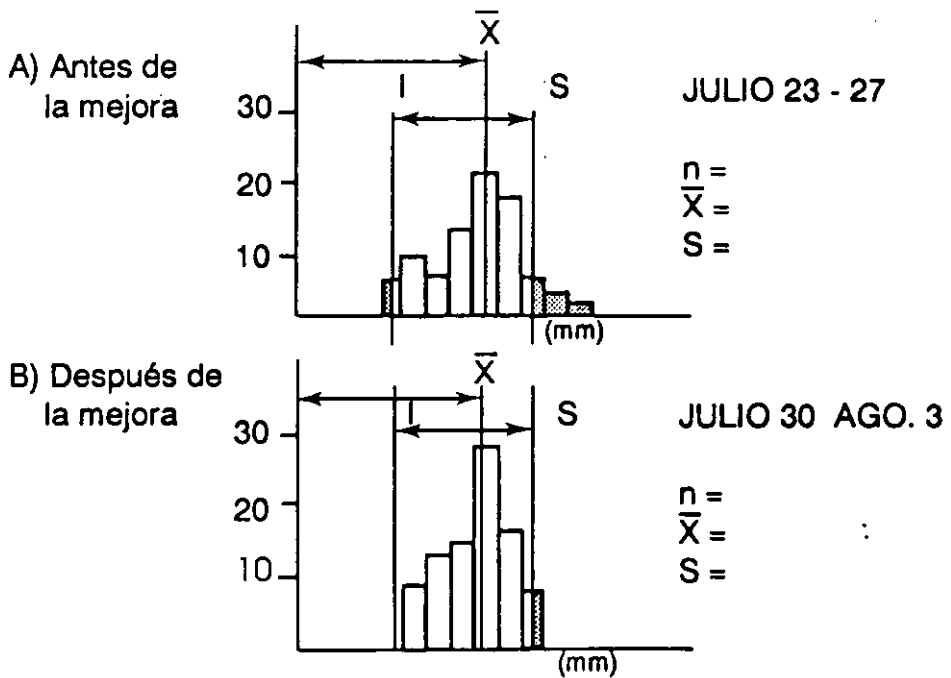
Este tipo de histograma se da debido a errores en mediciones o en la toma de la muestra.

- 2) Conocer la relación entre los límites de especificación y la distribución del proceso:



¿Cuál es el porcentaje de productos que no cumple las especificaciones?  
 ¿Está  $\bar{X}$  exactamente en el centro de los límites de especificación?

3) Confirmar los efectos de las mejoras realizadas en el proceso:

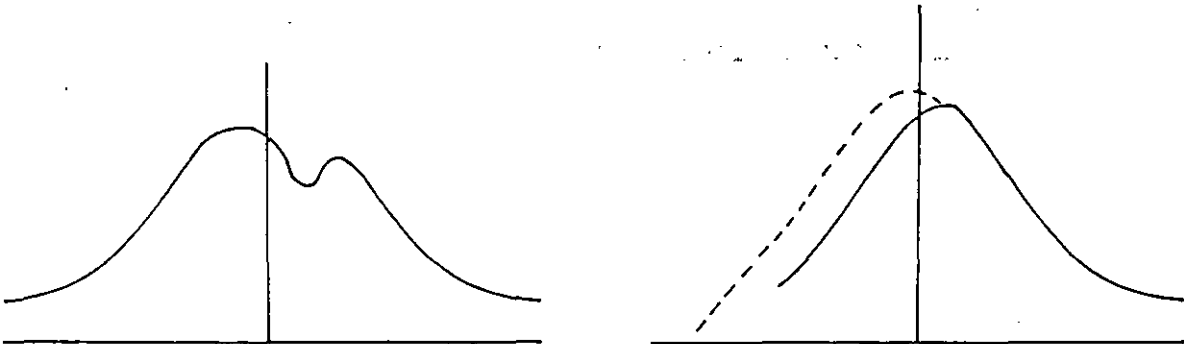


El anterior dibujo ilustra dos histogramas que muestran el comportamiento del proceso en diferentes fechas, al comparar los histogramas podemos observar el mejoramiento de la capacidad de calidad del proceso; en otras palabras, la calidad de conformancia o productividad del proceso; o sea, obtener la mayor producción dentro de especificaciones a la primera intención.

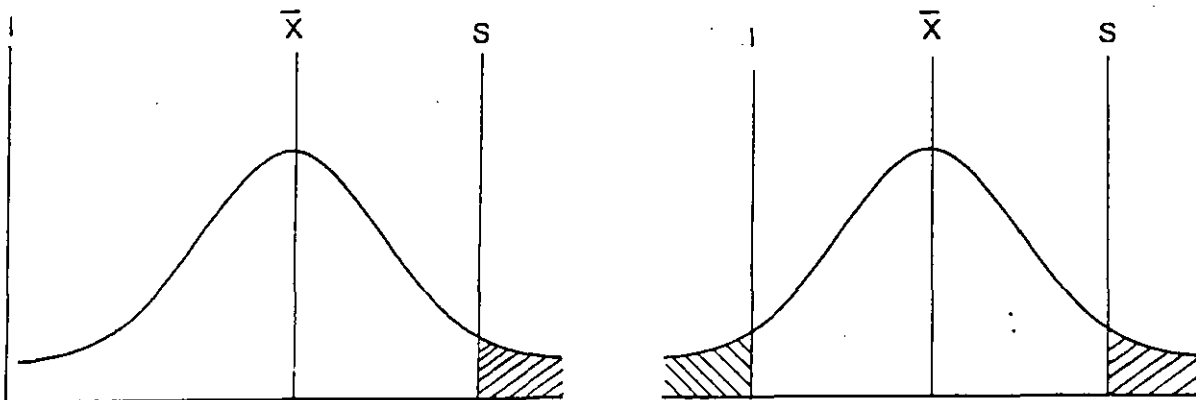
La comparación debe hacerse en períodos y cantidad de datos (tamaño de muestra) semejantes.

En resumen, un histograma revela problemas en un proceso, principalmente cuando:

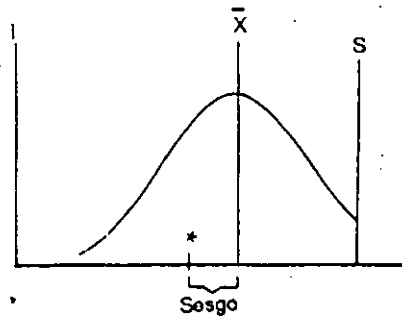
- a) La forma de la distribución esta distorsionada. O sea cuando la forma de la distribución no es aproximadamente tipo curva normal; esto significa que la estandarización del proceso no es correcta o no se cumple.



- b) Hay producción fuera de especificaciones (área sombreada).



c) Existe sesgo respecto a la media, o sea la media de la muestra no está en el centro de la especificación.



\*Centro de la especificación:  
Media esperada

El siguiente es un formato para facilitar la construcción del histograma y el cálculo de la media, desviación estándar y el porcentaje de cumplimiento con las especificaciones o tolerancia. Este formato está basado en el procedimiento que considera la agrupación de datos, para el cálculo de la media y desviación estándar. Para ilustrar su empleo, consideremos los datos del ejemplo al inicio del capítulo.

# FORMATO PARA HISTOGRAMA

Herramientas Básicas/

| PRODUCTO                   |                              | DEPARTAMENTO            |                     |                                  |                    | FECHA                            |                |               |                 |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|---------------|-----------------|
| CARACTERISTICAS DE CALIDAD |                              | PROCESO/MAQUINA         |                     |                                  |                    | OPERADOR                         |                |               |                 |
| ESPECIFICACIONES           |                              | INSTRUMENTO DE MEDICION |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
| METODO DE MUESTREO         |                              | RESPONSABLE             |                     |                                  | APROBO             |                                  |                |               |                 |
| FRONTERAS DE CLASE         | VALOR MEDIO (VM)             | CONTEO                  |                     |                                  |                    | 1                                | 2              | 3=1x2         | 4=2x3           |
|                            |                              | 10                      | 20                  | 30                               | 40                 | f                                | x              | fx            | fx <sup>2</sup> |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    |                                  |                |               |                 |
| FORMA DE LA DISTRIBUCION   |                              | OBSERVACIONES           |                     |                                  |                    | 5                                | 6              | 7             |                 |
|                            |                              |                         |                     |                                  |                    | $\Sigma f$                       | $\Sigma fx$    | $\Sigma fx^2$ |                 |
| MEDIA                      | $\frac{\Sigma fx}{\Sigma f}$ | $8 = \frac{6}{5}$       | DESVIACION ESTANDAR | $\frac{\Sigma fx^2}{\Sigma f}$   | $10 = \frac{7}{5}$ | CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES | FUERA DE ESP.  |               |                 |
|                            | INTERVALO DE CLASE C         |                         |                     | $\frac{(\Sigma fx)^2}{\Sigma f}$ | $11 = 8^2$         |                                  | BAJO LIMITE    | SOBRE LIMITE  |                 |
|                            | 9=                           | 8 x C                   |                     | 12=                              | 10 - 11            |                                  | %              | %             |                 |
|                            | VM DONDE X=0                 |                         |                     | 13=                              | $\sqrt{12}$        |                                  | DENTRO DE ESP. |               |                 |
|                            | $\bar{X} =$                  | VM + 9                  |                     | S=                               | c x 13             |                                  | %              |               |                 |

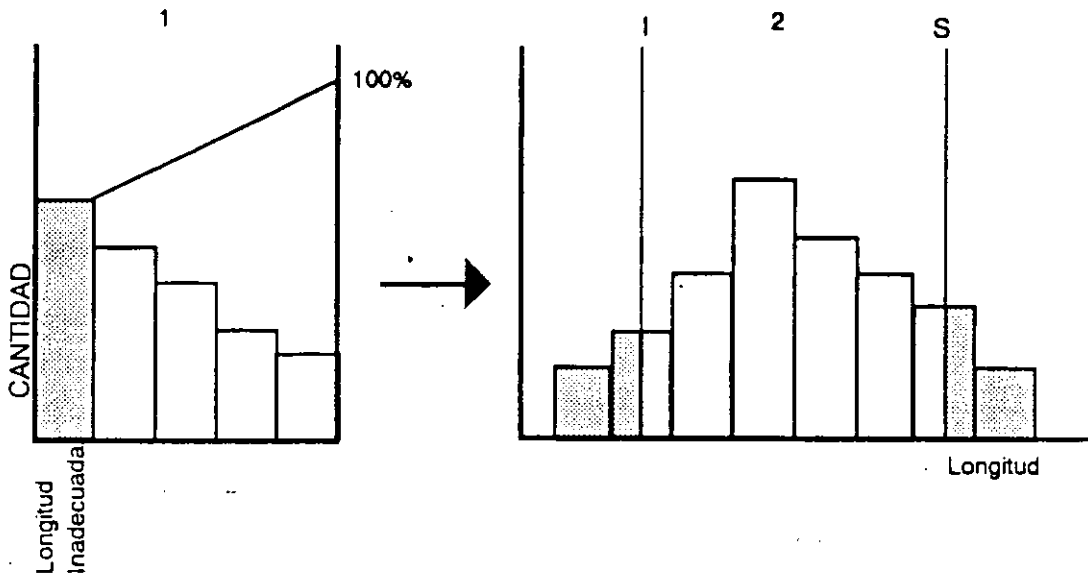


# FORMATO PARA HISTOGRAMA

Herramientas Estadísticas

| PRODUCTO<br><i>BLOQUE DE METAL</i>               |                              |                   |              | DEPARTAMENTO            |                                |                                  |              | FECHA          |                 |              |
|--|------------------------------|-------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|
| CARACTERISTICAS DE CALIDAD<br><i>ESPESOR</i>     |                              |                   |              | PROCESO/MAQUINA         |                                |                                  |              | OPERADOR       |                 |              |
| ESPECIFICACIONES<br><i>3.32 - 3.56</i>           |                              |                   |              | INSTRUMENTO DE MEDICION |                                |                                  |              |                |                 |              |
| METODO DE MUESTREO<br><i>AL AZAR</i>             |                              |                   |              | RESPONSABLE             |                                |                                  |              | APROBO         |                 |              |
| FRONTERAS DE CLASE                               | VALOR MEDIO (VM)             | CONTEO            |              |                         |                                | 1                                | 2            | 3=1x2          | 4=2x3           |              |
|  |                              | 10                | 20           | 30                      | 40                             | f                                | x            | fx             | fx <sup>2</sup> |              |
| <i>3.295 - 3.345</i>                             | <i>3.32</i>                  |                   |              |                         |                                | <i>5</i>                         | <i>-3</i>    | <i>-15</i>     | <i>-45</i>      |              |
| <i>3.345 - 3.395</i>                             | <i>3.37</i>                  |                   |              |                         |                                | <i>3</i>                         | <i>-2</i>    | <i>-6</i>      | <i>12</i>       |              |
| <i>3.395 - 3.445</i>                             | <i>3.42</i>                  |                   |              |                         |                                | <i>15</i>                        | <i>-1</i>    | <i>-15</i>     | <i>15</i>       |              |
| <i>3.445 - 3.495</i>                             | <i>3.47</i>                  |                   |              |                         |                                | <i>42</i>                        | <i>0</i>     | <i>0</i>       | <i>0</i>        |              |
| <i>3.495 - 3.545</i>                             | <i>3.52</i>                  |                   |              |                         |                                | <i>24</i>                        | <i>1</i>     | <i>24</i>      | <i>24</i>       |              |
| <i>3.545 - 3.595</i>                             | <i>3.57</i>                  |                   |              |                         |                                | <i>8</i>                         | <i>2</i>     | <i>16</i>      | <i>32</i>       |              |
| <i>3.595 - 3.645</i>                             | <i>3.62</i>                  |                   |              |                         |                                | <i>2</i>                         | <i>3</i>     | <i>6</i>       | <i>18</i>       |              |
| <i>3.645 - 3.695</i>                             | <i>3.67</i>                  |                   |              |                         |                                | <i>1</i>                         | <i>4</i>     | <i>4</i>       | <i>16</i>       |              |
| FORMA DE LA DISTRIBUCION<br><i>APROX. NORMAL</i> |                              |                   |              | OBSERVACIONES           |                                | <i>5</i>                         | <i>100</i>   | <i>6</i>       | <i>7</i>        |              |
|  |                              |                   |              |                         |                                | $\Sigma f$                       |              | $\Sigma fx$    | $\Sigma fx^2$   |              |
| MEDIA  | $\frac{\Sigma fx}{\Sigma f}$ | $8 = \frac{6}{5}$ | <i>.14</i>   | S                       | $\frac{\Sigma fx^2}{\Sigma f}$ | $10 = \frac{7}{5}$               | <i>1.62</i>  | FUERA DE ESP.  |                 |              |
|  | INTERVALO DE CLASE C         |                   | <i>.05</i>   |                         | $\frac{\Sigma fx^2}{\Sigma f}$ | $11 = 8^2$                       | <i>.019</i>  | BAJO LIMITE    | SOBRE LIMITE    |              |
|  | 9=                           | 8 x C             | <i>.007</i>  |                         | 12=                            | 10 - 11                          | <i>1.60</i>  | 2.5 %          |                 | <i>7.5 %</i> |
|  | VM DONDE X=0                 |                   | <i>3.47</i>  |                         | 13=                            | $\sqrt{12}$                      | <i>1.26</i>  | DENTRO DE ESP. |                 |              |
|  | $\bar{X} =$                  | VM + 9            | <i>3.477</i> |                         | S=                             | $c \times 13$                    | <i>0.063</i> | <i>90 %</i>    |                 |              |
|  |                              |                   |              |                         |                                | CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES |              |                |                 |              |

## Relación entre el diagrama de pareto y el histograma.



Cuando el problema principal, en el diagrama de pareto, su conteo (número de defectivos) proviene de datos continuos (mediciones primero a efectuar), el siguiente paso es analizar esta variable en un histograma, para comprender mejor la situación.

Un problema puede ser detectado inicialmente con un histograma, o con un diagrama de pareto primero y después analizado en un histograma.

### Recomendaciones para su uso.

Las siguientes son las recomendaciones más importantes en la elaboración y uso de un histograma.

1. Utilizar la unidad mínima de los dígitos de los datos en la construcción.

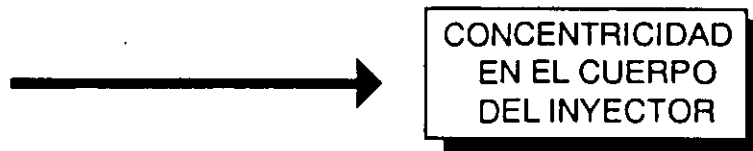
## Herramientas Estadísticas

Los factores son elementos de producción y sus variaciones originan problemas en los procesos productivos. Observe por ejemplo que dice, centros de la máquina y no centros de la máquina desgastados.

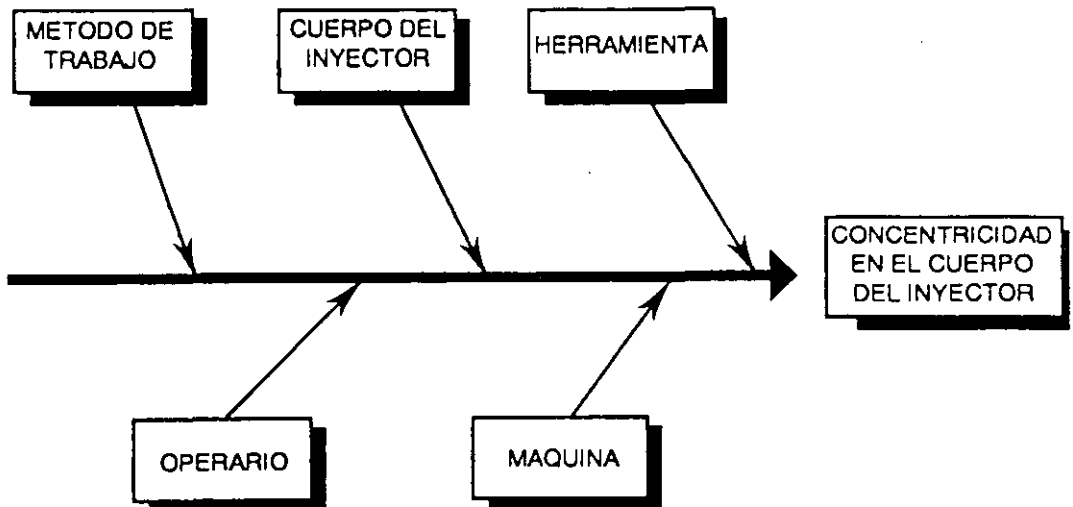
Paso 3. Determine qué factores dan lugar a otros y cuál es su relación entre ellos.

Ejemplo: Los centros de la máquina (1.1) afectan a la máquina (1).

Paso 4. Escriba la característica de calidad al final de una flecha dibujada como base del diagrama:



Paso 5. Anote los factores principales que afectan o determinan esta característica. Generalmente las partes en que se divide el proceso son: Método, mano de obra, materiales y maquinaria (cuatro "emes").

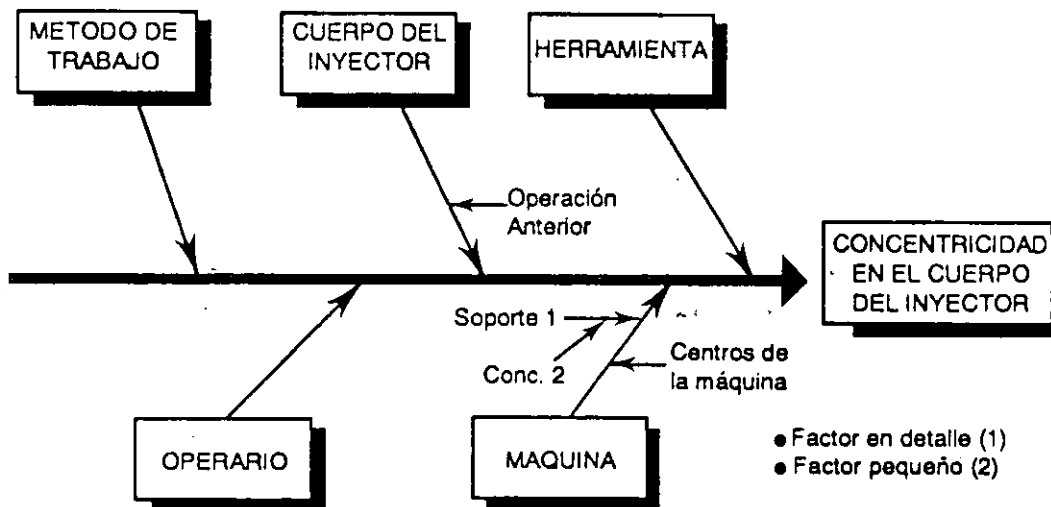


También pueden ser las fases del proceso.

En este ejemplo se utilizaron las 4 "emes".

Método = método de trabajo; mano de obra = operario; materiales = cuerpo del inyector; maquinaria y equipo = máquina. En este caso se considera la herramienta aparte, como otro factor principal, dada la influencia en la característica de calidad.

Paso 6. Apunte sobre las ramas de los factores principales los factores en detalle que causan o influyen en los principales. De igual manera escriba los factores pequeños que afectan a los factores en detalle:



Paso 7. Después de terminar el paso anterior, o sea cuando el diagrama muestre todos los factores que afectan a la característica de calidad, anote los factores suplementarios (detalles o pequeños) que causan dicha desviación o problema.

Paso 8. Identifique las causas que influyen en la característica de calidad (o problema) y seleccione las más probables encerrándolas en el diagrama.

Es muy importante diferenciar entre FACTORES Y CAUSAS. Un factor, como mencionamos anteriormente, son elementos reales de producción (no supuestos):

Factores = Máquina; centros de la máquina; temperatura.

Las causas, son el como los factores (sus variaciones) pueden ser el origen del problema:

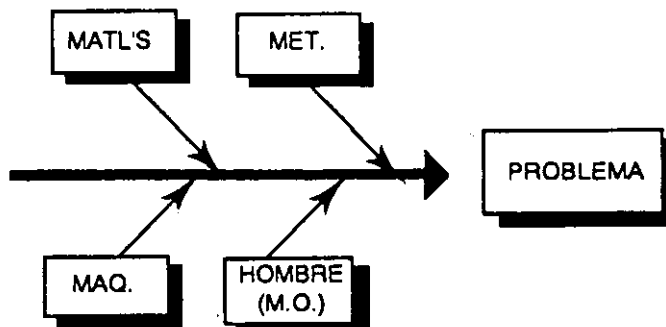
Causas: Máquina desajustada; centros de la máquina desgastados; temperatura baja (temperatura alta no puede ser causa).

Un factor puede ser causa de varias formas, por eso es importante identificarlos primero y luego determinar como pueden ser causa, para no limitar la información.

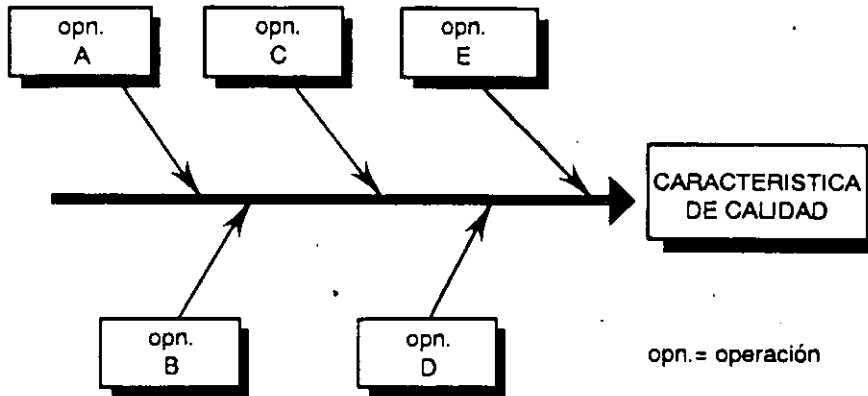
No es necesario analizar todos los factores para determinar como pueden ser causas; solo los más importantes.

### Métodos para elaborar un diagrama de causa y efecto.

1. Considerando las partes de un proceso 4 "emes".

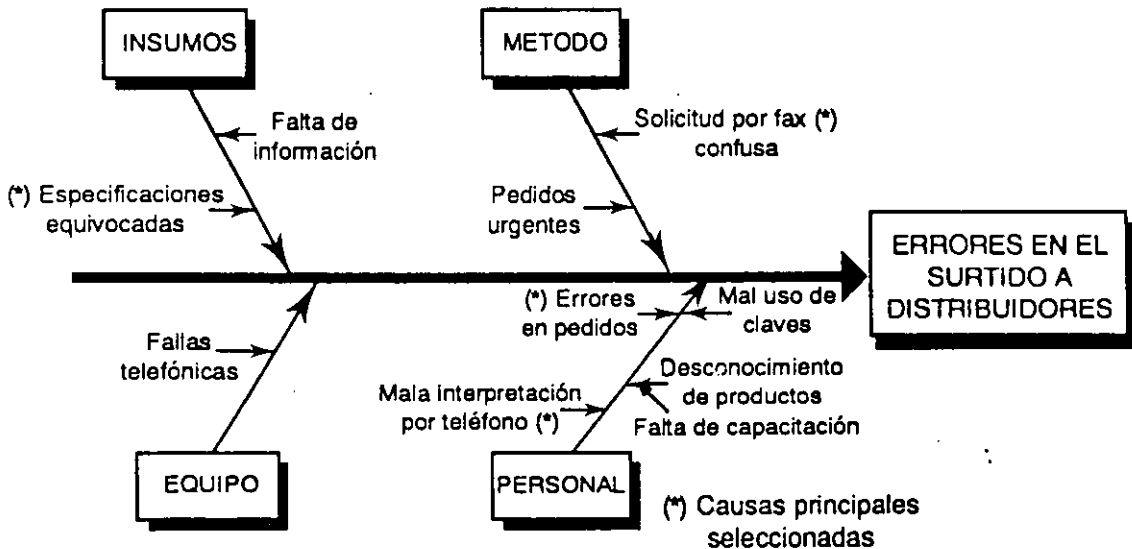


## 2. Fases del proceso

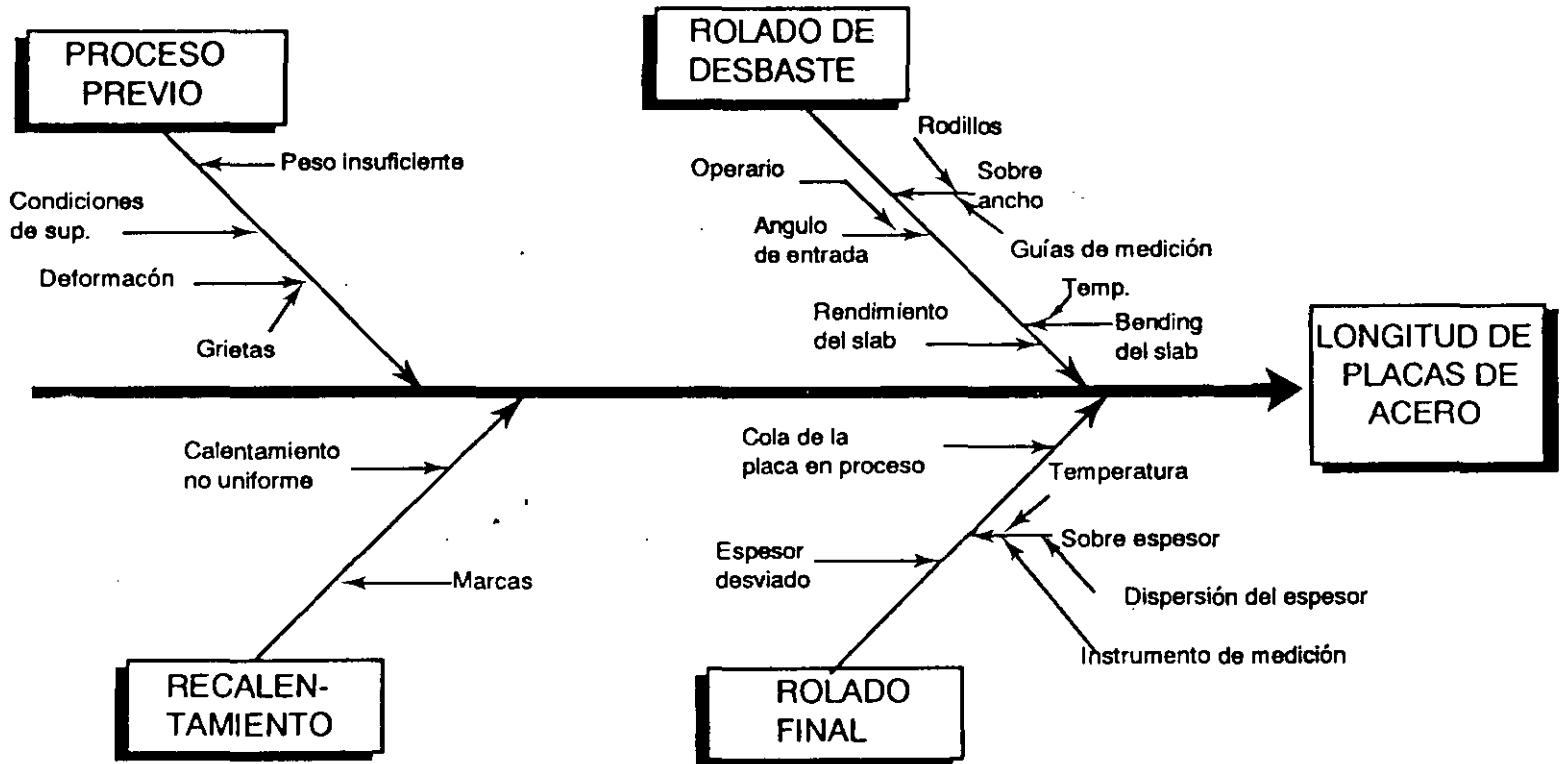


La elaboración de un diagrama de causa y efecto es flexible, se pueden emplear solamente algunas de la 4 "emes", o solo alguna(s) fase del proceso y combinarlo con las "emes".

A continuación un ejemplo de un diagrama de causa y efecto en un servicio.



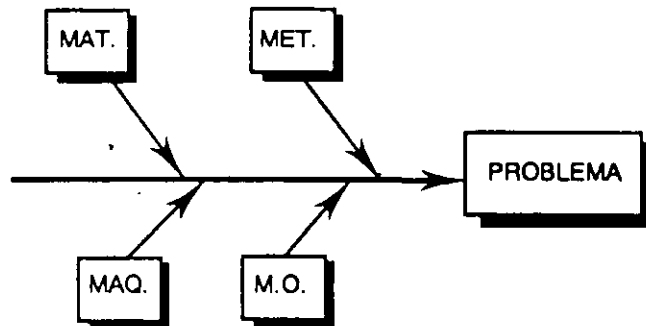
**DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO  
O DIAGRAMA DE ISHIKAWA  
(Por fases del proceso)**



## Usos del diagrama de causa y efecto.

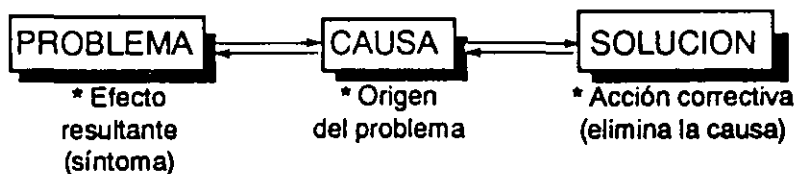
### 1. Para mejorar la calidad.

Generalmente se elabora el diagrama de causa y efecto en base al método de las 4 "emes".



El diagrama se emplea para identificar, analizar y seleccionar las causas más probables de un problema, para posteriormente confirmarlas y establecer la acción correctiva necesaria que prevenga la recurrencia del problema.

¡Eliminar la causa es la solución (acción correctiva) que previene la recurrencia del problema!



¡La acción correctiva que elimina el síntoma es un remedio inmediato; no es SOLUCION DEFINITIVA!

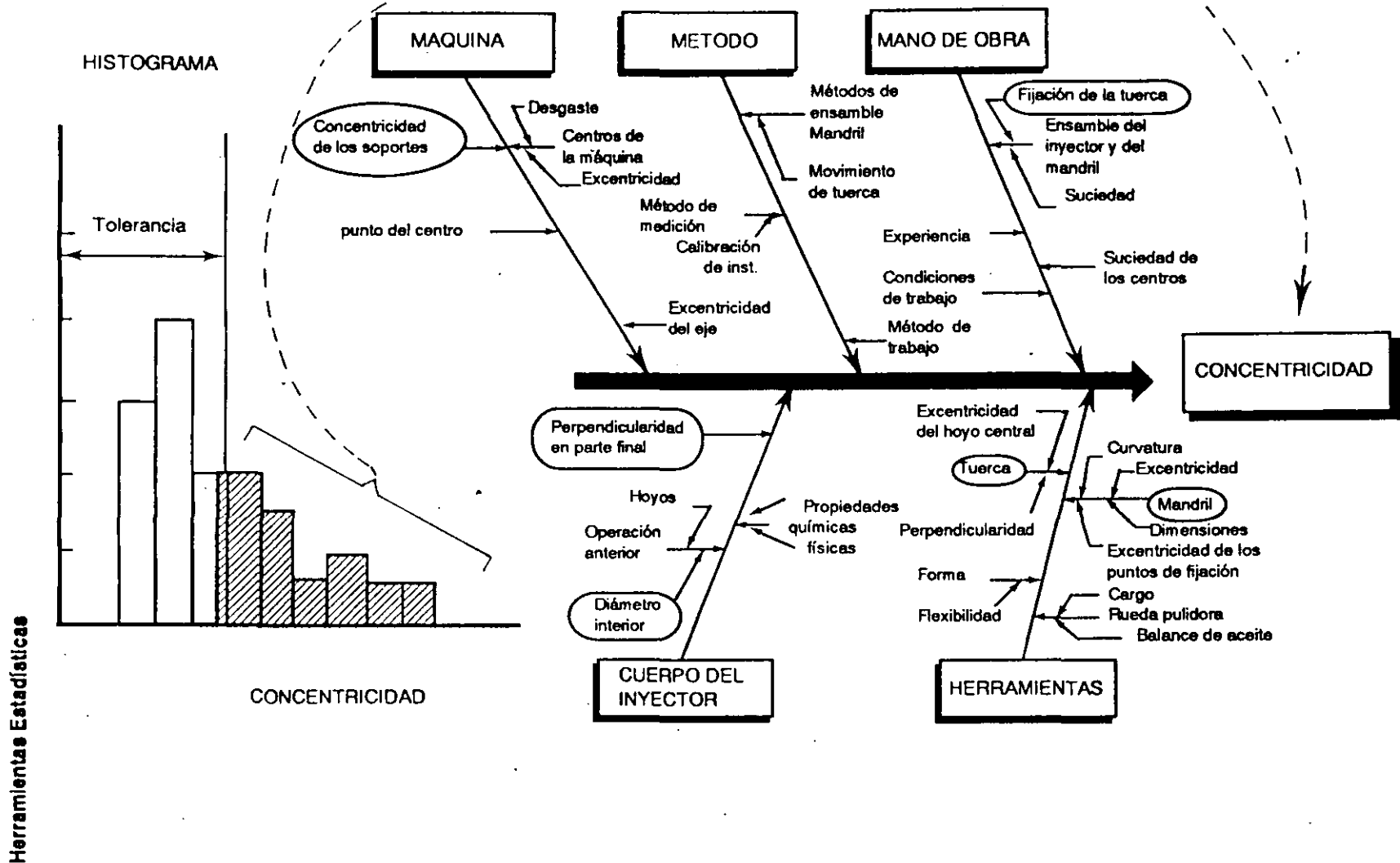
### 2. Para control del proceso.

Generalmente se elabora un diagrama considerando las fases del proceso.

El diagrama permite definir factores vitales definitivos a controlar en el proceso, para asegurar las características de calidad del producto.



# RELACION ENTRE EL HISTOGRAMA Y EL DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO

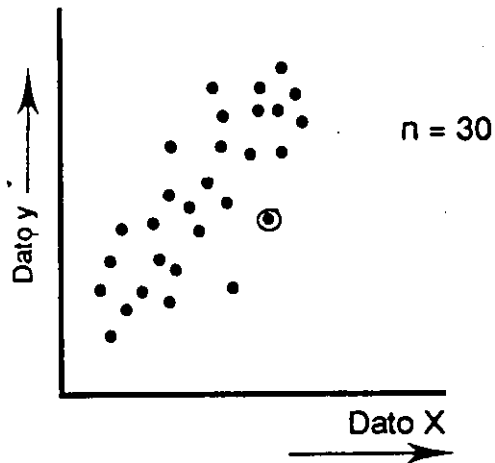


### Recomendaciones para su uso.

1. Identificar todos los factores relevantes, a través de discutir y analizar el problema con mucha gente.
2. Exprese la característica de calidad (problema) lo más concreto posible.
3. Elaborar un diagrama de causa y efecto para cada característica de calidad (problema específico).
4. Escoger características de calidad y factores medibles.
  - Es necesario confirmar estadísticamente la(s) causa(s).
  - Si no es medible, trate de medir, o utilice características de calidad substitutas.

## 5. Diagrama de Dispersión

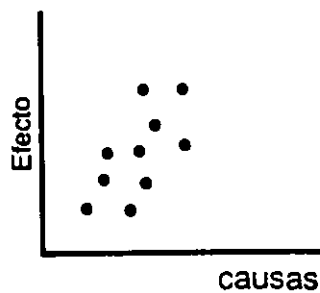
---



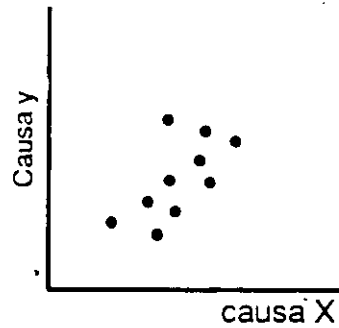
El Diagrama de Dispersión es una gráfica de puntos que muestra la relación entre un par de datos dibujados en un par de ejes.

La relación entre dos tipos de datos continuos (datos que provienen de mediciones efectuadas) es fácilmente observable y sus motivos más comunes son analizar:

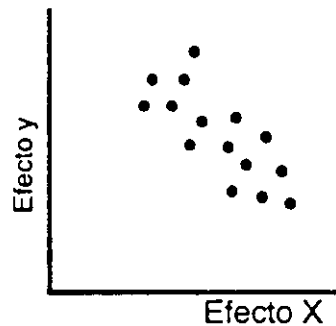
1. La relación entre una causa y un efecto.



2. La relación entre una causa y otra causa.



3. La relación entre un efecto y otro efecto (un problema y otro problema, o una característica de calidad del producto con otra).



El diagrama de dispersión es una herramienta indispensable antes de buscar la solución a un problema, ya que ésta depende de la causa del mismo, la cual es necesaria de confirmar con evidencia estadística.

El culpable es inocente,  
hasta que se pruebe lo contrario.

Para la elaboración del diagrama es necesario que los datos tengan una "relación obvia", por ejemplo, no podemos analizar datos de materia prima empleada la semana pasada, con datos del producto resultante de esta semana (elaborado con otra materia prima); el resultado del análisis no tendría significado lógico.

Anteponer la lógica para decidir que datos obtener y analizar su relación y dependencia, es esencial para aceptar la conclusión estadística.

### **Como probar si existe correlación**

El siguiente paso después de construir el diagrama de dispersión, es probar si existe correlación o no y de que tipo es. Esto se puede hacer por medio de los siguientes métodos.

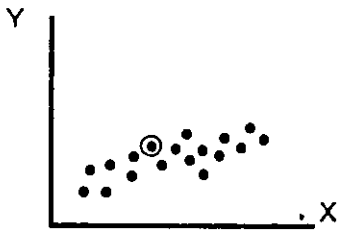
- A) Comparación con patrones comunes.
- B) Método de la mediana.
- C) Cálculo del coeficiente de correlación.

A continuación la explicación de cada uno de estos métodos.

- A) Comparación con patrones preestablecidos.

Este método de probar correlación (co-relación) o dependencia entre un par de datos gráficos, es simplemente comparar el diagrama de dispersión resultante versus (vs) estos patrones y concluir si hay o no correlación y de que tipo es, positiva o negativa.

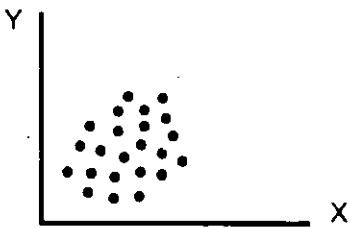
### PATRONES COMUNES DE DIAGRAMAS DE DISPERSION



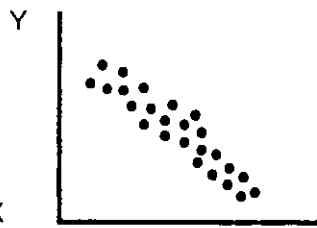
1. Correlación Positiva



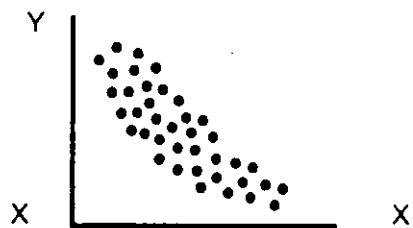
2. Posible correlación positiva



3. No correlación

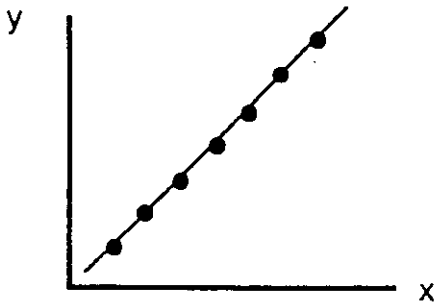


4. Correlación negativa

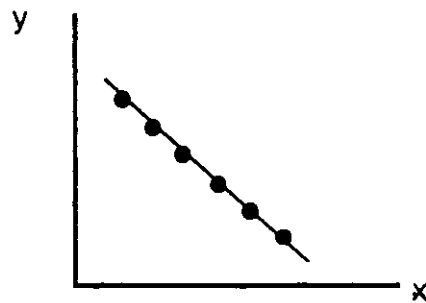


5. Posible correlación negativa

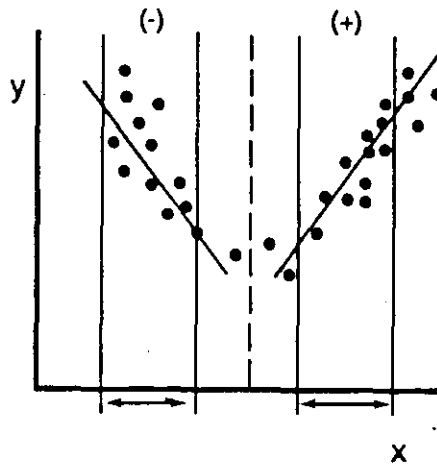
Otros patrones, casos especiales:



1. Relación lineal positiva



2. Relación lineal negativa

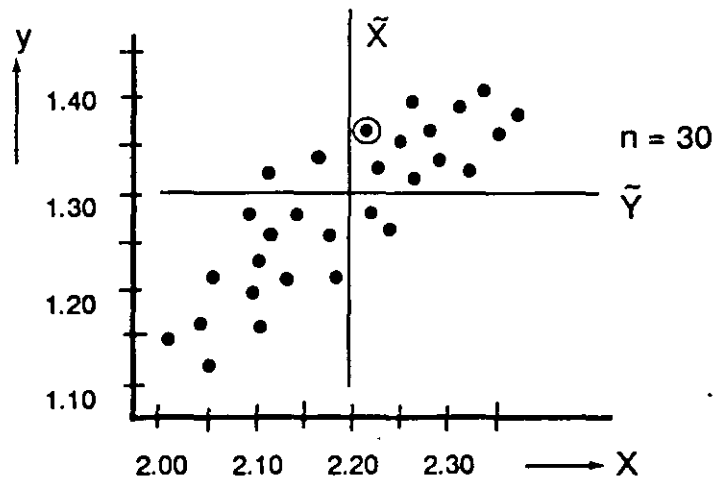


3. Dispersión parabólica: Correlación nula, es cero, pero la relación entre X y Y es muy fuerte en ciertos rangos. Se debe separar para analizarlo mejor.

### B) Método de la mediana

Procedimiento:

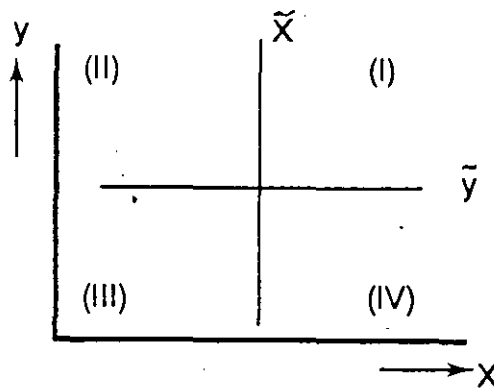
1. Dibuje las líneas mediana para la X y para Y, lo cual se logra dividiendo la cantidad de puntos en dos partes iguales tanto en el sentido de la X como en el de la Y:



LINEAS MEDIANAS DIBUJADAS EN UN DIAGRAMA DE DISPERSION

Las líneas medianas pueden pasar sobre algún punto o puntos.

2. Identifique las cuatro áreas resultantes después de trazar las líneas medianas. Márquelas con I, II, III, IV:



3. Cuente los puntos de cada área:

| Area      | Puntos |
|-----------|--------|
| (I)       | 13     |
| (II)      | 2      |
| (III)     | 13     |
| (IV)      | 2      |
| Total (n) | 30     |

4. Calcule el número de puntos en las áreas (I) + (III) y (II) + (IV), de acuerdo al paso anterior.

$$(I) + (III) = 13 + 13 = 26$$

$$(II) + (IV) = 2 + 2 = 4$$

$$\text{Total (N)} \longrightarrow 30$$

Si (I) + (III) es mayor que (II) + (IV) y si hay correlación (esto se probará en el siguiente paso), ésta será positiva. De otra forma será negativa (II + IV > I + III).



5. Establezca el "número límite de puntos", mayor y menor, de acuerdo con la tabla 5.2, mostrada en este capítulo:

Con  $N = 30$  el límite inferior = 9  
el límite superior = 21

Compare los puntos de la área que sea menor con el límite inferior y el total de puntos del área que sea mayor con el límite superior, siguiendo con el ejemplo:

(I) + (III) = 26 → TOTAL MAYOR  
(II) + (IV) = 4 → TOTAL MENOR

Si el total de puntos en el total mayor es mayor que el límite superior o si el total de puntos en el total menor es menor que el límite inferior, la correlación existe:

$26 > 21$  → EXISTE CORRELACION  
 $4 < 9$  → EXISTE CORRELACION

También en el caso de que ambos totales de puntos sean iguales a los límites, existe la correlación. Por ejemplo:

Para  $n = 21$ ; Límite inf. = 5, y si (II) + (IV) = 5 y  
límite sup. = 16. (I) + (III) = 16

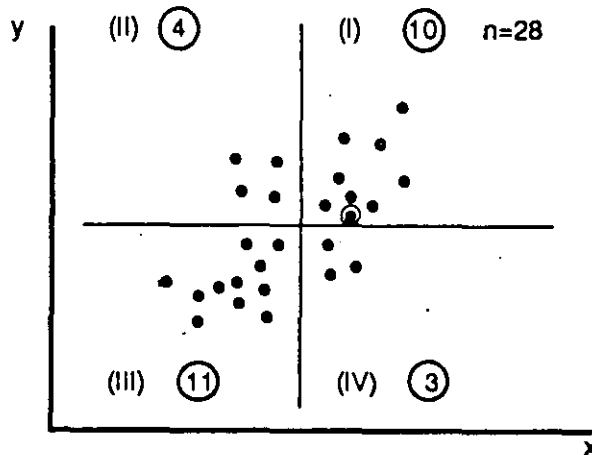
Entonces, como  $5 = 5$  y  $16 = 16$ , hay correlación.

| n  | Límite |      | n  | Límite |      | n  | Límite |      |
|----|--------|------|----|--------|------|----|--------|------|
|    | Inf.   | Sup. |    | Inf.   | Sup. |    | Inf.   | Sup. |
| 1  |        |      | 31 | 9      | 22   | 61 | 22     | 39   |
| 2  |        |      | 32 | 9      | 23   | 62 | 22     | 40   |
| 3  |        |      | 33 | 10     | 23   | 63 | 23     | 40   |
| 4  |        |      | 34 | 10     | 24   | 64 | 23     | 41   |
| 5  |        | 5    | 35 | 11     | 24   | 65 | 24     | 41   |
| 6  | 0      | 6    | 36 | 11     | 25   | 66 | 24     | 42   |
| 7  | 0      | 7    | 37 | 12     | 25   | 67 | 25     | 42   |
| 8  | 0      | 8    | 38 | 12     | 26   | 68 | 25     | 43   |
| 9  | 1      | 8    | 39 | 12     | 27   | 69 | 25     | 44   |
| 10 | 1      | 9    | 40 | 13     | 27   | 70 | 26     | 44   |
| 11 | 1      | 10   | 41 | 13     | 28   | 71 | 26     | 45   |
| 12 | 2      | 10   | 42 | 14     | 28   | 72 | 27     | 45   |
| 13 | 2      | 11   | 43 | 14     | 29   | 73 | 27     | 46   |
| 14 | 2      | 12   | 44 | 15     | 29   | 74 | 28     | 46   |
| 15 | 3      | 12   | 45 | 15     | 30   | 75 | 28     | 47   |
| 16 | 3      | 13   | 46 | 15     | 31   | 76 | 28     | 48   |
| 17 | 4      | 13   | 47 | 16     | 31   | 77 | 29     | 48   |
| 18 | 4      | 14   | 48 | 16     | 32   | 78 | 29     | 49   |
| 19 | 4      | 15   | 49 | 17     | 32   | 79 | 30     | 49   |
| 20 | 5      | 15   | 50 | 17     | 33   | 80 | 30     | 50   |
| 21 | 5      | 16   | 51 | 18     | 33   | 81 | 31     | 50   |
| 22 | 5      | 17   | 52 | 18     | 34   | 82 | 31     | 51   |
| 23 | 6      | 17   | 53 | 18     | 35   | 83 | 32     | 51   |
| 24 | 6      | 18   | 54 | 19     | 35   | 84 | 32     | 52   |
| 25 | 7      | 18   | 55 | 19     | 36   | 85 | 32     | 53   |
| 26 | 7      | 19   | 56 | 20     | 36   | 86 | 33     | 53   |
| 27 | 7      | 20   | 57 | 20     | 37   | 87 | 33     | 54   |
| 28 | 8      | 20   | 58 | 21     | 37   | 88 | 34     | 54   |
| 29 | 8      | 21   | 59 | 21     | 38   | 89 | 34     | 55   |
| 30 | 9      | 21   | 60 | 21     | 39   | 90 | 35     | 55   |

Tabla 5.2 PRUEBA DE SIGNO. NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 5%

inf. = inferior    sup. = superior

Consideremos el siguiente ejemplo:



Conteo de puntos en áreas (I) y (III) y (II) y (IV):

$$\begin{array}{rcl}
 \text{(I)} & + & \text{(III)} = 10 + 11 = 21 \text{ (TOTAL MAYOR)} \\
 \text{(II)} & + & \text{(IV)} = 4 + 3 = 7 \text{ (TOTAL MENOR)} \\
 \text{Total (N)} & \longrightarrow & 28
 \end{array}$$

Con  $n = 28$ , Límite inferior = 8

Como el total menor es menor al límite inferior, o sea:  $7 < 8$ , entonces sí existe correlación y ésta es positiva, ya que  $(I) + (III)$  es mayor que  $(II) + (IV)$ . Se puede probar observando la tendencia de la dispersión de los puntos: a medida que X aumenta Y se incrementa.

C) Cálculo del coeficiente de correlación, utilizando el papel de probabilidad binomial.

El papel de probabilidad binomial es una herramienta de mucha utilidad dentro de la estadística industrial. Por medio de él es muy fácil probar y estimar valores discretos, tales como el número de defectivos o la fracción defectiva y también se usa para probar y estimar la correlación y otras pruebas estadísticas.

Los métodos estadísticos reúnen cierta dificultad en su uso o aplicación

y por tanto, la tendencia es evitarlos en el trabajo. Sin embargo, usando una simple gráfica-papel de probabilidad binomial podemos hacer pruebas o calcular estimados de valores discretos sin necesidad de grandes operaciones. Este papel es muy práctico para analizar grandes cantidades de datos. Además, se puede utilizar para datos continuos expresados en orden o en cantidades positivas y negativas, como en el caso de la estimación del coeficiente de correlación a partir de su diagrama de dispersión.

**Naturaleza y usos.**

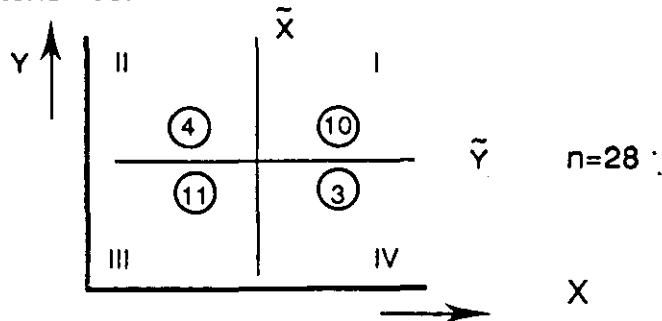
El papel de probabilidad binomial es una gráfica que tiene una escala (raíz cuadrada) en ambos ejes. Dicho en otras palabras, es un papel de raíz cuadrada calibrado en unidades de  $x$  a la distancia  $\sqrt{x}$ . La base en la gráfica es la distancia desde el origen 0 al 1.

Algunos de los usos más comunes que se le da al papel de probabilidad binomial son:

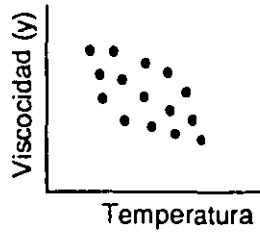
- \* Prueba para fracción defectiva de una población.
- \* Prueba para correlación-estimación del coeficiente de correlación.
- \* Comparación de dos grupos de datos apareados.
- \* Tablas de contingencia.

**Procedimiento para estimar el coeficiente de correlación.**

1. Dibuje las líneas medianas sobre el diagrama de dispersión e identifique las cuatro áreas: I, II, III y IV de acuerdo con el procedimiento presentado en el método de la mediana.
2. Cunte los puntos para cada área correspondiente y determine  $N(+)$  y  $N(-)$ . Considerando el diagrama de dispersión trazado en el ejemplo anterior, tenemos:



2. Segundo, confirmarla.



En este caso:  
X aumenta  
y disminuye

Cuando ambos, la causa y efecto son datos medibles (tipo) continuo, se debe emplear el diagrama de dispersión para confirmar la causa.

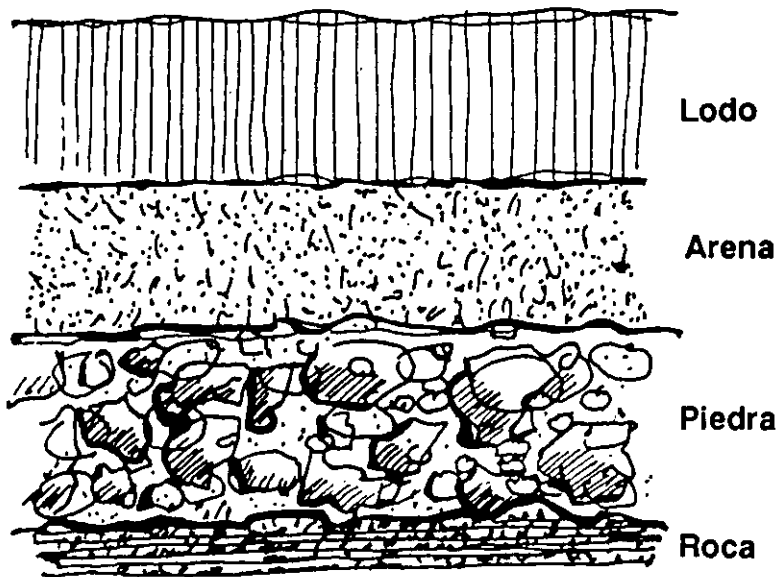
## 6. Estratificación

| Tipo de material | Artículos producidos | Artículos con defectos | Porcentaje de defectos |
|------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| x                | 1200                 | 100                    | 8.3%                   |
| y                | 1050                 | 110                    | 10.5%                  |
| z                | 950                  | 205                    | 21.5%                  |

La estratificación es la clasificación de factores en una serie de grupos con características similares, con el propósito de comprender mejor la situación y encontrar la causa de los problemas más fácilmente.

Si los datos no se clasifican, o no se agrupan por categorías, no es posible encontrar las causas de los problemas.

La estratificación es un concepto de la naturaleza (por tanto esencial de emplear), por ejemplo si analizamos la corteza terrestre observamos que está estratificada.



## Herramientas estadísticas

En realidad, la estratificación es, como el diagrama de dispersión, el primer paso a seguir después de la utilización del diagrama de causa y efecto, pero su utilización depende de la naturaleza de los datos.

Esta herramienta se emplea para clasificar datos discretos con el objeto de analizar la causa elegida (en el diagrama de causa y efecto) y confirmar su efecto sobre la característica de calidad a mejorar o problema a resolver.

Ejemplo 1. Análisis de defectivos estratificado por máquina:

| Máquina | Piezas producidas | Piezas defectivas | Porcentaje defectivo |
|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| A       | 84                | 3                 | 3.5%                 |
| B       | 90                | 10                | 11.1%                |
| C       | 90                | 12                | 13.3%                |
| Total   | 264               | 25                | 9.5%                 |

\* Piezas producidas o fabricadas que no cumplen con las especificaciones.

En este ejemplo podemos observar que el porcentaje de defectivos de las máquinas B y C son aproximadamente iguales, esto nos permite identificarlas como causas principales a analizar para el mejoramiento de determinada característica de calidad identificada previamente.

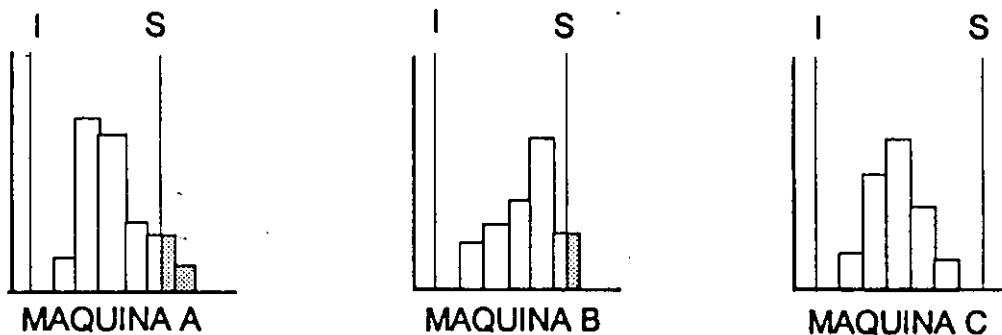
Ejemplo 2. Análisis de defectivos estratificado por material abastecido.

| Proveedor             | Piezas fabricadas | Piezas defectivas* | Porcentaje defectivo |
|-----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| Materias Primas, S.A. | 106               | 30                 | 28.3%                |
| Proveedora Industrial | 94                | 28                 | 29.7%                |
| Total                 | 200               | 58                 | 29%                  |

En este segundo ejemplo podemos observar que el porcentaje de defectivos en el producto terminado es alto y aproximadamente, el mismo independientemente del proveedor. Por lo tanto, debemos investigar causas atribuibles al propio proceso, como: maquinaria y equipo, métodos de trabajo y mano de obra.

La estratificación también se puede usar en histogramas, diagramas de dispersión, gráficas de control, etcétera, como se ilustra en el siguiente ejemplo:

### HISTOGRAMAS ESTRATIFICADOS



En este caso observamos que el problema de producción no reside en la máquina C. Si consideráramos los datos globales (sin estratificar) no podríamos concluir lo anterior. La siguiente pregunta es: ¿Qué pasa con la máquina C que no sucede con la A y con la B?

#### Como estratificar

A continuación presentamos una lista de pasos recomendados para llevar a cabo la estratificación.

##### PASO 1.

Determine los factores a estratificar y aclare la razón de ello. Los factores generalmente se refieren a las 4 m's (materiales, métodos, maquinaria y mano de obra).



Estos factores son causas supuestas de cierto problema en análisis para su solución.

**PASO 2.**

Clarifique estos factores en grupos individuales de tal manera que permitan definirlos mejor; por ejemplo:

| FACTOR           | GRUPO INDIVIDUAL  |
|------------------|---|
| •Material        | •Por proveedor; tipo; composición, etc.                       |
| •Métodos         | •Tipo de proceso; procedimiento; velocidad; temperatura, etc. |
| •Maquinaria      | •Modelo, vida, etc.   |
| •M.O. (operario) | •Experiencia, edad, etc.                                      |
| •Medio ambiente  | •Tiempo de producción, estación, día, noche, etc.             |

**PASO 3.**

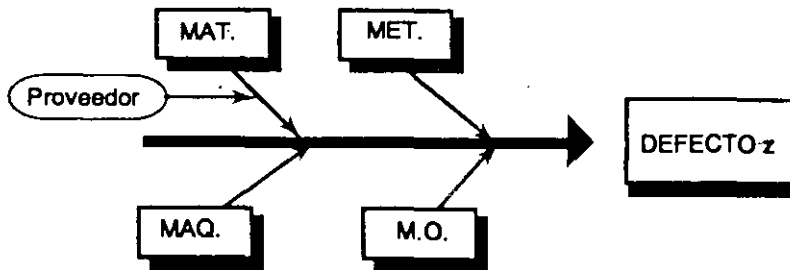
Diseñe una hoja de datos para obtener la información; la hoja debe contener la clasificación decidida para los grupos individuales.

**PASO 4.**

Obtenga, analice los datos y haga los cálculos necesarios para evaluar los grupos individuales entre si; establezca conclusiones.

**Usos de la estratificación.**

A) Para confirmar causas de problemas cuando se utilizan datos que provienen de conteos (datos discretos), por ejemplo:

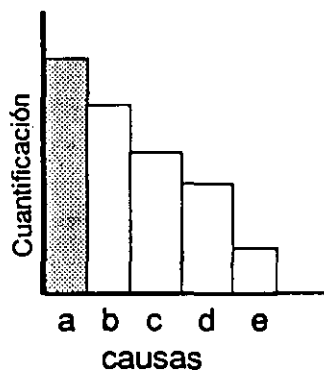


CONFIRMACION DE LA CAUSA

| Tipo de proveedor | Defecto z (resultados) |
|-------------------|------------------------|
| x                 | ...                    |
| y                 | ...                    |
| z                 | ...                    |

Observe que ambos, causa y efecto, su cuantificación proviene de conteos.

En algunas ocasiones se utiliza el diagrama de pareto para seleccionar causas más importantes, comparandolas entre sí. Al diagrama se le denomina diagrama de pareto de causas.

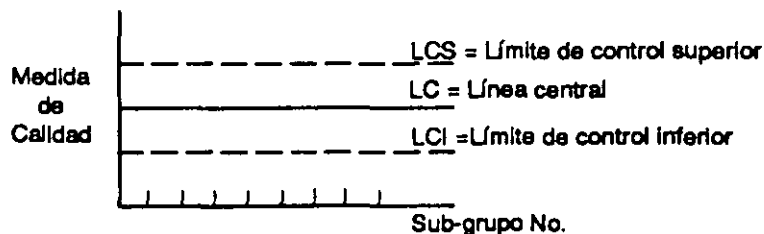


## 7. Gráficas de Control

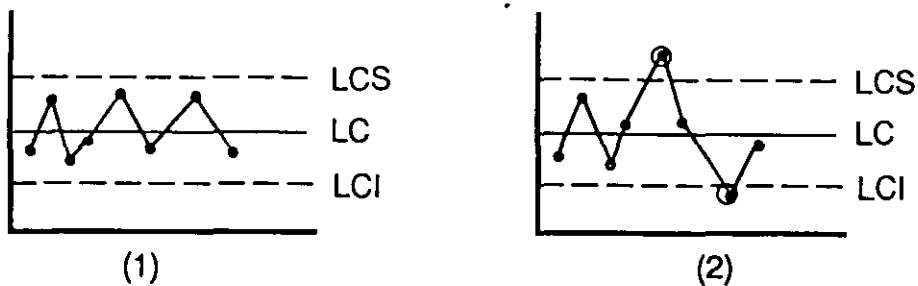
---

Una gráfica de control es una herramienta estadística que muestra en forma continua la variabilidad de un proceso. Sirve principalmente para detectar problemas en los procesos para su estabilización.

En capítulos anteriores hemos estudiado diferentes métodos para la ordenación de datos; por ejemplo, el diagrama de Pareto, que indica áreas de problemas; histogramas, que presentan datos en forma ordenada (como una fotografía), en forma estática. Tienen, por supuesto, sus aplicaciones, pero también es necesario saber sobre los cambios en los procesos de producción; la naturaleza de estos cambios en determinado período en una forma dinámica. Por esto las gráficas de control son ampliamente utilizadas en la práctica, además de que para su construcción y utilización no se necesita mucho conocimiento de la estadística, lo necesario, e importante, es medir bien.



Como se podrá observar en la figura anterior, una gráfica de control consta de límites de control (superior e inferior) establecidos con el propósito de obtener un juicio respecto al comportamiento del proceso; éste es, determinar si es estable o si no lo es, o sea, si está bajo control o fuera de él. Al usar estos límites es posible distinguir desviaciones, tanto por causas asignables al proceso, como por causas debidas al azar.



Gráficas de Control: (1) El proceso es estable  
(2) algo anormal ocurre en el proceso (proceso no estable), hay puntos fuera de los límites de control.

W.E. Deming llama comunes al sistema a las causas al azar y especiales a las asignables.

### Usos importantes de las gráficas de control.

1. Para análisis de un proceso y determinar su estado, si esta en control o no.
2. Para controlar un proceso y asegurar la calidad durante la producción.

### Tipos de gráficas de control.

Para elaborar una gráficas de control es importante distinguir el tipo de datos a graficar. Los datos pueden ser continuos o discretos. En otras palabras, el tipo de gráfica de control depende del tipo de datos.

\* **DATOS CONTINUOS:** Son aquellos que pueden ser representados por cualquier valor dentro de una escala numérica. Ejemplo: mediciones en milímetros, volúmenes en centímetros cúbicos, pesos de un producto en gramos, ventas en pesos (\$), desempeños individuales en puntos, etc.

\* **DATOS DISCRETOS:** Son aquellos que guardan relación con números enteros, basados en conteos. Ejemplo: cantidad de artículos defectivos, número de defectos en un artículo, número de errores por operador, errores del sistema de nóminas, etc.

HOJA DE DATOS /GRAFICA  $\bar{X}$  - R

| PROCESO / OPERACION          |                            |                             |                             | DEPARTAMENTO            |                   |  |    | FECHA      |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|--|----|------------|-----------|-----------|---|----|----|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|
| CARACTERISTICA DE CONTROL    |                            |                             |                             | RESPONSABLE             |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| METODO DE MUESTREO           |                            |                             |                             | INSTRUMENTO DE MEDICION |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| No.                          | SUB GRUPO                  | X1                          | X2                          | X3                      | X4                | X5   | X6 | $\Sigma X$ | $\bar{X}$ | R         |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 1                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 2                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 3                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 4                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 5                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 6                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 7                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 8                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 9                            |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 10                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 11                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 12                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 13                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 14                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 15                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 16                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 17                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 18                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 19                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 20                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 21                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 22                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 23                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 24                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 25                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 26                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 27                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 28                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 29                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 30                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 31                           |                            |                             |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| GRAFICA / LIMITES DE CONTROL |                            |                             |                             |                         |                   |  |    | TOTAL      |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
|                              |                            |                             |                             |                         |                   |  |    | MEDIA      | $\bar{X}$ | $\bar{R}$ |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| $\bar{X}$                    | LC = $\bar{X} - A2\bar{R}$ | LCS = $\bar{X} + A2\bar{R}$ | LCI = $\bar{X} - A2\bar{R}$ | LC = $\bar{R}$          | LCS = $D4\bar{R}$ |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| $\bar{R}$                    |                            |                             |                             |                         |                   | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>n</th> <th>A2</th> <th>D4</th> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.880</td> <td>3.267</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.023</td> <td>2.575</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.729</td> <td>2.282</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.577</td> <td>2.115</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.183</td> <td>2.004</td> </tr> </table> |    |            |           |           | n | A2 | D4 | 2 | 1.880 | 3.267 | 3 | 1.023 | 2.575 | 4 | 0.729 | 2.282 | 5 | 0.577 | 2.115 | 6 | 0.183 | 2.004 |
| n                            | A2                         | D4                          |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 2                            | 1.880                      | 3.267                       |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 3                            | 1.023                      | 2.575                       |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 4                            | 0.729                      | 2.282                       |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 5                            | 0.577                      | 2.115                       |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |
| 6                            | 0.183                      | 2.004                       |                             |                         |                   |  |    |            |           |           |   |    |    |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |

Por ejemplo, considerando los datos de la tabla 7.1 para el subgrupo 1, tenemos.

$$\bar{X} = \frac{49 + 50 + 49 + 50}{4} = \frac{198}{4} = 49.50$$

Para el subgrupo 2:

$$\bar{X} = \frac{49 + 49 + 51 + 48}{4} = \frac{197}{4} = 49.25$$

Para el 3:

$$\bar{X} = \frac{48 + 52 + 50 + 49}{4} = \frac{199}{4} = 49.75$$

Para el rango, que es la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de un subgrupo:

$$R = X_{\max.} - X_{\min.}$$

Por ejemplo, considerando los datos de la tabla 7.1 para el subgrupo 1, tenemos:

$$R = 50 - 49 = 1$$

Para el 2:

$$R = 51 - 48 = 3$$

Para el 3:

$$R = 52 - 48 = 4$$

Tabla 7.1.  
HOJA DE DATOS PARA GRAFICA  $\bar{X}$  - R

| SUB-GRUPO No.                | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | $\Sigma x$ | $\bar{X}$       | R        |
|------------------------------|----|----|----|----|----|------------|-----------------|----------|
| 1                            | 49 | 50 | 49 | 50 |    | 198        | 49.50           | 1        |
| 2                            | 49 | 49 | 51 | 48 |    | 197        | 49.25           | 3        |
| 3                            | 48 | 52 | 50 | 49 |    | 199        | 49.75           | 4        |
| 4                            | 50 | 52 | 50 | 50 |    | 202        | 50.50           | 2        |
| 5                            | 49 | 52 | 51 | 47 |    | 199        | 49.75           | 5        |
| 6                            | 51 | 52 | 49 | 48 |    | 200        | 50.00           | 3        |
| 7                            | 53 | 51 | 50 | 50 |    | 204        | 51.00           | 3        |
| 8                            | 48 | 47 | 51 | 49 |    | 195        | 48.75           | 4        |
| 9                            | 48 | 50 | 53 | 51 |    | 202        | 50.50           | 5        |
| 10                           | 49 | 48 | 50 | 48 |    | 195        | 48.75           | 2        |
| 11                           | 50 | 54 | 51 | 49 |    | 204        | 51.00           | 5        |
| 12                           | 50 | 49 | 52 | 50 |    | 201        | 50.25           | 3        |
| 13                           | 50 | 51 | 48 | 47 |    | 196        | 49.00           | 3        |
| 14                           | 48 | 48 | 52 | 48 |    | 196        | 49.00           | 4        |
| 15                           | 48 | 50 | 50 | 49 |    | 197        | 49.25           | 2        |
| 16                           | 50 | 49 | 50 | 49 |    | 198        | 49.50           | 1        |
| 17                           | 47 | 49 | 50 | 50 |    | 196        | 49.00           | 3        |
| 18                           | 50 | 51 | 48 | 49 |    | 198        | 49.50           | 3        |
| 19                           | 52 | 48 | 52 | 52 |    | 204        | 51.00           | 4        |
| 20                           | 50 | 49 | 50 | 50 |    | 199        | 49.75           | 1        |
| 21                           |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| 22                           |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| 23                           |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| 24                           |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| LIMITES DE CONTROL:          |    |    |    |    |    | Total      | 995             | 61       |
| Gráfica $\bar{X}$            |    |    |    |    |    | Promedio   | $\bar{X}=49.75$ | $R=3.05$ |
| LC = $\bar{X}$               |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| LCS = $\bar{X} + A_2\bar{R}$ |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| LCI = $\bar{X} - A_2\bar{R}$ |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| Gráfica R                    |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| LC = $\bar{R}$               |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| LCS = $D_4\bar{R}$           |    |    |    |    |    |            |                 |          |
| LCI = $D_3\bar{R}$           |    |    |    |    |    |            |                 |          |

| n | A2    | D3 | D4    |
|---|-------|----|-------|
| 3 | 1.023 | 0  | 2.575 |
| 4 | 0.729 | 0  | 2.282 |
| 5 | 0.577 | 0  | 2.115 |

Para el subgrupo 4:

$$\bar{X} = \frac{50 + 52 + 50 + 50}{4} = 50.50$$

$$R = 52 - 50 = 2$$

Para el subgrupo 5:

$$\bar{X} = \frac{49 + 52 + 51 + 47}{4} = 49.75$$

$$R = 52 - 47 = 5$$

3.- Obtenga el gran promedio  $\bar{\bar{X}}$  y el rango promedio  $\bar{R}$ .

a) El gran promedio  $\bar{\bar{X}}$  es la suma de todos los valores medios de cada subgrupo dividido entre el número de subgrupos K:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_k}{K}$$

Considerando los datos de la tabla 7.1

$$\bar{\bar{X}} = \frac{49.50 + 49.25 + 49.75 + \dots + 49.75}{20} = 49.75$$

b) El rango promedio  $\bar{R}$  es la suma de todos los rangos de cada subgrupo dividida entre el número de subgrupos K:

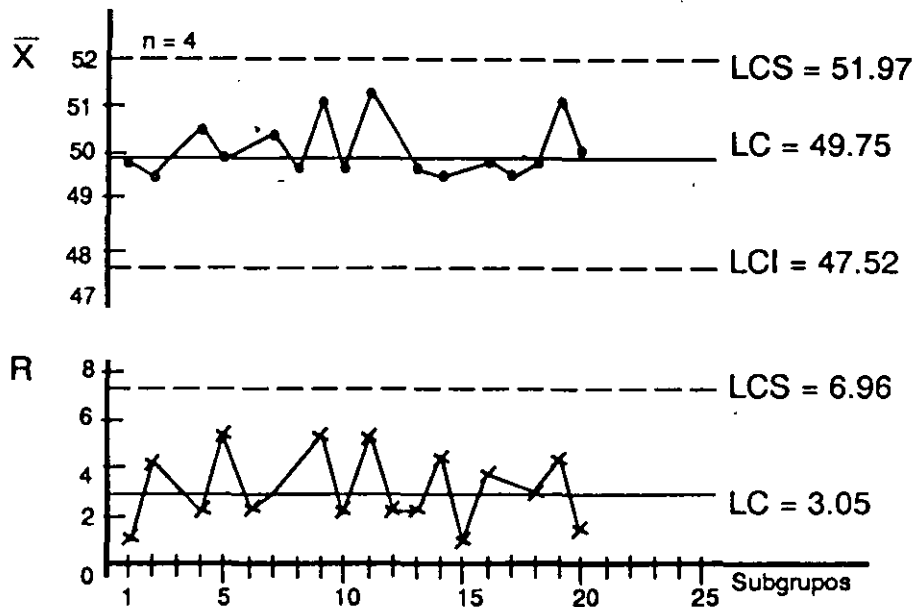
$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_k}{K}$$

Considerando los datos de la tabla 7.1:

$$\bar{R} = \frac{1 + 3 + 4 + \dots + 1}{20} = 3.05$$



7.- Es conveniente anotar sobre la gráfica la información necesaria para su mejor comprensión, como: tamaño de la muestra  $n$ , la naturaleza de los datos, período en que se tomaron, quién los tomo, quién los procesó, etc.



GRAFICA 7.3  
Gráfica de Control  $\bar{X}$  - R según  
datos tabla 7.1

### Procedimiento y fórmulas para construir una gráfica p, np y c.

La gráfica p representa la fracción defectiva, la gráfica np muestra el número de defectivos y la gráfica c representa la cantidad de defectos por unidad o errores de un procesos (sistema),

Básicamente, la gráfica p y la gráfica np son iguales, excepto que la primera se utiliza cuando la muestra que se toma no es constante (p se representa en forma de porcentaje), mientras que la segunda se emplea cuando el tamaño de la muestra que se toma es constante durante el período establecido o entre los subgrupos determinados previamente.

1) GRAFICA p

1. Diseñe una forma para la obtención de datos (ver tabla 7.3). El tamaño de la muestra (n), por subgrupo o por fecha, deberá ser mayor de 50 unidades, pero se tratarán de obtener todos los datos posibles. Si se forman subgrupos, deberán obtenerse elementos para por lo menos 20 subgrupos; si es por fecha, se obtendrán datos diariamente, para cuatro semanas consecutivas.
2. Cálculo de fracción defectiva (porcentaje defectivo) para cada fecha o subgrupo en porcentaje:

$$p = \frac{\text{número de defectivos}}{\text{número de inspeccionados}} = \frac{np}{n}$$

Multiplique el resultado por 100 para representarlo como porcentaje: P (%)

3. Calcule la fracción defectiva promedio:  $\bar{p}$

$$\bar{p} = \frac{\text{número de defectivos}}{\text{número de inspeccionados}} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

Es conveniente hacerlo en la misma hoja de datos (ver tabla 7.3) para lo que ésta deberá llevar impresa la fórmula para calcular p.

Para la construcción de la gráfica p, se pueden calcular límites de control promedio, en vez de límites variables. El requisito es que no exista demasiada diferencia entre las muestras (tamaños): Que todas las muestras esten dentro del siguiente rango.

$$\bar{n} \pm .25 (\bar{n})$$

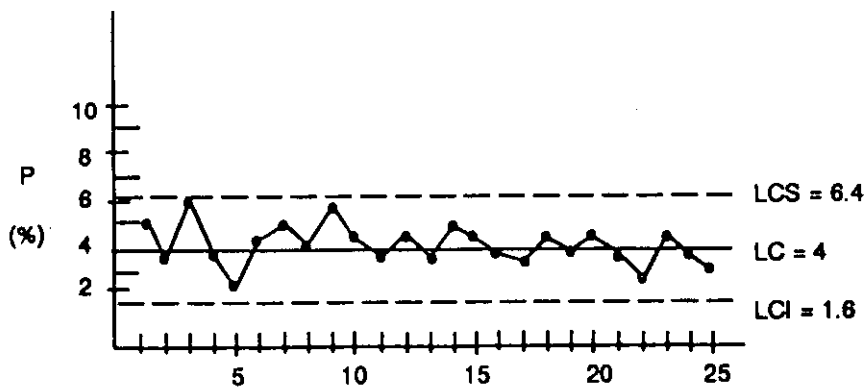
$\bar{n}$  = Tamaño de muestra promedio

Si algunas muestras están fuera de este rango, es necesario calcular sus límites de control particulares, y para todas las demás que sí cumplan con el rango establecido, límites promedio.

Si después de construir la gráfica de control, en los límites promedio existe un punto fuera de control, este se deberá confirmar calculando y trazando sus límites de control particulares.

**EJEMPLO: Gráfica p para mejorar una línea de producción.**

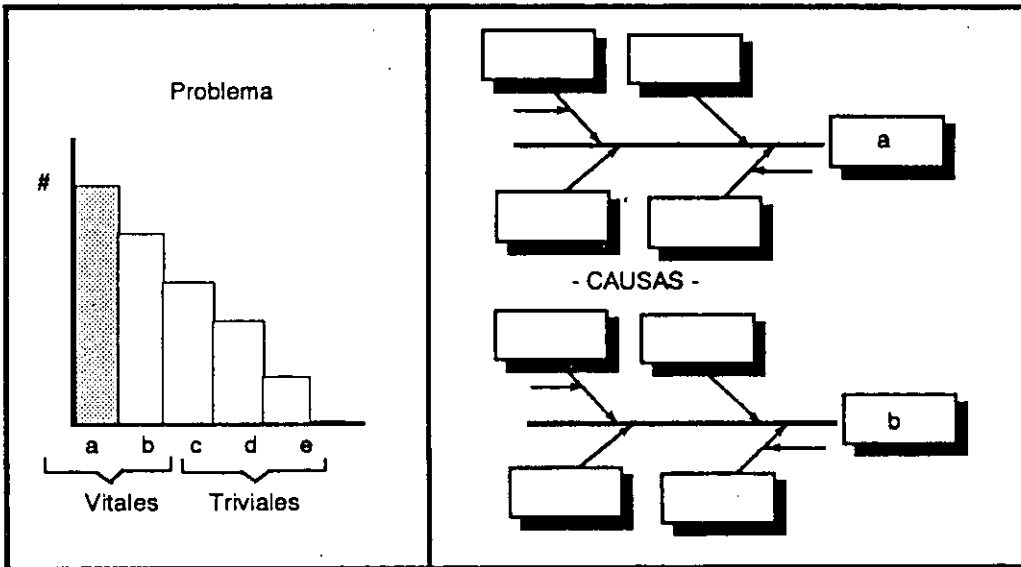
La siguiente gráfica p, muestra los porcentajes de defectivos de 25 operarios en la producción de un mes. Todos los operarios han asistido todos los días y han producido aproximadamente la misma cantidad de productos.



La gráfica muestra un estado de control, la variación es atribuible a causas al azar (comunes al sistema). Por tanto, los defectivos son atribuibles al proceso, los límites de control permiten establecer la capacidad de calidad del proceso.

Una actuación sobresaliente sería la de un operario por debajo del límite de control inferior del proceso, o sea con menos de 1.6% de defectivos.

Exhortaciones o incentivos a los operarios no mejorarían los resultados de la línea de producción. Es necesario identificar los problemas vitales mediante un diagrama de pareto, para posteriormente encontrar las causas de estos problemas y tomar la acción correctiva para resolverlos y prevenir su recurrencia; lo que modificaría el proceso.



## 2) GRAFICA np

1. Para la obtención de datos es conveniente hacer uso de una forma especialmente diseñada para tal objeto (ver tabla 7.6). Considere las mismas recomendaciones del paso 1, de la gráfica p.

## HOJA DE DATOS GRAFICA (np)

| Fecha o subgrupo No. | Número de defectivos np | Fecha o subgrupo No. | Número de defectivos np |
|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1                    | 4                       | 16                   | 1                       |
| 2                    | 3                       | 17                   | 3                       |
| 3                    | 0                       | 18                   | 6                       |
| 4                    | 5                       | 19                   | 1                       |
| 5                    | 14                      | 20                   | 0                       |
| 6                    | 11                      | 21                   | 2                       |
| 7                    | 5                       | 22                   | 1                       |
| 8                    | 3                       | 23                   | 3                       |
| 9                    | 6                       | 24                   | 2                       |
| 10                   | 4                       | 25                   | 2                       |
| 11                   | 2                       | 26                   | 4                       |
| 12                   | 1                       | 27                   | 4                       |
| 13                   | 2                       | 28                   | 5                       |
| 14                   | 3                       | 29                   | 0                       |
| 15                   | 2                       | 30                   | 1                       |
|                      |                         | Total np = 100       |                         |

TAMAÑO DE LA MUESTRA

n=80

FRACCION DEFECTIVA  
PROMEDIO:  $\bar{p}$ 

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{k \cdot n} = \frac{100}{2,400} = .042$$

LIMITES DE CONTROL:

$$LC = \bar{p}n = 3.36$$

$$LCS = \bar{p}n + 3 \sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})} = 8.74$$

$$LCI = \bar{p}n - 3 \sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})} = -2.02 \text{ (no se considera)}$$

Tabla 7.6 HOJA DE DATOS PARA LA GRAFICA np

2. Calcule los límites de control (ver tabla 7.6)

$$\text{Línea central} = LC = \bar{p}n = \frac{\sum np}{K}$$

K = número de subgrupos o de fechas

$$\text{Límite de control superior} = LCS = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$$

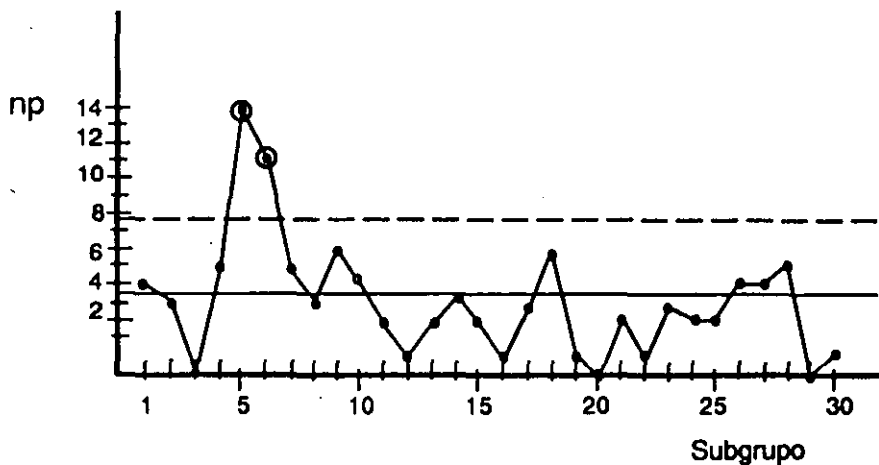
$$\text{Límite de control inferior} = LCI = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$$

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{(K)(n)}$$

Nota: Ver los cálculos en la hoja de datos anterior.

3. Trace los límites de control y dibuje los puntos que representen el número de defectivos (np) por subgrupo o por fecha, según el caso. Añada la información adicional necesaria para la mejor comprensión de la gráfica (ver figura 7.7).

Fig. 7.7 Gráfica np (número de defectivos) según datos tabla 7.6



### 3) GRAFICA c

Esta gráfica, como ya se estableció, representa el número de defectivos por unidad muestreada, que puede constar de uno o varios artículos; pero deberá ser constante (n=cte.). Por ejemplo: formar subgrupos con n=un metro de tela, n=2 metros de tela, n=5 radios, n= un radio, etc. Con la muestra de tamaño constante se facilitan

cálculos para establecer los límites de control y es más fácil la elaboración de la gráfica. También representa el número de errores de un proceso (sistema), esta es la aplicación en servicios.

1. Establezca el tamaño de la muestra ( $n$ ), como unidad a muestrear en cada subgrupo  
Para la colección de datos haga uso de una forma especial (ver tabla 7.8).

2. Determine el número de defectos promedio por unidad:

$$\bar{c} = \frac{\sum c}{K} \quad K = \text{número de subgrupos}$$

3. Establezca los límites de control:

Límite central = LC =  $\bar{c}$

Límite de control superior = LCS =  $\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$

Límite de control inferior = LCI =  $\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$

Ver tabla 7.8

4. Trace los límites de control y grafique los puntos que representan el número de defectos por unidad correspondiente a cada subgrupo. (ver figura 7.9).

HOJA DE DATOS PARA GRAFICA c  
(defectos por unidad)

| Subgrupo | Número de defectos | Subgrupo No. | Número de defectos c |
|----------|--------------------|--------------|----------------------|
| 1        | 5                  | 16           | 2                    |
| 2        | 3                  | 17           | 5                    |
| 3        | 1                  | 18           | 2                    |
| 4        | 0                  | 19           | 0                    |
| 5        | 4                  | 20           | 2                    |
| 6        | 1                  | 21           | 5                    |
| 7        | 0                  | 22           | 2                    |
| 8        | 5                  | 23           | 1                    |
| 9        | 1                  | 24           | 2                    |
| 10       | 2                  | 25           | 4                    |
| 11       | 6                  | 26           | 1                    |
| 12       | 0                  | 27           | 2                    |
| 13       | 1                  | 28           | 3                    |
| 14       | 2                  | 29           | 0                    |
| 15       | 1                  | 30           | 2                    |
|          |                    | Total        | $\Sigma c = 65$      |

UNIDAD MUESTRADA POR SUBGRUPO:

n = 2 mts. de tela

NUMERO DE DEFECTOS PROMEDIO POR UNIDAD:

$$c = \frac{\Sigma c}{K} = \frac{65}{30} = 2.17$$

(K= número de subgrupos)

LIMITES DE CONTROL:

$$L.C = \bar{c} = 2.17$$

$$LCS = \bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}} = 6.59$$

$$LCI = \bar{c} - 3 \sqrt{\bar{c}} = -2.25 \text{ (no se considera)}$$

Tabla 7.8 HOJA DE DATOS PARA LA GRAFICA c



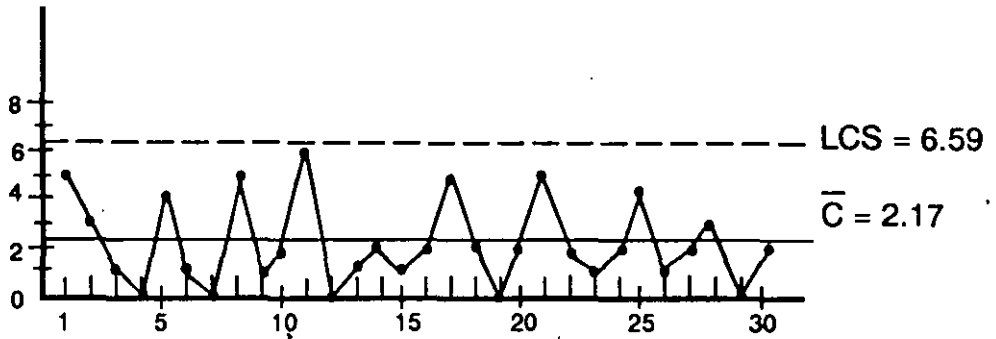


Fig. 7.9. Gráfica c (defectos por unidad).  
Según datos tabla 6.6.

**EJEMPLO: Gráfica C para mejorar la calidad en un sistema de trabajo.**

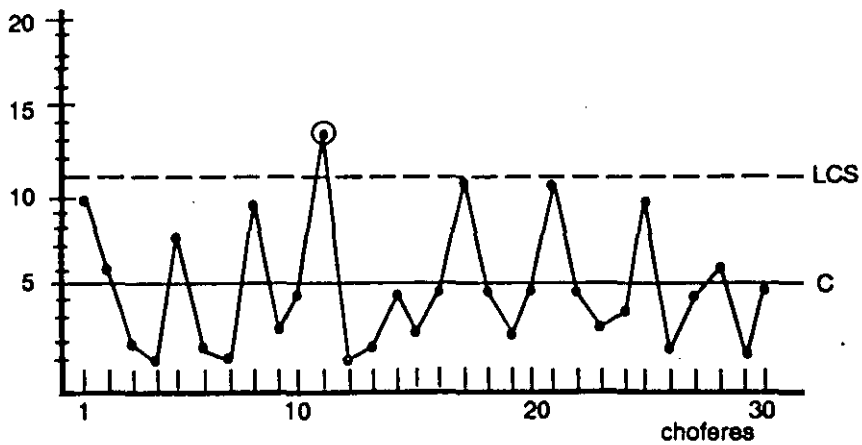
La siguiente gráfica C, corresponde a la estadística de errores cometidos por los choferes durante la distribución de paquetes en los últimos tres meses, en una compañía de servicios de paquetería y mensajería, todos los choferes trabajan con el mismo sistema.

Número de choferes = 30

Total de errores = 135

$$L.C. = \bar{c} = \frac{135}{30} = 4.5$$

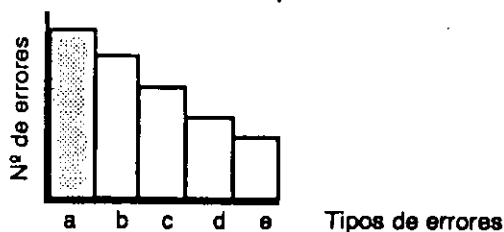
$$LCS = \bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}} = 10.86$$



Nota: El chofer No. 11 trabaja fuera del sistema, es necesario ayudarlo a encontrar la causa. Los demás choferes cometen errores debido al sistema.

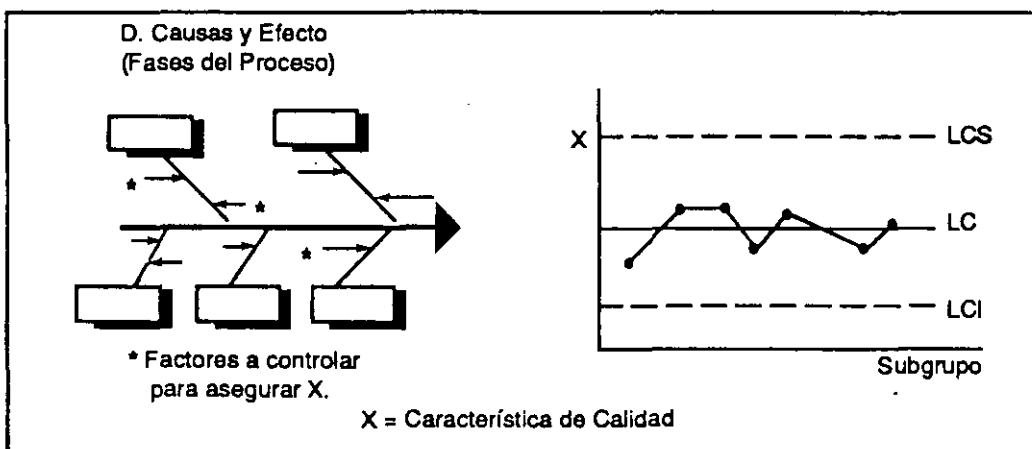
¿Qué hacer para mejorar la situación?

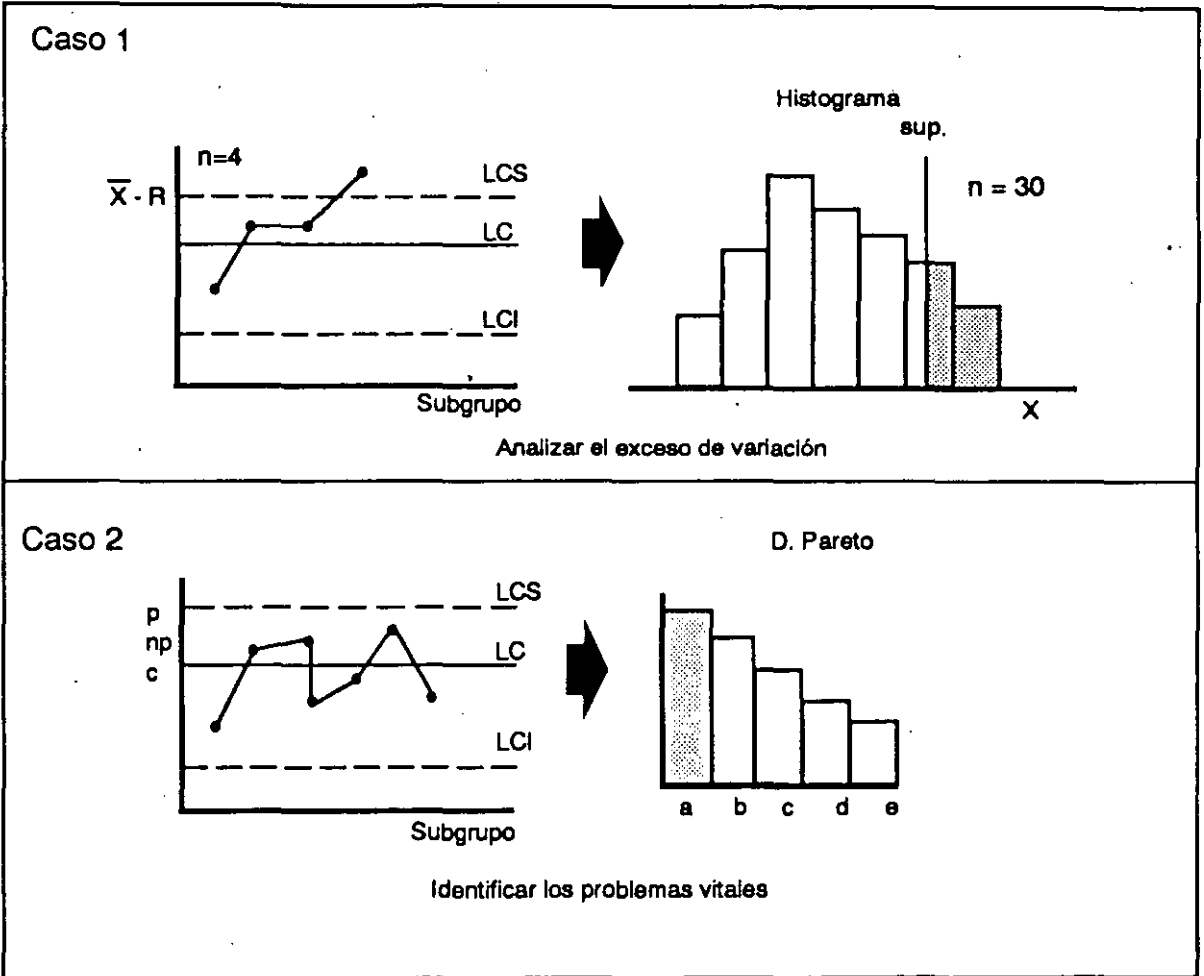
1. Ayudar al chofer No. 11. Encontrar la causa de sus excesivos errores (12), estos sobrepasan la capacidad del sistema (10.86 errores).
2. Detectar los errores vitales que produce el sistema. Hacer un diagrama de pareto considerando la clasificación de errores.



3. Encontrar la causa del error mas recurrente (a).  
Construir un Diagrama de Causa y Efecto para identificar y seleccionar la causa del problema.
4. Confirmar la causa y establecer y tomar la acción correctiva.  
La acción modificaría (mejoraría) el sistema.

**Relación entre las Gráficas de Control y otras Herramientas.**





En el caso 1, si durante la producción observamos un punto fuera de control, podemos investigar mejor la causa obteniendo mas datos en ese momento y construir un histograma, para hacer el análisis correspondiente.

En el caso 2, independientemente de la gráfica p, np ó c el proceso esta en control estadístico. Para mejorar la situación es necesario identificar los problemas vitales y posteriormente sus causas.

## 8. Hojas de Verificación o Chequeo

|       | L    | M   | M   | J  | V   | Total |
|-------|------|-----|-----|----|-----|-------|
| a     | I    |     |     |    |     | 1     |
| b     |      | I   | I   |    |     | 2     |
| c     | III  | III | III | II | III | 16    |
| d     | IIII | II  | III | I  | II  | 12    |
| Total | 8    | 8   | 7   | 3  | 5   | 31    |

Una hoja de verificación es un formato especial diseñado para obtener datos fácilmente, en la que todos los artículos o factores necesarios son previamente establecidos y en la que los records de pruebas, resultados de inspección o resultados de operaciones son fácilmente descritos con marcas utilizadas para verificar; por ejemplo  $\checkmark$  o /. Ver figuras 8.1, 8.2, 8.3.

Para propósito de control de proceso por medio de métodos estadísticos es necesaria la obtención de datos. El control depende de ellos y, por supuesto, deben ser correctos y colectados debidamente. Además de la necesidad de establecer relaciones entre causas y efectos dentro de un proceso de producción, con propósitos de control de calidad y de productividad; las hojas de verificación se usan para:

1. Examinar la distribución de un proceso de producción.
2. Verificar artículos defectivos.
3. Analizar la localización de defectos.
4. Verificar las causas de defectivos.
5. Verificación de operaciones (a esta última puede llamarse lista de verificación).



### HOJA DE CHEQUEO

Producto \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Etapa de Proceso \_\_\_\_\_ Sección \_\_\_\_\_  
 Tipo del defecto \_\_\_\_\_ Nombre del inspector \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 Total de insp. \_\_\_\_\_ Lote No. \_\_\_\_\_  
 Nota \_\_\_\_\_ Orden No. \_\_\_\_\_

| DEFECTO TIPO   | CHEQUEO      |     |     |     |     |     | SUB TOTAL |
|----------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| A              | III          |     |     |     |     |     | 8         |
| B              | III          | III | III | III |     |     | 20        |
| C              | III          | III | III | III |     |     | 18        |
| D              | III          | III | III | III | III | I   | 26        |
| Otros          | III          |     |     |     |     |     | 3         |
|                | * GRAN TOTAL |     |     |     |     |     | 75        |
| RECHAZOS TOTAL | III          | III | III | III | III | III | 57        |

8.2. Hoja de Chequeo para artículos defectivos.

**HOJAS DE CHEQUEO**

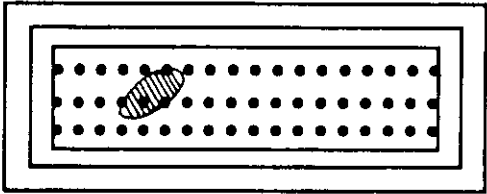
Nº \_\_\_\_\_

Producto Moldura "C" de  
Poliestireno

Fecha \_\_\_\_\_

Defecto Investigado Grietas

Notas:



(Dibujo)

Fig. 8.3 Hoja de Chequeo para Localización de Defectos

Si bien algunos tipos de hoja de verificación podrían ser hojas de datos, no reciben este nombre porque están ideadas para obtener una descripción mas fácil y conveniente, sin necesidad de escribir letras o números, o hacerlo lo menos posible. Esta es la esencia de una hoja de verificación.

Las hojas de verificación se utilizan con mayor frecuencia:

- Para obtener datos
- Para propósitos de inspección

Las hojas de verificación para la obtención de datos se clasifican de acuerdo con diferentes características (calidad o cantidad) y se utilizan para observar su frecuencia para construir gráficas o diagramas. También se utilizan para reportar diariamente el estado de las operaciones.

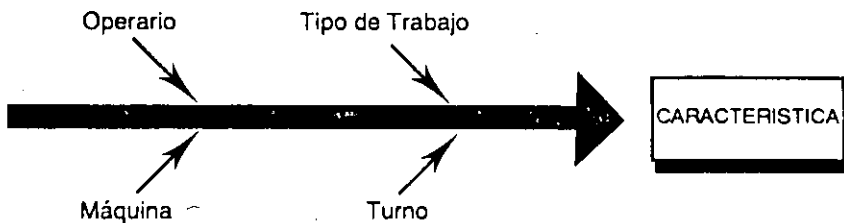
Las hojas de verificación para propósitos de inspección se utilizan para checar ciertas características de calidad que son necesarias para evaluar: ya sean en el proceso o producto terminado.

### Como preparar una Hoja de Verificación.

Los principales pasos para preparar una hoja de verificación son:

#### a) Para obtener datos:

1. Determine qué características (calidad o cantidad) del proceso (o en general) es necesario observar y qué datos son importantes de obtener. Para esto se deberán relacionar las características y los datos.



2. Especifique el período que es necesario observar para obtener los datos del estado de las características decididas que puede ser: un mes, un día, algunas horas, etc.
3. Establezca el formato apropiado: Si es del tipo "tabla", como la figura 8.2, es posible observar muchas clases de características a la vez. Si es del tipo "figura", como la figura 8.3, se pueden indicar con mayor precisión las características a observar.
4. Las marcas a utilizar para obtener datos pueden ser tipo conteo (IIII) y/o de identificación (O, x, •, Δ ). Lo importante es poder coleccionar muchos datos diferentes en un mismo formato. Ver figura 8.6.



b) Hoja de Verificación para inspección:

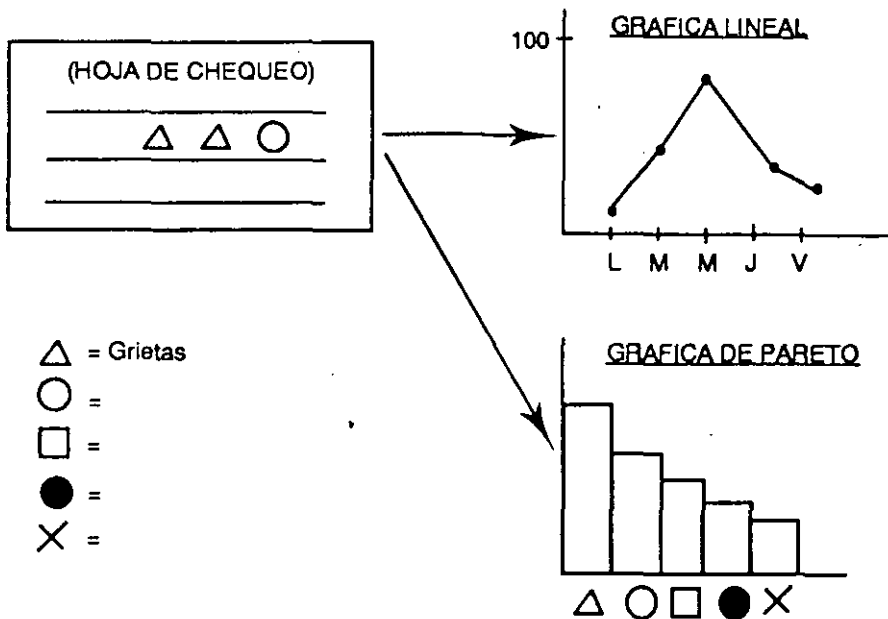
1. Elabore una lista de cada característica de calidad que sea importante inspeccionar y establezca las columnas de verificación.

| Nº. | CARACTERISTICAS | CHEQUEO |
|-----|-----------------|---------|
|     |                 |         |
|     |                 |         |
|     |                 |         |

2. Si es necesario, establezca un orden secuencial de verificación.
3. Estratifique las características por operario, máquina, proceso, etc., para facilitar la verificación.
4. Complete el diseño de la hoja de verificación.

**Como usar las Hojas de Verificación.**

1. Obtenga los datos en el formato de hoja de verificación.
2. Analice los datos e investigue las causas del comportamiento, su frecuencia, etc, utilizando las gráficas, por ejemplo, causas de los defectos "  $\Delta$  ".



Cada dato marcado debe ser identificado: quién, qué, cuándo, dónde y cómo fue observado, con el fin de facilitar el análisis correspondiente.

OTROS EJEMPLOS DE HOJAS DE CHEQUEO

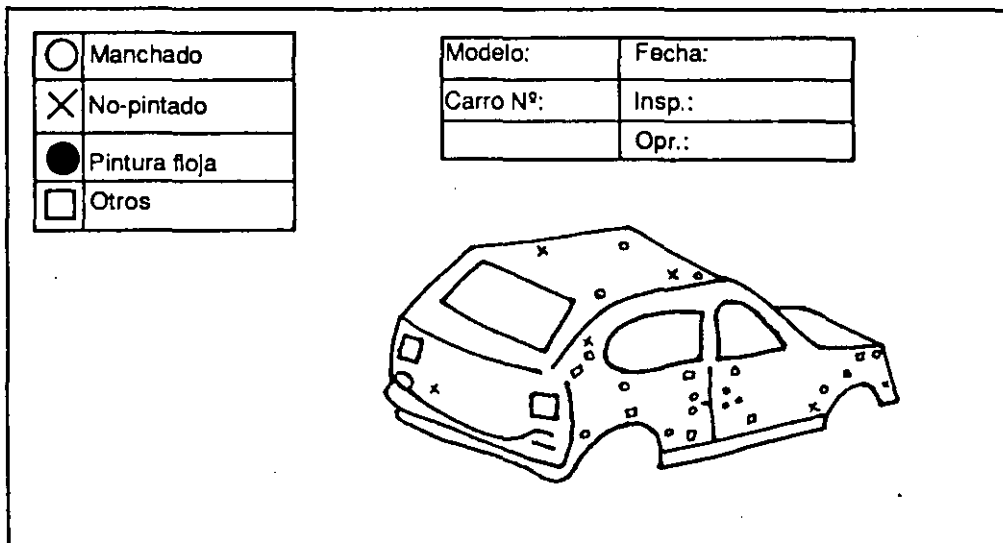


Fig. 8.4 Localización de defectos

HOJA DE VERIFICACION

| Reparaciones            | Mar. 2 | 3   | 4   | 5   | 6  | 7   | 8   | 9    | TOTAL |
|-------------------------|--------|-----|-----|-----|----|-----|-----|------|-------|
| Limpieza                | //     | //  | /// | /// |    | /// | /// | //// | 26    |
| Retoque                 | /      | /// | //  |     | // |     | /// | /    | 14    |
| Reemplazo               | /      | /// | //  | /   |    | /   | //  | //// | 17    |
| Reinstalación           |        |     | /   | /   |    | /// | /   |      | 8     |
| Relocalización de Parte | ///    | //  | /   | //  | /  | //  | /// | ///  | 24    |
| Otros                   | /      | /   | /   | /   | // | //  | /   | ///  | 12    |

Fig. 8.5 Reparaciones de Equipo

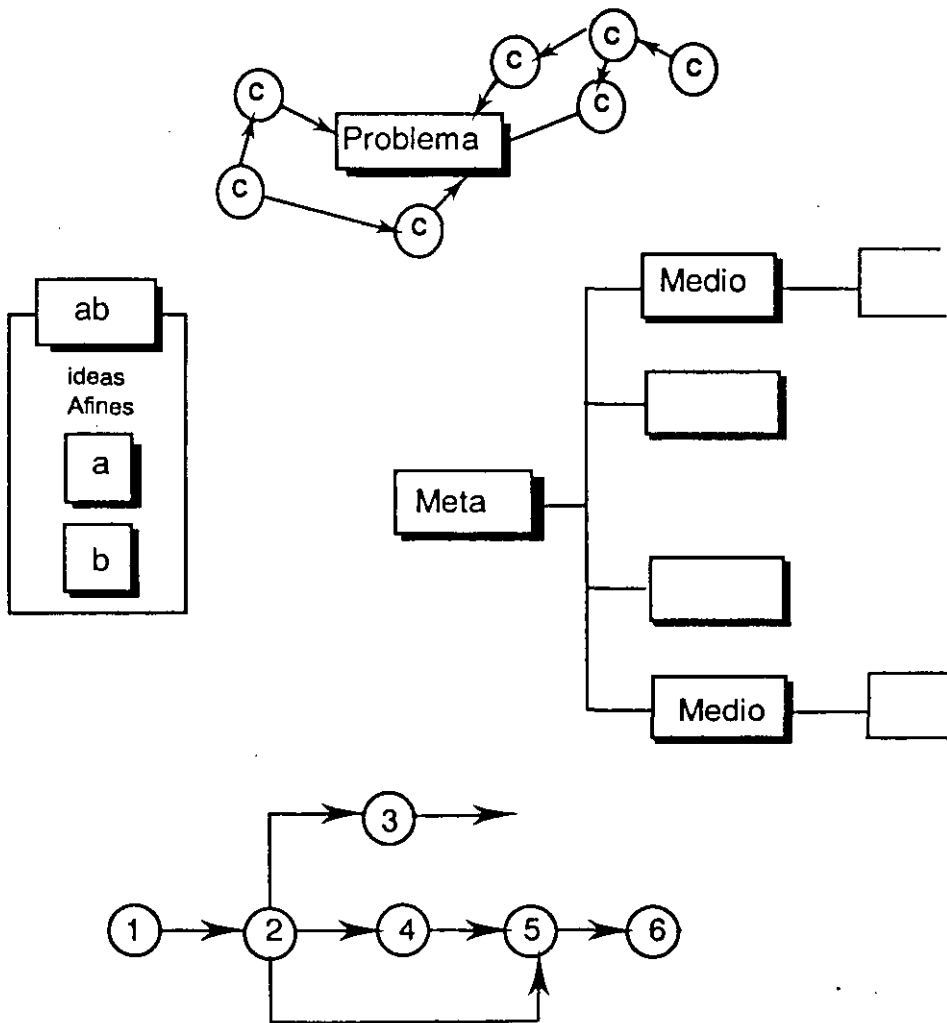
HOJA DE VERIFICACION

| Máquina: | Opr. | Lunes |      | Martes |     | Miércoles |      | Jueves |     | Viernes |      | Sábado |      |
|----------|------|-------|------|--------|-----|-----------|------|--------|-----|---------|------|--------|------|
|          |      | AM    | PM   | AM     | PM  | AM        | PM   | AM     | PM  | AM      | PM   | AM     | PM   |
| Nº 1     | A    | ooXo  | oX   | ooo    | oXX | oooo      | ooX  | oooo   | oXX | oooo    | oo   | o      | XXo  |
|          | B    | oXXo  | oooX | oooo   | ooX | oooo      | oooo | oooo   | ooX | oXX     | oooo | ooX    | oooX |
| Nº 2     | C    | ooX   | oX   | oo     | o   | oooo      | oooo | oo     | oo  | oo      | oo   | oo     | oo   |
|          | D    | ooX   | oX   | oo     | oo  | oooo      | oooo | oo     | oo  | oo      | oo   | oo     | oo   |

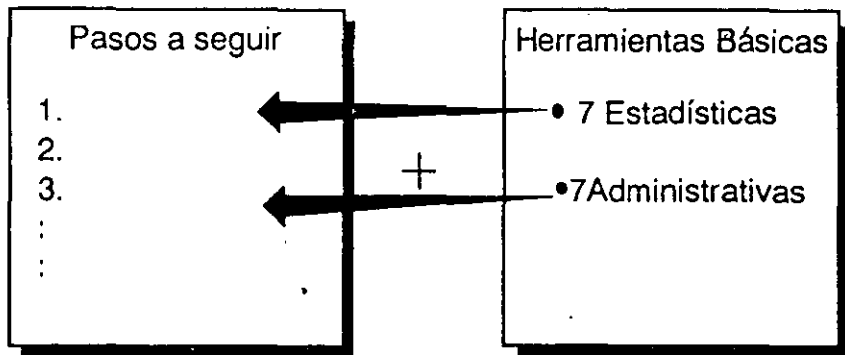
Fig. 8.6 Defectivos

# SECCION IV

## Herramientas Administrativas Básicas



## PROCESO DE SOLUCION Y PREVENCION DE PROBLEMAS



Las herramientas básicas se utilizan durante el proceso de solución y prevención de problemas, alternadamente, depende del problema en cuestión.

## 2. Diagrama de Afinidad

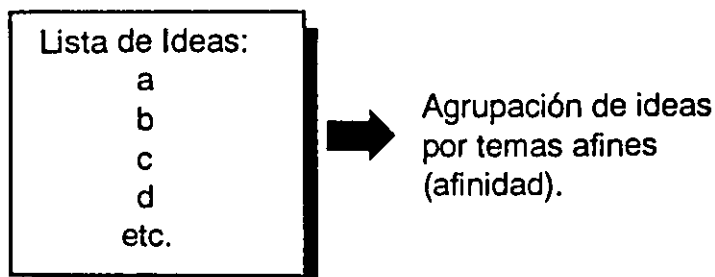
---

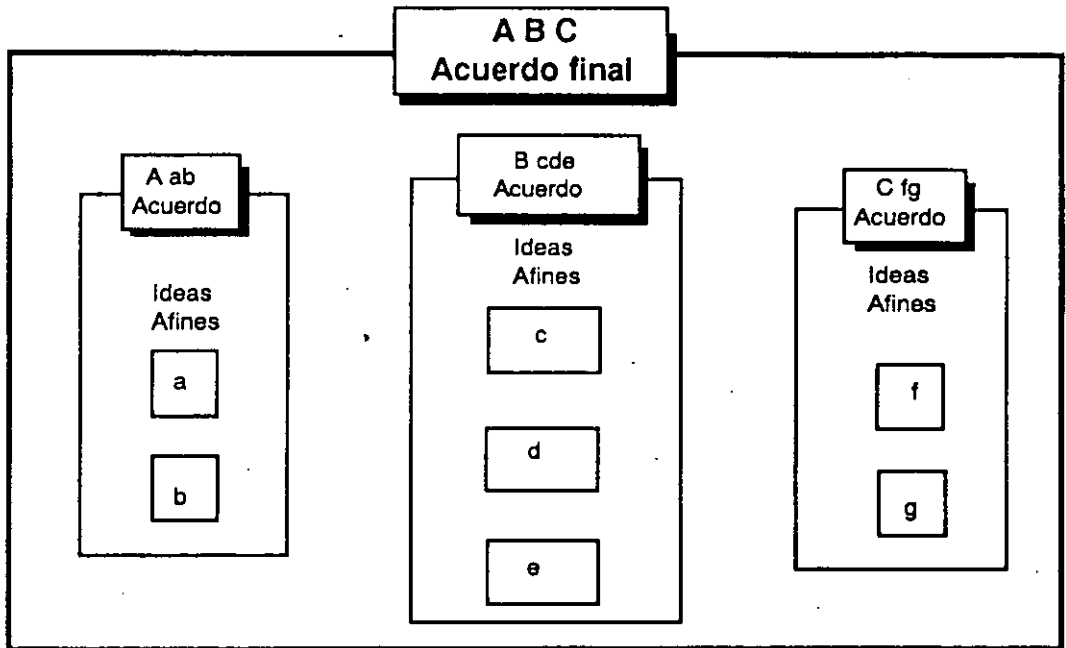
El diagrama de afinidad es esencialmente un método de intuición, implica generar ideas por inspiración súbita y luego agruparlas por temas afines (semejantes o análogos).

Se utiliza para encontrar problemas o facilitar la concepción de ideas integrando datos verbales con mutua afinidad. Mas específicamente, este método expresa hechos, opiniones o ideas sobre una situación problemática confusa o incierta en palabras (datos verbales), integrando por afinidad esta información en un diagrama; esto facilita encontrar el problema, aclarar el panorama (o futuro) o simplemente concebir una idea.

El diagrama de afinidad fue creado en base al "Método JK" desarrollado por Jiro Kawakita; la siguiente figura muestra este concepto de integración de datos verbales.

Los datos verbales a, b, c, d, e, f y g fueron obtenidos independientemente uno de otro; a y b, c, d y e, y f y g, son integrados respectivamente por afinidad. **A ab** es el acuerdo resumido de lo contenido en a y b, los cuales son temas afines; **B cde** es el acuerdo resumido de los temas afines c, d y e; y así sucesivamente. **ABC** es el acuerdo final, por tanto la conclusión de todas las opiniones agrupadas por afinidad.





Este diagrama no simplemente integra los datos verbales obtenidos y los muestra en un diagrama de afinidad para entender mejor la situación. El objetivo primordial es encontrar algo nuevo partiendo de los datos verbales durante el proceso de integración u obtener alguna idea súbita en su mente.

Se dice que el lenguaje es el vehículo del pensamiento. Este método puede ser utilizado inclusive como una herramienta para obtener toda la información necesaria para lograr una meta específica.

El diagrama de afinidad se utiliza en los siguientes casos.

- 1) Aclarar el estado o situación que debe ser (el deber ser).
- 2) Identificar y definir el problema básico.
- 3) Organizar el pensamiento de un grupo y aclarar su tendencia.
- 4) "Alumbrar" el futuro.
- 5) Organizar y dirigir la experiencia de un grupo hacia la solución de un problema específico.

Concretamente, el diagrama nos permite:

- 1) Seleccionar un problema como proyecto de mejora.
- 2) Desarrollar un mercado nuevo (o ampliar la participación)
- 3) "Romper" una situación presente (actual de resultados).
- 4) Establecer y consolidar el trabajo de equipo.
- 5) etc.

## PROCEDIMIENTO

El procedimiento para utilizar esta herramienta es el siguiente:

- A) Establecer un tema: entre más específico mejor.
- B) Obtener datos verbales (ideas).
  1. Entregar cartas a los participantes para que cada quien anote ( en secreto) sus ideas.
  2. Recabar (el conductor de la sesión) las ideas y leerlas al grupo, se pueden obtener más ideas.
  3. Cuando se obtengan pocas cartas (o poca información), se deberá preguntar ¿Qué quiere decir? (lo hace el conductor de la sesión). El "que quiere decir" no debe ser un resumen, sino una ampliación de los datos verbales; respetándose la idea original.
- C) Lea las cartas y ordene aquellas opiniones que sean afines.

La clasificación no deberá ser de acuerdo a términos clave o importantes, sino a temas afines (semejantes o análogos).

  1. Pegue en un tablero (o pizarrón) la primer idea (a). Lea la segunda (b), si esta idea es afín a la anterior péguela debajo de esta, (caso 1), si no es afín, péguela enseguida (caso 2) y así sucesivamente.

CASO 1

- (a)
- (b)

CASO 2

- (a) (b)



Si hubiese alguna duda sobre la afinidad entre una idea y otra(s), péguela, separadamente.

2. Revise la primera agrupación hecha (paso anterior), específicamente las ideas que no tienen afinidad y busque nuevamente, si éstas son afines a los grupos de ideas afines ya establecidos.
3. Ordene los grupos de ideas afines, poniendo en primer término la idea más general (amplia) y hacia abajo las menos generales o específicos. Esto quiere decir que la idea general permite cubrir o incluir las demás; por ejemplo: consideremos el siguiente grupo de ideas afines.

Idea general: (q) Buen sistema de aseguramiento de calidad.  
(o) Mejor reputación por calidad que la competencia.  
(h) No quejas de los consumidores.

Las quejas se evitarán y la reputación se mejorará si el sistema de aseguramiento de calidad es bueno. Esta idea (q) sería el primer acuerdo en este grupo de ideas.

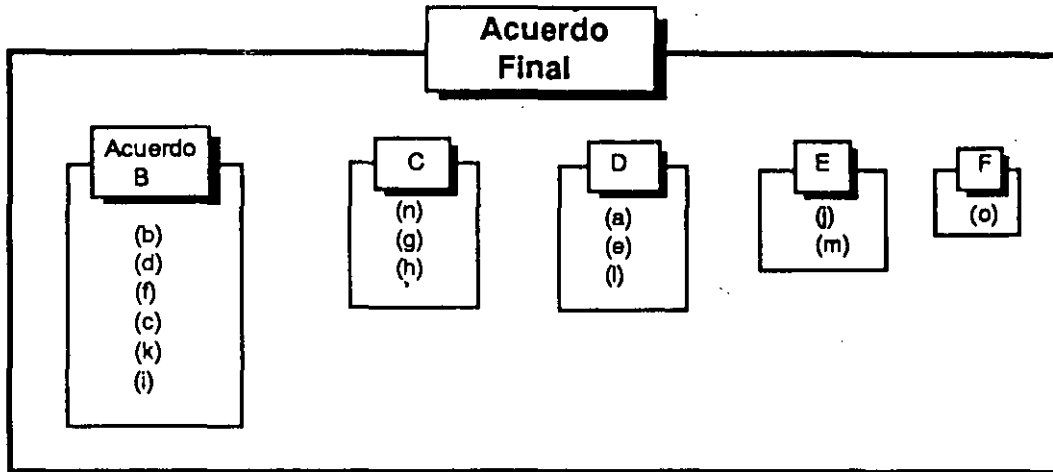
Si no es posible ordenar el grupo de ideas partiendo de una idea general, simplemente mantenga el grupo de ideas y establezca el acuerdo resumido.

D) Elabore el diagrama de afinidad.

1. Establezca y resuma el acuerdo final considerando todos los grupos de ideas afines y sus acuerdos respectivos. Esto puede hacerse relacionando todos los grupos de ideas afines a la vez o separándolos previamente, para posteriormente establecer el acuerdo final.

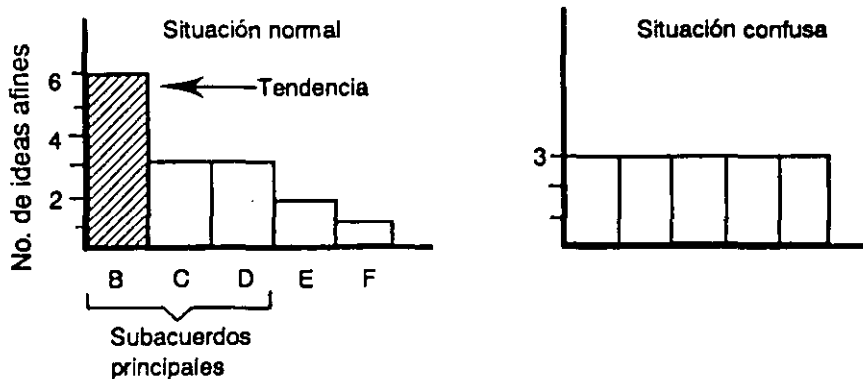
Por ejemplo:

DIAGRAMA DE AFINIDAD



E) Elabore el diagrama de frecuencias de ideas afines.

1. Construya una gráfica de barras, ordenando de mayor a menor los grupos de ideas afines en función de la cantidad de ideas que constituyen cada grupo.



2. Seleccione el problema principal o tendencia del grupo. Una situación ideal sería una sola barra; En una situación confusa regresar al inciso B-3 de este procedimiento.

## DIAGRAMA DE AFINIDAD

### Ejemplo

TEMA: ¿Cómo lograr hacer la Cía. rentable, confiable y atractiva para trabajar?

• Consideremos la siguiente lista de ideas:

- a) Mejor uso del capital.
- b) Alta habilidad tecnológica.
- c) Alta motivación en el personal de ventas.
- d) Lograr los objetivos de utilidades.
- e) Excelente administración en general.
- f) Capital suficiente.
- g) Gran participación de mercado con utilidades estables.
- h) No quejas o reclamaciones de los consumidores.
- i) Número efectivo de patentes.
- j) Buen manejo del mercado actual.
- k) Excelente administración de las utilidades.
- l) Liderazgo tecnológico industrial.
- m) Alto espíritu de cambio en el personal.
- n) Actitud progresiva para mejorar la administración de los departamentos.
- o) Mejor reputación por la calidad que la competencia.
- p) Buenas ventas de productos de más rentabilidad.
- q) Buen sistema de aseguramiento de calidad.
- r) Personal con entusiasmo.
- s) Inversiones progresivas en investigación y desarrollo.

• Ordenando las ideas (opiniones).

1. Primera agrupación:

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (g) | (h) | (p) | (k) |
| (f) | (i) | (m) |     | (n) | (j) | (o) |     |     |
| (s) | (l) | (r) |     |     |     | (q) |     |     |

2. Revisión y segunda agrupación:

|     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| (a) | (b) | (c) | (e) | (g) | (h) | (p) |
| (f) | (i) | (m) | (n) | (j) | (o) |     |
| (s) | (l) | (r) | (k) | (d) | (q) |     |

Nota: La idea (d) y (k) se agruparon.

3. Orden de ideas de acuerdo a las ideas más generales.

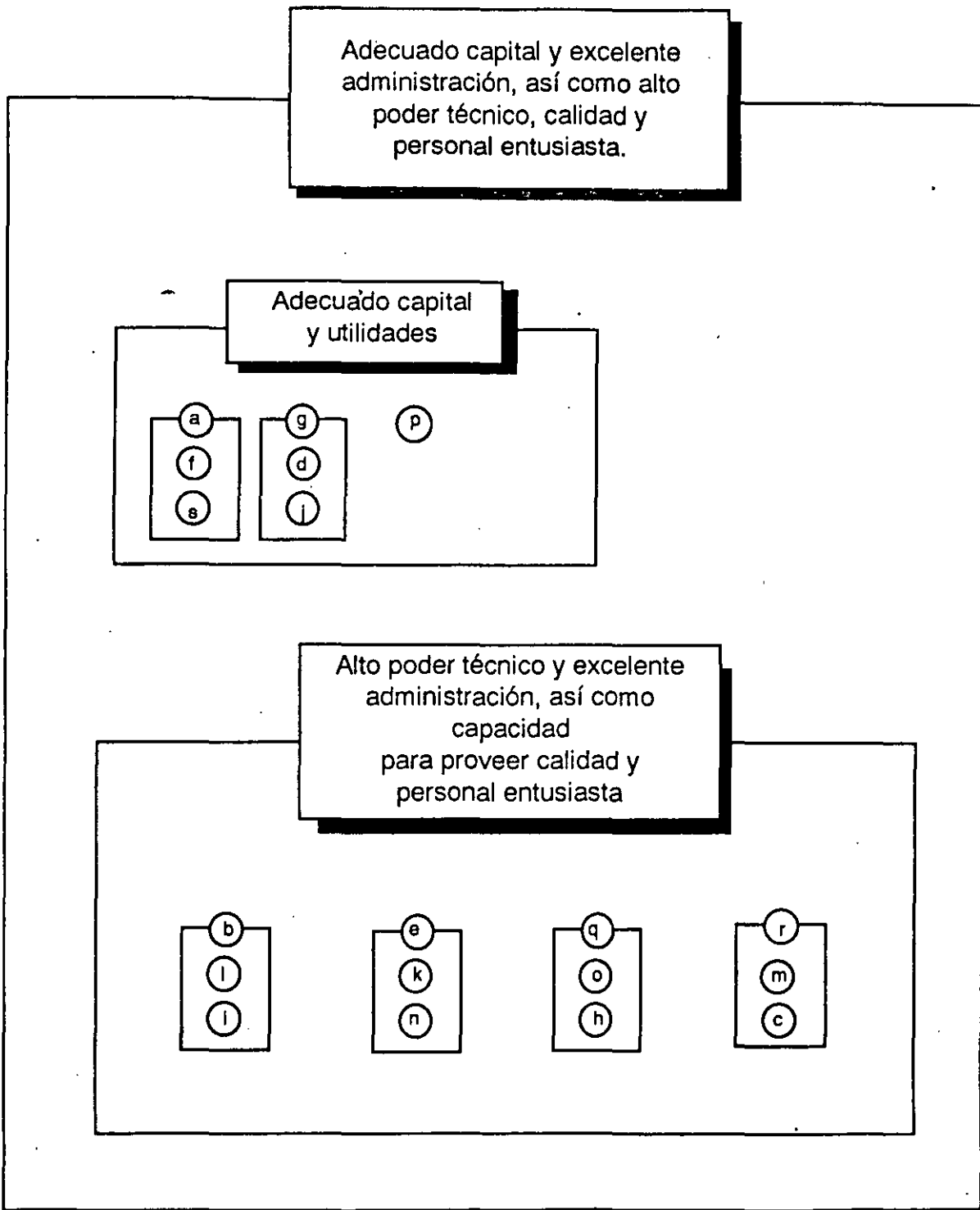
|     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| (a) | (b) | (r) | (e) | (g) | (q) | (p) |
| (f) | (l) | (m) | (k) | (d) | (o) |     |
| (s) | (i) | (c) | (n) | (j) | (h) |     |

• Elaboración del diagrama de afinidad, ver la siguiente figura. Acuerdo final:

Adecuado capital y excelente administración,  
así como alto poder técnico, calidad y  
personal entusiasta

Observe la lista de ideas (opiniones) de la página anterior para que pueda reconocer la utilidad e importancia del diagrama de afinidad.

DIAGRAMA DE AFINIDAD



## CONCLUSIONES

El diagrama de afinidad es muy útil para determinar que es lo que quiere decir el grupo, cuál es su tendencia. Y en el caso de realización de mejoras es prácticamente el primer paso.

Las ideas (opiniones) obtenidas son datos verbales, por tanto deben escribirse tal como son dichas, no deben alterarse de ninguna manera. Esta herramienta administrativa permite administrar con respeto al individuo, respetando sus ideas en un grupo; lo que es característica esencial en un sistema de administración para calidad total.

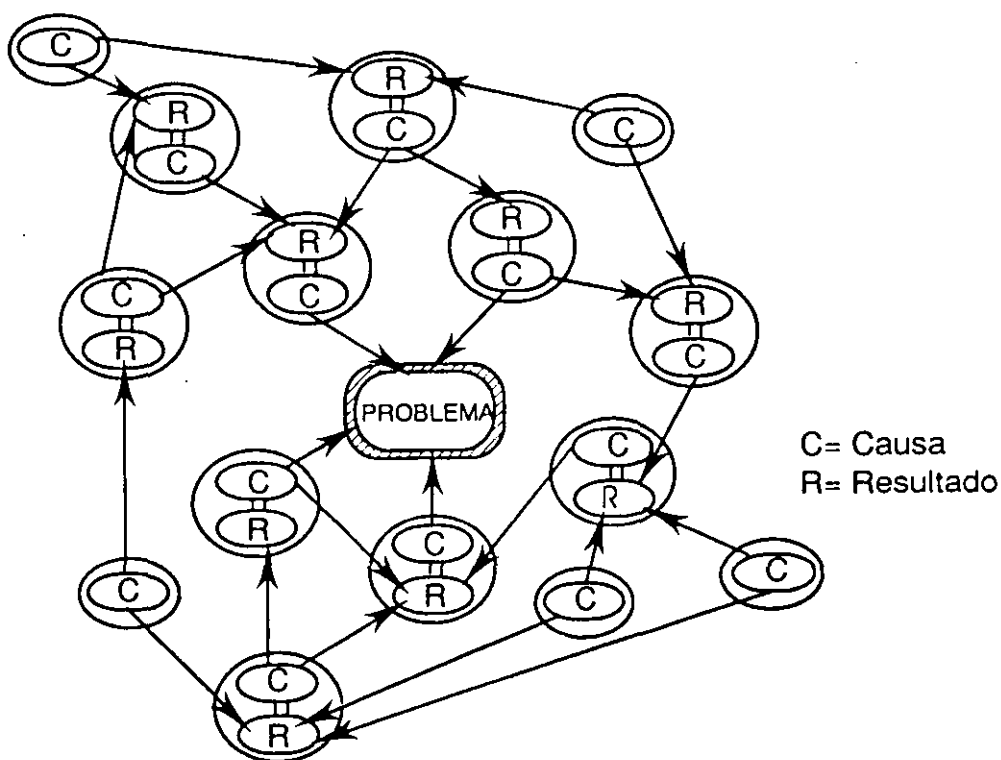
La ordenación de ideas es por afinidad, no por estratificación, o clasificación por factores. Por ejemplo, no deben agruparse por Recursos Humanos, Capital, Administración, Sistemas; debe entenderse muy bien el concepto de afinidad.

Afinidad: Ideas (opiniones) semejantes;  
o una idea que es análoga a  
otra.

### 3. Diagrama de Relaciones

El diagrama de relaciones es básicamente un método de inducción lógica que permite aclarar las causas y sus relaciones para identificar, confirmar y seleccionar las causas originales más importantes que afectan a un problema en análisis.

Se utiliza principalmente para resolver problemas complicados, estableciendo y aclarando las interrelaciones entre diferentes causas (factores) que afectan a un mismo resultado.



La figura anterior muestra el concepto de buscar las causas por medio de un diagrama de relaciones. El diagrama muestra el problema enmarcado en el centro, círculos que contienen causas que a su vez son resultado de otra (s) causas (s) y círculos que contienen causas solamente (causas originales).

El diagrama de relaciones nos sirve para encontrar causas que con el diagrama de causa y efecto no se podrían encontrar, o que serían muy difícil de encontrar. Este diagrama permite establecer la relación entre una "espina" de un factor con la "espina" de otro factor en el mismo diagrama de causa y efecto, permitiéndonos organizar mejor el análisis del problema.

Algunas situaciones complicadas donde se emplea este diagrama que implican un mal y continuo resultado (problema crónico) son las siguientes:

- "Las metas de ventas no se cumplen"
- "El tiempo de entrega nunca se cumple"
- "Siempre hay errores en la nómina"
- "Continuamente hay faltantes de materiales"

## PROCEDIMIENTO

El diagrama de relaciones debe ser preparado por personas relacionadas con el problema y posterior a la elaboración del diagrama de causa y efecto.

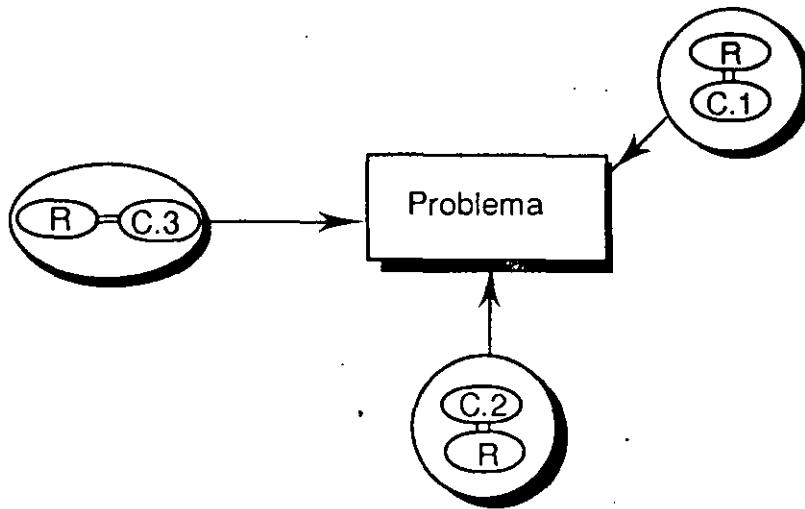
1. Escriba el enunciado del problema en el centro de un pizarrón o rotafolio y enmarque.



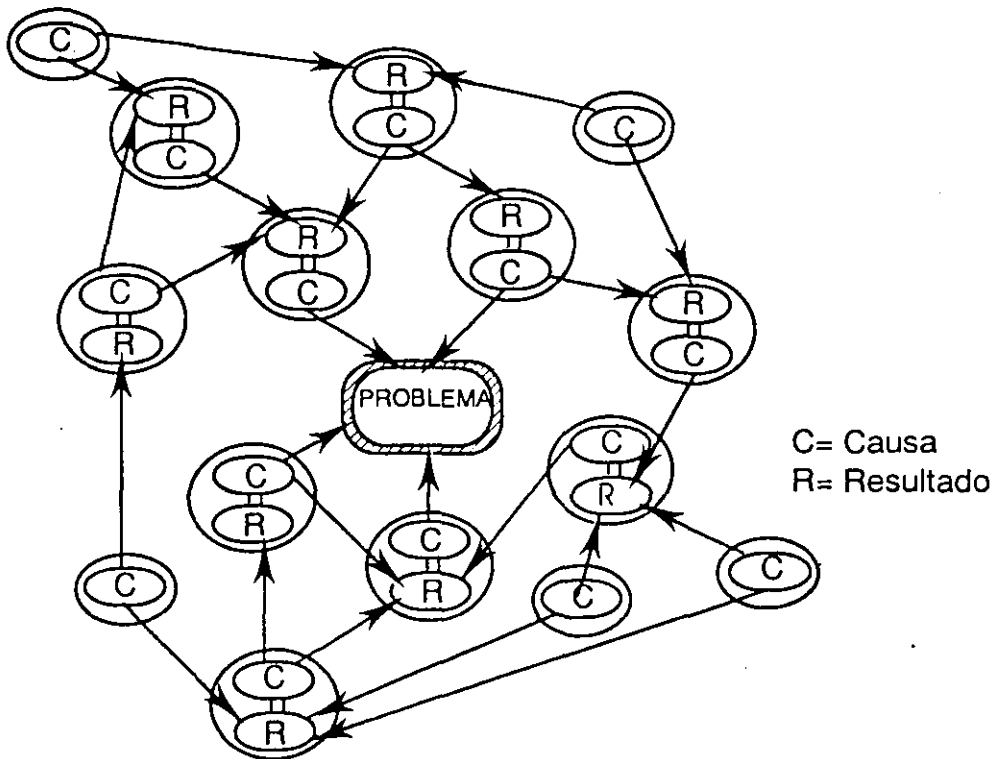
PROBLEMA

2. Anote alrededor del problema las causas principales (3 a 5) seleccionadas en el diagrama de causa y efecto y defina el resultado que corresponde a cada causa. Relacione las causas del problema mediante flechas.





3. Identifique la(s) causa(s) que originan los resultados definidos en el paso anterior. Vuelva a definir los resultados de estas nuevas causas (encierrelas en un círculo) y así sucesivamente, hasta llegar a identificar las "causas origen" del problema, o sea el fenómeno fuente que origina el problema. Relacione los resultados y sus causas mediante flechas.

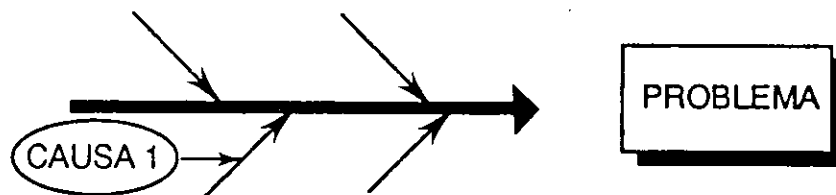


La relación mediante flechas es muy importante porque en base a ello se podrá efectuar el análisis y seleccionar posteriormente las causas mas importantes.

4. Verifique el diagrama y corríjalo, generalmente es necesario corregirlo 2 o 3 veces.
5. Seleccione las causas a eliminar para resolver el problema, considerando los resultados que más causas les afecten y las "causas origen".

### CONCLUSIONES.

El diagrama de relación es prácticamente la única herramienta para encontrar y confirmar causas de problemas, cuando no podemos hacerlo mediante datos estadísticos.



Si podemos obtener datos estadísticos (mediciones o conteos), tanto para el problema como para la causa, entonces debemos proceder a analizar su relación utilizando alguna herramienta estadística, como por ejemplo: El diagrama de dispersión o la estratificación de datos.

Sin embargo el diagrama de relación puede también emplearse después de haber encontrado y confirmado estadísticamente las causas de un problema, para llegar a establecer la "causa origen" y sus relaciones.

Concretamente el diagrama de relaciones es una herramienta suplementaria (o de apoyo) al diagrama de causa y efecto.

| RECURSOS<br>TRABAJO | Facilidades | Personal | Material |
|---------------------|-------------|----------|----------|
| Recibo              |             |          |          |
| Descarga            |             |          |          |
| Registro            |             |          |          |
| Inspección          |             |          |          |
| Almacén             |             |          |          |

D) Llene cada intersección con la información correspondiente a la relación entre los elementos. Por ejemplo:

Análisis matricial para mejorar el recibo de materiales.

| RECURSOS<br>TRABAJO | Facilidades            | Personal                  | Material                         |
|---------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Recibo              | Demora autorización    |                           |                                  |
| Descarga            | Dificultad de maniobra | Demasiado esfuerzo físico | Dificultad de maniobra           |
| Registro            |                        | Demasiados requisitos     |                                  |
| Inspección          |                        |                           | Dificultad para muestreo al azar |
| Almacén             | Falta espacio          |                           |                                  |

E) Establezca conclusiones.

En las intersecciones están las "pistas" para resolver el problema o aprovechar áreas de oportunidad. En este ejemplo el esfuerzo debe concentrarse en la descarga.

**DIAGRAMA MATRICIAL  
EJEMPLO**

Relación entre características de Calidad  
funcionales y no-funcionales  
Producto: rollo de papel para periódico

| Funcionales<br>No<br>Funcionales | Funcionales |                     |        |        |        |
|----------------------------------|-------------|---------------------|--------|--------|--------|
|                                  | CV (1)      | No rom-<br>pimiento | (CV) 2 | CV (3) | CV (4) |
| CS (1)                           |             |                     |        |        |        |
| Ancho                            |             | x                   | x      | x      | x      |
| Espesor                          |             | x                   |        |        |        |
| CS(3)                            |             |                     |        |        |        |
| Resistencia a la tensión         |             | x                   |        |        | x      |
| CS (5)                           |             |                     |        |        |        |

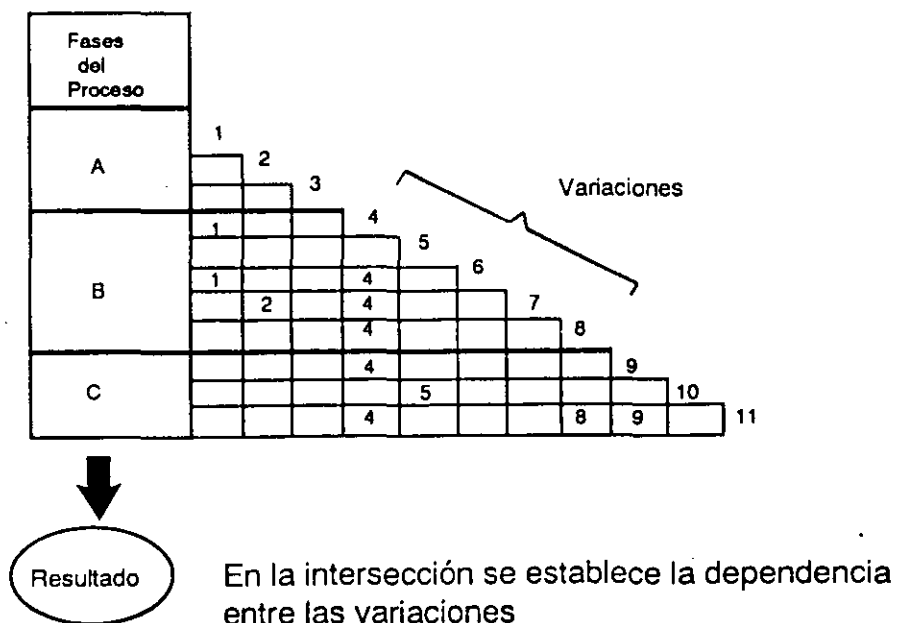
Nota: Las características de calidad funcionales o verdaderas (CV) son las cualidades o atributos del producto que el consumidor identifica benéficas e importantes para él y por las cuales decide su compra. Las no-funcionales o substitutas (CS) son resultados del proceso y de las que dependen las funcionales. En este ejemplo podemos establecer la relación entre ambas características de calidad y cuáles de las substitutas son las críticas a controlar.

## 5. Análisis Matricial de Variaciones

El análisis matricial de variaciones es un método cuya finalidad es identificar y seleccionar causas potenciales para prevenir problemas o asegurar resultados de un proceso o sistema. Consiste en relacionar las diferentes variaciones (desviaciones) de un proceso en forma de matriz. O sea construir una matriz de variaciones.

La matriz de variaciones es una herramienta indispensable para identificar variaciones clave en las diferentes fases de un proceso y así poder proveerle el control necesario para asegurar la calidad (objetivo o resultado esperado).

### MATRIZ DE VARIACIONES



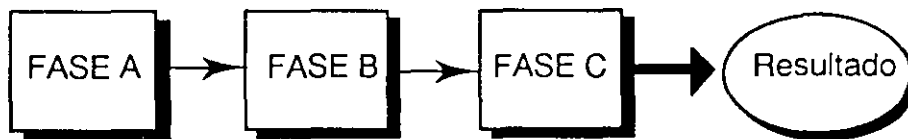
Las variaciones son desviaciones "técnicas" originadas por los recursos utilizados en el proceso. Se refiere a aquellas situaciones que de suceder perjudicarían, o no permitirían obtener el resultado esperado.

Para poder identificar las variaciones en un proceso es necesario tener bien claro el trabajo que se desarrolla en cada fase o etapa (operación) del proceso.

### PROCEDIMIENTO

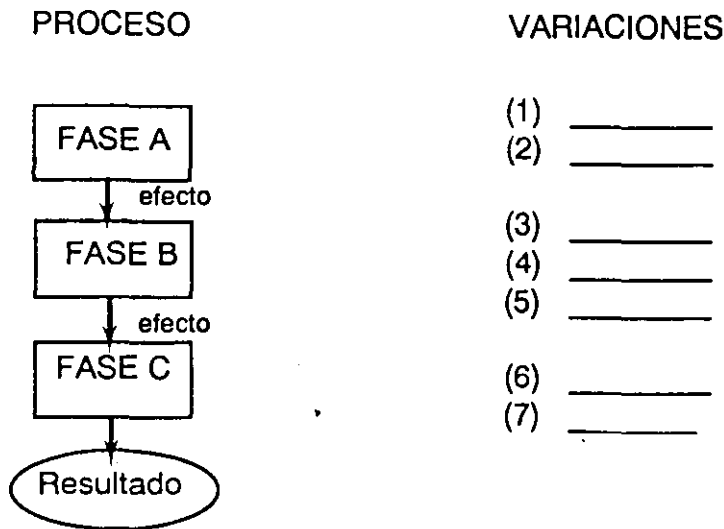
- A) Defina objetivamente el resultado esperado o problema a prevenir.
- B) Identifique las fases o etapas del proceso a seguir para obtener dicho resultado.

#### PROCESO



Defina las fases o etapas del proceso, estableciendo el efecto esperado al final de cada etapa, en términos objetivos.

- C) Identifique las variaciones o desviaciones potenciales en cada etapa del proceso.



1. Dibuje las etapas del proceso en forma vertical, enuncie cada fase
2. Desarrolle una tormenta de ideas para identificar las variaciones en cada etapa.

Pregunte al grupo: ¿En esta etapa qué desviación podría ocurrir que pudiera impedir el logro del efecto, perjudicar la continuidad del proceso o el resultado esperado? Anote todas las ideas en un rotafolio.

3. Evalúe las ideas sobre las variaciones anteriores y confirme lógicamente su efecto.
4. Seleccione las variaciones confirmadas y anótelas del lado derecho en forma de columna y secuencialmente, en el dibujo del inciso (1).

D) Construya la matriz de variaciones.

E) Analice la relación y dependencia entre las variaciones, anotando el número de la variación en la intersección correspondiente a la variación con la cual tiene relación u origina.

F) Seleccione las variaciones clave, encerrando en un círculo el número correspondiente a dicha variación.

Una variación clave es aquella que afecta significativamente al resultado (puede no tener relación con otras) o aquella de la que más dependen otras variaciones (columnas de la matriz con más números).

G) Establezca conclusiones lógicas.

### ANALISIS MATRICIAL DE VARIACIONES EJEMPLO

Consideremos una empresa que produce en forma continua sandwiches para venderlos en máquinas automáticas en sitios estratégicos.

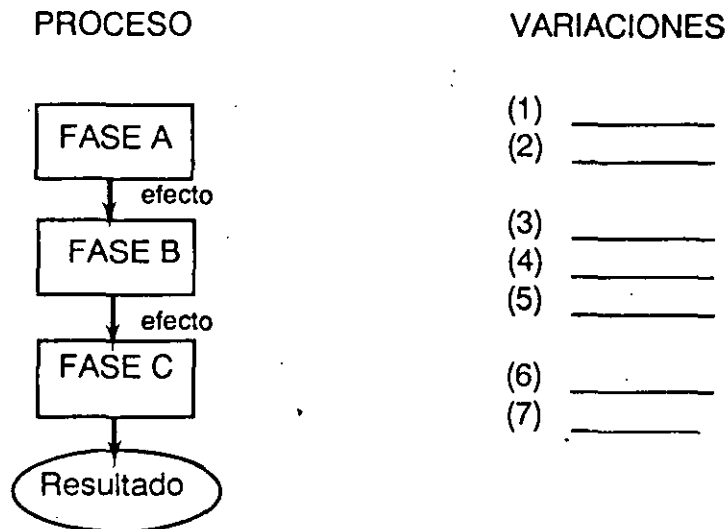
#### A) RESULTADO ESPERADO:

Sandwich de jamón, queso y condimento acorde a las especificaciones establecidas.

#### Nota:

Debe prevenirse cualquier tipo de desviaciones en el producto, la inspección final es incosteable ya que deteriora el producto. Por tanto, debe controlarse la calidad durante el proceso.





1. Dibuje las etapas del proceso en forma vertical, enuncie cada fase
2. Desarrolle una tormenta de ideas para identificar las variaciones en cada etapa.

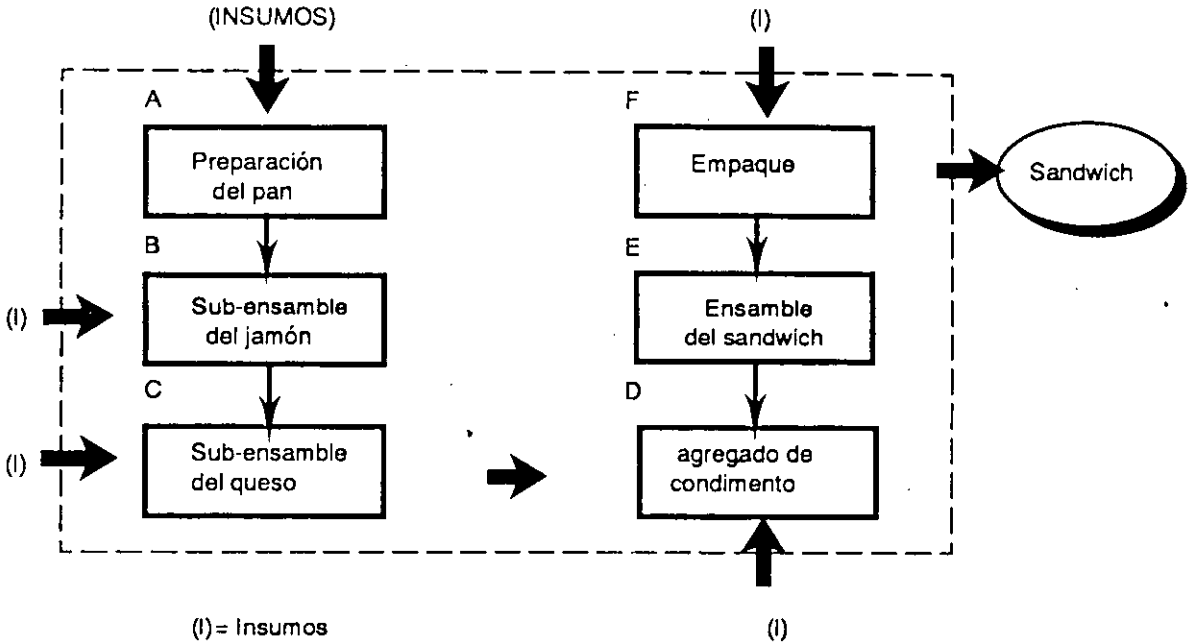
Pregunte al grupo: ¿En esta etapa qué desviación podría ocurrir que pudiera impedir el logro del efecto, perjudicar la continuidad del proceso o el resultado esperado? Anote todas las ideas en un rotafolio.

3. Evalúe las ideas sobre las variaciones anteriores y confirme lógicamente su efecto.
4. Seleccione las variaciones confirmadas y anótelas del lado derecho en forma de columna y secuencialmente, en el dibujo del inciso (1).

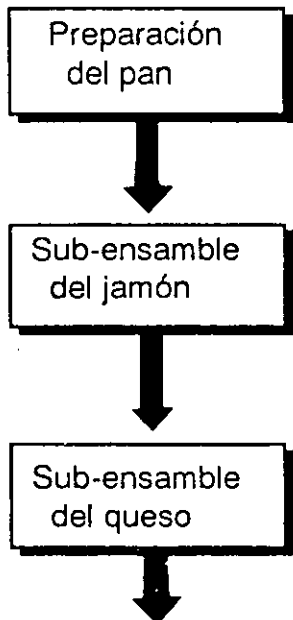
D) Construya la matriz de variaciones.

E) Analice la relación y dependencia entre las variaciones, anotando el número de la variación en la intersección correspondiente a la variación con la cual tiene relación u origina.

B) PROCESO

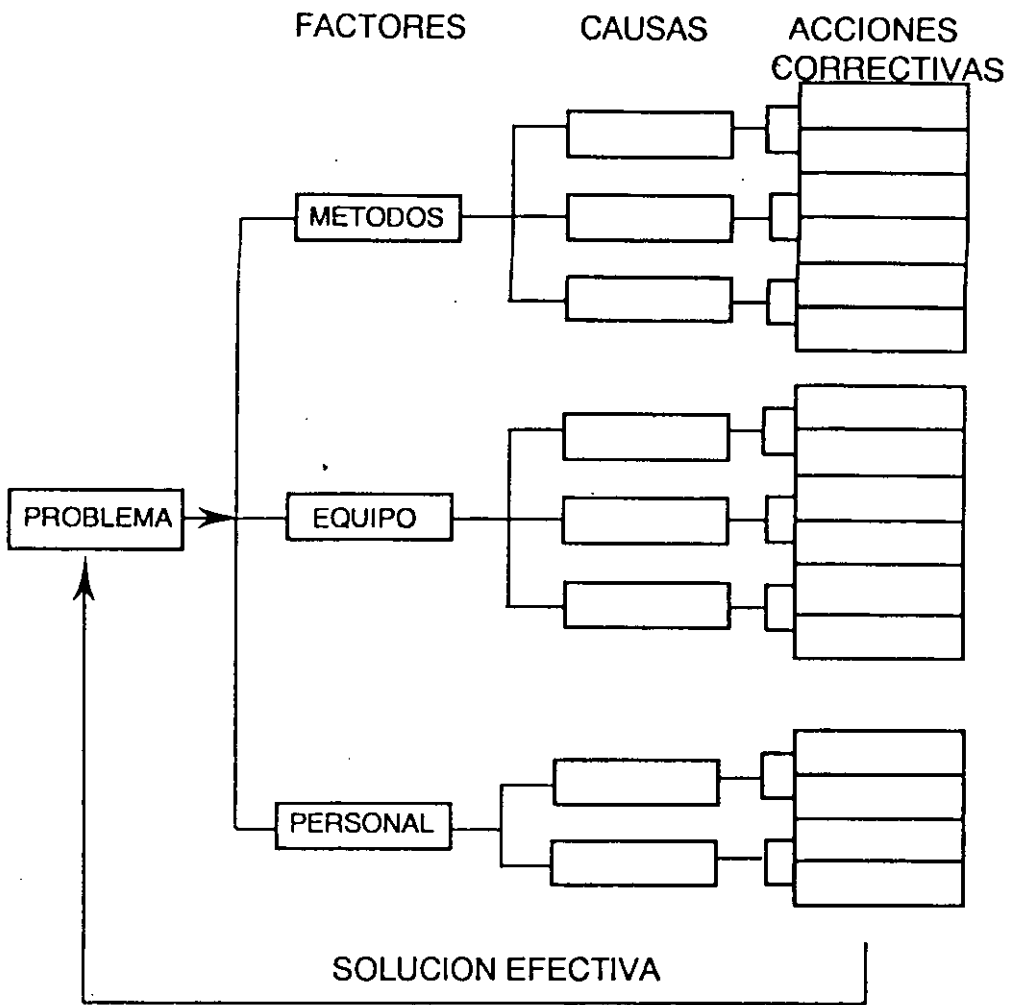


C) VARIACIONES O DESVIACIONES POTENCIALES (Lista parcial)



Variaciones Potenciales

1. Humedad del pan
  2. Orillas rizadas
  - 3.
  - 4.
  5. Temp. de jamón alta
  6. Rebanadas gruesas
  - 7.
  - 8.
  - 9.
  10. Queso "enmohecido"
  11. Cera en las orillas
  - 12.
  - 13.
- etc.

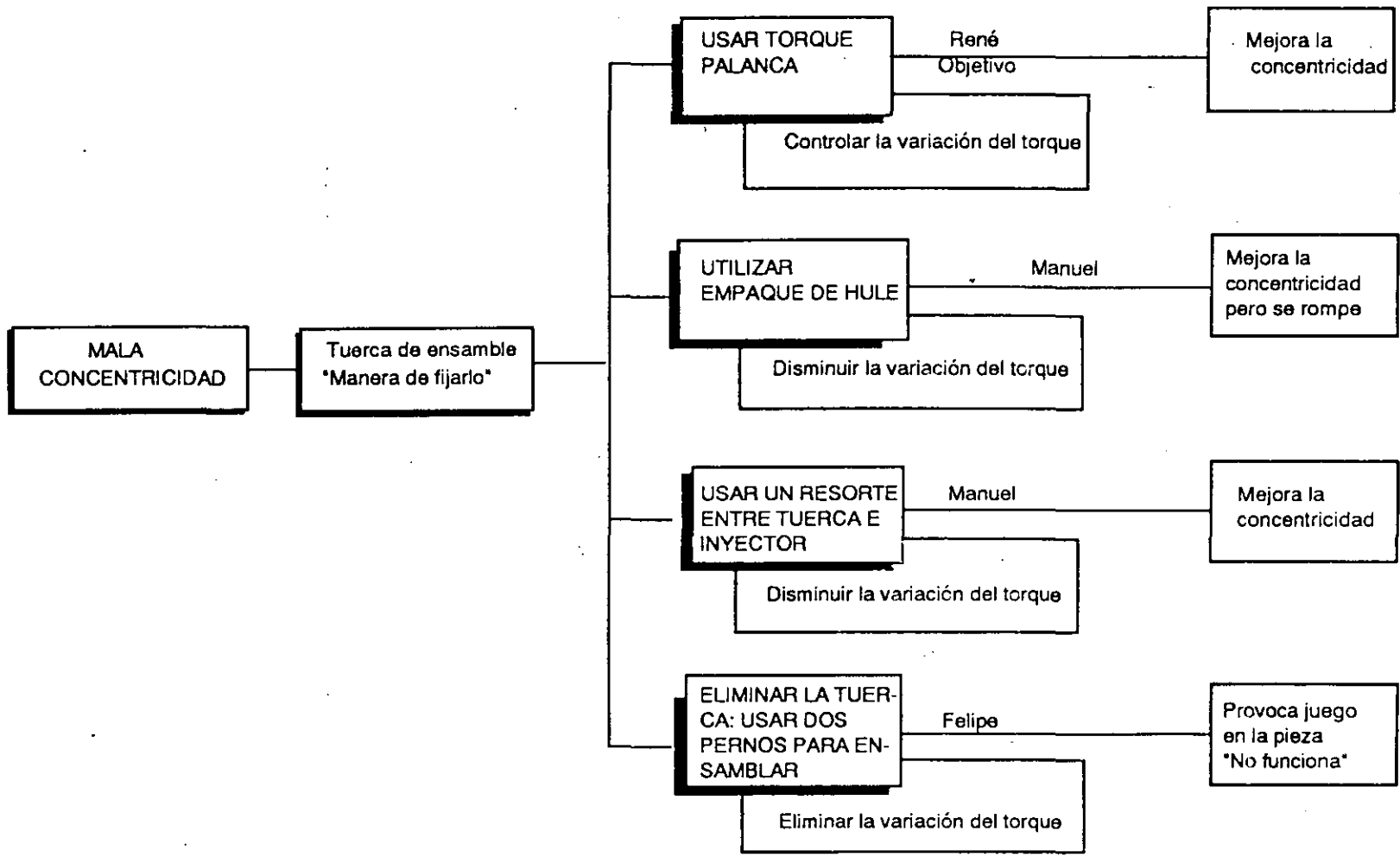


4.1. Diagrama de árbol para solución de un problema

El diagrama de árbol es para aclarar y asegurarse que todas las cosas pasen.

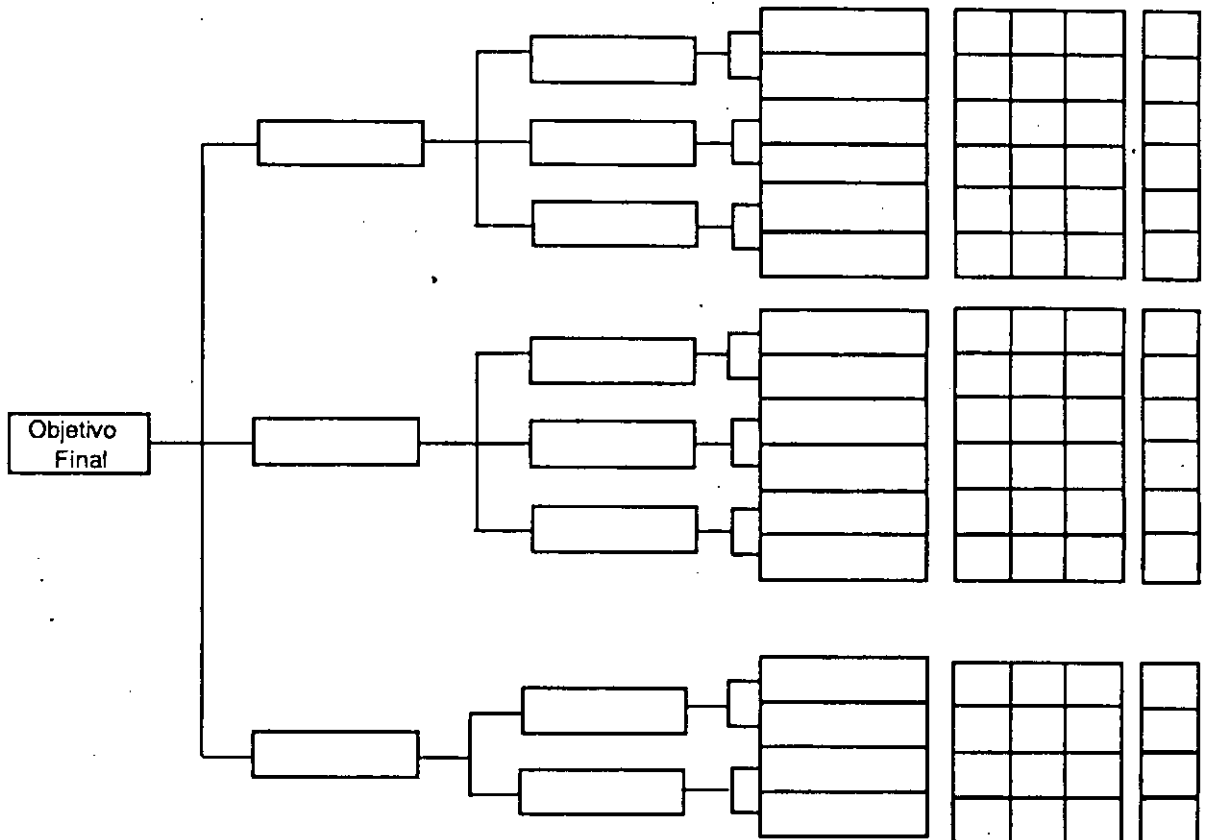
**EJEMPLO**

PROBLEMA \_\_\_\_\_ CAUSA \_\_\_\_\_ MEDIOS \_\_\_\_\_ RESULTADOS  
CONFIRMADA (acciones correctivas)



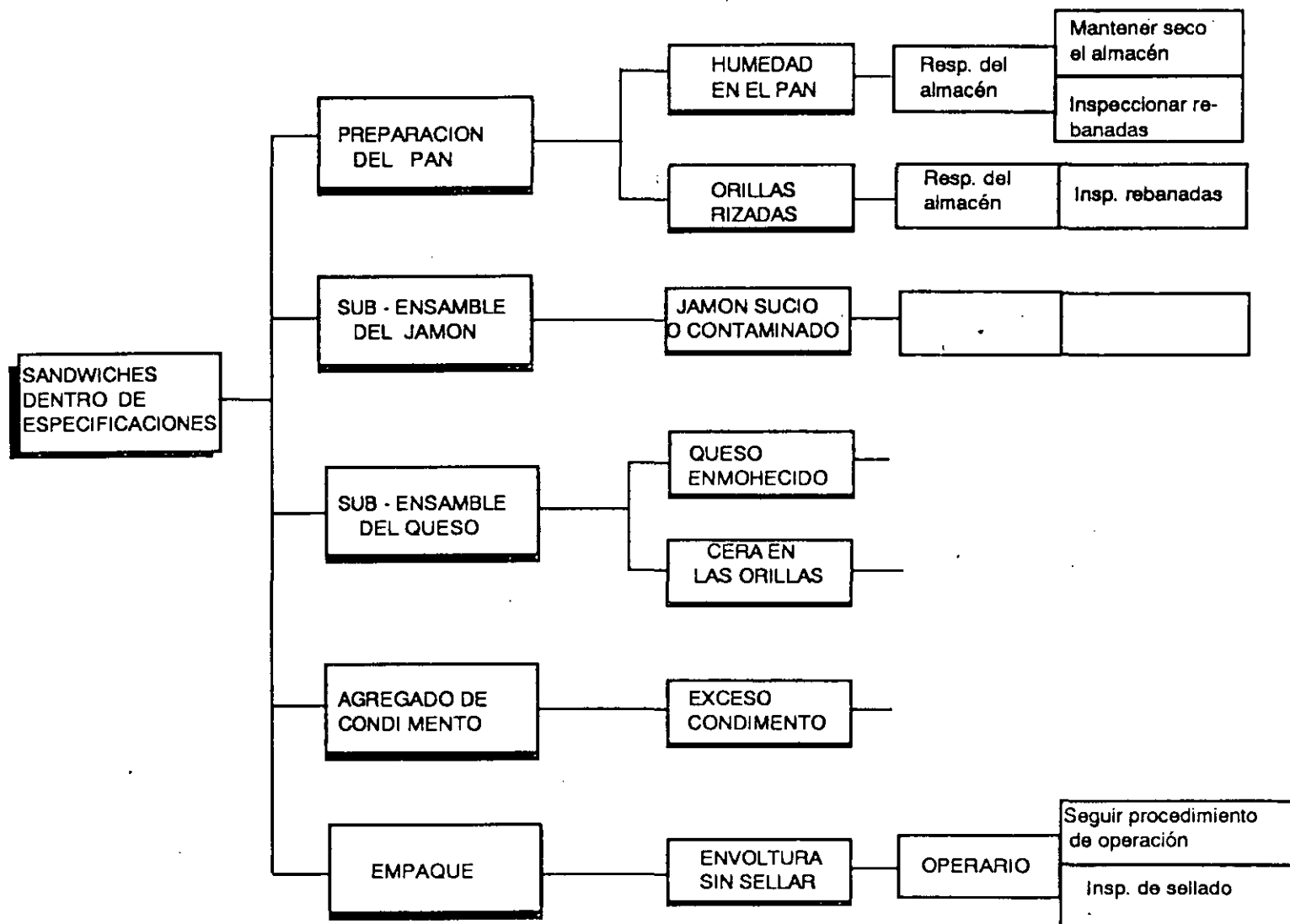
Herramientas Administrativas

El siguiente dibujo es un ejemplo (general) típico de un diagrama de árbol, utilizado para lograr cierto resultado esperado.



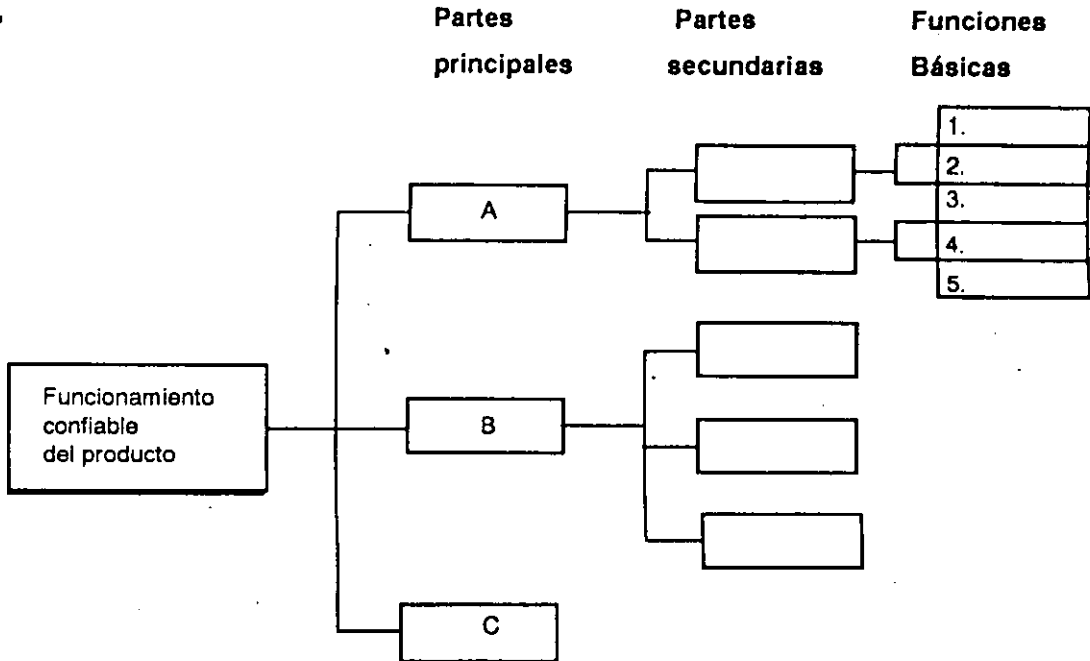
Resultado esperado — Fases de Proceso — Variaciones claves — Acciones — Responsable

RESULTADO ESPERADO — FASES DEL PROCESO — VARIACIONES CLAVE — ACTIVIDADES DE CONTROL

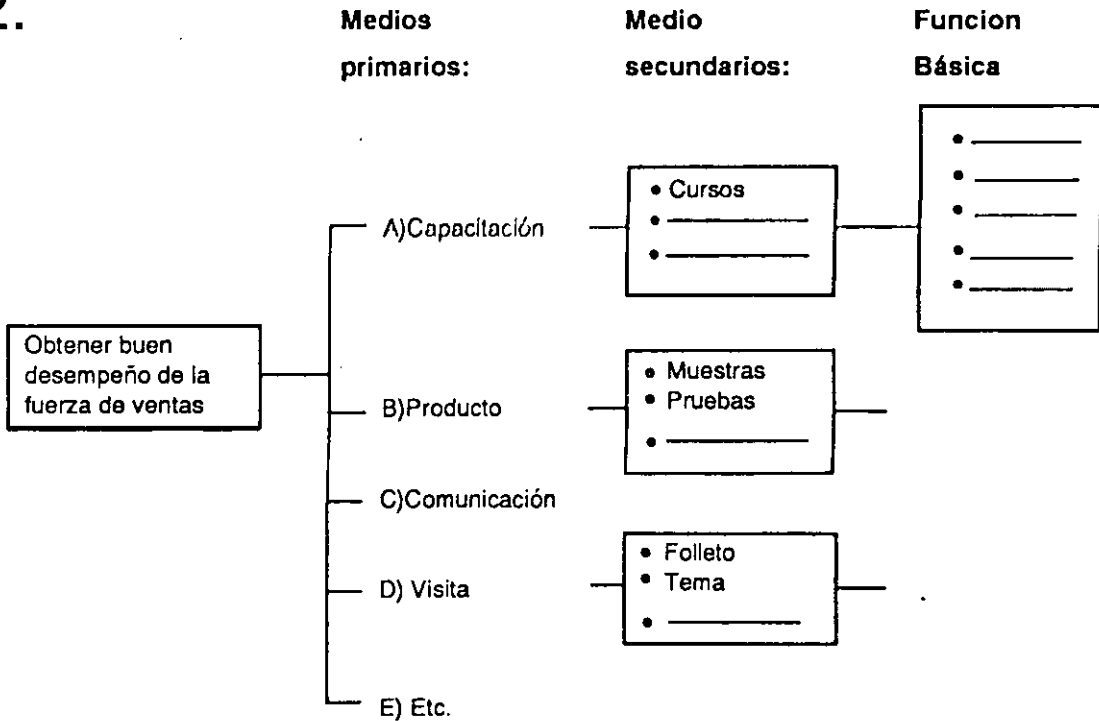


Ejemplos Generales:

1.



2.



## PROCEDIMIENTO

El procedimiento para elaborar un diagrama de árbol es el siguiente:

A) Establezca el objetivo final a lograr. Por ejemplo, puede ser solucionar un problema (resultado no deseable) o lograr cierto resultado.

B) Defina los medios.

1. Obtenga lo más posible de información (datos verbales) sobre los medios necesarios para lograr el objetivo final. Realice una tormenta de ideas, anote las opiniones en un rotafolio.

2. Clasifique los medios en primarios, secundarios, etc. y acciones específicas. La definición de los medios puede partir de medios ya establecidos. Por ejemplo para el caso de solución de un problema, los medios primarios serían las 4 emes (factores principales) del diagrama de causa y efecto.

C) Evaluación

Los medios (medidas) deben separarse en los que sí pueden ser implementados actualmente y los que no; por tanto es necesario evaluarlos.

D) Elabore el diagrama de árbol.

Escriba el objetivo final en el lado izquierdo del rotafolio y ordene los medios que son requeridos para lograr dicho objetivo. Arregle la información sistemáticamente en el lugar correspondiente.

Para elaborar el diagrama es opcional el utilizar cartas, las cuales son necesarias de elaborar previamente.

E) Analice el diagrama

Verifique si el diagrama es apropiado o no; si es necesario definir otros medios o acciones que no fueron establecidos en paso B).



## CONCLUSIONES

La utilidad principal del diagrama de árbol es para definir la serie de medios (medidas), partiendo de lo general a lo particular para lograr cierto objetivo inicialmente establecido.

Concretamente, los principales usos de este diagrama son los siguientes:

1. Desarrollar un objetivo en una serie de medios para lograrlo.
2. Definir las interrelaciones entre las metas y los medios.
3. Establecer la secuencia a seguir en las acciones.
4. Aclarar perfectamente el porqué o razón de ser de cada cosa o acción.

El punto central es concretarse en definir o establecer los medios -visualizando exclusivamente ideas relacionadas con medios- para producir un efecto.

La clave para el control (prevención del error y logro de objetivos) y mejora de la calidad es la acción; y los medios son las acciones que producen el resultado. El diagrama de árbol es para hacer que las cosas pasen.

Para la definición de medios o acciones es necesario que aflore la inteligencia y creatividad individual.

## 7. Gráfica de Proceso de Decisiones Programadas

---

La gráfica de proceso de decisiones programadas es un método de lógica que es utilizando para predecir el futuro, enfatizando en las situaciones no deseadas durante la realización de un evento, para diseñarlo y dirigirlo hacia un resultado deseable.



Este método fue creado por el Dr. Jiro Kondo, Presidente del Consejo de Ciencias de Japón cuando era profesor en la Universidad de Tokyo (1968). Es indispensable aplicarlo a todas las actividades de control total y mejora de calidad, especialmente en investigación y desarrollo, Departamento de ventas, y Areas Administrativas o Servicios Internos, donde hay mucho trabajo que hacer y nadie puede establecer con precisión el resultado final (o es difícil de establecerlo) antes de realizarlo; a diferencia por ejemplo en Areas de Producción, donde es fácil establecer las especificaciones de calidad o cantidad que se requieren como resultado.

El Método GPDP básicamente tiene los siguientes dos usos:

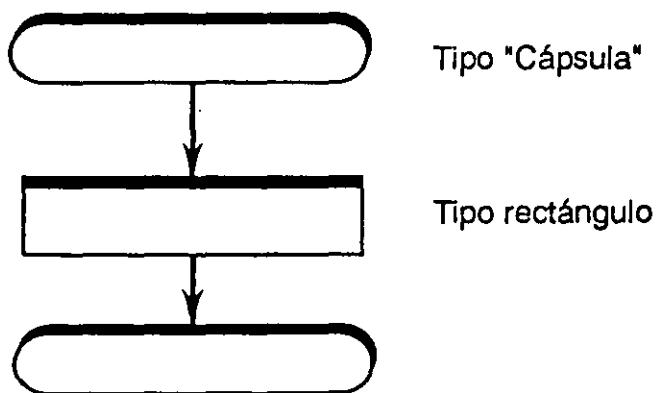
- 1) Se emplea para lograr un objetivo a través de establecer y tomar las decisiones apropiadas, enriqueciendo el plan en la etapa de diseño de un evento. En otras palabras, este método es usado para elaborar un plan que permita lograr una meta deseable (objetivo final), definiendo los posibles problemas que se presentarían durante el desarrollo de un evento, a través de establecer y tomar posteriormente la acción apropiada (lo que enriquecería el plan) para así dirigir el evento hacia un resultado deseable.

## Herramientas Administrativas

- 2) Para definir medidas lógicas y concretas con el fin de eliminar (si se presentan) situaciones no deseables, deliberando sobre las actividades a seguir para lograr cierto resultado. Este método es empleado para predecir la posibilidad de cada contingencia lógica y establecer la acción correctiva a tomar por si ocurre.

### PROCEDIMIENTO

- A) Identifique el evento y aclare la necesidad de realizarlo.
- B) Defina el resultado deseable y objetivo a lograr.
- C) Diseñe o rediseñe la secuencia de actividades a seguir.
1. Establezca las principales actividades a desarrollar, en forma secuencial. Anótelas en un rotafolio.
  2. Analice y apruebe las actividades principales y su secuencia.
  3. Construya la gráfica correspondiente a la secuencia de actividades anteriores. Utilice una simbología simple:



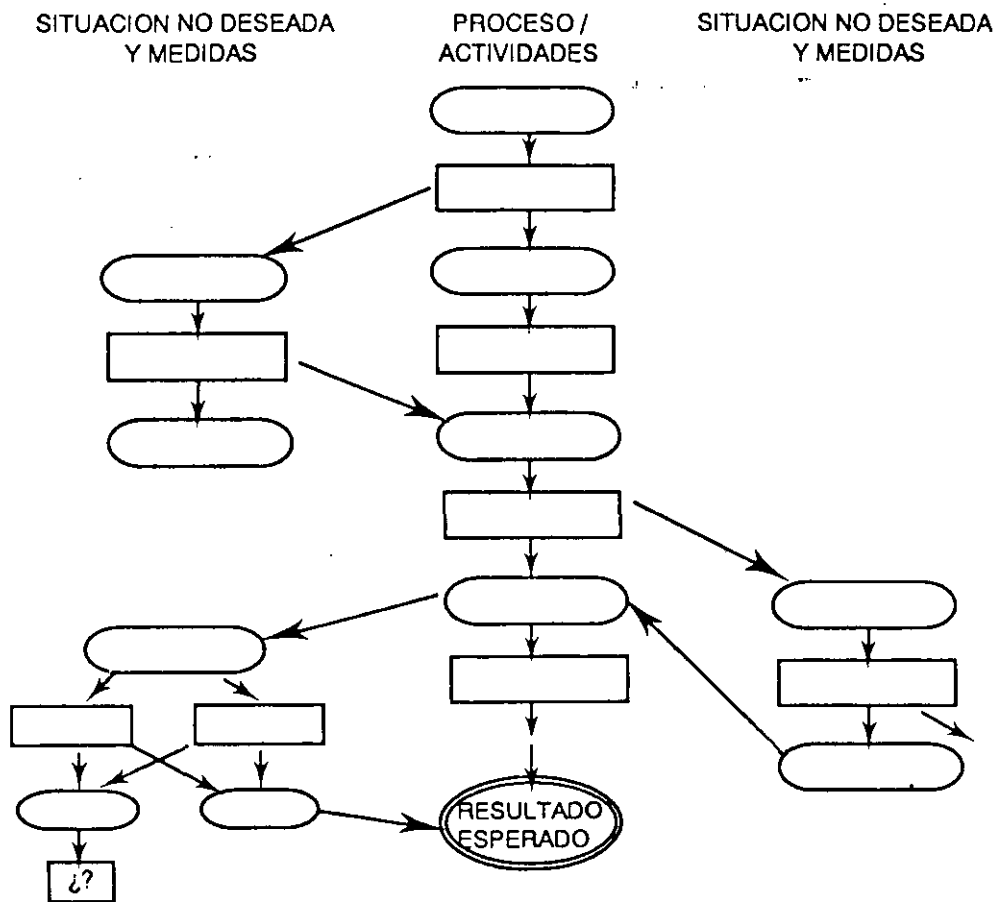
Para la construcción de la gráfica simplemente alterne las anteriores figuras. Dibújelo en el centro de una hoja de rotafolio o pizarroón.

D) Establezca las situaciones no deseables o posibles contingencias.

1. Realice una tormenta de ideas para generar las situaciones no deseables, repasando la secuencia de actividades.
2. Analice las ideas obtenidas y seleccione las lógicas.

E) Complete la gráfica (GPDP) .

1. Anote y grafique una a la vez las situaciones lógicas no deseables, definiendo las medidas o acciones a efectuar y consecuencias para cada una de ellas, grafique esto último también, uniéndolas por medio de flechas.



2. Verifique la gráfica completa y corríjala si es necesario

F) Distribuya y explique la gráfica a los involucrados.

## CONCLUSIONES

La gráfica de proceso de decisiones programadas es prácticamente la única herramienta administrativa para poder asegurar resultados en eventos donde no es posible establecer cuantitativamente dichos resultados.

Este método es empleado en eventos de tipo general y no en procesos continuos o sistemas para la producción de productos o servicios (para estos el análisis matricial de variaciones); sin embargo puede ser empleado en apoyo a este tipo de procesos.

Ejemplos de sus aplicaciones son:

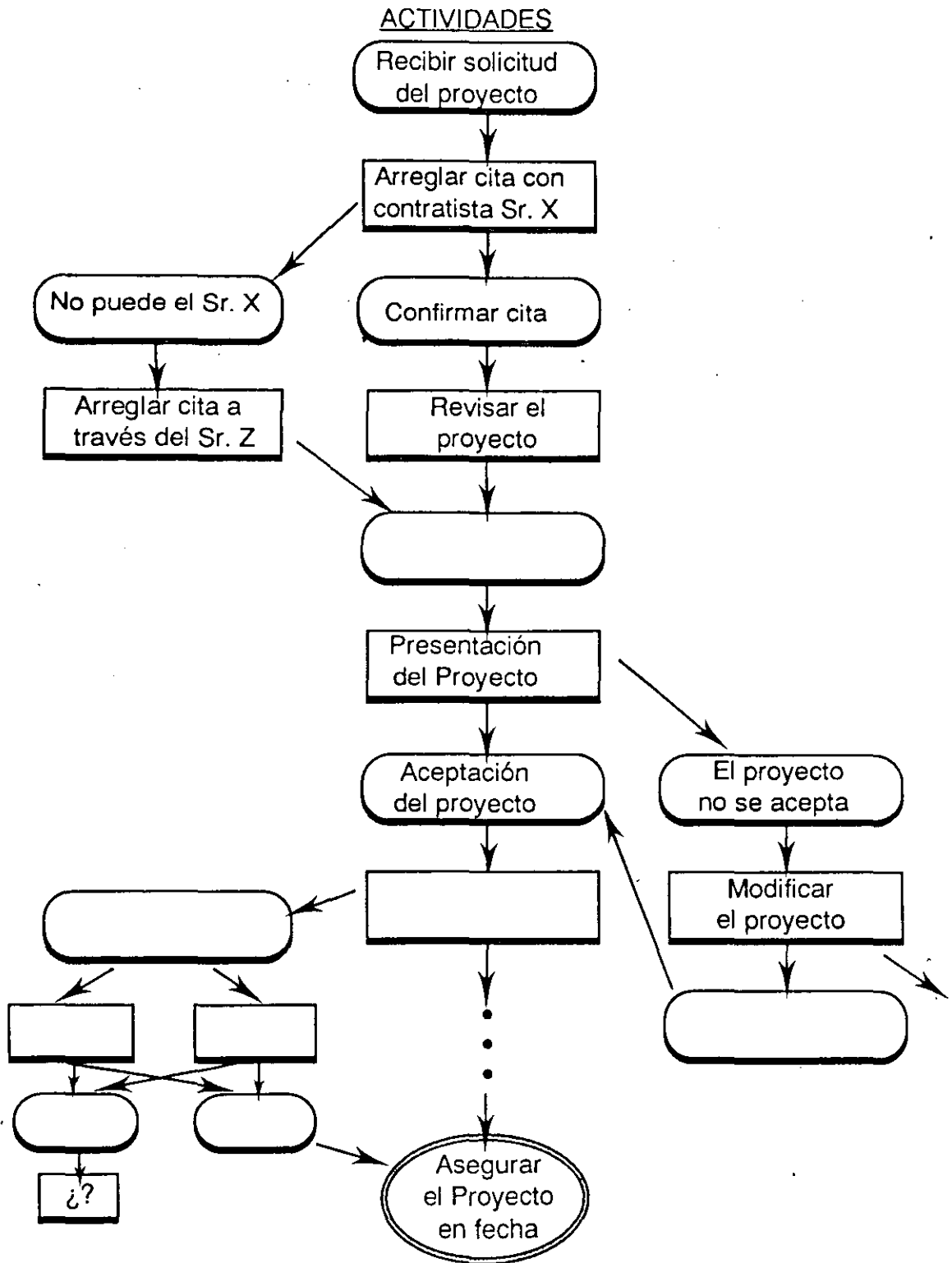
- Desarrollo de objetivos estratégicos.
- Elaboración de reportes especiales.
- Desarrollo de negociaciones con contratistas.
- Colocación de ordenes de compra, etc.

Concretamente, esta herramienta GPDP es un programa que muestra el trabajo a realizar con situaciones inciertas y las acciones específicas para contrarestar ese "algo inesperado".

## EJEMPLO

A continuación un ejemplo sobre un evento, relacionado con el desarrollo de una negociación con un contratista respecto a un proyecto importante, como por ejemplo: Redistribución del equipo de producción.

### HERRAMIENTA GDPD (EJEMPLO PARCIAL)



## **8. Diagrama de Flechas**

---

El método de diagrama de flechas es utilizado para hacer la programación óptima para llevar a cabo un plan y controlar su progreso efectivamente.

Este método utiliza flechas para indicar la secuencia en el trabajo necesaria de seguir para desarrollar un programa por medio de una red Network, controlando el proceso durante su desarrollo.

El diagrama de flechas es indispensable para proyectos de largo plazo, como construcciones, desarrollo de nuevos productos, preparación de eventos, que requieren de varios participantes y ejecución de diversos trabajos. Al mismo tiempo el método permite analizar el progreso del proyecto de acuerdo a su programa para mejorar o reducir el tiempo total y así poder optimizar el trabajo.

Este método básicamente es similar al PERT (Program Evaluation and Review Technique), sin embargo es una de las herramientas administrativas básicas para calidad total y se le denomina "diagrama de flechas".

La gráfica Gantt es utilizada como una herramienta de apoyo al PERT para controlar lo programado, esta gráfica también llamada gráfica de barras fue creada por Henry L. Gantt un asesor militar americano en la Primera Guerra Mundial.

Para comprender las características del diagrama de flechas, comparemos su utilización con el método convencional de la gráfica Gantt. Consideremos el siguiente caso, respecto a un programa de actividades que cubren desde el diseño de un nuevo producto (trabajo A), hasta su distribución para su venta en el mercado (trabajo I).

La misma programación es hecha en una gráfica Gantt (figura 1) y hecha en un diagrama de flechas (figura 2).

Fig. Gráfica Gantt

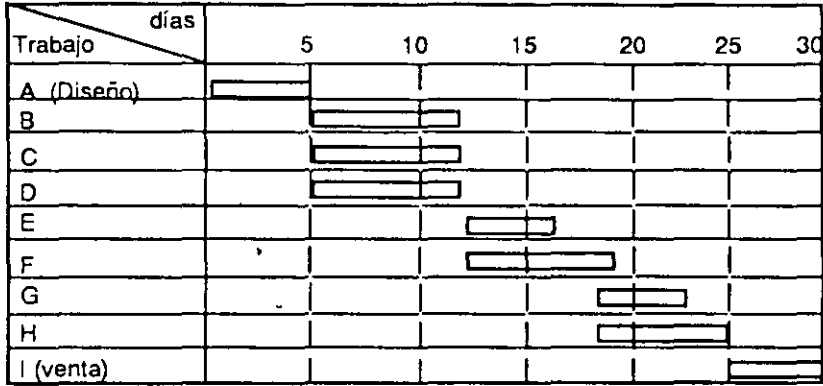
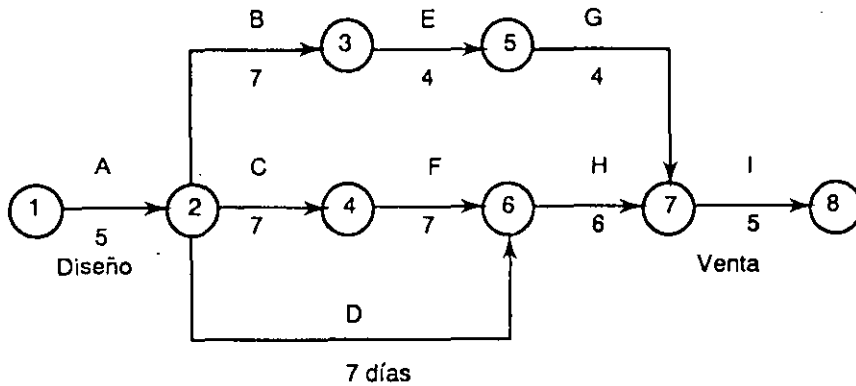


Fig. 2 Diagrama de flechas.



Supongamos que el trabajo B se retrasa un día; en este caso en la gráfica Gantt es imposible asumir si el trabajo I (venta) se terminará a los 31 días, con un día de retraso, o a los 30 días como esta programado. Esto porque en la gráfica Gantt es imposible identificar cual trabajo sigue a B, si el trabajo E o F.



## **8. Diagrama de Flechas**

---

El método de diagrama de flechas es utilizado para hacer la programación óptima para llevar a cabo un plan y controlar su progreso efectivamente.

Este método utiliza flechas para indicar la secuencia en el trabajo necesaria de seguir para desarrollar un programa por medio de una red Network, controlando el proceso durante su desarrollo.

El diagrama de flechas es indispensable para proyectos de largo plazo, como construcciones, desarrollo de nuevos productos, preparación de eventos, que requieren de varios participantes y ejecución de diversos trabajos. Al mismo tiempo el método permite analizar el progreso del proyecto de acuerdo a su programa para mejorar o reducir el tiempo total y así poder optimizar el trabajo.

Este método básicamente es similar al PERT (Program Evaluation and Review Technique), sin embargo es una de las herramientas administrativas básicas para calidad total y se le denomina "diagrama de flechas".

La gráfica Gantt es utilizada como una herramienta de apoyo al PERT para controlar lo programado, esta gráfica también llamada gráfica de barras fue creada por Henry L. Gantt un asesor militar americano en la Primera Guerra Mundial.

Para comprender las características del diagrama de flechas, comparemos su utilización con el método convencional de la gráfica Gantt. Consideremos el siguiente caso, respecto a un programa de actividades que cubren desde el diseño de un nuevo producto (trabajo A), hasta su distribución para su venta en el mercado (trabajo I).

La misma programación es hecha en una gráfica Gantt (figura 1) y hecha en un diagrama de flechas (figura 2).

El diagrama de flechas, muestra que el trabajo B es seguido por el E y sabemos que los días requeridos para los trabajos B, E y G es de 15 días, mientras que los trabajos C, F y H es de 20 días.

En función de esta diferencia podemos concluir que hay una tolerancia de 5 días después del trabajo B. Aún si el trabajo B es atrasado un día, esto no afectaría la programación y la distribución del producto para su venta o trabajo I, puede ser terminado a los 30 días.

Ahora, ¿Qué pasaría si el trabajo C es demorado un día de la programación inicial?. Nuevamente la gráfica gantt no nos provee información clara para el control del programa como en el caso anterior. El diagrama de flechas nos dice que el trabajo F, el cuál sigue al trabajo C, no permite ningún día de tolerancia, ni los trabajos H e I. Esto significa que un día de demora en el trabajo C afectaría al proceso total y la terminación del trabajo I (venta) se retrasaría en un día.

Los trabajos A, C, F, H e I son la serie de trabajos que no permiten tolerancia, ningún día; por tanto son los que requieren mayor atención en la programación. Para estos trabajos, para asegurar su terminación en tiempo, podemos utilizar otras herramientas administrativas para definir y prevenir la contingencia, o ante un problema de demora, analizar como reducir tiempos en trabajos posteriores subsecuentes.

De acuerdo a la comparación anterior, es claro que el diagrama de flechas permite hacer un plan con más precisión y controlar su progreso con mayor efectividad.

## PROCEDIMIENTO

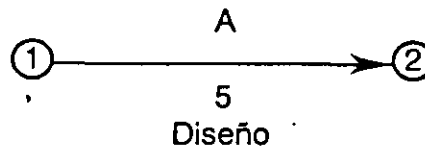
A) Defina las actividades (trabajo) a realizar para el desarrollo del proyecto o evento.

1. Anote el nombre del proyecto o evento a realizar en un rotafolio o pizarrón.
2. Describa todas las actividades (trabajo) a realizar.

3. Aclare el fin o propósito de cada actividad.

4. Ordenelas por secuencia, identificando cada actividad con letras (A, B, C, etc).

B) Construya el diagrama de flechas considerando el inicio y terminación de cada actividad (trabajo), su secuencia y dependencia.



1. Anote arriba de la flecha la letra que corresponda a la actividad (trabajo).

2. Anote en la parte de abajo de la flecha la duración en tiempo y nombre de la actividad.

3. Identifique el tiempo mínimo requerido para la terminación del proyecto.

C) Identifique las actividades (trabajos) que no permiten tolerancia, defina el camino crítico y el tiempo mínimo para la terminación del proyecto.

D) Identifique las actividades (trabajos) que sí permiten tolerancia y defina el tiempo.

E) Seleccione las actividades (trabajos) que no permiten tolerancia, los más críticos (pueden ser todos). Elabore una gráfica de proceso de decisiones programadas (GPDP) para estas actividades.

F) Controle el avance del proyecto, tomando las acciones correspondientes con la información anterior.

## CONCLUSIONES

El diagrama de flechas que representa el trabajo a realizar ordenándolo en una red e identificando el camino crítico, permite:

- 1) Hacer un programa más preciso.
- 2) Hacer con facilidad un plan eficiente, que pueda ser llevado a cabo en períodos mas cortos.
- 3) Hacer un programa convincente
- 4) Analizar con facilidad el programa a seguir antes de especificar fechas.
- 5) Analizar la posibilidad de que el trabajo pueda ser terminado de acuerdo a la fecha especificada.
- 6) Controlar el desarrollo y progreso de un plan de acuerdo a prioridades establecidas considerando el camino crítico.
- 7) Actuar con flexibilidad y rapidez en cambios al plan o en demoras en lo programado.
- 8) Llevar a cabo el plan con armonía, ya que el personal puede entender con claridad el plan y su progreso.

El diagrama es un esquema secuencial y de tiempo del trabajo, para hacer eficiente el programa inicial

## **SECCION V**

---

### ***Uso de las Herramientas Básicas***

Para efectuar actividades de control y mejora de calidad en todos los productos, servicios, procesos y trabajos en general es requisito indispensable desarrollar una cultura de datos fomentando el pensamiento descriptivo de las cosas, a través de crear un lenguaje común en toda la organización para la toma de decisiones en base científica, mediante la utilización de las herramientas básicas.

HERRAMIENTAS BASICAS

| DATOS ESTADISTICOS<br>7 HERRAMIENTAS ESTADISTICAS  | DATOS VERBALES<br>7 HERRAMIENTAS ADMINISTRATIVAS   |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Diagrama de Pareto</li><li>2. Histograma</li><li>3. Diagrama de causa y efecto</li><li>4. Estratificación</li><li>5. Diagrama de dispersión</li><li>6. Gráficas de control</li><li>7. Hojas de verificación</li></ol> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Diagrama de afinidad</li><li>2. Diagrama de relaciones</li><li>3. Diagrama matricial</li><li>4. Matriz de variaciones</li><li>5. Diagrama de árbol</li><li>6. Gráfica de proceso de decisiones programadas</li><li>7. Diagrama de flechas</li></ol> |

Estas herramientas de uso simple permiten cambiar las cosas a datos (estadísticos o verbales), analizarlos y tomar decisiones en base a ellos y no como tradicionalmente sucede por efecto de nuestra cultura de trabajo, donde el Director, Administrador, empleado o trabajador experto por lo general depende exclusivamente de su propia experiencia, intuición, autoridad y determinación y toman acciones para resolver o prevenir problemas sin ayuda de alguna herramienta científica. Esto sin embargo, ha contribuido a resolver muchos problemas en las empresas, pero ya no es muy efectivo para los productos y servicios de nuestra época y los futuros retos, ya

---

## Uso de las Herramientas Básicas

que la situación desde ahora demanda acciones más científicas, efectivas y rápidas.

El progreso estriba en aprender y usar todos organizadamente simples técnicas o herramientas. El método apropiado por su efectividad y rapidez en la solución y prevención de problemas en los procesos y sistemas, es el que analiza los problemas de operación investigando y encontrando las causas crónicas, basándose en datos reales y ordenados en diagramas y gráficas apropiadas.

Posiblemente existen profesionistas que no están de acuerdo con estas catorce herramientas básicas por su sencillez y facilidad de uso y prefieren utilizar técnicas y métodos más sofisticados; pero esto no es correcto, porque si se combinan bien estas simples herramientas se pueden resolver y prevenir la mayoría de problemas de calidad.

Además, el uso de herramientas sofisticadas no se sugiere; el uso de herramientas sencillas por todos en la empresa es más efectivo.

La práctica hace la perfección

## ***2. Recomendaciones Importantes***

---

Las siguientes son recomendaciones importantes para obtener mejores resultados en el empleo de las 14 herramientas básicas.

### **1) Combinar el uso de cada una de las herramientas.**

Utilizar independientemente cada herramienta no conduce a buenos resultados. Aún cuando se trate de resolver un problema simple, es importante combinar las herramientas: Las estadísticas entre si; las administrativas entre si; y las estadísticas con las administrativas.

La combinación de las herramientas básicas (estadísticas y administrativas) debe hacerse inclusive con otros métodos (Diseño de experimentos, métodos de investigación de operaciones, etc.) en las diferentes etapas a seguir para la solución y prevención de problemas.

### **2) Utilización amplia en la empresa.**

Las herramientas básicas deben ser utilizadas en todos los aspectos para el control y mejora de la calidad, como política de la empresa, dándose orientación y asesoría a quienes lo requieran. El uso esporádico de estas herramientas por algunos ejecutivos o por grupos pequeños en la empresa no conduce a buenos resultados.

### **3) Debe mostrarse alto entusiasmo en el uso de las herramientas.**

Todas las personas que utilicen estas herramientas básicas deberán reconocer su importancia. En los problemas a resolver o prevenir deberán mostrar alto entusiasmo y continuidad de esfuerzo.

### **4) Las herramientas básicas no deberán utilizarse para resolver problemas simples.**

Generalmente toma tiempo resolver un problema utilizando las herramientas --



## Uso de las Herramientas Básicas

básicas (estadísticas y administrativas); éstas deberán ser utilizadas para resolver problemas difíciles, crónicos o vitales, los cuales no se pueden resolver por otros medios. Es desperdicio de tiempo utilizar estas herramientas básicas para resolver problemas fáciles u obvios que demandan acciones inmediatas, que no requieren de análisis.

"El propósito fundamental de las  
catorce herramientas básicas no es usarlas;  
sino emplearlas para resolver y  
prevenir realmente problemas de calidad"

### 3. Principales usos

---

El primer requisito para utilizar correctamente las herramientas básicas es tener claro el uso específico de cada una de ellas:

| <u>HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS</u>   | <u>PRINCIPAL USO</u>   |
|------------------------------------|--|
| 1. Diagrama de Pareto              | - Separar problemas vitales de los triviales. Y confirmar efectos de mejoras realizadas.         |
| 2. Histograma                      | - Analizar la distribución estadística de un proceso. Y confirmar efectos de mejoras realizadas. |
| 3. Diagrama de causa y efecto.     | - Identificar, analizar y seleccionar causas de un problema.                                     |
| 4. Diagrama de dispersión.         | - Confirmar causas de problemas (efectos) en base a datos continuos.                             |
| 5. Estratificación                 | - Confirmar causas de problemas en base a datos discretos.                                       |
| 6. Gráficas de control             | - Detectar anomalías en un proceso, e identificar causas especiales de variación.                |
| 7. Hojas de chequeo (verificación) | - Obtener datos con facilidad y precisión  |

HERRAMIENTAS ADMINISTRATIVAS

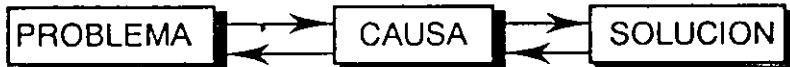
PRINCIPAL USO

- |   |   |
|---|---|
| 1. Diagrama de afinidad                         | - Agrupar ideas por temas semejantes, para identificar problemas  |
| 2. Diagrama de relaciones                       | - Identificar y confirmar causas de problemas, mediante el análisis de sus relaciones.                  |
| 3. Diagrama matricial                           | - Generar información para analizar un problema relacionándolo entre diferentes factores o elementos.   |
| 4. Análisis matricial de variaciones.           | - Identificar variaciones clave en un proceso, analizando la relación entre sus diferentes variaciones. |
| 5. Diagrama de árbol.                           | - Definir las contramedidas para solucionar un problema o los medios para lograr una meta.              |
| 6. Gráfica de proceso de Decisiones programadas | - Establecer situaciones no deseadas y los medios para contrarrestarlas durante el diseño de un evento. |
| 7. Diagrama de flechas                          | - Optimizar la programación para el desarrollo de un plan.  |

## 4. Como resolver problemas de calidad

---

La solución de problemas para el mejoramiento de la calidad, demanda seguir un procedimiento lógico, ordenado y sistemático.



El anterior esquema muestra las tres grandes etapas lógicas para resolver problemas, con el fin de mejorar los resultados. Esto es, identificar, analizar y resolver problemas.

Un esfuerzo de solución de problemas de esta naturaleza, demanda los siguientes requisitos:

- A) El problema debe ser planteado en relación a sus efectos ó síntomas y en base a datos.
- B) La relación causa y efecto debe ser analizada con precisión. Las causas del problema deben ser investigadas y confirmadas en base a datos.
- C) Las acciones correctivas para la solución del problema son establecidas e implementadas para prevenir las causas y su reocurrencia.

Dos aspectos que son estrictamente eliminados son:

- 1. Las decisiones no fundamentadas, basadas solo en imaginación e intuición.
- 2. La acción correctiva para eliminar el efecto o síntoma.

La verdadera solución es la que previene el problema (efecto) y esto se logra identificando, confirmando y eliminando la causa. La imaginación e intuición son

---

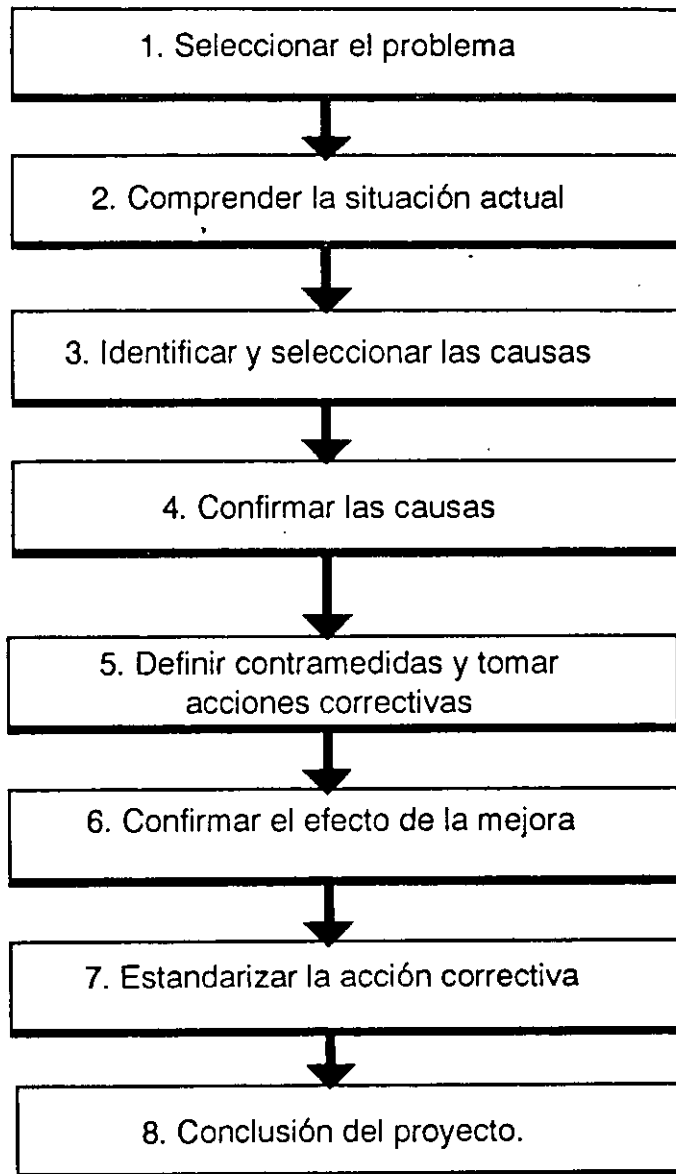
## Uso de las Herramientas Básicas

necesarias para la definición de ciertas cosas, pero posteriormente siempre se requerirá de la comprobación (datos).

Resolver problemas en base a datos, preferentemente estadísticos si no verbales, demanda combinar las herramientas básicas. Esto evita las adivinanzas, da la dimensión exacta a los problemas, encuentra y va a la causa no a la persona y facilita el trabajo de equipo.

Para resolver problemas de calidad es necesario seguir un procedimiento estándar, derivado de las tres grandes etapas (problema - causa - solución) citadas al inicio de este capítulo. Este procedimiento se refiere a etapas específicas.

**PROCEDIMIENTO ESTANDAR PARA  
RESOLVER PROBLEMAS DE CALIDAD**



## Uso de las Herramientas Básicas

Las ocho etapas necesarias de seguir para mejorar la calidad, es un esfuerzo que toma tiempo y requiere hacer uso del concepto de PROYECTO DE MEJORA DE CALIDAD.

Un proyecto de mejora de calidad: es un problema vital seleccionado para su análisis y solución o una área de oportunidad seleccionada para su estudio y aprovechamiento.

- Un problema: es un resultado no deseable en el trabajo o la desviación de un objetivo (ej. defectos o fallas).
- Una área de oportunidad: es un nivel aceptable en los resultados o cumplimiento de objetivos, pero necesario de mejorar (ej. incrementar la eficiencia o rendimiento).

El desarrollo de proyectos de mejora de calidad, es para mejorar significativamente los resultados, a través de realizar innovaciones estructurales en el trabajo. Por tanto, todos los problemas o áreas de oportunidad deben ser planteadas en términos estadísticos, económicos y otros. Es decir, desde el punto de vista negocio.

Por ejemplo: el error menos frecuente puede ser el más costoso. El equipo con menos demoras puede ser el de mayor eficiencia.

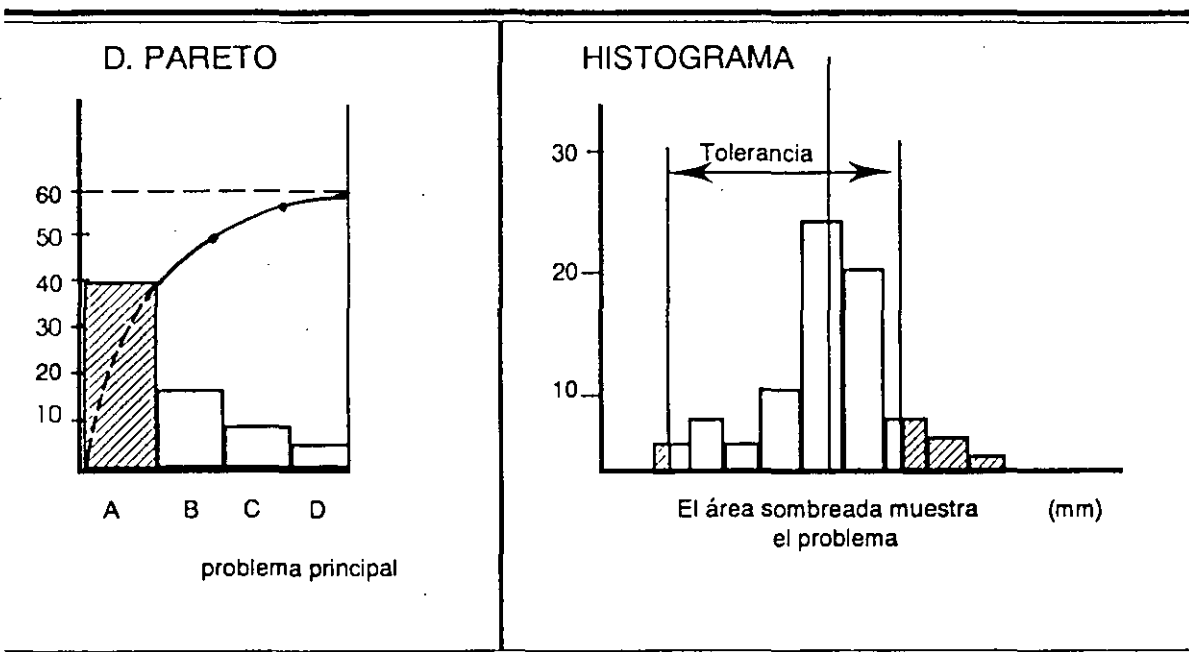
El procedimiento a seguir para el desarrollo de proyectos equivale a la historia de las actividades a seguir para la mejorar la calidad, por eso también se le denomina: "historia del proyecto de mejora de calidad"

A continuación la explicación de cada una de las etapas para la realización de mejoras: identificación, análisis y solución de problemas de calidad, ilustrando la utilización de las herramientas básicas.

## ETAPA 1. SELECCIONAR EL PROBLEMA

Identifique los diferentes problemas, analícelos comparativamente y seleccione el más importante. Establezca porque se seleccionó para reconocer su importancia.

- Demuestre que el problema es mucho más importante que otros.
- Exprese en términos concretos los resultados no deseables y el beneficio potencial a obtener al resolverlo.
- Establezca el objetivo o meta a alcanzar y denomine el proyecto.



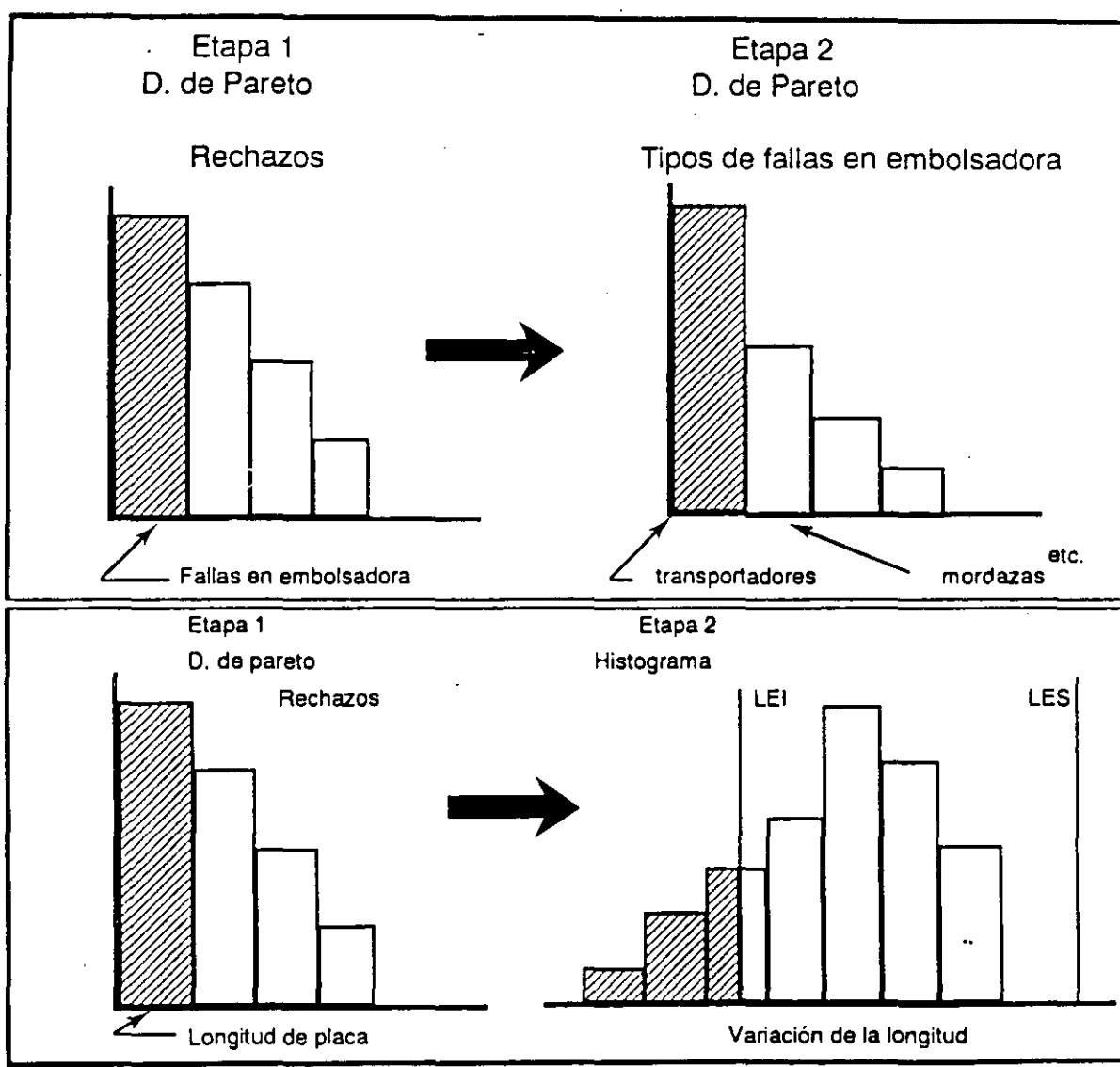
Las herramientas estadísticas básicas que más se utilizan en esta etapa son: El diagrama de Pareto, el histograma, gráficas generales, la hoja de verificación. Esta etapa se puede iniciar con un diagrama de afinidad en caso de no contar con datos estadísticos.



## ETAPA 2. COMPRENDER LA SITUACION ACTUAL

Investigue y estudie el problema desde diferentes puntos de vista para comprender mejor sus características o naturaleza. Por ejemplo: si el problema varía en tiempo (días de la semana, etc.); lugar (defectos solo en la parte superior); Tipo (clases o diferencias); y síntoma (efectos que ocasiona).

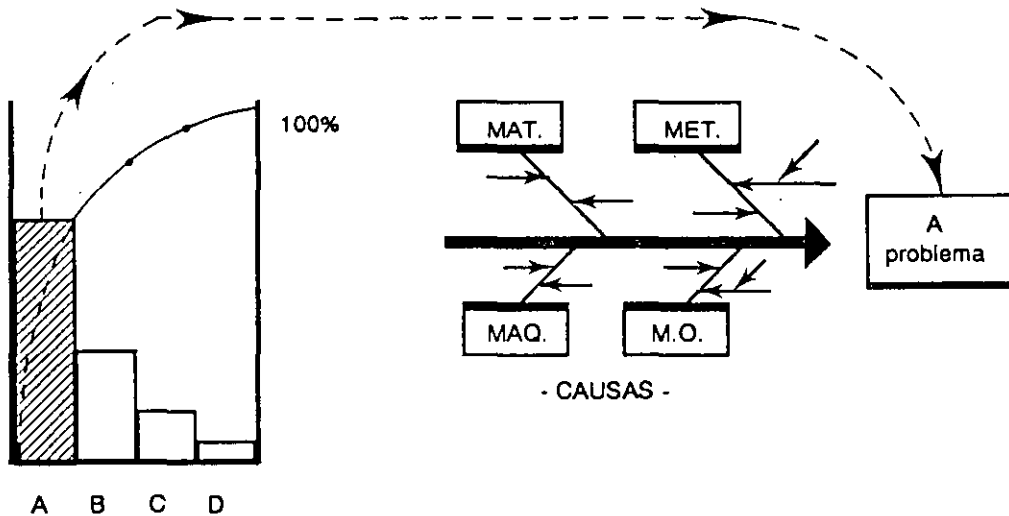
Generalmente se emplean las mismas herramientas de la etapa 1, pero ahora para conocer mejor el problema seleccionado: "Las pistas" para la solución están en el problema mismo. En esta etapa se puede emplear el diagrama matricial.



Si en la etapa 1 se utilizó un diagrama de afinidad, en esta etapa 2, preferentemente, se deberá mostrar información estadística en gráficas generales, pareto, etc. para comprender la situación actual del problema.

### ETAPA 3. IDENTIFICAR Y SELECCIONAR LAS CAUSAS

Analice la relación entre un efecto y las causas; o sea analizar las causas que afectan a la característica de calidad a mejorar o problema a resolver.



Problema seleccionado

Relación entre el diagrama de pareto y el diagrama de causa-efecto

En esta etapa se puede emplear el diagrama de relaciones, después del diagrama de causa y efecto, para identificar las causas origen del problema.

### ETAPA 4. CONFIRMAR LAS CAUSAS

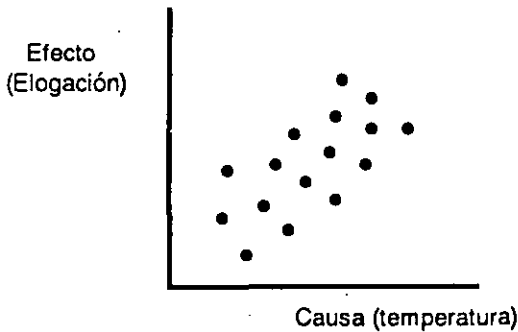
Confirme las causas más probables del problema, seleccionadas del diagrama de causa y efecto anterior, o del diagrama de relaciones. Organizando el trabajo con la siguiente tabla (ejemplo parcial a escala).

TABLA PARA CONFIRMAR DE CAUSAS

| No. | CAUSA SELECTA | METODO DE CONFIRMACION | PERSONA ENCARGADA | FECHA | RESULTADOS: |   |
|-----|---------------|------------------------|-------------------|-------|-------------|---|
|     |               |                        |                   |       | COMENTARIOS | C |
| 1   |               |                        |                   |       |             |   |
| 2   |               |                        |                   |       |             |   |
| 3   |               |                        |                   |       |             |   |
| 4   |               |                        |                   |       |             |   |
|     |               |                        |                   |       |             |   |

Para la confirmación de las causas es necesario obtener datos y utilizar alguna herramienta estadística: el diagrama de dispersión si se trata de datos que provienen de mediciones (continuos) y la estratificación si son datos que provienen de conteos (discretos).

Diagrama de dispersión



Estratificación  
Problema: defecto x, semana 31

| Turno | defectos |
|-------|----------|
| 1     | 2        |
| 2     | 28       |
| 3     | 6        |

En esta cuarta etapa también se pueden utilizar herramientas sencillas como la hoja de verificación, gráficas generales, o el diagrama matricial. También se puede necesitar emplear métodos estadísticos más sofisticados como correlación y regresión múltiple o el diseño de experimentos.

Diagrama matricial

(\*) Información sobre dependencia para priorizar las causas

|                     |            |            |            |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Material<br>Máquina | Causa<br>1 | Causa<br>2 | Causa<br>3 |
| Causa 1             | (*)        |            |            |
| Causa 2             |            |            |            |

Los problemas no se solucionan por que las acciones correctivas que se toman no eliminan las causas reales, sino solo son remedios que dan soluciones parciales o pasajeras. Por tanto, esta etapa 4 de confirmación de causas es la clave para la solución efectiva de problemas.



## ETAPA 5. DEFINIR CONTRAMEDIDAS Y TOMAR ACCION CORRECTIVA.

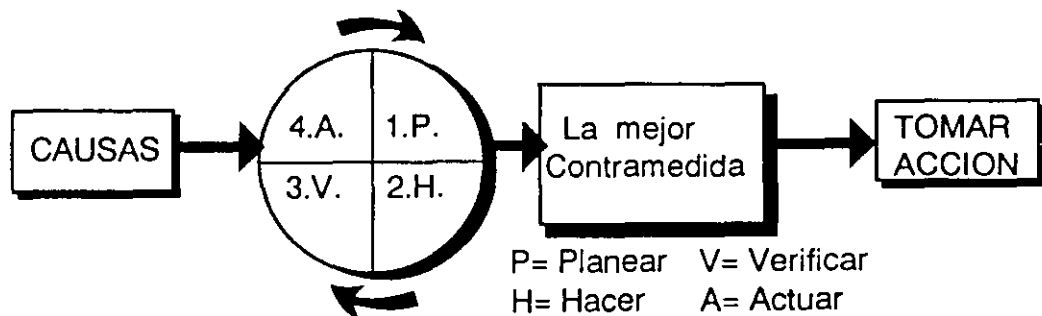
Elabore un plan de contramedidas para eliminar las causas principales confirmadas. Debe distinguirse las acciones que eliminen al síntoma (remedio inmediato) y las que eliminen las causas (prevención de la reocurrencia).

- Establezca diferentes acciones correctivas posibles (contramedidas) como alternativas de solución.
- Efectúe, mediante pruebas o experimentos, las contramedidas y evalúelas entre sí: seleccione la mejor.

Es necesario asegurarse que la acción correctiva (contramedida) seleccionada no produzca otros problemas (efectos colaterales); si es así, establezca acciones para estos efectos.

Implante la acción correctiva (contramedida) seleccionada: esta es la más viable técnica y económicamente; definiendo las acciones a realizar para su puesta en práctica.

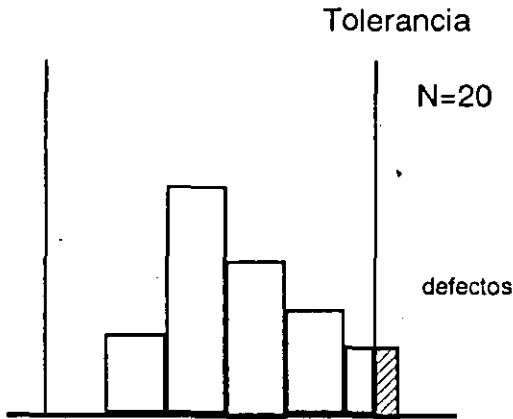
El proceso necesario de seguir en esta etapa es de acuerdo al círculo de Deming. Esta etapa es para hacer que las cosas pasen.



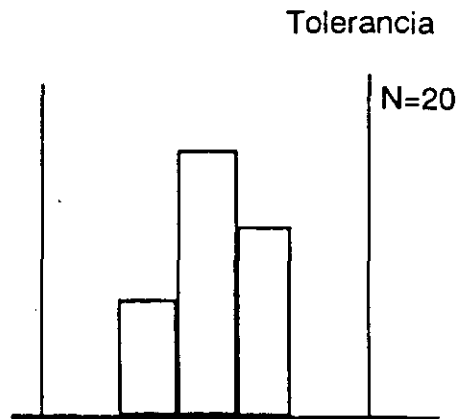
Para probar y comparar las diferentes contramedidas entre si, es necesario obtener datos. Las herramientas que puede emplear son por ejemplo, el histograma, gráficas generales, hoja de verificación o el diagrama matricial.

### USO DEL HISTOGRAMA

CONTRAMEDIDA A



CONTRAMEDIDA B (Mejor)



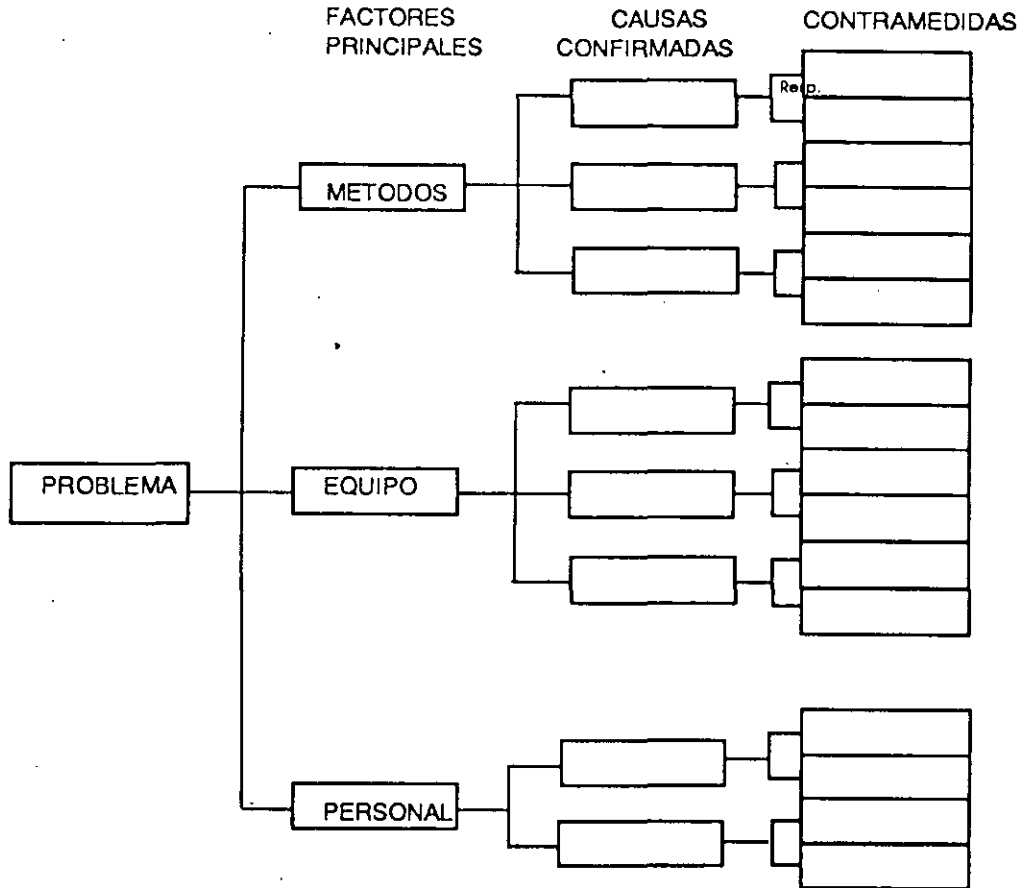
### USO DEL DIAGRAMA MATRICIAL

| CAUSAS CONFIRMADAS \ CONTRAMEDIDAS | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|---|---|---|
| X                                  |   | ● |   |
| Y                                  |   |   | ● |
| Z                                  |   |   |   |

Efectos Resultantes

Organize el trabajo de esta etapa para asegurarse que las cosas pasen; empleando el diagrama de árbol principalmente, o elaborando una simple tabla de contramedidas

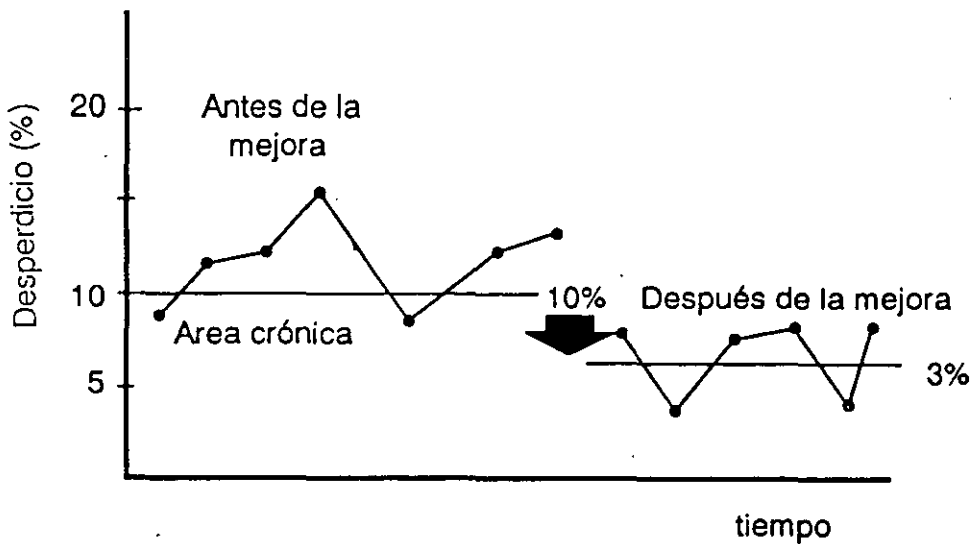
**DIAGRAMA DE ARBOL**



**TABLA DE CONTRAMEDIDAS  
(Ejemplo parcial a escala)**

| CAUSA | IDEA DE CONTRAMEDIDA | PERSONA ENCARGADA | FECHA | RESULTADOS  |   |
|-------|----------------------|-------------------|-------|-------------|---|
|       |                      |                   |       | COMENTARIOS | R |
|       |                      |                   |       |             |   |
|       |                      |                   |       |             |   |
|       |                      |                   |       |             |   |
|       |                      |                   |       |             |   |
|       |                      |                   |       |             |   |

## ETAPA 6. CONFIRMAR EL EFECTO DE LA MEJORA



Evalue los resultados obtenidos de la acción correctiva implantada.

- Compare los datos de los resultados obtenidos con los datos con los que inicialmente planteó el problema, utilizando las mismas gráficas o diagramas. O sea compare los datos antes y después de la acción correctiva (efecto tangible).
- Defina los efectos intangibles obtenidos por la mejora realizada.

Asegurese de que los resultados anteriores (problema) no ocurrirán de nuevo; esto es, con la acción correctiva tomada, ¿Qué tan bien se previene la recurrencia del problema o estado de la situación mejorada?

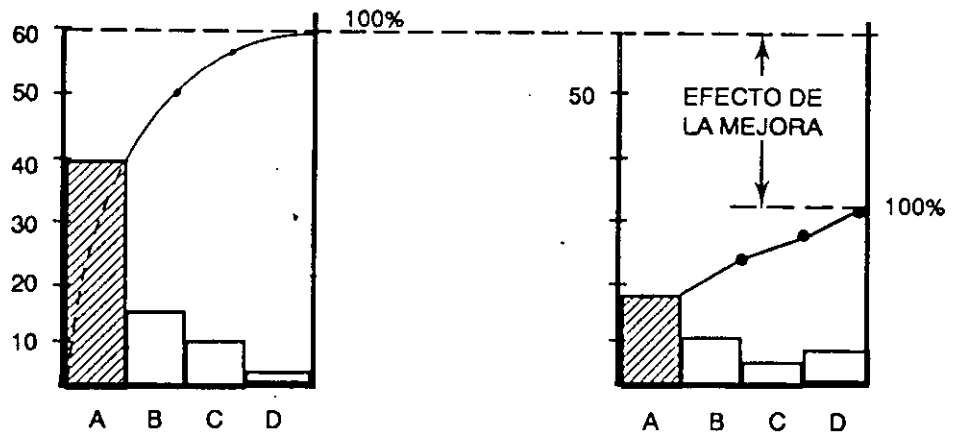
Si los resultados de la acción tomada no son satisfactorios como se esperaban: asegurese de que las acciones correctivas planeadas se llevaron a cabo bien, si es así, entonces la solución del problema falló y será necesario volver al paso 3 y empezar de nuevo. Al final de este paso debe observarse un cambio significativo en resultados.



Comparación de diagramas de pareto para confirmar el efecto de la mejora

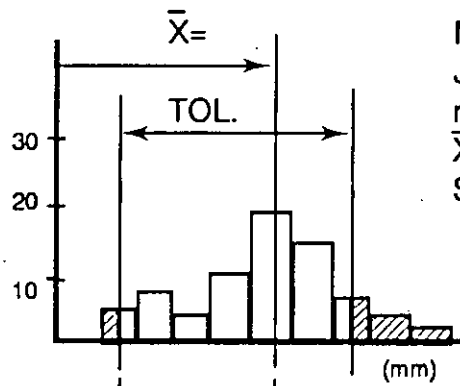
ANTES DE LA MEJORA

DESPUES DE LA MEJORA



Comparación de histogramas antes y después de la mejora

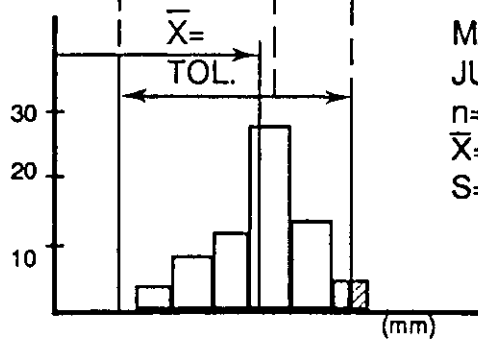
A) ANTES DE LA MEJORA



MAQUINA 3  
JULIO 23-27

n=  
 $\bar{X} =$   
S=

B) DESPUES DE LA MEJORA

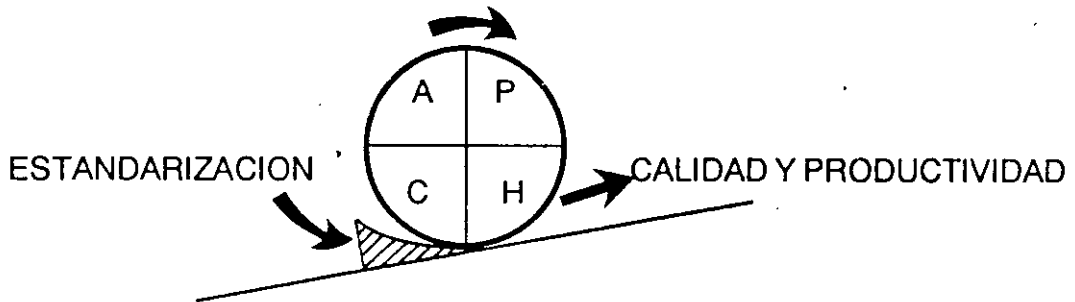


MAQUINA 3  
JULIO 30 AGO.

n=  
 $\bar{X} =$   
S=

## ETAPA 7. ESTANDARIZAR LA ACCION CORRECTIVA

La estandarización es para mantener el efecto de la mejora realizada. O sea para mantener las ganancias.



Hay seis preguntas necesarias de contestar para establecer los estándares:

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| Qué     | Quién  | Dónde |
| Por qué | Cuándo | Cómo  |

Comunique y capacite al personal en los estándares con el propósito de que se cumplan.

Para mantener el efecto de la mejora realizada se debe lograr la estabilización del control de proceso u operación. Independientemente de los aspectos técnicos involucrados, la forma más simple de lograrlo es haciendo las cosas de acuerdo a los estándares.

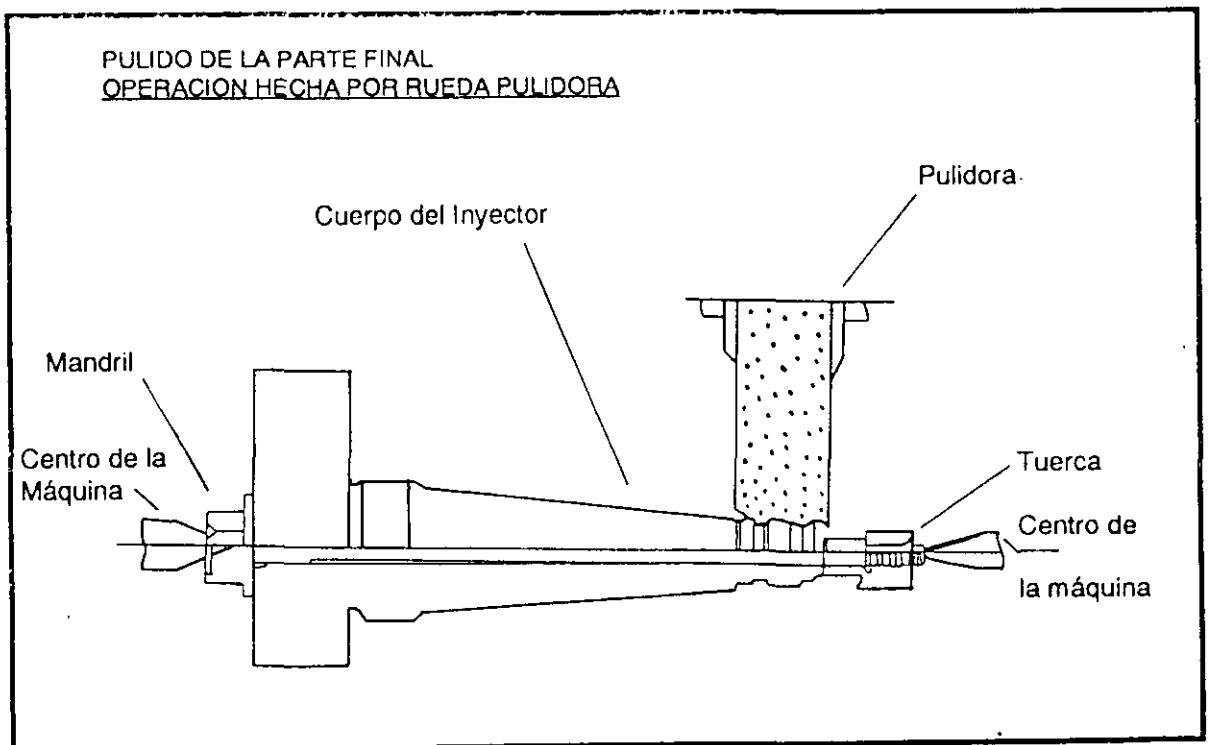
Para controlar nuevos factores o prevenir situaciones no deseables y así mantener la mejora, puede hacer uso de la gráfica de proceso de decisiones programadas (GPDP).

## 5. Caso práctico resuelto

Ejemplo de un proyecto resuelto siguiendo las etapas para la solución de problemas de calidad o la realización de mejoras a través de las herramientas básicas.

### NOMBRE DE LA OPERACION

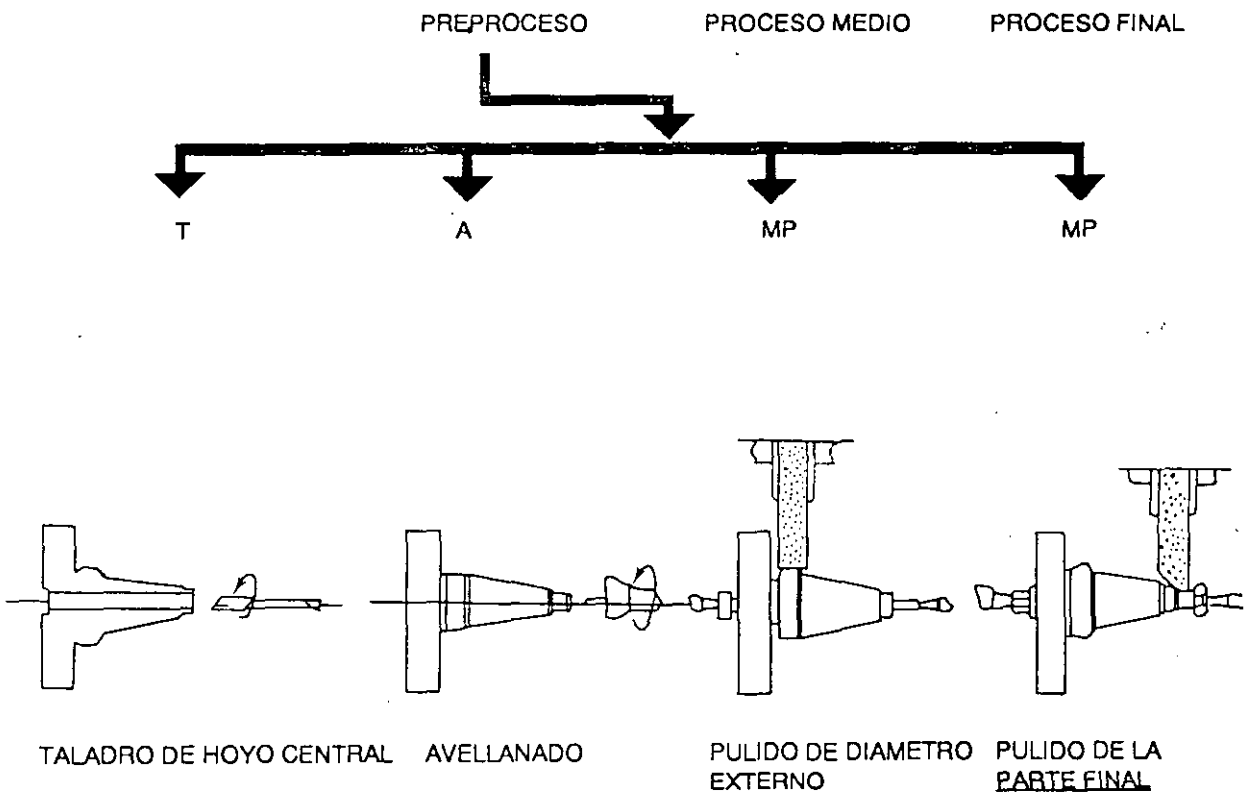
Operación de pulido de la parte final del cuerpo de un inyector de diesel.



## DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso total para la fabricación del inyector de diesel consta de tres fases que son llamadas: Preproceso, proceso medio y proceso final. La operación de pulido de la parte final del cuerpo del inyector es la última operación de la fase de preproceso como se muestra en el siguiente bosquejo:

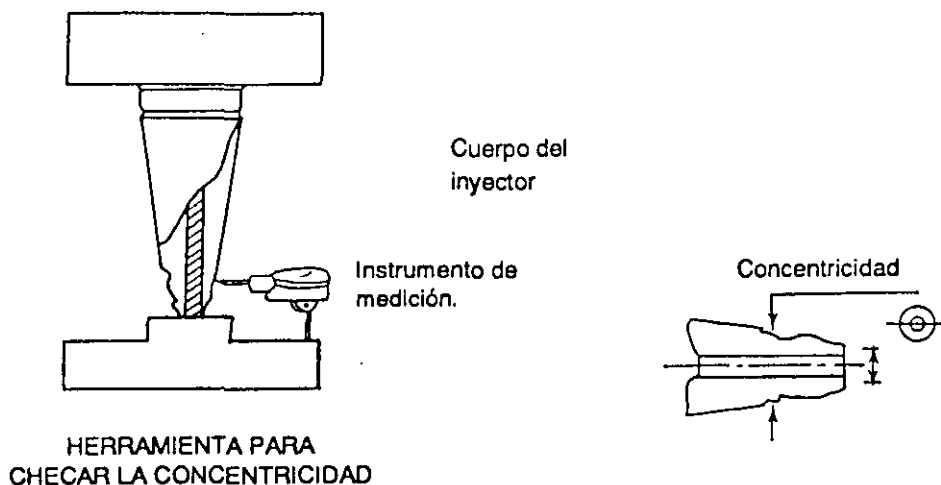
## BOSQUEJO DEL PROCESO



## DESCRIPCION DE LA OPERACION

La operación básicamente consiste en lo siguiente:

1. FIJAR EL CUERPO DEL INYECTOR (PIEZA). Se utiliza un mandril y una tuerca (como se muestra en la figura anterior). El operario introduce el mandril en el hoyo central de la pieza (diámetro interior), enrosca la tuerca con la mano y posteriormente con una llave española le da un "pequeño apretón" para fijarla bien.
2. COLOCAR LA PIEZA EN LA MAQUINA. Ya ensamblada la pieza con el mandril y la tuerca, se coloca en el torno para la operación de pulido de la parte final (diámetro exterior). La operación se efectúa automáticamente.
3. VERIFICAR LA CONCENTRICIDAD. Después de que la operación de pulido termina, el operario quita la pieza, la desensambla, le quita la tuerca y el mandril y revisa la concentricidad entre el diámetro interno y el externo.



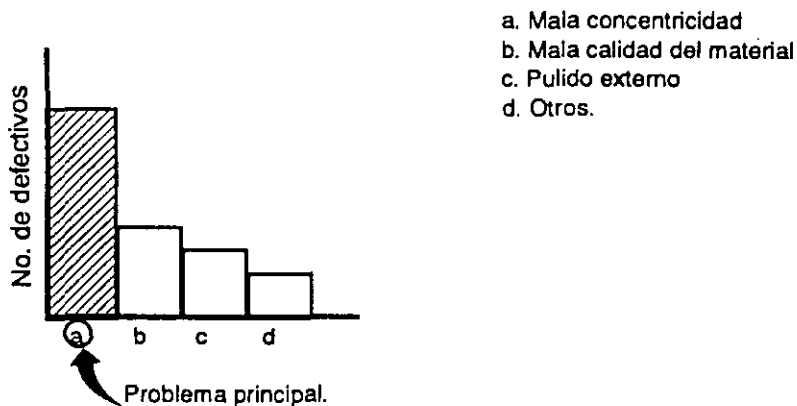
### ETAPA 1. SELECCION DEL PROBLEMA: RAZON DE LA SELECCION DEL PROBLEMA

La compañía inició una campaña para reducir el precio de sus productos a través de mejorar la productividad de sus procesos. Específicamente la campaña consistió en mejorar la calidad de conformancia de sus productos, lo cual significaba incrementar la cantidad de productos fabricados que cumplieran con las especificaciones de calidad a la primera intención.

Mejorar la Calidad de conformancia = Mejorar la productividad

Uno de los problemas que se seleccionó fué la fabricación del cuerpo del inyector de diesel ya que se determinó que era uno de los problemas vitales.

Diagrama de Pareto  
Problemas en inyector de diesel  
(rechazos)



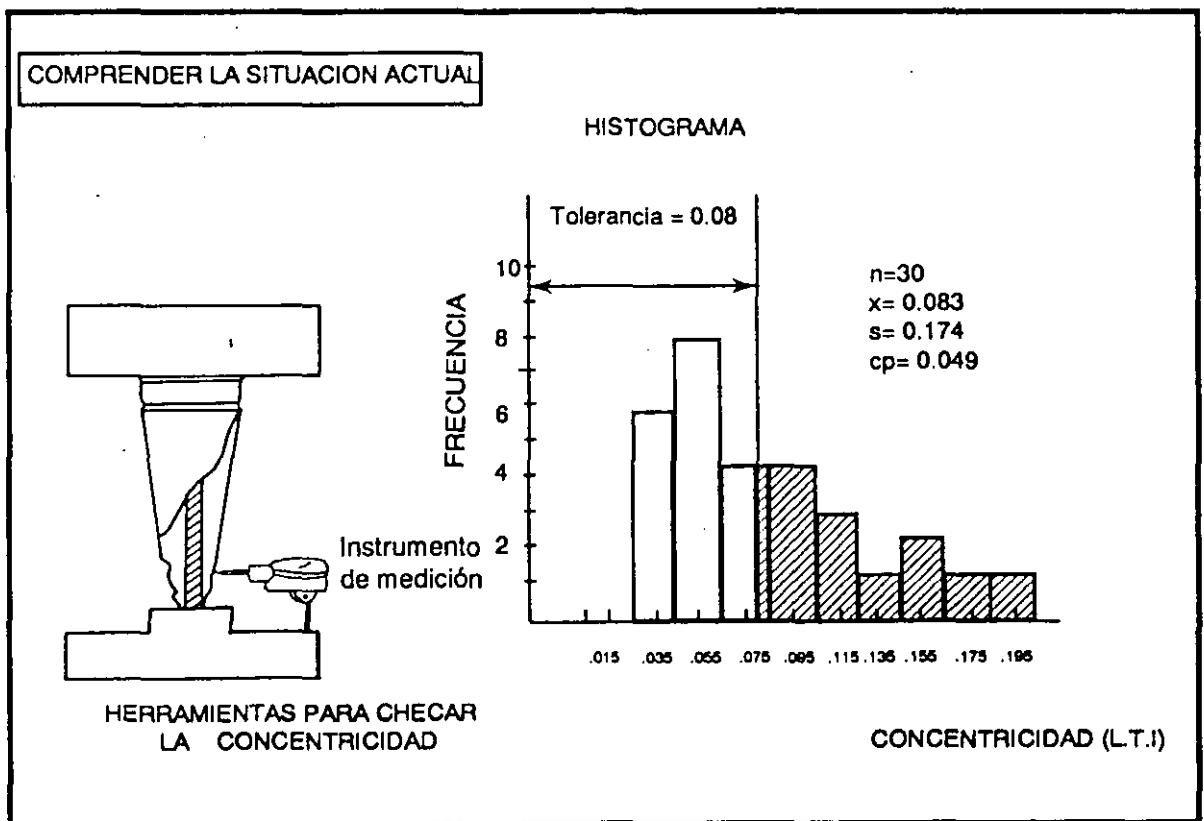
El objetivo que se estableció fue: reducir el producto defectivo\* y mejorar la capacidad del proceso en la operación de pulido de la parte final del cuerpo del inyector del diesel.

\* Producto defectivo: Es aquel que no cumple con las normas, especificaciones o estándares de calidad a la primera intención.

## ETAPA 2. COMPRENDER LA SITUACION ACTUAL

Después de especificar las razones por las cuáles se seleccionó el problema y de establecer un objetivo, el siguiente paso es comprender cual es la situación actual, lo que nos permitirá hacer un mejor planteamiento del problema.

En la siguiente figura se muestra la situación que prevalecía. De la muestra tomada, gran cantidad de producto fabricado se encontraba fuera de la tolerancia establecida (área sombreada), inclusive la media de la muestra se observa fuera del límite de tolerancia. La capacidad de calidad del proceso (cp) era muy pobre y la dispersión (s) grande.

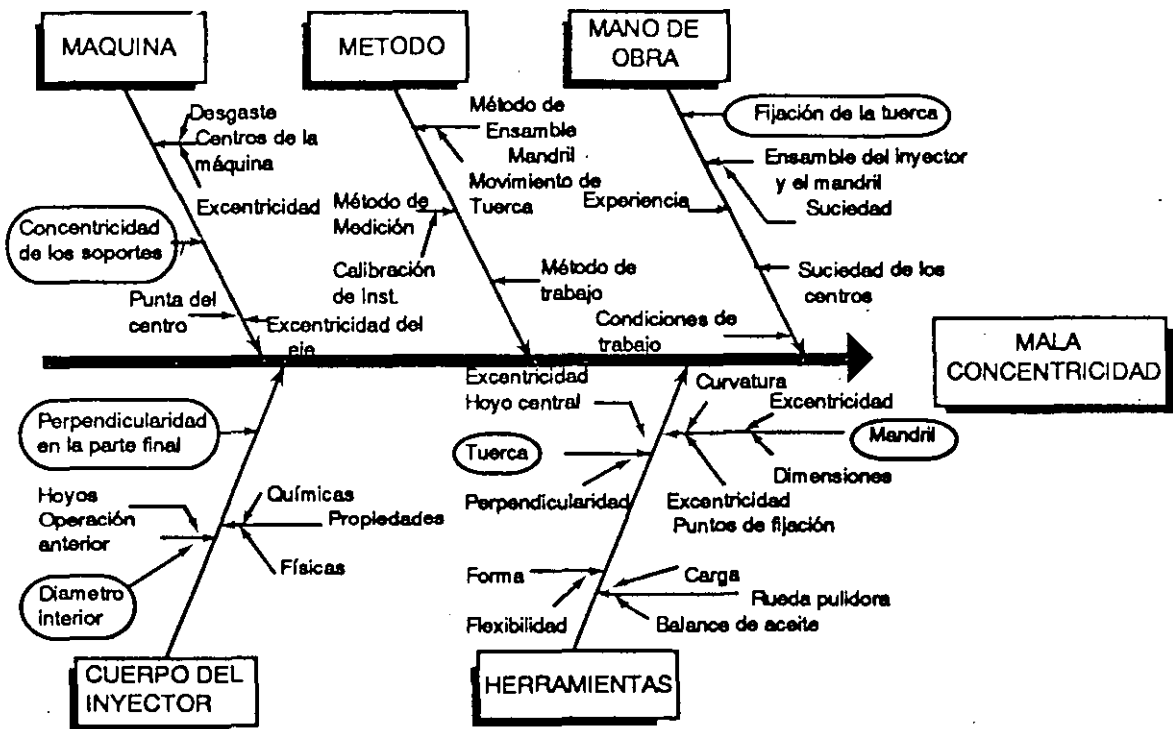


### ETAPA 3. IDENTIFICAR Y SELECCIONAR LAS CAUSAS

El siguiente paso consiste en identificar y seleccionar las causas, para lo cual es muy conveniente involucrar a gente con experiencia en el proceso. Es recomendable hacer una reunión para hacer una tormenta de ideas (ver anexo 1) y obtener lo más posible de causas, ordenarlas y priorizarlas.

A continuación se muestra el diagrama de causa y efecto (diagrama de Ishikawa) que se elaboró para identificar y relacionar las causas. El diagrama también muestra las causas más importantes que se seleccionaron. Son las encerradas en un círculo.

#### ANALISIS CAUSA Y EFECTO





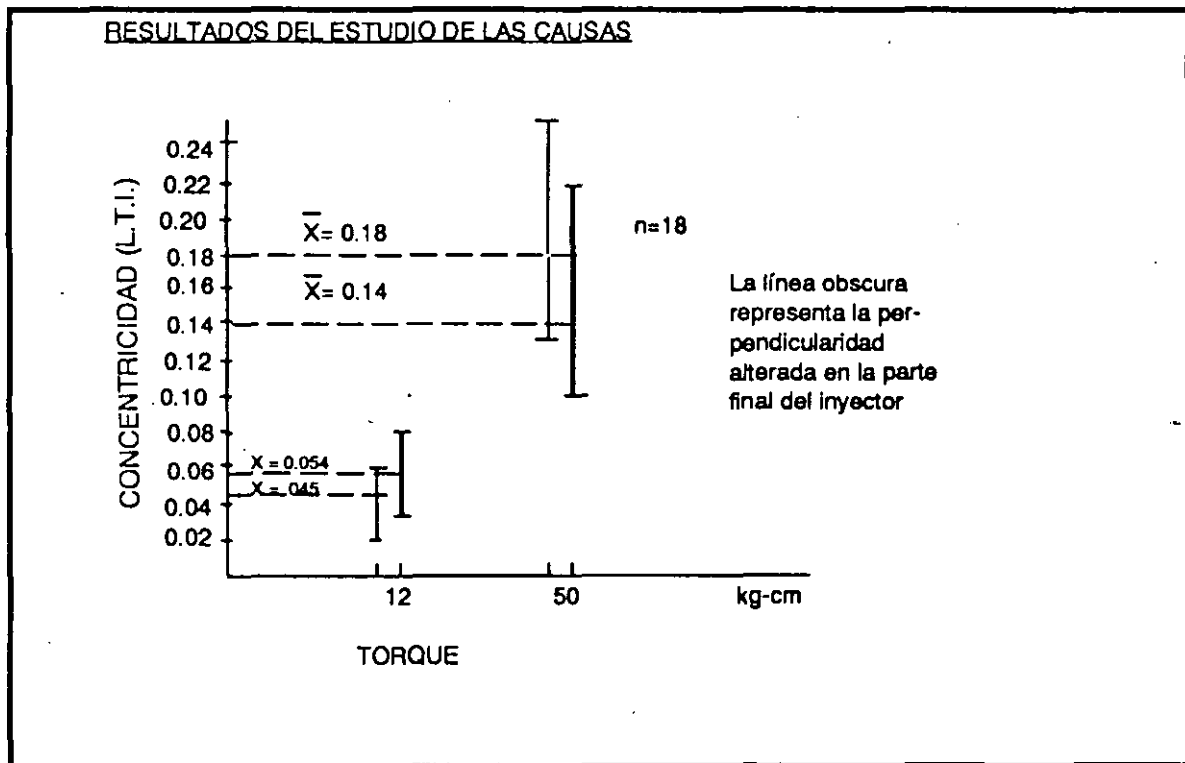
## ETAPA 4. CONFIRMAR LAS CAUSAS

Este paso es uno de los más importantes, ya que consiste en confirmar si las causas seleccionadas son verdaderas o no. Para hacerlo, es recomendable elaborar una tabla como la que se muestra adelante. La tabla incluye el método a seguir para confirmar las causas seleccionadas del diagrama de causa y efecto (paso anterior), también contiene quién será responsable de hacerlo, la fecha y los resultados obtenidos de la confirmación o prueba efectuada. Esta última columna es llenada después de la confirmación de las causas.

TABLA PARA CONFIRMACION DE CAUSAS

| No. | CAUSA SELECTADA              | METODO DE CONFIRMACION  | PERSONA ENCARGADA | FECHA | RESULTADOS  |   |
|-----|------------------------------|---|-------------------|-------|-------------|---|
|     |                              |   |                   |       | COMENTARIOS | C |
| 1   | TUERCA (TORQUE)              | Checar el ensamble de la tuerca con un torque: débil: 12 kg- cm; fuerte: 50 kg- cm.         | Felipe            | ----  |             |   |
| 2   | MANDRIL                      | Usar diferentes mandriles con diferentes diámetros 1º. Diámetro común; 2º) 9.420; 3º) 9.435 | René              | ----  |             |   |
| 3   | SOPORTES DE LA MAQUINA       | Checar con el indicador-dial, la concentricidad del mandril sobre la máquina.               | Manuel            | ----  |             |   |
| 4   | PERPENDICULARIDAD FASE FINAL | Indicador-Dial<br>1º Checar inyector común<br>2º Alterar perpendicularidad y checar.        | Oscar             | ----  |             |   |
|     |                              |   |                   |       |             |   |
|     |                              |   |                   |       |             |   |

La gráfica que se presenta a continuación sirvió para confirmar el efecto del torque de la tuerca respecto a la concentricidad (causas No. 1 de la tabla anterior), así como para confirmar la relación entre la perpendicularidad alterada de la parte final del cuerpo del inyector, lo que se hizo poniendo una roldana partida a la mitad entre la tuerca y el inyector en el ensamble (causa No. 4 de la tabla anterior). El resultado se muestra con la línea más oscura. Se utilizó la misma gráfica para confirmar la causa No. 4, ya que habría de fijar la variable torque para observar la relación entre la perpendicularidad de la parte final y la concentricidad.



Esta gráfica es un diagrama de dispersión que, en el caso de la causa 1, muestra la relación entre dos datos: Torque (eje X) y concentricidad (eje y). Se muestra como gráfica lineal, ya que solamente se consideraron dos valores para el torque (uno débil y uno fuerte). El procedimiento para graficar los puntos fue el siguiente:

1. Se tomó una muestra de 18 inyectores para probar su concentricidad resultante, ensamblado el cuerpo del inyector a un torque de 50 kg-cm (o sea apretando la tuerca fuerte) y 18 inyectores a un torque débil (12 kg-cm).
2. Se hizo la operación para cada torque (débil y fuerte) y se obtuvieron los 18 datos (mediciones) respectivos.
3. Solamente se graficaron los valores máximo, mínimo y promedio de cada grupo y se unieron en una línea, ya que graficar los 18 puntos que correspondrían a cada torque daría, como resultado, aproximadamente una línea recta.

El resultado del diagrama muestra que, apretando la tuerca fuerte (torque de 50), la concentricidad es muy mala y a la inversa, apretando no muy fuerte (torque 12) la concentricidad es buena; o sea: a mayor torque (entre más se apriete la tuerca) peor concentricidad.

En el estudio de la causa 4, se probó si la parte final del cuerpo inyector que no fuera perpendicular respecto a la tuerca, afectaba la concentricidad. Para ello se utilizó el mismo diagrama, ya que había que fijar la variable torque y analizar la falta de perpendicularidad. El procedimiento fué el siguiente:

1. Se fijaron dos valores de torque, los mismos que en la causa número 1. Se tomaron 18 inyectores para hacer la prueba en cada uno.
2. Se alteró la parte final del cuerpo del inyector, o sea, se hizo no perpendicular (como se explicó anteriormente) y se ensambló con la tuerca y el mandril.
3. Se hizo la operación y se verificó la concentricidad. Los datos (mediciones) obtenidos se graficaron siguiendo el mismo procedimiento anterior.

**Uso de las Herramientas Básicas**

El resultado como lo muestra el diagrama, fue casi igual al de la causa 1; o sea, que lo que hacía variar la concentricidad era el torque (lo apretada que estuviera la tuerca) y no la falta de perpendicularidad de la parte final.

Los resultados finales se muestran, en forma resumida, en la siguiente tabla, que es la misma que se mostró antes, pero ahora se incluyen los resultados obtenidos de la confirmación de las causas

**TABLA PARA CONFIRMACION DE CAUSAS**

| No. | CAUSA SELECTA                | METODO DE CONFIRMACION  | PERSONA ENCARGADA | FECHA | RESULTADOS                              |   |
|-----|------------------------------|---|-------------------|-------|---|---|
|     |                              |   |                   |       | COMENTARIOS                             | C |
| 1   | TUERCA (TORQUE)              | Checar el ensamble de la tuerca con un torque: débil: 12 kg cm; fuerte: 50 kg cm.         | Felipe            | ----  | Notable variación de la concentricidad. | ✓ |
| 2   | MANDRIL                      | Usar diferentes mandriles con diferentes diámetros 1º. Diámetro común; 2º 9.420; 3º 9.435 | René              | ----  | No-diferencia                           | X |
| 3   | SOPORTES DE LA MAQUINA       | Checar con el indicador-dial, la concentricidad del mandril sobre la máquina.             | Manuel            | ----  | No-diferencia                           | X |
| 4   | PERPENDICULARIDAD FASE FINAL | Indicador-Dial<br>1º Checar inyector común<br>2º Alterar perpendicularidad y checar.      | Oscar             | ----  | No-diferencia significativa             | X |
|     |                              |   |                   |       |   |   |
|     |                              |   |                   |       |   |   |

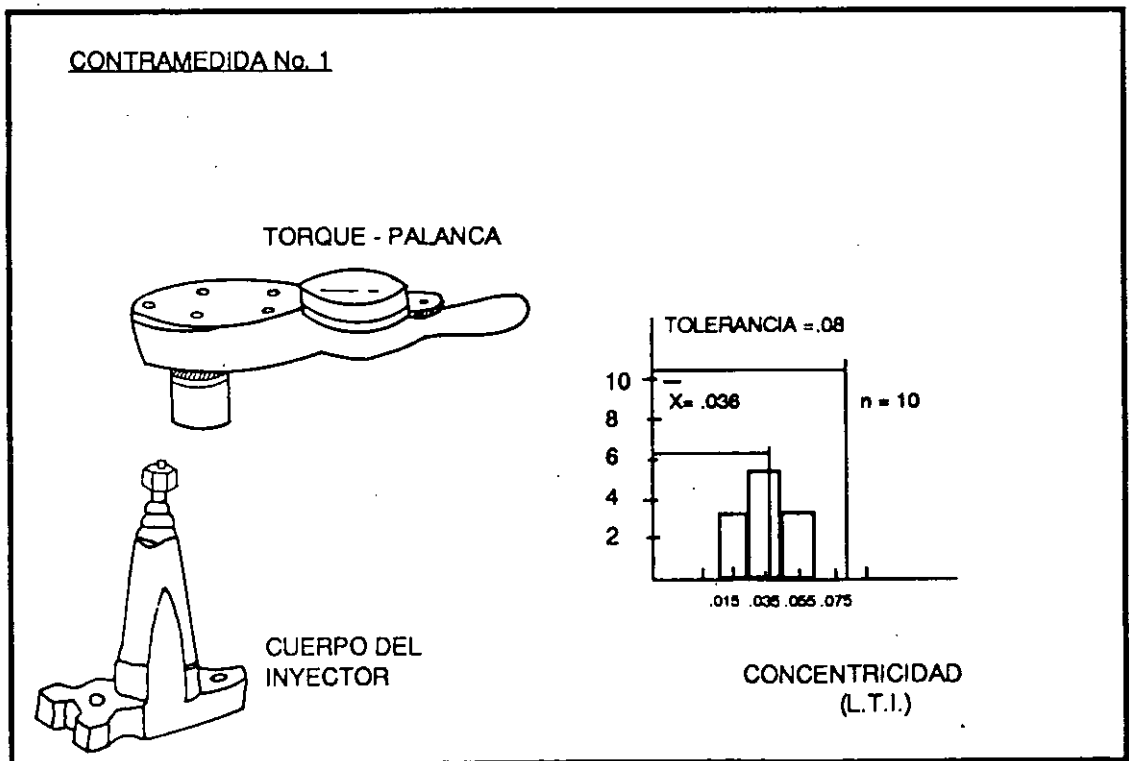
Para organizar y concluir el plan de contramedidas se elaboró un diagrama de árbol.

Los resultados de efectuar (probar) las contramedidas fueron las siguientes:

Contramedida 1

Esta acción consistió en usar un torque-palanca para apretar la tuerca, haciendo el torque constante (12 kg-cm) en el ensamble de cada cuerpo de inyector.

Para probarla se tomó una muestra n=10 piezas (cuerpos de inyectores) y se observó el comportamiento de la concentricidad en un histograma. La medición de la concentricidad está en lectura total indicada - L.T.I. - por el instrumento de medición.

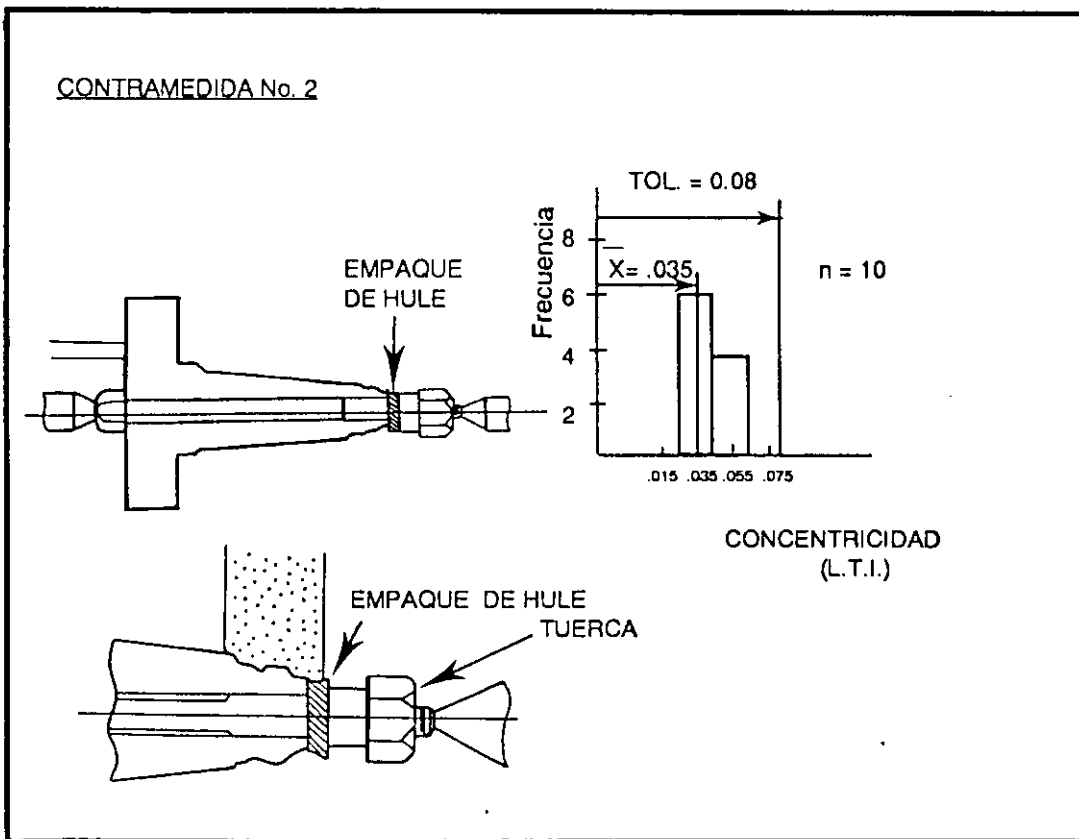


Se puede observar que la contramedida es buena, ya que toda la muestra estuvo dentro de la tolerancia permitida (0.08). El promedio de la concentricidad fue de 0.036 (LTI).

### Contramedida 2

Esta acción consistió en insertar un empaque de hule entre la tuerca y el cuerpo del inyector. Para probarla se tomó una muestra de diez piezas ( $n=10$ ) igual que la anterior, el propósito fue poder comparar los histogramas resultantes más fácilmente.

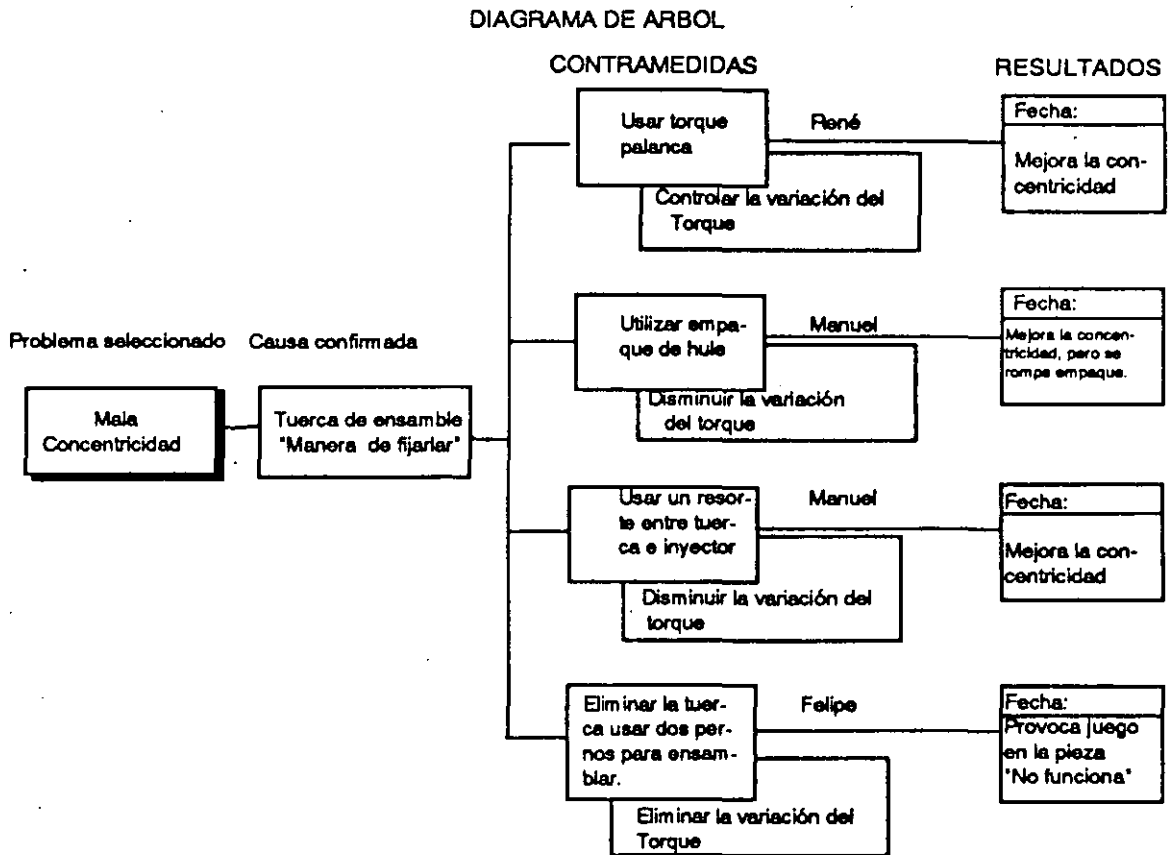
Si la muestras y el tamaño del intervalo son iguales en los histogramas, basta comparar cuántas clases (barras) resultan en cada uno para saber dónde hay más precisión, dónde la desviación estándar es menor.



Contramedida 4

Esta acción consistió en usar dos pernos para fijar el cuerpo del inyector, pernos que se mandaron hacer y que entraban a presión en el diámetro interior del inyector a uno y a otro lado. La operación no se pudo efectuar, ya que al colocar la pieza en la máquina pulidora y hacerlo girar, la pieza mostraba mucho desbalanceo.

A continuación se muestra el diagrama de árbol completo, incluyendo los resultados de cada contramedida probada.

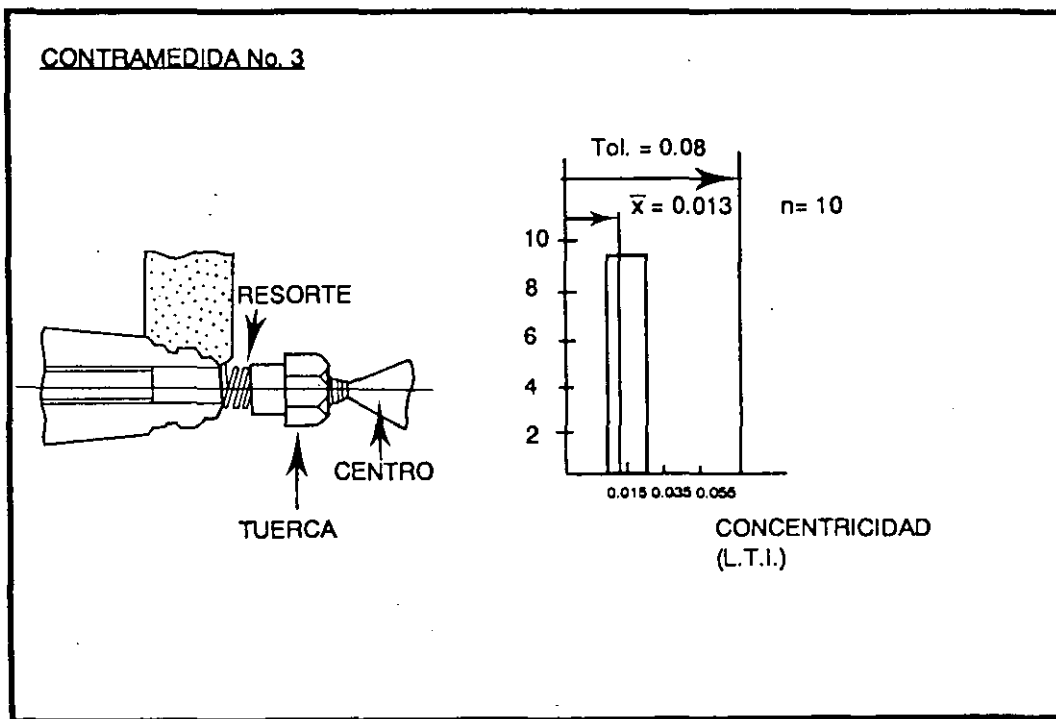


Como conclusión final, sólo dos de las cuatro contramedidas fueron consideradas buenas: La número 1, o sea la del torque-palanca, y la número 3, la del resorte. La mejor, como ya se mencionó, fue la de insertar un resorte entre tuerca e inyector.

Se puede observar que la contramedida es buena, ya el promedio de la concentricidad fue 0.035 (LTI). La dispersión es menor que la de la contramedida no. 1, pero el problema fue que hubo que cambiar de empaque de hule en cada operación de pulido, pues se rompía.

Contramedida 3.

Esta acción consistió en usar un resorte entre la tuerca y el cuerpo del inyector. La muestra, por supuesto, fue de diez piezas. La tuerca se apretó con la llave española hasta que el resorte se comprimía totalmente.



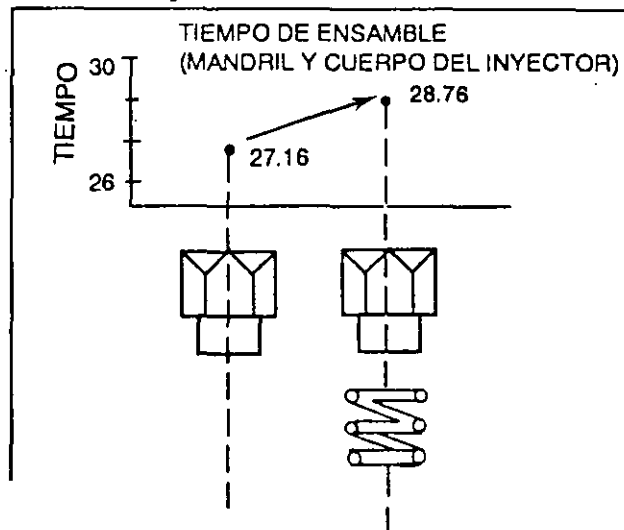
Se puede observar que la contramedida es mejor que las otras dos ya que el promedio de la concentricidad fue de 0.013 (LTI) y su dispersión menor (una sola barra). El resorte no se deformaba en la operación



## ETAPA 6. CONFIRMAR EL EFECTO DE LA MEJORA

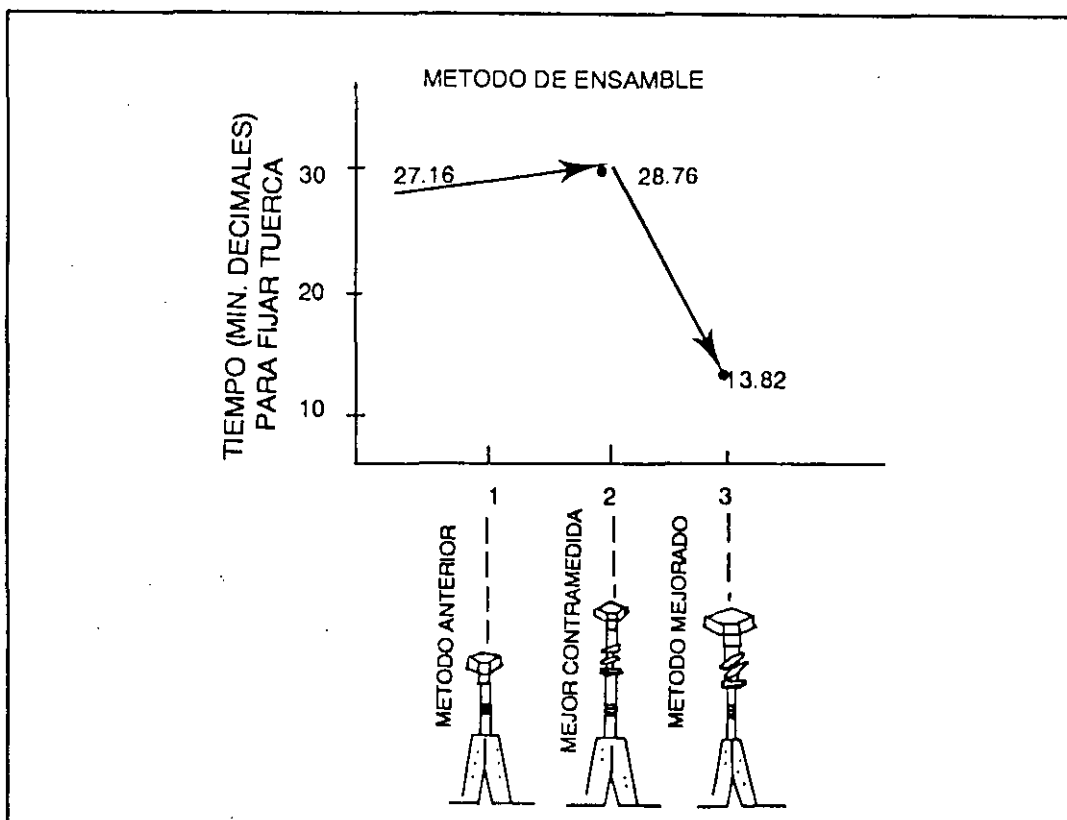
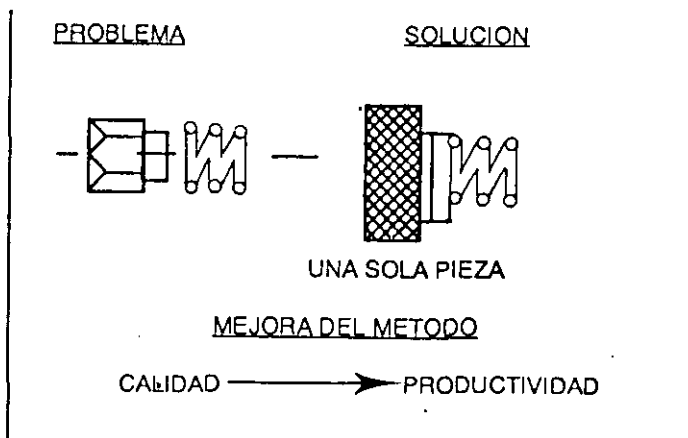
Después de seleccionar la mejor contramedida se confirmó si ésta realmente era una mejora o no, si resolvía el problema, si realmente significaba una mejora en el proceso.

Es muy importante ver si las condiciones modificadas de operación son benéficas. En este caso, el hecho de utilizar un resorte para fijar la pieza alteraba el tiempo de ensamble, como lo podemos observar en la siguiente gráfica.



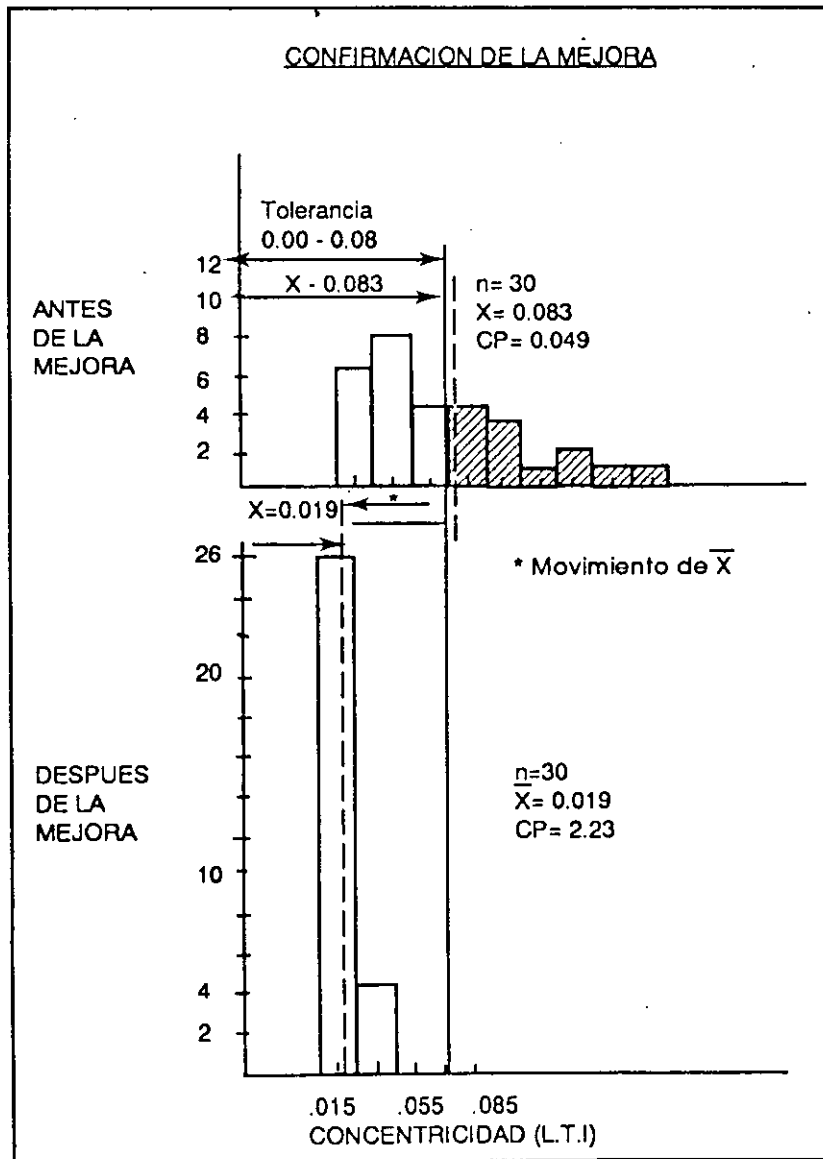
Este problema fue resuelto gracias a la creatividad y apoyado en un principio de la Ingeniería Industrial: La tuerca y el resorte significaban dos piezas a usar durante el ensamble, lo que hacía que el tiempo fuera mayor; entonces, ¿Por qué no hacer de las dos piezas una sola?. Esto trajo como consecuencia el cambiar la forma de la tuerca para hacer el torque totalmente manual y así se eliminó el uso de la llave española para el ensamble del cuerpo del inyector.

En los siguientes dibujos podemos observar lo dicho anteriormente. La búsqueda de la calidad trajo como consecuencia un aumento en la productividad, reflejado no sólo por un mayor número de piezas (cuerpo del inyector) fabricadas buenas a la primera intención, sino también por el aumento de la capacidad de fabricación de piezas por la mejora del método.

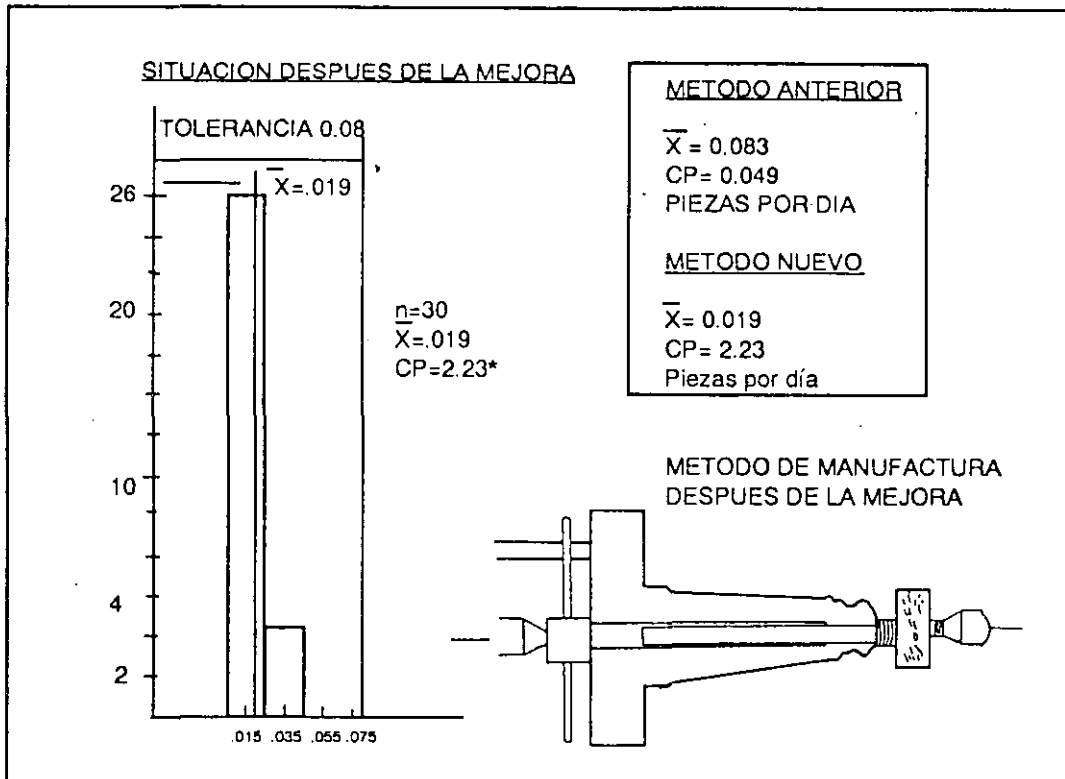


A continuación observamos que realmente la contramedida, ya con el método perfeccionado es una mejora.

Para hacer la comparación y así confirmar el efecto de la mejora, se tomó una muestra de  $n = 30$  piezas (cuerpo de inyectores). El tamaño de la muestra tenía que ser igual a la tomada en el paso número 2. Para hacer más fácil la comparación se hizo la operación con la nueva tuerca y resorte fijando la pieza en la máquina pulidora. El resultado se observa en el histograma titulado "después de la mejora".



El siguiente dibujo muestra el método de manufactura después la mejora y situación productiva. Podemos observar que la capacidad del proceso (cp)\* es mucho mejor; el promedio de la concentricidad mejoró también y el número de piezas fabricadas por día es mayor.



\* Indice de la capacidad de calidad del proceso

## ETAPA 7. ESTANDARIZACION DE LA ACCION CORRECTIVA

Después de confirmar el efecto de la mejora, se estandarizó la operación con las modificaciones hechas como consecuencia de la acción de mejora ejercida. En este caso resuelto quedó de la siguiente manera:

### INSTRUCCIONES PARA LA OPERACION

1. Use la tuerca con el resorte (una sola pieza).
2. Para fijar la tuerca, girela hasta que el resorte se comprima totalmente.
3. Verifique la uniformidad del diámetro del mandril por lo menos una vez al mes

El objetivo básico de la estandarización es el de mantener el efecto de la mejora. De esta manera se puede estabilizar el control en la operación.

Hay distintas formas de estabilizar el control en las operaciones, pero la más importante y sencilla es: Hacer las cosas de acuerdo a los estándares.

### ETAPA 8. CONCLUSION DEL PROYECTO

Este es el último paso en un estudio ordenado, lógico y sistemático. Consiste en revisar "algunas cosas" que no pudieron analizarse o considerarse, por ejemplo en este caso:

1. Probar con otros calibres de resortes.
2. Modificar el diseño de la tuerca, de tal manera que indique hasta donde apretar.

En otras ocasiones existirán ideas de contramedidas que no se podrán probar por limitaciones técnicas o de inversión, pero es conveniente dejarlas por escrito como posibles planes.

Este último paso también incluye el llenar un reporte-análisis donde se muestra toda la historia del proyecto de mejora.

#### HISTORIA DEL PROYECTO

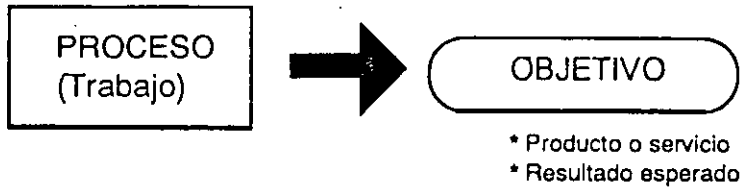
|             |                            |   |                             |
|-------------|----------------------------|---|-----------------------------|
| Proyecto:   |                            | Fecha inicio de proyecto _____                | Fecha de terminación: _____ |
| Nom. Grupo  | Objetivo:                  | 1. Selección del problema.                    |                             |
| Líder       |                            | 2. Situación actual                           |                             |
| Período     |                            | 3. Seleccionar las causas                     |                             |
| Sección     |                            | 4. Confirmar causas                           |                             |
| Fecha       |                            | 5. Plan de contramedidas y acción correctiva. |                             |
| Día         | hr. etapa                  | 6. Confirmar mejora                           |                             |
|             |                            | 7. Estandarización                            |                             |
|             |                            | 8. Conclusiones.                              |                             |
|             | Asistencia                 |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
|             |                            |   |                             |
| Totales     |                            |   |                             |
| Reuniones=  |                            |   |                             |
| Tiempo=     | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |   |                             |
| Miembros=   | Nombres                    |   |                             |
| Comentarios |                            |   |                             |

## 6. Prevención de problemas

Para la prevención de problemas o asegurar un objetivo (resultado esperado), generalmente las herramientas se combinan de la siguiente forma.

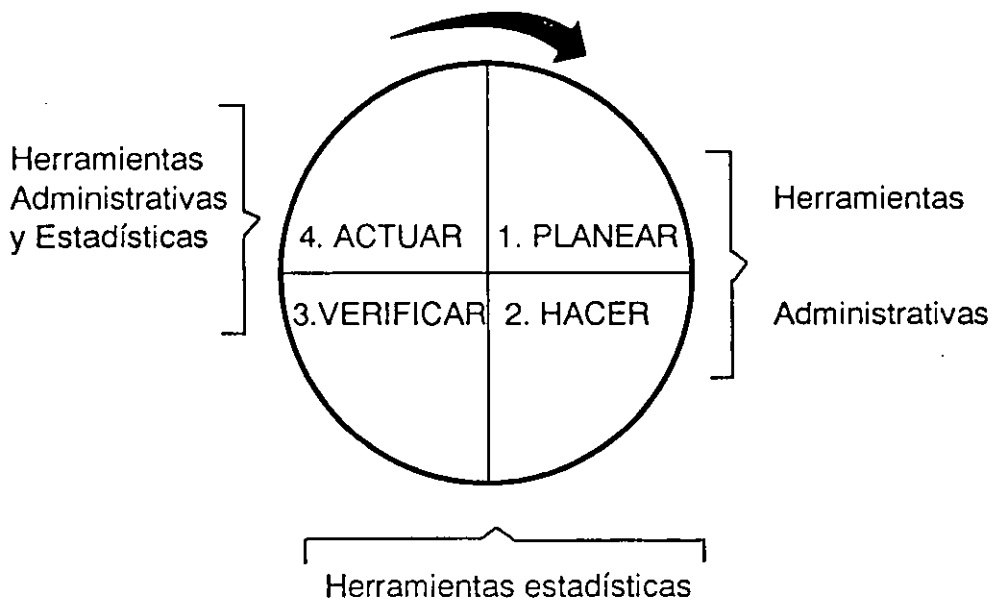
| ETAPAS PRINCIPALES  | HERRAMIENTAS  |   |
|---|---|---|
|   | ESTADÍSTICAS  | ADMINISTRATIVAS   |
| 1. DEFINIR EL PROBLEMA POTENCIAL O RESULTADO ESPERADO.        |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Tormenta de ideas</li> <li>* Diagrama de afinidad</li> </ul>                                     |
| 2. ANALIZAR EL PROBLEMA (CAUSAS POTENCIALES)                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Diagrama de causa y efecto</li> <li>-Cuando se puede generar datos (hacer pruebas):</li> <li>*Estratificación</li> <li>*Diagrama de dispersión</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Diagrama de relaciones</li> <li>* Diagrama Matricial</li> <li>* Matriz de variaciones</li> </ul> |
| 3. PREVENIR EL PROBLEMA (ACCIONES PREVENTIVAS).               |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Diagrama de Arbol</li> <li>* Gráfica de procesos de decisiones programadas (GPDP)</li> </ul>     |
| 4. CONTROLAR EL PROCESO (TRABAJO) PARA ASEGURAR EL RESULTADO. | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Si se obtienen datos:</li> <li>* Hojas de verificación</li> <li>* Gráficas de control</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* GPDP</li> <li>* Diagrama de flechas</li> </ul>   |

Generalmente las herramientas administrativas tienen mayor aplicación en la prevención de problemas, o sea en la etapa de planeación de un proceso (trabajo) para lograr cierto objetivo.



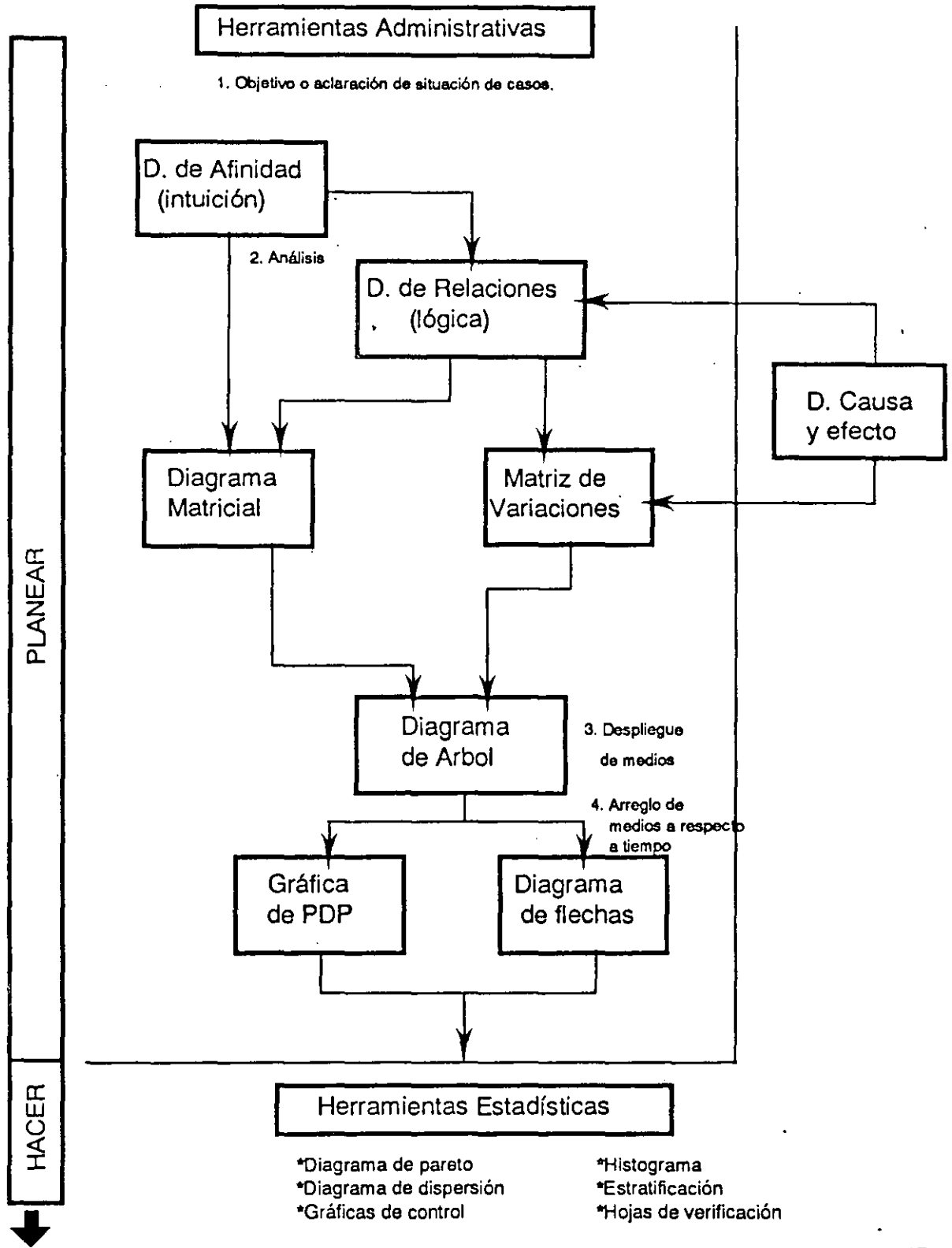
" Un proceso (trabajo) produce un resultado"

Las herramientas estadísticas, por el empleo de datos numéricos (generados en base a observaciones), se utilizan después de la ejecución del proceso y la obtención de su resultado. Consideremos el círculo de Deming (1) como proceso para control y mejora de la calidad para ejemplificar lo anterior.



(1) Proceso Administrativo definido y difundido por el Dr. Kaoru Ishikawa (padre de la Revolución de Calidad en Japón), en base a los conceptos del Dr. W. Edwards Deming sobre una nueva forma de producir, durante su curso de control estadístico de calidad en 1950, en Japón.





# **SECCION VI**

---

## **EJERCICIOS HERRAMIENTAS BASICAS**

## SECCION II CAPITULO 5

### 1. Gráficas en general gráficas de barras

Cuatro tipos de partes maquinadas, que son los modelos: A, B, C y D, son manufacturados con buena calidad en la planta. Sin embargo se desarrolla cierta cantidad de trabajo manual de "re-acabado: (re-trabajo) en el área de ensamble final.

Los siguientes datos muestran la cantidad de producción y la cantidad de re-trabajo en el acabado.

| TIPO (MODELO)<br>CANTIDAD | A     | B     | C     | D     |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| PRODUCCION                | 5,510 | 1,903 | 4,322 | 3,115 |
| RE-TRABAJO DE ACABADO     | 513   | 224   | 429   | 483   |

A) Construya las siguientes gráficas de barras.

1. Cantidad de producción por modelo.
2. Cantidad de re-trabajo por modelo (use la misma escala que en 1)
3. Gráfica de barras para identificar la relación entre producción mala y buena.  
Producción buena: Producción-Retrabajo

B) Evalúe las gráficas y establezca conclusiones.

## 2. Gráficas en general: gráficas lineales.

El modelo A-2 como componente, es un nuevo producto similar al modelo antiguo A-1. Ambos están siendo manufacturados en una planta eléctrica.

En Abril se anunció que el programa esperado de embarques para los siguientes siete meses, está planeado que empiece en Junio.

| Mes \ Nomenclatura | JUN   | JUL   | AGO.  | SEPT  | OCT   | NOV   | DIC   |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Modelo A-1         | 2,760 | 2,310 | 2,280 | 2,390 | 2,860 | 2,880 | 2,870 |
| Modelo A-2         | 1,050 | 1,260 | 1,560 | 1,470 | 1,840 | 1,910 | 2,450 |
| TOTAL              | 3,810 | 3,570 | 4,380 | 3,860 | 4,700 | 4,790 | 5,320 |

A) Construya las siguientes gráficas lineales, en forma conjunta.

1. La cantidad total de embarque planeada por mes.
2. Cantidad de embarque por mes para los productos A-1 y A-2 (separados).

B) Evalúe las gráficas y establezca conclusiones.

## 3. Gráficas generales: gráfica de puntos

Una Cía. recibe reportes tetramestrales de cada uno de sus ocho vendedores, en relación a las ventas de sus dos productos: A y B. Cada vendedor cubre un territorio en el área metropolitana del D.F. La participación en el mercado de la Cía. de acuerdo a las ventas del último tetramestre se muestra a continuación:

## Ejercicios

### SECCION. II CAPITULO 2

---

---

#### 1. Tipo de datos

1.) De acuerdo a los siguientes defectos o características de calidad, seleccione con una (X) el paréntesis correspondiente al tipo de dato que se obtendría en la identificación de dicho defecto o característica: Medición (datos continuos) o conteo (datos discretos).

|  | Medición | Conteo |
|--|----------|--------|
| A) Soldadura quebrada                            | ( )      | ( )    |
| B) Longitud inadecuada                           | ( )      | ( )    |
| C) Grietas en superficie de la placa de acero.   | ( )      | ( )    |
| D) Contenido (%) de humedad de la materia prima. | ( )      | ( )    |
| E) Diámetro exterior de la campana               | ( )      | ( )    |
| F) Peso del paquete de detergente                | ( )      | ( )    |
| G) Manchas en el cinescopio                      | ( )      | ( )    |
| H) Resistencia a la tensión de la varilla        | ( )      | ( )    |
| I) Electrodo sin soldar en lámpara               | ( )      | ( )    |
| J) Espesor del bloque de metal.                  | ( )      | ( )    |

2) Haga una lista de diez defectos o características de calidad en el producto terminado que se fabrica en su empresa y defina el tipo de dato que es necesario de obtener para la identificación de dicho defecto o control de la característica de calidad.

| VENDEDOR | PRODUCTO A (%) | PRODUCTO B (%) |
|----------|----------------|----------------|
| 1        | 3              | 2              |
| 2        | 12             | 2              |
| 3        | 11             | 11             |
| 4        | 9              | 9              |
| 5        | 10             | 9              |
| 6        | 13             | 9              |
| 7        | 10             | 8              |
| 8        | 12             | 10             |

- A) Construya una gráfica de puntos relacionando los % de la participación de la compañía por producto a cada vendedor. Represente el % del producto A en el eje horizontal y el % del producto B en el vertical.
- B) La Cía desea incrementar su % de participación en el mercado, lo cual requiere acción de parte de la administración.  
¿Qué recomienda ud.?

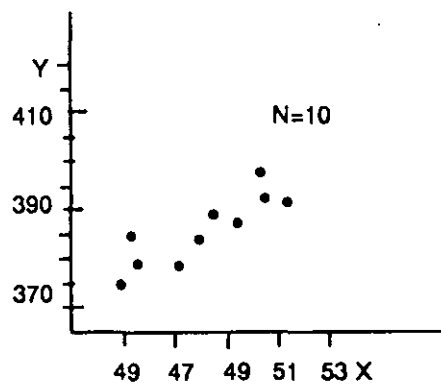
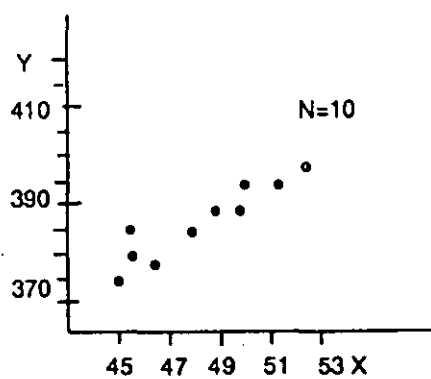
## SECCION II CAPITULO 3

## 1. Medidas descriptivas de los datos

A) Los siguientes grupos de datos corresponden a los diámetros en milímetros de campanas para lámparas; calcule las siguientes medidas descriptivas de tendencia central para cada grupo: La media ( $\bar{X}$ ); la mediana ( $\tilde{X}$ ); la moda (M).

| Grupo 1 |    |    | Grupo 2 |    |    |
|---------|----|----|---------|----|----|
| 38      | 36 | 30 | 39      | 38 | 35 |
| 32      | 40 | 32 | 37      | 40 | 37 |
| 35      | 32 | 39 | 35      | 36 | 39 |
| 32      | 31 | 33 | 37      | 37 | 39 |

B) Calcule la mediana para las siguientes gráficas, para los datos graficados en el eje horizontal (eje  $\tilde{X}$ ): X. Y trace la línea correspondiente



## 2. Desviación estándar

En una industria farmacéutica, un peso estándar (patrón) de 250 gr. es usado para calibrar una balanza de precisión. Este peso fue usado para checar las mediciones de una máquina pesadora tipo plataforma. Los resultados se muestran a continuación.

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 250.6 | 250.4 | 250.5 | 250.4 | 250.3 |
| 250.5 | 250.7 | 250.5 | 250.6 | 250.5 |

A) Encuentre qué tanto error en mediciones tiene esta máquina bajo el concepto de SESGO de la mediana.

1. Calcule la media:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} =$$

2. Calcule el Sesgo: diferencia de la media con el valor real ( $X_r$ ).

$$\text{Sesgo} = \bar{X} - X_r =$$

B) Calcule la desviación estándar,

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} =$$

Utilice el siguiente formato:



| DATOS<br>( $\bar{X}_i$ ) | DESVIACION<br>( $\bar{X}_i - \bar{X}$ ) | (DESVIACION) <sup>2</sup><br>( $\bar{X}_i - \bar{X}$ ) <sup>2</sup> |
|--------------------------|---|---|
| 250.6                    |   |   |
| 250.4                    |   |   |
| 250.5                    |   |   |
| 250.4                    |   |   |
| 250.3                    |   |   |
| 250.5                    |   |   |
| 250.7                    |   |   |
| 250.5                    |   |   |
| 250.6                    |   |   |
| 250.5                    |   |   |
| $\Sigma =$               | $\Sigma = 0$                            | $\Sigma =$  |
| $\bar{X} =$              |   |   |

C) ¿Qué acciones ejercería para calibrar la balanza de precisión?

## SECCION III CAPITULO 2

### 1. Diagrama de Pareto

En una operación de ensamble de un componente eléctrico, los defectos observados y anotados por el supervisor de línea, se encuentran sumariados en una hoja de chequeo, mostrada a continuación.

#### HOJA DE CHEQUEO

| DEFECTO          | ENERO |   |   |   | FEBRERO |   |   |   | TOTAL |
|------------------|-------|---|---|---|---------|---|---|---|-------|
|                  | 1     | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 |       |
| UNION SOLDADA    | /     | / | / | / | /       | / | / | / |       |
| PIEZA PERDIDA    | /     |   | / | / | /       | / | / | / |       |
| ARAÑAZOS         | /     | / | / | / | /       | / | / | / |       |
| CORTO            | /     |   |   | / |         | / | / |   |       |
| PIEZA EQUIVOCADA |       | / |   | / |         |   | / | / |       |
| PIEZA QUEBRADA   | /     | / | / | / | /       | / | / | / |       |
| TOTAL            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |

Construya el diagrama de pareto, de acuerdo a los pasos siguientes:

- 1) Sumarización de la hoja de chequeo ordenando los defectos por magnitud.
- 2) Prepare (dibuje) el diagrama de pareto para los dos meses.
- 3) ¿Cuál de los defectos se deberá corregir primero para mejorar la situación?  
Para reforzar la decisión sumarice los datos por mes.
- 4) ¿Cuál es el beneficio potencial de mejora esperado al disminuir el primer defecto?

## 2. Diagrama de Pareto: confirmación de la mejora

En este caso el promedio mensual de defectos por lote es reportada para los últimos seis meses y para este mes, después de hacer cambios en el proceso para la fabricación de cierta pieza de metal.

| TIPO DE DEFECTO | PROM. MENSUAL DE DEFECTOS DURANTE 6 MESES | CANT. DE DEFECTOS ESTE MES | COSTO DE PERDIDA POR PZA. DEFECTO |
|-----------------|---|----------------------------|-----------------------------------|
| MATERIAL        | 24  | 23                         | 700.00                            |
| DIMENSION       | 35  | 33                         | 1'500.00                          |
| ASPEREZA        | 115                                       | 54                         | 100.00                            |
| FORMA           | 56  | 7                          | 300.00                            |
| OTROS           | 10  | 12                         | 200.00                            |

1) Calcule el costo de pérdida por pieza por defecto.

| DEFECTO   | COSTO DE PERDIDA PROM. 6 MESES | COSTO POR PERDIDA ESTE MES. |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------|
| MATERIAL  |                                |                             |
| DIMENSION |                                |                             |
| ASPEREZA  |                                |                             |
| FORMA     |                                |                             |
| OTROS     |                                |                             |

2) Considerando el costo de pérdida, anote los defectos de mayor a menor, y calcule el costo de pérdida acumulado.

A) Prom. 6 meses.

B) Este mes

| Defecto | Costo de pérdida | Acum. | Defecto | Costo de pérdida | Acum. |
|---------|------------------|-------|---------|------------------|-------|
|         |                  |       |         |                  |       |

- 3) Construya un diagrama de pareto para el promedio mensual durante los seis meses y otro para este mes, considerando el costo de pérdida.
- 4) Comparando los diagramas evalúe si los cambios efectuados en el proceso fueron realizados analizando los problemas bajo el concepto de análisis de pareto.
- 5) Evalúe si los cambios en el proceso se traducen por si solos en un mejoramiento significativo de la calidad de manufactura.
- 6) ¿Cuál sería el siguiente paso para mejorar la situación?

### 3. Diagrama de pareto: ejemplo de usos del diagrama.

De acuerdo a la siguiente tabla cite algunos ejemplos del uso del diagrama de pareto, así como la fuente de información para obtener los datos.

## Ejercicios

### SECCION III CAPITULO 3

---

---

#### 1. Histograma

Una compañía productora de shampoo específica que el contenido de una botella de shampoo, deberá pesar  $6 \pm 0.10$  onzas netas. Para lo cuál se establece un control estadístico de la calidad del producto. Los siguientes datos son obtenidos a través de un muestreo al azar.

| MUESTRA Nº | DATOS |      |      |      |
|------------|-------|------|------|------|
| 1          | 6.06  | 6.20 | 6.04 | 6.10 |
| 2          | 6.10  | 5.95 | 5.98 | 6.05 |
| 3          | 6.03  | 5.90 | 5.95 | 6.00 |
| 4          | 6.03  | 6.05 | 6.10 | 6.05 |
| 5          | 6.12  | 6.15 | 6.05 | 6.08 |

- A) Construya el histograma para analizar el comportamiento de la operación de llenado. (Hojas 2 y 3 siguientes).
- B) Calcule la media (tendencia) y la desviación estándar (dispersión)
- C) Establezca conclusiones evaluando los siguientes resultados:

¿Cuál es el peso más común de las botellas de shampoo? \_\_\_\_\_

¿Qué tan grande es la dispersión? \_\_\_\_\_

¿Cuál es su tendencia central? \_\_\_\_\_

¿Cuál es el porcentaje de productos que no cumple con las especificaciones? \_\_\_\_\_

¿Está la media en el centro de las especificaciones? \_\_\_\_\_

¿Cuál es la situación actual de esta operación de llenado? \_\_\_\_\_

---

---

| Unidad de referencia  | Factores   | Ejemplo | Fuente de información |
|-----------------------|------------|---------|-----------------------|
| 1. Producto terminado | Defectos   |         |                       |
| 2. Servicio           | Demoras    |         |                       |
| 3. Maquinaria         | Fallas     |         |                       |
| 4. Línea de Produc.   | Rechazos   |         |                       |
| 5. Turno de Produc.   | Accidentes |         |                       |
| 6. Materiales         | Rechazos   |         |                       |

D) Utilizando el formato (hoja 4 siguiente), realice los incisos A y B iniciales, y calcule el % de producto fuera de especificaciones.

Inciso A: Construcción del histograma.

| DATOS |      |      |      | X Max | XMín |
|-------|------|------|------|-------|------|
| 6.06  | 6.20 | 6.04 | 6.10 |       |      |
| 6.10  | 5.95 | 5.98 | 6.05 |       |      |
| 6.03  | 5.90 | 5.95 | 6.00 |       |      |
| 6.03  | 6.05 | 6.10 | 6.05 |       |      |
| 6.12  | 6.15 | 6.05 | 6.08 |       |      |

1)  $n =$

5)  $C' = \frac{k}{\sqrt{n}}$  (a) =

2)  $X_{max.} =$        $X_{mín.} =$

6)  $C =$

3)  $a =$

7)  $C_1 = X_{min} - \frac{a}{2} =$

4)  $K = \frac{X_{max.} - X_{min.}}{a} + 1$

8)

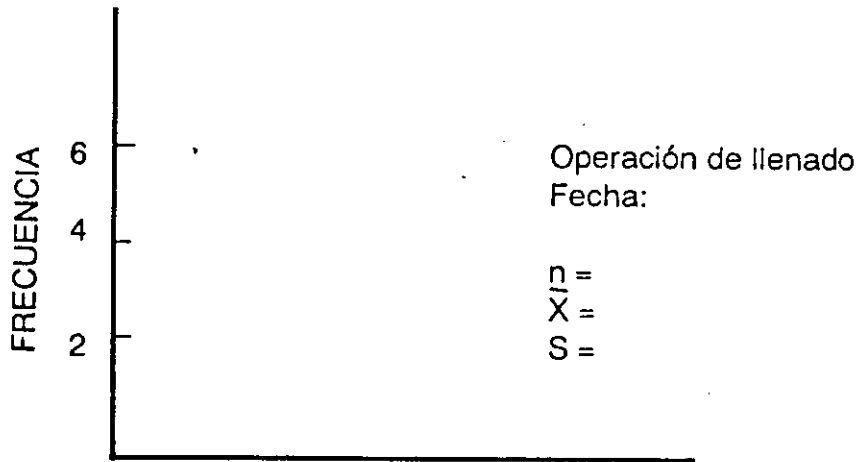
TABLA DE FRECUENCIAS

| Frontera de clase | Valor medio | Conteo | Frecuencia |
|-------------------|-------------|--------|------------|
|                   |             |        |            |

Ejercicios

9) Frecuencia

10) Histograma



Inciso B: Cálculo de la Media y la Desviación estándar.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} =$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} =$$



## 2. Diagrama de causa y efecto

Haga una lista de sus problemas de calidad en sus productos o servicios.

- 1) Seleccione el más simple, defínalo y construya el diagrama de causa y efecto.
- 2) Seleccione el más crítico, defínalo y construya el diagrama de causa y efecto. Posteriormente seleccione las dos causas probables más importantes.

Utilice en ambos ejercicios la técnica de tormenta de ideas en grupo.

### Lista de problemas de calidad

1) El más simple:  
Definición:

2) El más crítico:  
Definición:

---



---

**SECCION III CAPITULO 5**


---



---

**1. Diagrama de dispersión**

En el maquinado de cierta pieza de metal, se obtuvieron los siguientes datos para analizar la relación entre la velocidad de corte utilizada y la vida de la herramienta resultante.

X= Velocidad de corte en, pies/mins.

Y= Vida de la herramienta de corte en, mins.

n=16

| X  | Y  | X   | Y  |
|----|----|-----|----|
| 80 | 45 | 100 | 24 |
| 80 | 48 | 100 | 16 |
| 80 | 35 | 100 | 21 |
| 80 | 32 | 100 | 18 |
| 90 | 27 | 110 | 20 |
| 90 | 40 | 110 | 16 |
| 90 | 34 | 110 | 11 |
| 90 | 23 | 110 | 14 |

- A) Construya el diagrama de dispersión correspondiente.
- B) Concluya si existe correlación, comparando el diagrama con los patrones comunes de correlación.

**2. Diagrama de dispersión: análisis de correlación y regresión.**

Los datos mostrados representan los porcentajes de contenido de humedad en la materia prima (X) y el contenido de humedad en el producto final (Y) fabricado de esta materia prima. (X) y (Y) son un par de datos correspondientes.

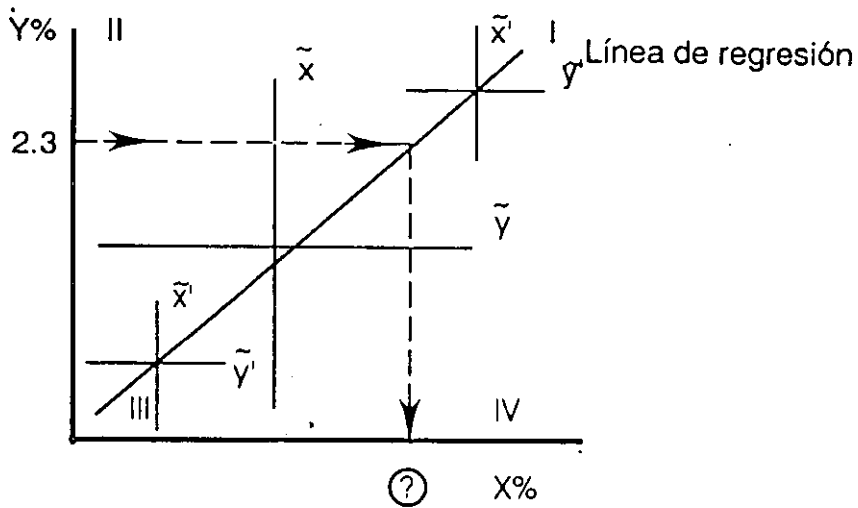
---

El límite de especificación máximo de (Y) es 2.3%

| No. | X%   | Y%   | No. | X(%) | Y(%) |
|-----|------|------|-----|------|------|
| 1   | 2.85 | 2.10 | 13  | 2.60 | 2.10 |
| 2   | 2.40 | 2.00 | 14  | 2.45 | 2.20 |
| 3   | 2.60 | 2.30 | 15  | 2.20 | 1.80 |
| 4   | 2.10 | 1.60 | 16  | 2.35 | 1.80 |
| 5   | 2.60 | 1.75 | 17  | 2.05 | 1.70 |
| 6   | 2.85 | 2.40 | 18  | 2.30 | 2.30 |
| 7   | 2.70 | 2.30 | 19  | 2.45 | 1.80 |
| 8   | 2.55 | 1.90 | 20  | 2.30 | 1.70 |
| 9   | 2.45 | 2.15 | 21  | 2.60 | 2.05 |
| 10  | 2.15 | 2.00 | 22  | 2.55 | 2.30 |
| 11  | 2.05 | 1.85 | 23  | 2.40 | 2.00 |
| 12  | 2.35 | 2.10 | 24  | 2.30 | 1.90 |

- A) Construya el diagrama de dispersión, correspondiente.
- B) Pruebe si existe correlación o no, por el método de la mediana y calcule el coeficiente de correlación utilizando el papel de probabilidad binomial. (Hoja 3 siguiente).
- C) Si la correlación es significativa, ¿Cuál sería el límite máximo de tolerancia respecto al contenido de humedad en la materia prima, para poder cumplir con el límite de especificación máximo en el producto terminado?. Para esto trace la línea de regresión representativa de la tendencia de la dispersión de los puntos. Dibujando las líneas medianas en los cuadrantes que contienen la mayoría de los puntos; como se ilustra a continuación.

Ejercicios



$\tilde{X}$  y  $\tilde{Y}$  son las primeras medianas

$X'$  y  $Y'$  son las segundas medianas, considerando solo los puntos de los cuadrantes I y II respectivamente.

Trace la línea de regresión uniendo los puntos origen de las segundas medianas.

Por último, localice el límite de especificación máximo de Y que es 2.3%, extiéndalo hasta interceptar la línea de regresión y posteriormente lea en el eje X% el límite máximo de tolerancia de humedad en la materia prima.

La máquina No. 1 fue comprada recientemente y la máquina No. 2 es antigua.

El supervisor de línea junto con sus trabajadores han colectado una muestra de 30 tubos de cada línea de llenado. Los datos de los pesos de los tubos son los siguientes:

Peso Neto de la pasta dental en gramos

| Máquina No. 1 |       |       | Máquina No. 2 |       |       |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| 203.1         | 203.8 | 202.6 | 209.4         | 203.1 | 209.2 |
| 204.7         | 202.2 | 204.9 | 203.9         | 201.2 | 207.5 |
| 205.3         | 201.9 | 205.1 | 211.5         | 200.5 | 200.0 |
| 202.8         | 204.0 | 205.9 | 209.8         | 204.6 | 200.8 |
| 204.2         | 202.6 | 204.8 | 202.8         | 208.0 | 207.9 |
| 201.2         | 205.1 | 206.0 | 205.6         | 203.6 | 200.0 |
| 202.8         | 203.4 | 202.8 | 198.4         | 209.2 | 204.4 |
| 202.7         | 197.8 | 205.9 | 202.9         | 201.6 | 200.3 |
| 198.3         | 202.7 | 201.0 | 198.5         | 203.9 | 205.4 |
| 201.7         | 201.8 | 200.9 | 198.9         | 201.8 | 202.5 |

Por especificación, el peso neto de la pasta de dientes debe ser mayor que 200 grs.

1. Construya el histograma de todos los datos.
2. Construya los histogramas, uno para cada máquina (estratificado por máquina); calcule las medias ( $\bar{X}$ ) y desviaciones estándar (S) correspondiente.
3. Establezca conclusiones.

## SECCION III CAPITULO 7

1. Gráficas de control  $\bar{X} - R$ 

Los siguientes datos corresponden al % Fe del producto terminado (pelets) en una planta peletizadora. Los límites de especificación son  $60 \pm 3$ . Los datos corresponden a un período de 20 días laborales (un mes).

| Sub. Gpo. X1 | X2   | X3   | X4   | X5   | $\Sigma X_i$ | $\bar{X}$ | R |  |
|--------------|------|------|------|------|--------------|-----------|---|--|
| 1            | 61.4 | 62.4 | 62.0 | 61.9 | 60.9         |           |   |  |
| 2            | 63.0 | 58.0 | 61.7 | 61.5 | 61.9         |           |   |  |
| 3            | 60.2 | 58.9 | 62.9 | 60.0 | 59.7         |           |   |  |
| 4            | 60.5 | 60.4 | 60.8 | 59.7 | 60.6         |           |   |  |
| 5            | 58.1 | 58.5 | 61.2 | 58.9 | 59.8         |           |   |  |
| 6            | 59.3 | 56.5 | 61.5 | 60.7 | 60.5         |           |   |  |
| 7            | 59.2 | 58.6 | 60.4 | 61.4 | 60.8         |           |   |  |
| 8            | 62.6 | 61.6 | 62.6 | 58.9 | 61.4         |           |   |  |
| 9            | 58.9 | 61.1 | 59.8 | 62.5 | 60.1         |           |   |  |
| 10           | 59.5 | 59.3 | 58.1 | 62.0 | 60.3         |           |   |  |
| 11           | 58.0 | 61.2 | 61.3 | 62.0 | 59.9         |           |   |  |
| 12           | 59.1 | 58.1 | 60.8 | 60.9 | 59.2         |           |   |  |
| 13           | 56.3 | 59.6 | 58.2 | 60.3 | 58.2         |           |   |  |
| 14           | 58.5 | 59.5 | 60.3 | 59.7 | 58.4         |           |   |  |
| 15           | 56.7 | 58.2 | 58.7 | 58.7 | 56.5         |           |   |  |
| 16           | 57.2 | 57.0 | 59.0 | 59.0 | 58.1         |           |   |  |
| 17           | 57.0 | 57.6 | 60.7 | 61.8 | 58.3         |           |   |  |
| 18           | 59.7 | 61.3 | 61.2 | 61.2 | 58.6         |           |   |  |
| 19           | 60.0 | 58.4 | 59.7 | 59.9 | 60.5         |           |   |  |
| 20           | 60.5 | 58.0 | 61.1 | 60.3 | 60.8         |           |   |  |
|              |      |      |      |      |              |           |   |  |
|              |      |      |      |      |              |           |   |  |

A) Construya la gráfica de control  $\bar{X} - R$ . Evalúe la gráfica y determine si el proceso logra un estado de control estadístico.

## 2. Gráfica de control np (Número de defectivos)

En una área de ensamble, una partida de producción está compuesta de 100 artículos.

Si un defectivo es encontrado en la inspección final del proceso, éste es enviado al área de reparación manual.

Los resultados de la inspección para las últimas 20 partidas se muestran a continuación. Prepare la gráfica de control np y evalúe el estado de control de la operación de ensamble.

| No. de Lote | Tamaño Muestra (n) | Número de Defectivos (np) | No. de Lote | Tamaño Muestra (n) | Número de Defectivos (np) |
|-------------|--------------------|---------------------------|-------------|--------------------|---------------------------|
| 1           | 100                | 4                         | 11          | 100                | 4                         |
| 2           | 100                | 1                         | 12          | 100                | 5                         |
| 3           | 100                | 3                         | 13          | 100                | 7                         |
| 4           | 100                | 1                         | 14          | 100                | 6                         |
| 5           | 100                | 2                         | 15          | 100                | 1                         |
| 6           | 100                | 6                         | 16          | 100                | 3                         |
| 7           | 100                | 4                         | 17          | 100                | 2                         |
| 8           | 100                | 2                         | 18          | 100                | 5                         |
| 9           | 100                | 2                         | 19          | 100                | 7                         |
| 10          | 100                | 3                         | 20          | 100                | 4                         |

## SECCION III CAPITULO 8

---

### 1. Hojas de verificación.

Consideremos el caso en el cuál dos operarios recién entrenados: A y B, son asignados a dos máquinas para la fabricación de piezas de alta precisión. Los records anteriores muestran que la cantidad de defectos se había incrementado y se espera que con estos operarios el número de defectos disminuya notablemente.

Para lograr lo anterior es necesario diseñar algún tipo de hoja de verificación que permita obtener datos de los resultados de la operación diaria, por operario y por máquina; los defectos se clasifican en: superficie golpeada, defectos en material y otros. Considere un período de tiempo de una semana, de lunes a sábado.

A) Diseñe una hoja de verificación, que permita obtener la información anterior anotando marcas tipo conteo (///).



## SECCION IV CAPITULO 2

---

### 1. Diagrama de afinidad

Elabore un diagrama de afinidad para el siguiente tema:  
"Como tener producto a tiempo en el Departamento de Inyectado"

- a) El personal platique menos.
- b) Maquinaria en buen estado
- c) Responsabilizar a uno solo el mantenimiento de las máquinas.
- d) Máquina bien se trabaja mejor.
- e) Aprovechar mejor el tiempo.
- f) No faltar al trabajo.
- g) No llegar tarde.
- h) Mantenimiento a máquinas bien hecho.
- i) Ser responsables.
- j) Contar con el equipo adecuado en buen estado.
- k) Servicio por parte de mantenimiento para arreglar las máquinas.
- l) Cooperación del personal.
- m) Apurarse a trabajar.
- n) El personal trabaje parejo.
- o) El personal sea mas responsable y cumpla con sus obligaciones.
- p) Evitar los tiempos muertos.
- q) Trabajo en equipo.

### *SECCION IV CAPITULO 3*

---

---

#### *1. Diagrama de relaciones*

Elabore un diagrama de relaciones para el siguiente problema: incumplimiento de tiempos de entrega de los pedidos.

### *SECCION IV CAPITULO 4*

---

---

#### *1. Diagrama de árbol*

Elabore un diagrama de árbol considerando el siguiente objetivo: asegurar el desarrollo de un nuevo producto.

### *SECCION IV CAPITULO 7*

---

---

#### *1. Gráfica de proceso de decisiones programadas*

Construya una gráfica de proceso de decisiones programadas (Método GPDP) para el siguiente caso: asegurar en tiempo el material de promoción para la campaña del nuevo producto.

## SECCION V CAPITULO 3

---

### *Ejercicio 1. Principales usos de las herramientas estadísticas y administrativas.*

Relacione correctamente las columnas de los números con los paréntesis.

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Obtención de datos con facilidad y precisión.                                | 1. Diagrama de Pareto               |
| <input type="checkbox"/> Método de lógica para aclarar causas y sus relaciones.                       | 2. Diagrama de flechas              |
| <input type="checkbox"/> Muestra la relación entre un par de datos continuos.                         | 3. Histograma                       |
| <input type="checkbox"/> Método similar al PERT   | 4. Gráfica de Proceso de decisiones |
| <input type="checkbox"/> Separa problemas vitales de triviales.                                       | 5. Diagrama de causa y efecto.      |
| <input type="checkbox"/> Agrupa ideas por temas semejantes.   | 6. Matriz de variaciones.           |
| <input type="checkbox"/> Muestra la distribución estadística de un proceso.                           | 7. Estratificación.                 |
| <input type="checkbox"/> Técnica de inspiración súbita  | 8. Diagrama matricial               |
| <input type="checkbox"/> Confirma causas de problemas en base a datos verbales.                       | 9. Diagrama de dispersión           |
| <input type="checkbox"/> Separa causas especiales de comunes en un sistema.                           | 10. Diagrama de árbol               |
| <input type="checkbox"/> Programación de eventos para controlar su Proceso.                           | 11. Gráficas de control.            |
| <input type="checkbox"/> Confirma efectos de mejoras realizadas.                                      | 12. Diagrama de relaciones          |
| <input type="checkbox"/> Identifica variaciones clave en un proceso.                                  | 13. Hojas de chequeo                |
| <input type="checkbox"/> Confirma causas de problemas en base a datos estadísticos.                   | 14. Diagrama de afinidad            |
| <input type="checkbox"/> Predice el futuro en el desarrollo de un evento.                             | 15. Tormenta de Ideas               |
| <input type="checkbox"/> Define los medios para lograr organizadamente una meta.                      |                                     |
| <input type="checkbox"/> Primer paso para seleccionar un problema con datos verbales.                 |                                     |
| <input type="checkbox"/> Identifica y selecciona causas de problemas.                                 |                                     |
| <input type="checkbox"/> Clasifica los datos en grupos o factores                                     |                                     |
| <input type="checkbox"/> Permite comprender mejor un problema, identificado en base a datos verbales. |                                     |

## SECCION V CAPITULO 4

### 1. Combinación de herramientas: diagrama de pareto, grafica lineal y diagrama de dispersión.

La compañía A inició un programa institucional para reducción de los costos, por tal motivo decidió evaluar sus costos por mala calidad en el trabajo, con el propósito de definir proyectos específicos de mejora. Los siguientes datos de los primeros ocho meses fueron los resultados obtenidos.

Costos de Mala calidad en \$ mm (millones de pesos)

| Elemento        | E  | F  | M  | A  | M  | J  | J  | A  | TOTAL |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| Desperdicio     | 20 | 25 | 20 | 30 | 25 | 80 | 20 | 20 |       |
| Retrabajo 25    | 30 | 25 | 25 | 25 | 20 | 30 | 20 |    |       |
| Reclamaciones   | 7  | 5  | 7  | 7  | 5  | 5  | 7  | 7  |       |
| Fallas diversas | 2  | 1  | 2  | 2  | 0  | 2  | 1  | 0  |       |

A) Analice estadísticamente la información, para decidir cual sería el primer proyecto de mejora a realizar, siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Construya el diagrama de pareto correspondiente.  
Establezca conclusiones.
- 2) Construya una gráfica lineal, trazando conjuntamente la tendencia de los dos principales problemas. Calcule el promedio ( $\bar{X}$ ) para cada problema y trace la línea correspondiente.  
¿Cuál de los dos problemas es más crónico?
- 3) Construya un diagrama de dispersión, relacionando entre sí los dos principales problemas. Establezca conclusiones.
- 4) Por ser un resultado esporádico, elimine el dato correspondiente al desperdicio en el mes de Junio y estime un valor mas real utilizando el promedio ( $\bar{X}$ ) de los otros siete meses.

Construya un nuevo diagrama de Pareto.

¿Cuál sería el primer proyecto de mejora a proponer a la dirección de la empresa, justificándolo en base al análisis estadístico anterior?

B) Defina el plan que contemple los siguientes pasos a seguir, para complementar el proyecto seleccionado.

2. Diagrama de Pareto, estratificación y gráficas de control.

La siguiente tabla de datos nos proporciona la cantidad y tipo de defectivos (rechazos por inspección) durante el período de un mes (cuatro semanas) de la producción de placa de acero; en cierta compañía. La cantidad total de unidades producidas e inspeccionadas fue de 14,711

| JULIO           | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ANCHURA ESCASA  | 3   |     | 6   | 14  | 18  | 15  | 2   | 4   | 3   | 3   | 4   | 2   | 3   | 5   | 2   | 6   | 2   | 2   |     |     | 1   | 3   | 3   | 4   |
| LONGITUD ESCASA | 15  | 18  | 14  | 14  | 19  | 13  | 14  | 16  | 20  | 23  | 19  | 17  | 17  | 13  | 12  | 15  | 15  | 17  | 13  | 19  | 11  | 12  | 18  | 14  |
| CAMBER          |     | 3   |     |     |     | 1   | 2   |     |     |     | 5   |     |     |     | 4   | 2   |     |     |     | 1   | 1   | 1   |     |     |
| GRIETAS         | 5   | 1   | 4   | 4   | 1   | 3   | 5   | 8   | 8   | 3   | 3   | 7   | 3   | 7   | 2   | 3   | 1   |     | 3   | 2   | 6   | 4   |     | 2   |
| ESPESOR         | 8   | 11  | 7   | 16  | 8   | 9   | 7   | 7   | 13  | 10  | 21  | 26  | 10  | 14  | 9   | 8   | 15  | 8   | 8   | 31  | 19  | 23  | 16  | 12  |
| PLANEZA         | 2   | 1   | 4   | 3   |     |     |     | 1   | 1   |     | 1   |     | 2   |     |     |     |     |     | 3   | 3   | 1   | 4   | 2   | 1   |
| OTROS           |     |     | 1   | 1   | 2   |     |     |     | 1   |     | 1   |     | 1   | 2   |     |     |     |     |     | 2   | 1   | 1   |     | 1   |
| TOTAL           | 33  | 34  | 36  | 52  | 46  | 41  | 30  | 36  | 44  | 39  | 54  | 52  | 36  | 41  | 29  | 34  | 33  | 27  | 27  | 56  | 40  | 48  | 36  | 34  |
| UNIDADES PROD.  | 615 | 631 | 607 | 621 | 599 | 611 | 610 | 615 | 611 | 608 | 595 | 603 | 620 | 621 | 615 | 613 | 620 | 614 | 626 | 607 | 609 | 622 | 615 | 610 |

• Total de defectivos por semana

| Tipo de defectivo | Sem.1 | Sem.2 | Sem.3 | Sem.4 | Total |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Anchura escasa    | 56    | 18    | 20    | 11    | 105   |
| Longitud escasa   | 93    | 109   | 89    | 87    | 378   |
| Camber            | 4     | 7     | 6     | 3     | 20    |
| Grietas           | 18    | 32    | 16    | 17    | 83    |
| Espesor           | 57    | 84    | 64    | 109   | 314   |
| Planeza           | 10    | 3     | 2     | 14    | 29    |
| Otros             | 4     | 2     | 3     | 5     | 14    |
| Total             | 242   | 255   | 200   | 246   | 943   |

- A) Construya un diagrama de pareto para el total de datos (defectivos del mes). Y determine cuáles son los problemas vitales.
- B) Con el propósito de confirmar estadísticamente los problemas vitales seleccionados con el inciso A, cambie el período de tiempo de los datos: (1) a 15 días (semana 1+2 y 3+4) y construya los dos diagramas de pareto correspondientes. (2) a una semana y construya los cuatro Diagramas de Pareto correspondientes.
- C) Analice la tabla de cambios de orden de la siguiente página, construída con los resultados de los defectivos por semana.
- D) Construya una gráfica de control P, para analizar el estado de control del proceso.
- E) Con los resultados anteriores, decida cual sería el primer problema a resolver como proyecto de mejora, planteado en base a conclusiones estadísticas.

**TABLA: CAMBIOS DE ORDEN**



NOTA: Esta tabla nos permite comprender el estado de control del proceso, al observar el cambio de orden de los defectivos (entre menos cambios mejor), la magnitud de dichos defectivos lo muestran los diagramas de pareto.



3. *Gráfica de control e histograma.*

A) Construya la gráfica de control  $\bar{X} - R$ , utilizando los datos del ejercicio No.1.  
 Sección III - Capítulo 7. ¿Existen variaciones especiales?. ¿A qué se deben?:

( ) A variaciones entre los días laborales.

( ) A variaciones dentro de los días laborales.

B) Con los 100 datos, construya el histograma correspondiente. Calcule la media (X) y la desviación estándar (S). Trace los límites de especificación.

C) Considere que los dos puntos fuera de los límites de control fueron variaciones especiales cuyas causas fueron encontradas y eliminadas. Pronostique los límites de control.

4. *Diagrama de causa y efecto y otras herramientas estadísticas.*

De acuerdo a las dos causas probables mas importantes seleccionadas en el ejercicio No. 2, Sección III- Capítulo 4, establezca como confirmaría el efecto (Método de confirmación) de cada una: Qué pruebas tendría que hacer, qué datos obtendría y qué herramienta estadística utilizaría en caso necesario.

| Causa Seleccionada | Método de confirmación |                      | Resultados |
|--------------------|------------------------|----------------------|------------|
|                    | Prueba/Experimento     | Análisis estadístico |            |
|                    |                        |                      |            |

5. *Combinación de herramientas: secuencia lógica.*

Enumere en secuencia lógica del 1 al 4 el uso de las siguientes herramientas estadísticas y a continuación especifique en que utilizaría cada una.

- Diagrama de Causa-Efecto ( ) \_\_\_\_\_
- Diagrama de dispersión ( ) \_\_\_\_\_
- Hojas de verificación ( ) \_\_\_\_\_
- Diagrama de pareto ( ) \_\_\_\_\_

6. *Combinación de herramientas: secuencia lógica*

Enumere en secuencia lógica del 1 al 5 el uso de las siguientes herramientas estadísticas y a continuación especifique en que utilizaría cada una.

- Gráfica de control ( ) \_\_\_\_\_
- Histograma ( ) \_\_\_\_\_
- Diagrama de causa-efecto ( ) \_\_\_\_\_
- Histograma ( ) \_\_\_\_\_
- Diagrama de dispersión ( ) \_\_\_\_\_

7. *Combinación de herramientas: secuencia lógica.*

Enumere en secuencia lógica del 1 al 5 el uso de las siguientes herramientas estadísticas y administrativas y a continuación especifique en que utilizaría cada una.

- Diagrama de árbol ( ) \_\_\_\_\_
- Estratificación ( ) \_\_\_\_\_
- Diagrama de afinidad ( ) \_\_\_\_\_
- Hoja de verificación ( ) \_\_\_\_\_
- Diagrama de relaciones ( ) \_\_\_\_\_

## COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DE LOS EJERCICIOS

### SECCION II - CAPITULO 3

#### Ejercicio 2. DESVIACION ESTANDAR.

La balanza está dando peso de menos.

### SECCION II - CAPITULO 5

#### Ejercicio 2. GRAFICAS GENERALES: GRAFICAS LINEALES

El total del mes de Agosto está mal sumado, el participante debe notarlo después de graficar. La gráfica muestra una caída de producción en Agosto, además la distancia bajo el punto del modelo A-1 sumada a la distancia del punto del modelo A-2, no corresponde a la distancia bajo el punto del total.

### SECCION III- CAPITULO 2

#### Ejercicio 1. DIAGRAMA DE PARETO.

El máximo beneficio potencial de mejora es el % de contribución del primer defecto respecto al total de defectos.

#### Ejercicio 2. DIAGRAMA DE PARETO: CONFIRMACION DE LA MEJORA

Los cambios no fueron efectuados bajo el concepto de análisis de Pareto. Desde el punto de vista de costos, el movimiento después de los cambios en el proceso se observa en los problemas triviales.

### SECCION III - CAPITULO 3

#### Ejercicio 1. HISTOGRAMA

El tamaño de la clase de histograma:  $C = .05$ ;  $\bar{X} = 6.05$ ;  $S = 0.07$ .

### *SECCION III - CAPITULO 5*

Ejercicio 2. DIAGRAMA DE DISPERSION: ANALISIS DE CORRELACION Y REGRESION.

Inciso B) Sí hay correlación  $I + III = 18$  y  $II + IV = 6$ .

Inciso C) Las segundas líneas medianas en los cuadrantes I y III son para un número de puntos impar (9 y 9 respectivamente), por tanto las líneas pasan por un punto al menos.

### *SECCION III - CAPITULO 7*

Ejercicio 2. GRAFICA DE CONTROL  $\bar{X}$  - R: PRONOSTICO DE LIMITES DE CONTROL.

Inciso 2) El proceso está en control estadístico, inciso 3) la variación aumenta.

### *SECCION IV - CAPITULO 2*

Ejercicio 1. DIAGRAMA DE AFINIDAD

Acuerdo final: mejorando el servicio de mantenimiento a las máquinas y siendo el personal de producción mas responsable: cooperando entre si, no faltar, ni llegar tarde.

# **ANEXO 1**

---

## **TORMENTA DE IDEAS**

El propósito de esta técnica, como su nombre lo indica, es "forzar" el poder del pensamiento para generar ideas; en nuestro caso, ideas creativas para encontrar y resolver problemas o aprovechar áreas de oportunidad, con el fin de mejorar la calidad y la productividad.

En este esfuerzo, el momento donde se utiliza con mayor intensidad la tormenta de ideas, es cuando estamos buscando la solución del problema o cómo contrarrestar el efecto de cierta causa de dicho problema; debido a que la mejor solución es la más creativa, debemos extraer ideas creativas del fondo de nuestro pensamiento.

Existen un sinnúmero de estudios sobre la técnica tormenta de ideas, que datan desde hace varios siglos y con variados propósitos. El método presentado a continuación está concebido en función de algunos de estos estudios. Considerando que la solución de los problemas de calidad es un esfuerzo en grupo, es necesario hacer participar a quienes conozcan los hechos en primera instancia (por ejemplo supervisores y operarios). También contribuyó en el desarrollo de este método mi práctica de solución de problemas en empresas de Japón y México.

## **METODO**

Al efectuar una sesión de tormenta de ideas en grupo, lo primero es comprender y respetar las siguientes reglas:

1. Todos debemos participar
2. Se deben anotar todas las ideas.
3. Escribirlas en un pizarrón o rotafolio para que todos puedan leerlas.
4. No se deben criticar las ideas durante la sesión (no hay ideas "locas")
5. No buscar culpables, cuando se sugieran ideas de causas de problemas.

Durante la sesión debe existir un espíritu de colaboración, seriedad y ayuda hacia los demás para alentar una participación activa. La sesión culmina con un listado de ideas generadas en función del tema o tópico seleccionado previamente. Dichas ideas serán analizadas o enjuiciadas en el siguiente paso.

## Anexo 1

Las normas que rigen el proceso a seguir para efectuar la sesión de tormenta de ideas, después de seleccionar el tema o tópico o tratar y repasar las reglas antes mencionadas, son las siguientes:

- a) Cada participante en orden subsecuente expone una idea.
- b) Se expresa sólo una idea en cada turno.
- c) La idea debe expresarse con respeto y libertad.
- d) Si no tiene alguna idea se dice simplemente "paso"
- e) La sesión termina cuando todos dicen paso o el grupo se siente satisfecho de la cantidad de ideas.

Estas normas promueven una mayor participación dentro del grupo, evitan posiciones de "experto; o que alguien domine la situación o maneje posiciones autoritarias. La persona que dice "paso" en su próximo turno deberá esforzarse por dar una idea.

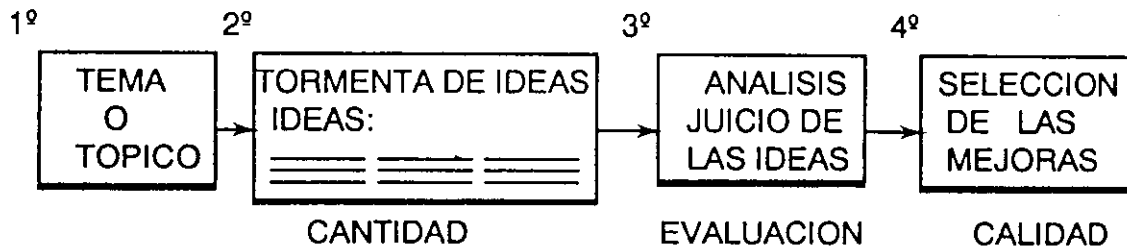
Recuérdese también que el ambiente es un factor muy importante por lo que este debe ser tranquilo, que propicie libertad de expresión. En este sentido se puede proponer al grupo que, antes de empezar a generar ideas, los participantes hablen de aspectos positivos de su trabajo o de temas sociales o vean alguna película motivacional de corta duración, etc.

Por último, para que la sesión resulte lo más productiva posible es conveniente considerar las siguientes recomendaciones:

- a) Buscar generar la mayor cantidad de ideas. Esto facilitará llegar a ideas de calidad.
- b) Pensar siempre en términos de modificar o sustituir las cosas.
- c) No hacer cansada (en tiempo) la sesión. Es preferible interrumpirla y permitirse "consultar con la almohada" y reiniciarla en otra ocasión propicia.
- d) La clave del éxito es usar libre y espontáneamente el poder del pensamiento.
- e) Usar la IMAGINACION . Por ejemplo: imaginar cómo debería ser tal o cual situación.

Este método recomendado para desarrollar una tormenta de ideas ha sido la clave del éxito de muchos esfuerzos por mejorar la calidad y la productividad; recuerde que la creatividad humana organizada en grupo tiene un potencial infinito.

Esquemáticamente el proceso total del cual forma parte una tormenta de ideas es el siguiente:



\* El tema o tópico es, por ejemplo, la necesidad de descubrir las causas de cierto problema o encontrar la forma de eliminar la causa de un problema.

Esta técnica de tormenta de ideas, que fomenta el uso de la imaginación en forma ordenada y las herramientas básicas presentadas en este libro, que fomentan el pensamiento descriptivo, son los caminos más importantes para la creación de cambios benéficos en calidad y productividad.

$$\text{HERRAMIENTAS BASICAS} + \text{IMAGINACION} = \text{CREATIVIDAD}$$



## BIBLIOGRAFIA

---

- A) Elementary Principles of the Statistical Control of Quality  
Dr. W. Edwards Deming  
Tokio, Japón  
1951
  
- B) Guide to Quality Control  
Dr. Kaoru Ishikawa  
Asian Productivity Organization  
Tokio, Japón.  
1976
  
- C) Materiales de entrenamiento de JUSE (Unión de ingenieros y científicos de Japón) para la especialización en control total de calidad y círculos de calidad.  
Tokio, Japón  
1978 - 1979
  
- D) Reportes de investigación y aplicaciones estadísticas, JUSE Editados por K. Ishikawa.  
Tokio, Japón.  
1978 - 1984
  
- E) Materiales de entrenamiento de JUSE para el curso intensivo de Administración para calidad.  
Tokio, Japón  
1989

# **HERRAMIENTAS DE CALIDAD TOTAL**

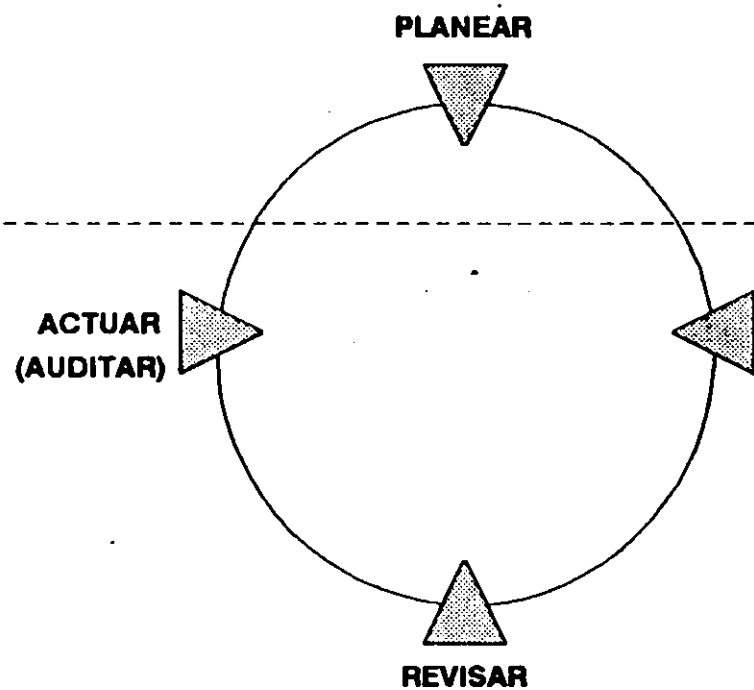
## **BASICAS**

# CILCO DE DEMING/SHEWHART

APLICAR:

LAS 7 HERRAMIENTAS ADMINISTRATIVAS  
PARA EL CONTROL DE CALIDAD

1978



HACER

LAS 7 HERRAMIENTAS DE CONTROL DE CALIDAD  
(PARA EL ANALISIS DE DATOS)

1962

# **HERRAMIENTAS ADMINISTRATIVAS Y DE CONTROL DE CALIDAD**

## **LAS 7 HERRAMIENTAS ADMINISTRATIVAS**

- . DIAGRAMA DE AFINIDAD
- . DIAGRAMA DE INTERRELACION
- . DIAGRAMA DE ARBOL
- . CARTA MATRICIAL
- . CARTA MATRICIAL DE ANALISIS DE DATOS
- . DIAGRAMA DE FLECHAS
- . CARTA DE PROGRAMA DEL PROCESO DE DECISION

## **LAS 7 HERRAMIENTAS DE CONTROL DE CALIDAD**

- . DIAGRAMA DE PARETO
- . DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO
- . ESTRATIFICACION
- . HOJA DE VERIFICACION
- . HISTOGRAMA
- . DIAGRAMA DE DISPERSION
- . GRAFICAS Y CARTAS DE CONTROL

# HERRAMIENTAS ADMINISTRATIVAS

## DOCUMENTACION Y PLANEACION

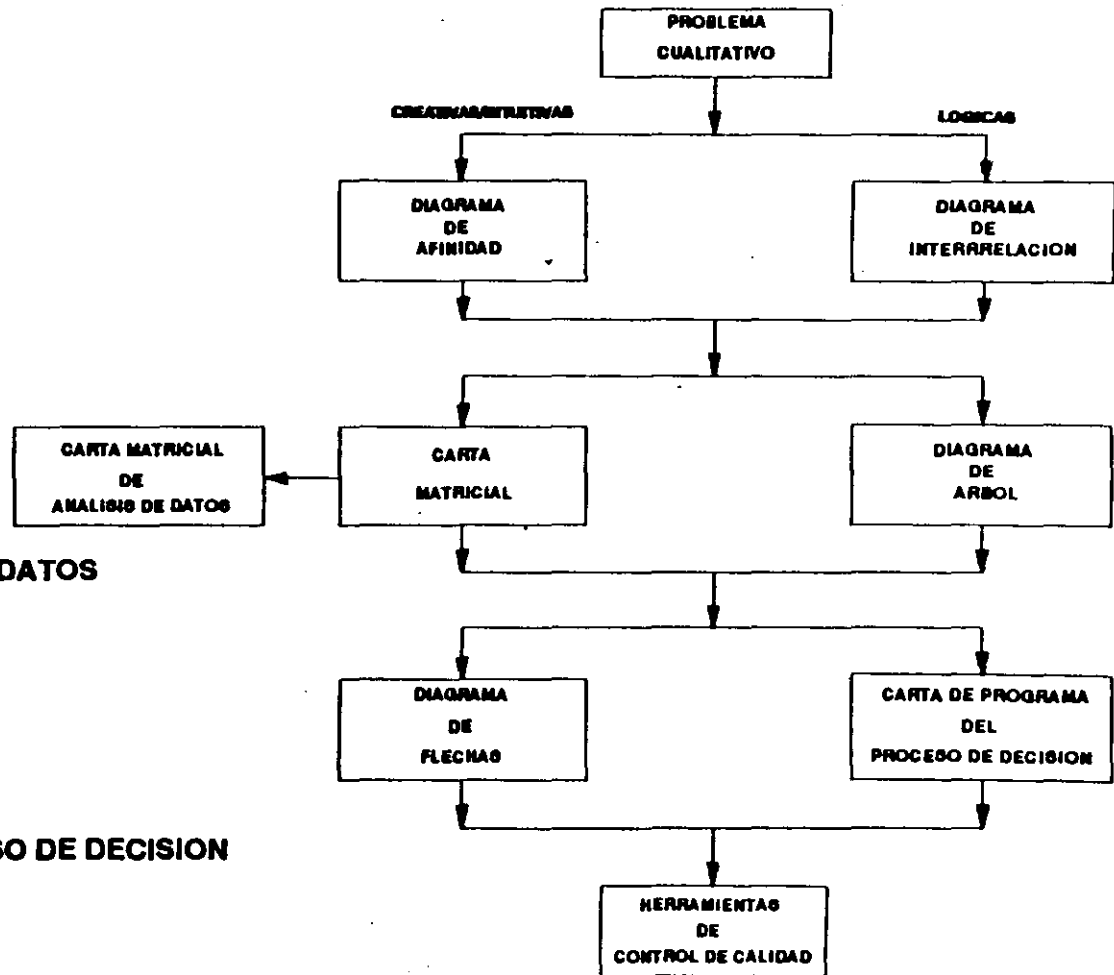
- . DIAGRAMA DE AFINIDAD
- . DIAGRAMA DE INTERRELACION

## PLANEACION NTERMEDIA

- . DIAGRAMA DE ARBOL
- . CARTA MATRICIAL
- . CARTA MATRICIAL DE ANALISIS DE DATOS

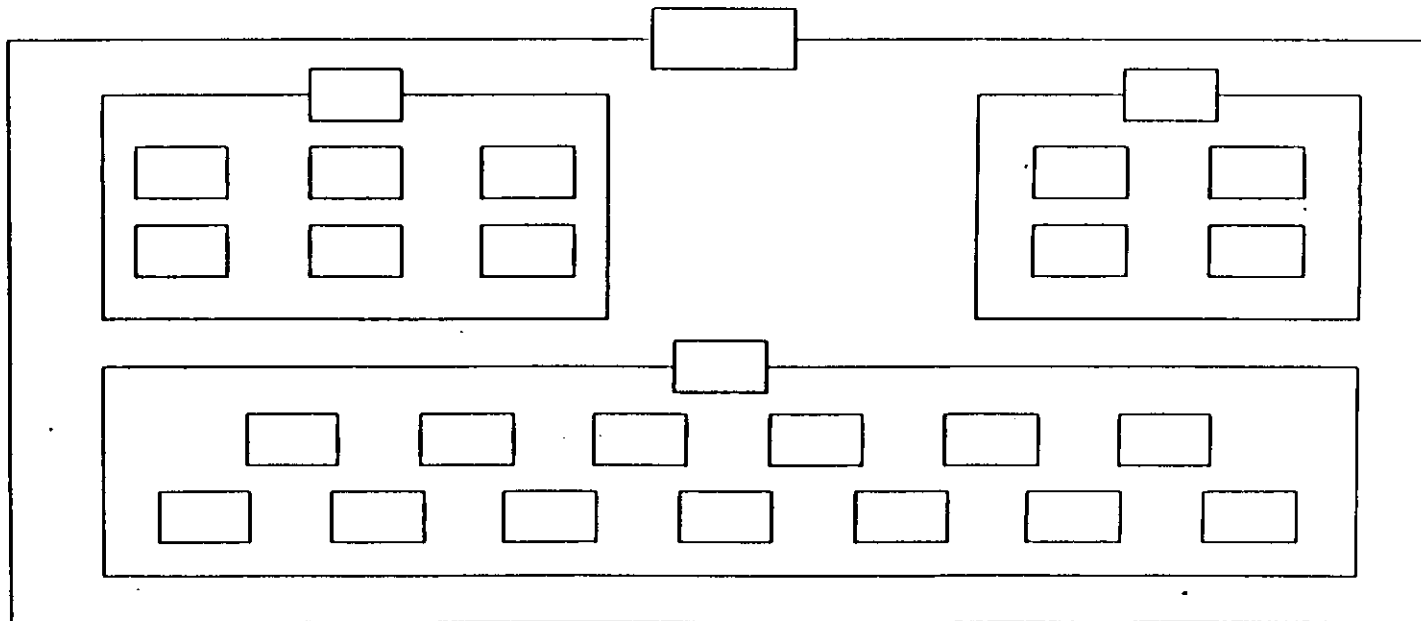
## PLANEACION DETALLADA

- . DIAGRAMA DE FLECHAS
- . CARTA DE PROGRAMA DEL PROCESO DE DECISION



## **DIAGRAMA DE AFINIDAD (JIRO KAWAKITA)**

- . SU PROPOSITO ES IDENTIFICAR CATEGORIAS SIGNIFICANTES PARA ORGANIZAR IDEAS
- . USA TORMENTA DE IDEAS PARA ORGANIZAR LA ENTRADA, LAS DECISIONES ESTAN BASADAS EN UN TIPO DE PENSAMIENTO DE INTUICION CREATIVA
- . USA TARJETAS PARA REARREGLAR LOS DATOS DISPARATADOS EN CATEGORIAS SIGNIFICANTES
- . ALTA UTILIDAD PARA CUANDO VARIAS CLASES DE INFORMACION ENTRAN DE DIFERENTES FUENTES.
  - ANALISIS DE CLIENTES
  - QUEJAS
  - PROBLEMAS DE GARANTIA O REPOSICION
- . AYUDA PARA APLICAR DIAGRAMAS DE INTERRRELACION EN PARALELO Y COMPARAR RESULTADOS.



**IDEAS CATEGORIZADAS CREATIVAMENTE**

## DIAGRAMA MATRICIAL

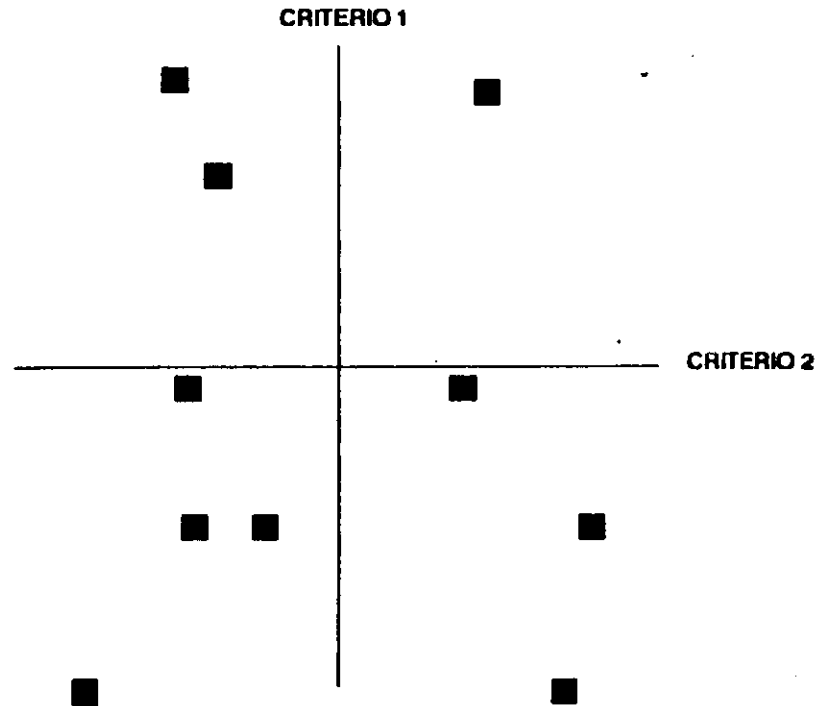
- . SU PROPOSITO ES COMPARAR 2 GRUPOS DE IDEAS Y DECIDIR SI EXISTE ALGUNA CORRELACION.
- . ES UN PROCESO DE CONSIDERACION FORZADA QUE AYUDA A PREVENIR NEGLIGENCIAS, ES DECIR, EVITA LA PROBABILIDAD DE DESCUIDAR FACTORES DE DISENO.
- . AMPLIAMENTE USADA EN LA "CASA DE LA CALIDAD" (QFD) CON AMBOS EJES DE LA MATRIZ TITULADOS CON LOS NIVELES MAS DETALLADOS DEL ARBOL DE DECISION (ASISTE EN LA ORGANIZACION DE IDEAS EN CADA LADO DE LA MATRIZ)

|                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <b>GRUPO 1</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>GRUPO 2</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

COMPARA DOS GRUPOS DE IDEAS

## **CARTA MATRICIAL DE ANALISIS DE DATOS**

- . SU PROPOSITO ES REPRESENTAR LAS CORRELACIONES EN AMBOS EJES.**
- . SE CONSIDERA LA HERRAMIENTA ADMINISTRATIVA MAS DIFICIL DE USAR.**
- . USADA EN LA "CASA DE LA CALIDAD" (QFD) PARA REPRESENTAR LA SEGMENTACION DEL MERCADO, AYUDA A IDENTIFICAR EL MERCADO EN QUE UNA EMPRESA DEBERIA ESTAR, Y COMO SE RELACIONA UNA EMPRESA CON SU COMPETENCIA.**

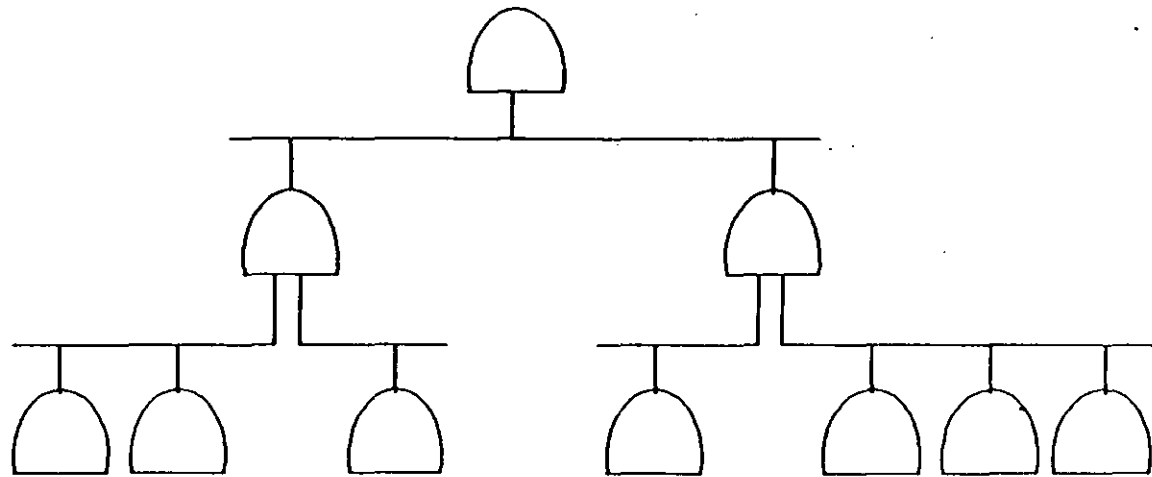


**COMPARA CONCEPTOS MULTIPLES PARA DOS CONJUNTOS DE CRITERIOS CONFLICTIVOS**



## **CARTA DE PROGRAMA DEL PROCESO DE DECISION**

- . SU PROPOSITO ES PLANEAR LAS ACTIVIDADES QUE DEBEN REALIZARSE.
- . SIMILAR AL DIAGRAMA DE ARBOL, PERO CONTIENE UN ENFOQUE DE SECUENCIA EN EL TIEMPO.
- . ESTE METODO FUE DISENADO PARA AYUDAR A PREDECIR EL FUTURO DE UN EVENTO CUANDO ESTE SE ENCUENTRA EN UNA ETAPA DE DESARROLLO, Y, POR LO TANTO, AYUDA A CONDUCIRLO AL RESULTADO DESEADO.
- . ESTE METODO TIENE DOS TIPOS DE APLICACIONES:
  - EXTENSION SECUENCIAL: PARA DISENAR UN PLAN PARA LOGRAR EL OBJETIVO DESEADO, ENCONTRANDO PROBLEMAS MIENTRAS SE IMPLEMENTA EL PLAN, TOMANDO LA DECISION CORRECTA Y MEJORANDO EL PLAN, POR LO TANTO, LOGRANDO EL OBJETIVO.
  - CONEXION FORZADA: PARA CONCEBIR MEDIDAS PARA EVITAR UNA SITUACION INDESEABLE SIMULANDO UN PROCESO DE EVENTOS PRINCIPALES PARA UN RESULTADO INDESEABLE.



**PLAN DE CONTINGENCIA.**

# DIAGRAMA DE FLECHAS

SU PROPOSITO ES ENCONTRAR EL MENOR TIEMPO REQUERIDO PARA UN PROYECTO Y REPRESENTAR GRAFICAMENTE QUE COSAS PUEDEN EJECUTARSE AL MISMO TIEMPO.

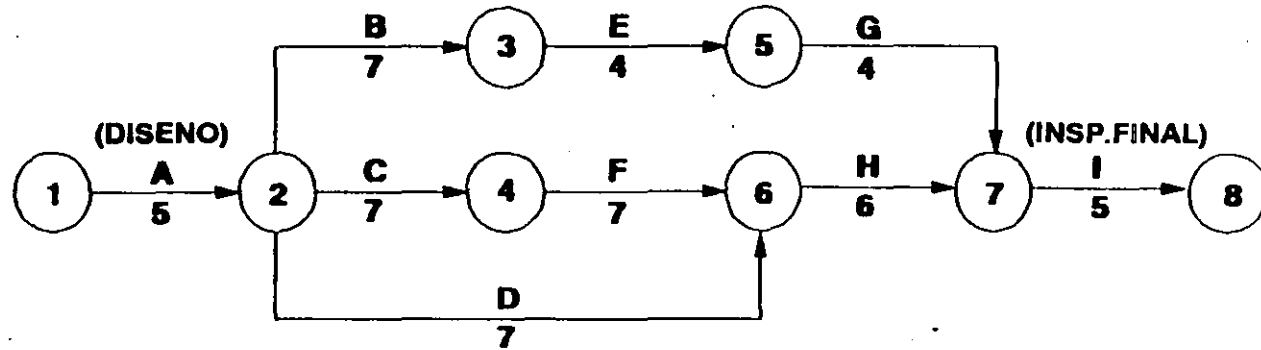
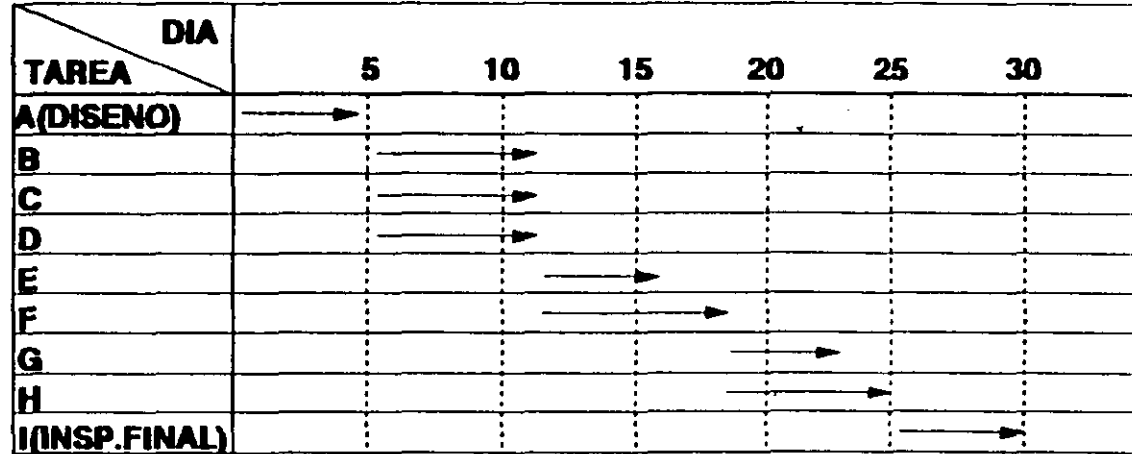
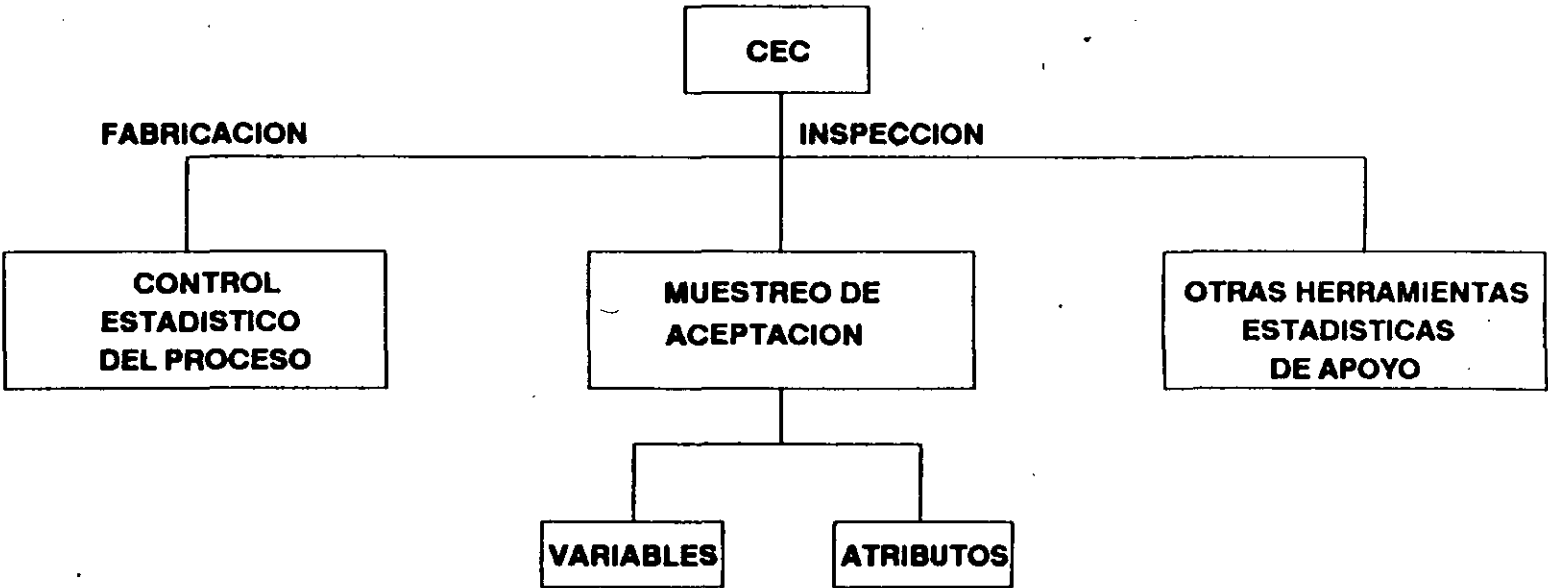


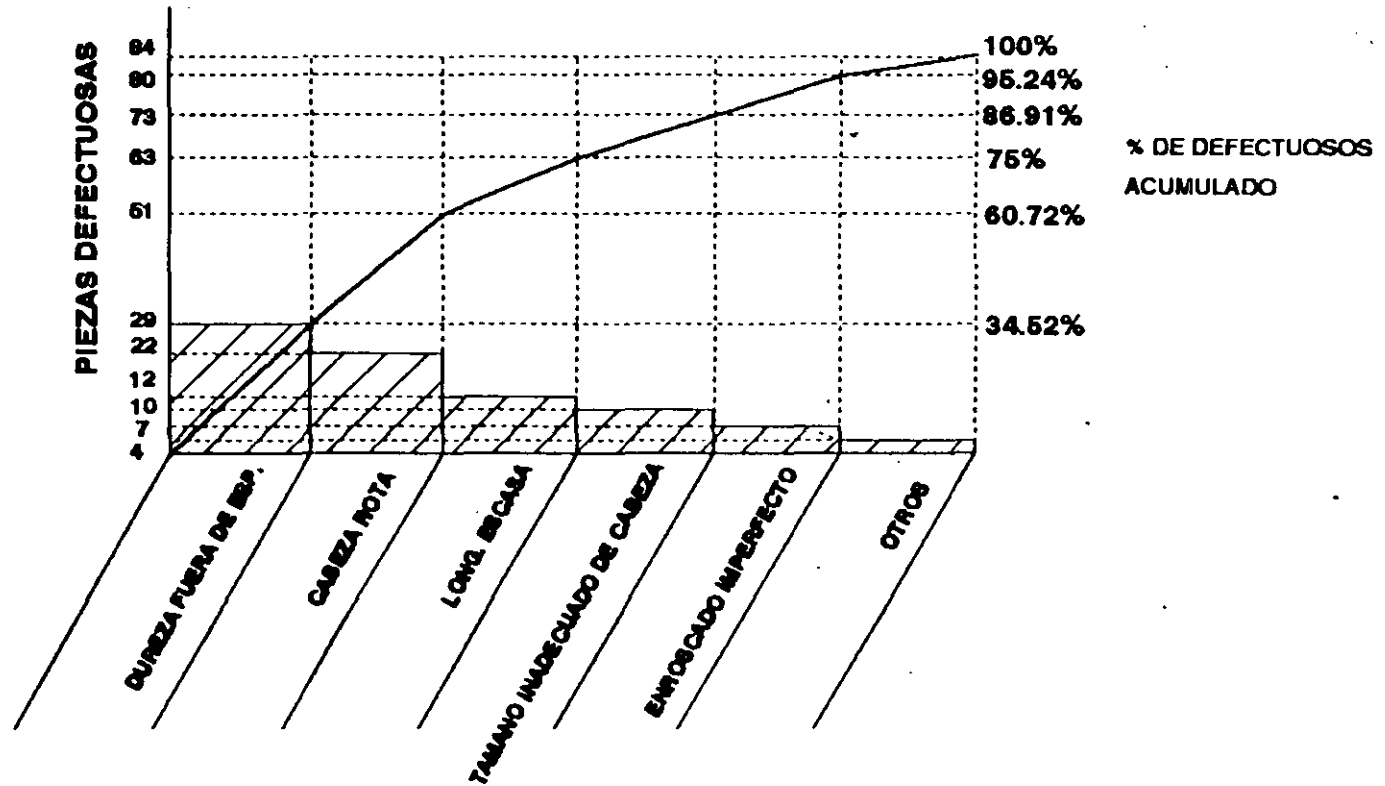
DIAGRAMA DE GANTT Y DIAGRAMA DE FLECHAS

# CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD



# DIAGRAMA DE PARETO

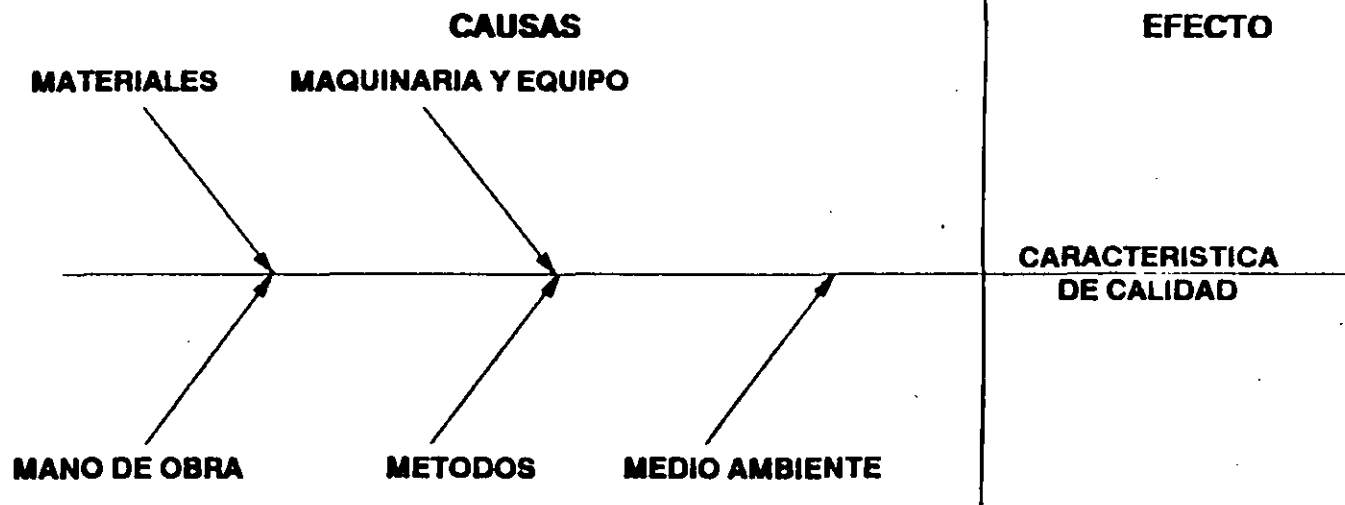
- SU PROPOSITO ES JERARQUIZAR LAS CAUSAS QUE AFECTAN A LA CALIDAD.
- AYUDA A MEJORAR CONTINUAMENTE Y POR SIEMPRE LA CALIDAD DE LA PRODUCCION.



NOTA: INSPECCION DE 2000 TORNILLOS.

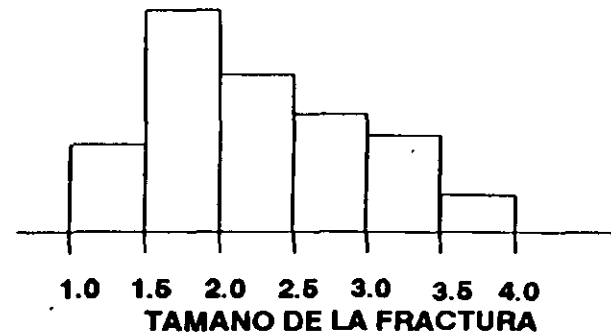
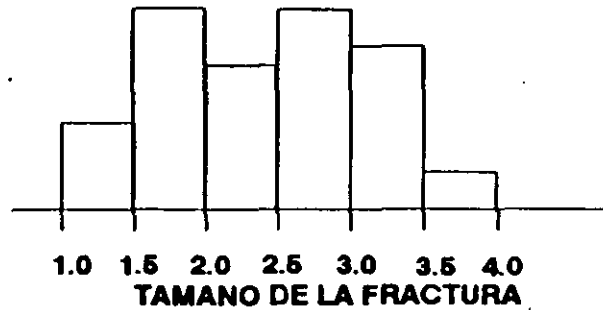
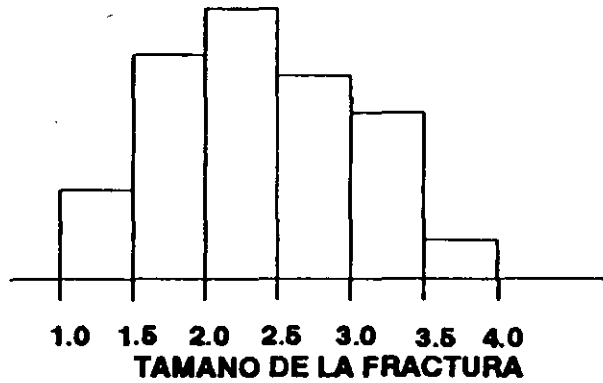
## DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO

SU PROPOSITO ES REPRESENTAR GRAFICAMENTE LA FORMA EN QUE ESTAN ACTUANDO CIERTAS CAUSAS O FACTORES INDEPENDIENTES SOBRE UNA CARACTERISTICA DE CALIDAD.



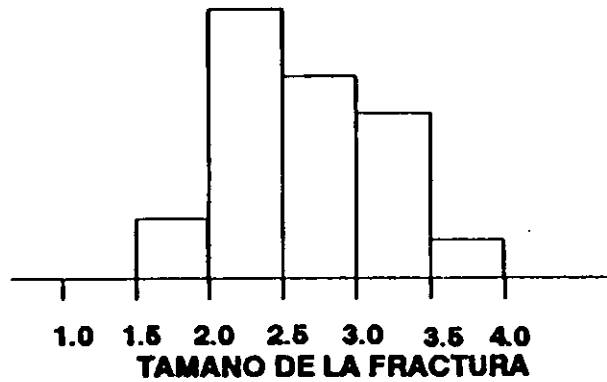
# HISTOGRAMA

- . SU PROPOSITO ES REPRESENTAR GRAFICAMENTE EL ESTADO DE UN PROCESO,
- . ES LA REPRESENTACION GRAFICA DE LA FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LOS RESULTADOS DE UN PROCESO Y PERMITE VISUALIZAR LA AMPLITUD DE LA DISPERSION DE LOS RESULTADOS, SU SIMETRIA, EL SESGO, SI ES UNIMODAL O MULTIMODAL, ETC.

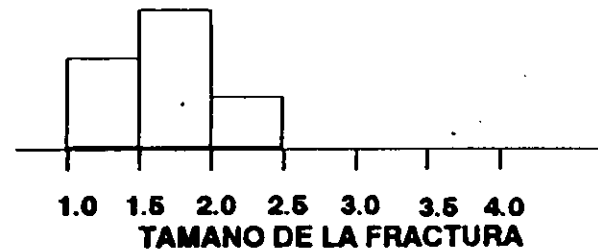


## ESTRATIFICACION

SU PROPOSITO ES INDICAR LA DIRECCION ADECUADA PARA MEJORAR EL PRODUCTO O PROCESO, AL CLASIFICAR LOS RESULTADOS EN GRUPOS CON CARACTERISTICAS SEMEJANTES (POR TURNOS, OPERARIOS, TIPO DE MATERIAL, DEPARTAMENTO, ETC.)



**MATERIAL TIPO A**



**MATERIAL TIPO B**

## HOJAS DE VERIFICACION

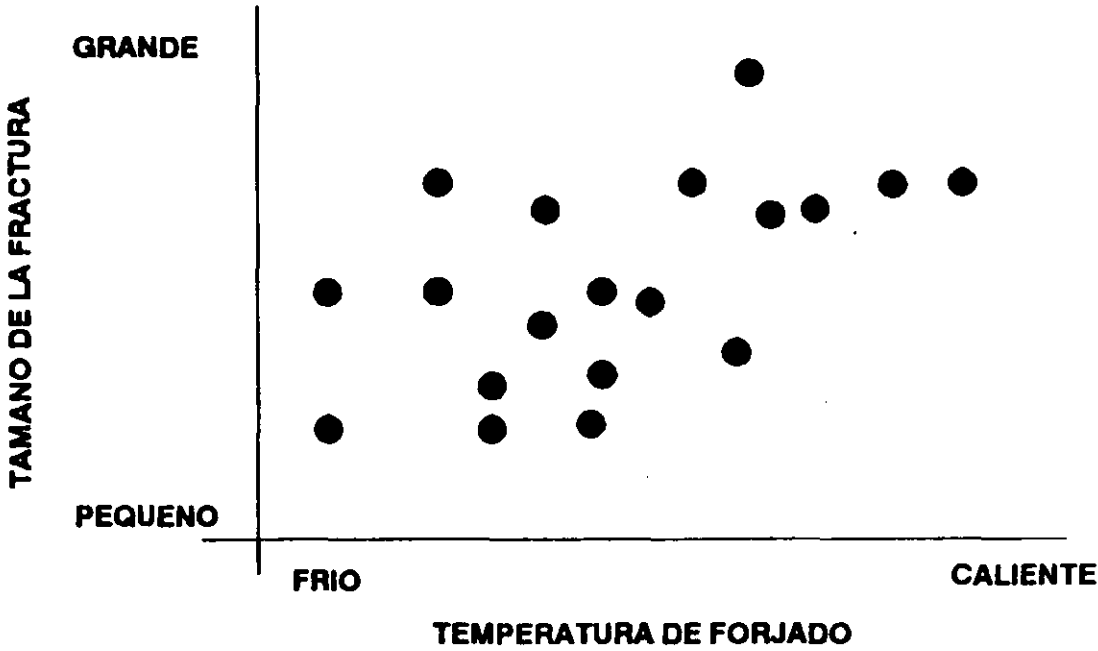
- SU PROPOSITO ES LLEVAR UN ORDEN EN EL DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DE UN PROYECTO Y VERIFICAR QUE SE EJECUTEN CORRECTAMENTE.
- DÉBEN SER CONFIABLES, FACILES DE ELABORAR, SENCILLAS Y COMPENSIBLES.
- SON UN MEDIO EFICAZ PARA ASEGURAR QUE NADA SE OLVIDE O SE OMITA, QUE NO SE HAGA UNA COSA POR OTRA, QUE LO QUE SE HACE, ESTE DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES ESTABLECIDAS Y EN EL PERIODO DE TIEMPO ESTABLECIDO.
- FACILITAN LA RELACION DE INFORMACION ADEMAS DE PERMITIR UN SEGUIMIENTO Y CONTROL SISTEMATICO DE LOS PROCESOS Y/O PROYECTOS.

| TRAMITE DE VIATICOS |                         |              |              |                |
|---------------------|-------------------------|--------------|--------------|----------------|
| No.                 | ACTIVIDAD               | DEPTO. RESP. | CUMPLIMIENTO | INCUMPLIMIENTO |
| 1                   | LLENADO DE S. DE SERV.  | AREA OPER.   |              |                |
| 2                   | VERIFICACION DE LLENADO | PERSONAL     |              |                |
| 3                   | SOL AREA ADMINISTRATIVA | PERSONAL     |              |                |
| 4                   | PROPORCIONAR EFECTIVO   | CAJA IMP     |              |                |
| 5                   | REPORTE DE COMISION     | AREA OPER.   |              |                |
| 6                   | TRAMITE LIQUIDACION     | PERSONAL     |              |                |
|                     |                         |              |              |                |



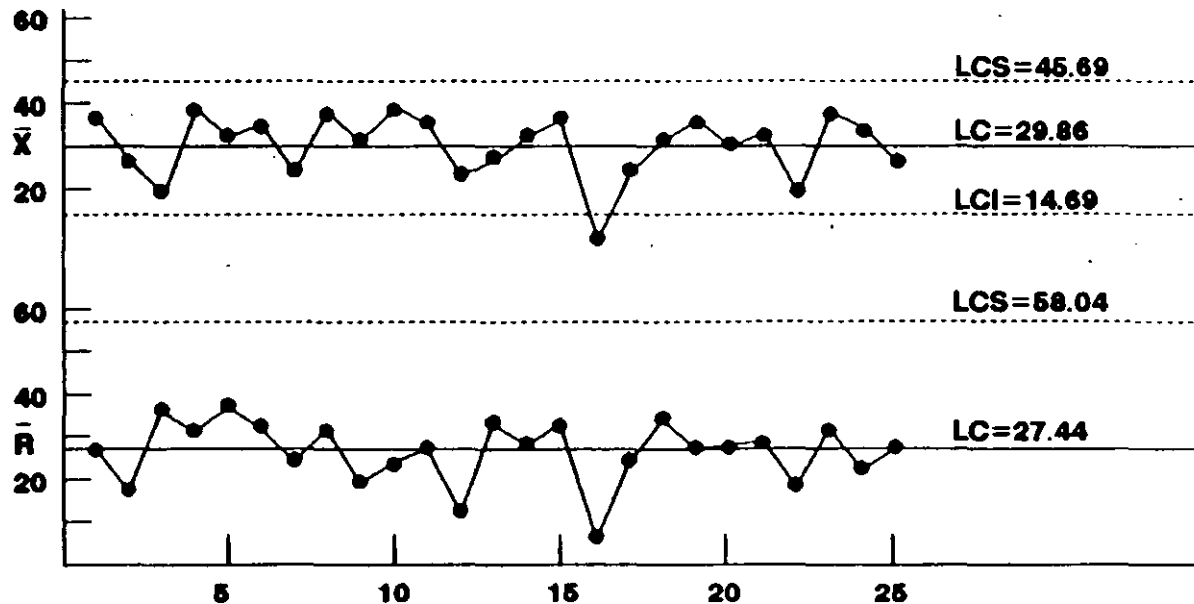
# DIAGRAMA DE DISPERSION

SU PROPOSITO ES MOSTRAR UNA POSIBLE ASOCIACION ENTRE DOS FACTORES.

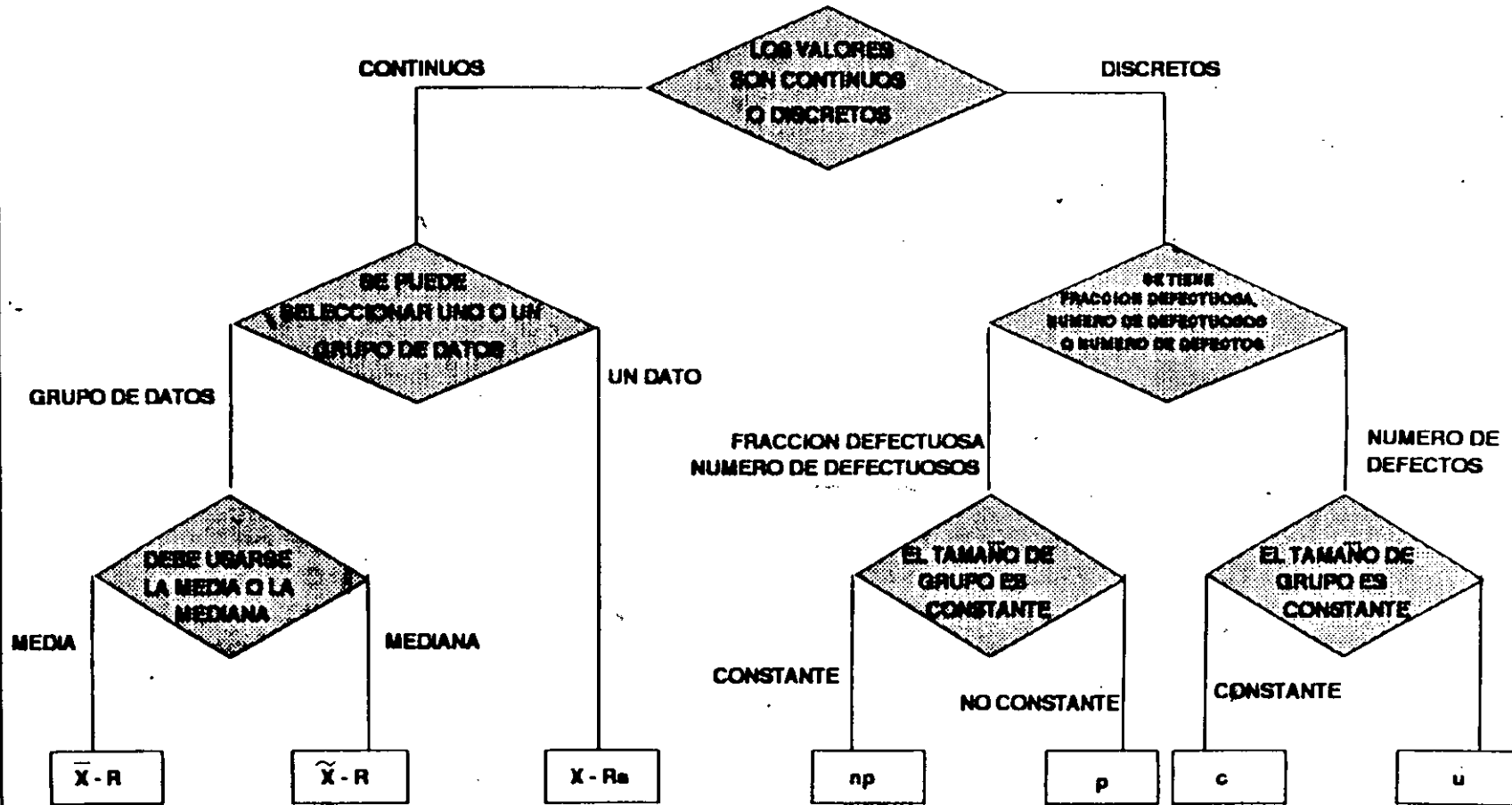


## CARTAS DE CONTROL

- SU PROPOSITO ES CONOCER EL ESTADO DEL PROCESO, EN PALABRAS DE W. SHEWHART LAS CARTAS DE CONTROL BUSCAN UNA CAUSA ASIGNABLE.
- SU USO PERMITE DETERMINAR SI EL PROCESO ESTA EN CONTROL, SI HAY CAMBIOS EN EL PROCESO Y LA LA DIMENSION DE LA VARIACION DENTRO Y ENTRE GRUPOS
- LOS RESULTADOS DE UN PROCESO PUEDEN SER VALORES DE TIPO CONTINUO (MEDICIONES), O VALORES DE TIPO DISCRETO (CONTEO).



# SELECCION DE CARTAS DE CONTROL



102



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS  
INDUSTRIALES MEDIANTE COMPUTADORA**

**CONTROL CONTINUO DEL PROCESO Y  
MEJORAS A LA HABILIDAD DEL PROCESO**

**EXPOSITOR:  
M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ**

1994

# CONTROL CONTINUO DEL PROCESO Y MEJORAS A LA HABILIDAD DEL PROCESO

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Página |
|--|--------|
| <b>1. Principios de Operación de Ford Motor Company</b>  |        |
| 1.1 Antecedentes   | 1      |
| 1.2 Conceptos del Dr. W. Edwards Deming para mejorar la Productividad                                  | 1      |
| 1.3 Filosofía Operativa de Ford Motor Company  | 2      |
| <b>2. Introducción al Control Estadístico del Proceso</b>  |        |
| 2.1 El significado de Calidad  | 7      |
| 2.2 Prevención en vez de Detección   | 7      |
| 2.3 Un Sistema para el Control del Proceso   | 10     |
| 2.4 Variación: Acciones Locales para Causas Especiales y Acciones sobre el Sistema para Causas Comunes | 11     |
| 2.5 Control del Proceso y Habilidad del Proceso  | 12     |
| 2.6 Gráficas de Control: Herramientas para el Control del Proceso                                      | 12     |
| 2.7 Beneficios de las Gráficas de Control  | 13     |
| <b>3. Herramientas para el Control del Proceso</b>   |        |
| 3.1 Gráficas de Control $\bar{X}$ -R   | 15     |
| 3.2 Gráficas de Medianas   | 54     |
| 3.3 Gráficas por Lecturas Individuales   | 59     |
| 3.4 Gráficas de Control por Atributos  | 64     |
| <b>4. Herramientas Básicas para el Análisis de Problemas</b>   |        |
| 4.1 Diagrama de Pareto   | 95     |
| 4.2 Diagrama Causa-Efecto  | 99     |
| <b>5. Apéndice</b>   |        |
| 5.1 Fórmulas y Tablas  | 105    |
| 5.2 Glosario de Términos y Símbolos  | 109    |
| 5.3 Referencias  | 115    |
| 5.4 Copias reproducibles de formas   |        |

# 1. PRINCIPIOS DE OPERACION DE FORD MOTOR COMPANY

## 1.1 ANTECEDENTES

Ford Motor Company, a nivel corporativo, ha venido enfatizando cada vez más la importancia de producir vehículos de alta calidad. De hecho, en varios estudios realizados recientemente por la Compañía se ha venido haciendo evidente el que la calidad es el aspecto más relevante para que un cliente se decida a adquirir un automóvil nuevo.

Este cambio en la Empresa se está llevando a cabo con una marcada influencia del Dr. W. Edwards Deming, norteamericano a quien los japoneses acreditan muchos de sus éxitos para mejorar la calidad y productividad.

En este manual describiremos los principios en que se basa este cambio y las técnicas de estadística que han demostrado ser una herramienta importante para obtener mejoras constantes en la calidad y productividad de nuestras operaciones.

## 1.2 CONCEPTOS DEL DR. W. EDWARDS DEMING PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD

En junio de 1980, cuando empezaba a reconocerse la importancia de las técnicas de estadística, la NBC-TV proyectó un documental titulado "Si Japón puede . . . ¿por qué nosotros no?", en el que el corresponsal de la NBC, Lloyd Dobyns, comparó los enfoques norteamericano y japonés en lo referente a la calidad y productividad. El documental destacaba la participación del Dr. W. Edwards Deming, quien introdujo las técnicas de estadística en el Japón después de la 2a. Guerra Mundial.

En años recientes, el Dr. Deming ha pasado la mayor parte de su tiempo trabajando con compañías norteamericanas. Ford Motor Company recibe su asesoría desde 1981.

El Dr. Deming maneja una serie de conceptos que se relacionan con el uso de métodos de estadística para mejorar la calidad y la productividad. Los más importantes de estos son:

- 1.2.1 La filosofía fundamental asociada con la producción económica de bienes, debe basarse en la **prevención** de defectos en lugar de su **detección**. Este enfoque requiere un sistema de **control del proceso**, el cual únicamente puede ser implementado con efectividad a través de las **técnicas de estadística**. Las decisiones para modificar o ajustar un proceso deben basarse en los datos que se deriven de las gráficas de control.
- 1.2.2. Todos los niveles de la Organización deben dedicarse a mejorar la calidad cotidianamente. Deben implementarse los cambios que contribuyan a mejorar la calidad.
- 1.2.3. La interpretación de información estadística a través de técnicas tales como las gráficas de control pueden ayudar a distinguir entre las **causas comunes** y las **causas especiales** de los problemas:

- \* Las **causas comunes** se atribuyen a fallas del sistema y sólo pueden corregirse con la participación de todos los niveles de la organización que forman el sistema. El sistema incluye a to-

## 1. PRINCIPIOS DE OPERACION DE FORD MOTOR COMPANY

das las áreas de la Empresa: Ingeniería del Producto, Manufactura y Ensamble, Compras, Mercadotecnia, Calidad del Producto, etc. . . Todo el personal debe comprometerse con la calidad de la Compañía y debe participar conjuntamente en la solución de los problemas que se presenten.

- \* Las causas especiales se relacionan con cada proceso en particular y pueden ser resueltas por la gente del área involucrada (por ejemplo: supervisores, operarios, personal de mantenimiento, etc.). Sólo una parte de los problemas se debe a fallas locales. Los empleados deben recibir la información adecuada para resolver los problemas, incluyendo los costos que generan los defectos y el entrenamiento sobre las técnicas de estadística.

- 1.2.4. La **calidad** y la **productividad** no son metas que se oponen entre sí; las mejoras en la calidad resultarán en mejoras en la productividad.
- 1.2.5. Parecido a las prácticas japonesas, las relaciones con los **proveedores** deben basarse en una asociación mutua que provea la liberación de piezas a través de un balance entre la calidad y el costo en lugar de que la competencia se base únicamente en el precio. Debido a que los proveedores afectan significativamente la calidad de los vehículos, debe involucrarseles para que consideren el uso de técnicas de estadística.
- 1.2.6. Los conceptos tales como los estándares de trabajo, metas y especificaciones no pueden, por sí mismos, mejorar la calidad. Únicamente la acción basada en la información estadística puede mejorar la calidad y productividad.
- 1.2.7. La buena calidad no significa el lograr la calidad perfecta, pero sí implica alcanzar un nivel de calidad **consistente** y **predecible** a través del cual se cubran las necesidades del mercado.

### 1.3. FILOSOFIA OPERATIVA DE FORD MOTOR COMPANY

Conocemos la mejora significativa que han tenido los japoneses en calidad y productividad durante los últimos veinte años. ¿Cómo lograron estas metas?, ¿Cómo lograron el nivel de calidad que ahora tienen?. No se ha debido a un sólo factor sino a un conjunto de prácticas que han llevado a cabo, tales como el que todo el personal tenga un compromiso hacia la calidad, su sistema de inventarios, la estabilidad en la programación de la producción, el entrenamiento, los círculos de calidad y el uso de técnicas de estadística.

Todas estas prácticas se enfocan a una filosofía general —la filosofía de **mejoras constantes** a través de la **eliminación del desecho**, tratando constantemente de eliminar las fuentes que lo provocan, mejorando así el producto componente por componente y proceso por proceso. A través de esta estrategia se mejora la calidad y, por lo tanto, la productividad. Como es de imaginarse, mucha gente de Ford Motor Company a nivel corporativo de los Estados Unidos, Latinoamérica, Europa, etc., han seguido cuidadosamente los logros de los japoneses y han ido al Japón a estudiar lo que ellos han hecho. Como consecuencia, los directivos de la Compañía han desarrollado sus propios sistemas, su propia estrategia corporativa.

## 1. PRINCIPIOS DE OPERACION DE FORD MOTOR COMPANY

Esta estrategia corporativa se ve en acción a través de la filosofía operativa de Ford Motor Company, la cual ha sido desarrollada por nuestro Presidente, D. E. Petersen, y su grupo de Vice Presidentes Ejecutivos.

La filosofía operativa de Ford Motor Company se basa en satisfacer las necesidades y expectativas de nuestros clientes a través del establecimiento y mantenimiento de un ambiente en el que se estimule a todos los empleados a lograr mejoras constantes en la calidad y productividad de los productos y servicios que se ofrecen a lo largo de la Corporación, sus proveedores y sus distribuidores.

Enfatizaremos aquí algunos aspectos de esta filosofía operativa. En primer lugar, se enfoca en las necesidades y expectativas del **cliente**. En el pasado, el enfoque se dirigía hacia las especificaciones —hacia las especificaciones que se pensaba que satisfacían las necesidades de los clientes y usuarios. En la medida en que empezamos a entender un poco más sobre nuestros sistemas de calidad, algunas personas en la Compañía han admitido que nuestras especificaciones no siempre cubren las necesidades del cliente, especialmente cuando se considera que las expectativas de los clientes han cambiado y continúan cambiando y evolucionando. Por lo tanto, el enfoque actual no está centrado en las especificaciones sino en las **necesidades de los clientes** y en **los clientes en sí mismos**.

En segundo lugar, esta filosofía operativa habla de **todos los empleados** de la Compañía, no sólo de la gente de Manufactura, Calidad del Producto e Ingeniería, quienes tradicionalmente han estado asociados con la calidad del producto; cada quien en la Compañía juega un papel en la calidad de todos los productos y servicios. Además, respecto a los empleados, enfatizaremos aquí que nos estamos refiriendo a nuestro más grande recurso; sólo nosotros podremos lograr los cambios en los sistemas de la Compañía que nos llevarán a ser más competitivos.

Tercero, hablaremos aquí de **mejoras constantes** en la **calidad y productividad**. En el pasado, la Compañía establecía ciertas metas sobre calidad y productividad; una vez que esas metas se lograban, por ejemplo, cierto nivel en las reparaciones por garantía o cierta puntuación UPAS, o cualquier otra meta, la gente pensaba generalmente que su labor había terminado en ese aspecto de la calidad e iba a algún otro. La nueva filosofía ahora es **mejorar constantemente** no solamente alcanzar cierto nivel de calidad. Pensamos que estas continuas mejoras son las que debemos hacer para responder a las necesidades del mercado.

### 1.4. PRINCIPIOS DE OPERACION PARA LOGRAR MEJORAS CONSTANTES EN CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD

Para finalizar, ¿cómo vamos a lograr aplicar la Filosofía Operativa de la Compañía?. A través de los catorce principios que ha desarrollado la Corporación, los cuales están asociados con las tres principales metas de la Compañía.



## **1. PRINCIPIOS DE OPERACION DE FORD MOTOR COMPANY**

---

Las principales metas de Ford Motor Company son:

- Proveer a los accionistas de utilidades satisfactorias sobre sus inversiones.
- Proveer un amplio rango de productos y servicios de calidad que satisfagan las necesidades y expectativas del cliente.
- Proveer a los empleados de un medio ambiente de trabajo que favorezca la utilización total de sus habilidades.

Los principios de operación de la Compañía se relacionan con las metas principales de la siguiente manera:

### **Proveer a los accionistas de utilidades satisfactorias sobre sus inversiones**

1. Ser innovador en el desarrollo de productos, servicios y tecnología que satisfagan las necesidades del cliente y asignar los recursos enfocándose a las metas primarias, a largo plazo, de la Compañía. Los objetivos a corto plazo deberán ser absolutamente consistentes con los objetivos a largo plazo.

### **Proveer un amplio rango de productos y servicios de calidad que satisfagan las necesidades y expectativas del cliente**

2. Adoptar como premisa fundamental que el actual nivel de rendimiento puede ser mejorado. Planear mejoras continuas en la calidad y productividad en todas las áreas de la Compañía.
3. Promover el desarrollo de equipos de trabajo entre todas las áreas funcionales (por ejemplo: diseño del producto, manufactura, calidad del producto, ensamble, ventas, servicio, compras y administración) con énfasis principal en satisfacer las necesidades del cliente.
4. Adoptar el enfoque de prevención de defectos en lugar de su detección. Evitar la inspección masiva como el principal medio para controlar la calidad y en su lugar instituir el control del proceso utilizando métodos de estadística.
5. Mejorar la eficiencia estimulando a todo el personal a identificar problemas y a colaborar en su solución.
6. Establecer relaciones a largo plazo con los proveedores, promoviendo entre ellos el que adopten la filosofía de mejoras constantes en la calidad y productividad. Elegir proveedores tomando en cuenta tanto la calidad de sus productos y servicios, como el costo. Los proveedores deberán mostrar evidencia de control estadístico.

## 1. PRINCIPIOS DE OPERACION DE FORD MOTOR COMPANY

**Proveer a los empleados de un medio ambiente de trabajo que favorezca la utilización total de sus habilidades**

7. Crear un ambiente de comunicación abierta, libre de temor. Fomentar el involucramiento y la iniciativa de los empleados a todos los niveles.
8. Proveer a los ejecutivos de un amplio entendimiento del pensamiento estadístico y de los métodos de estadística. Estas son poderosas herramientas que ayudan a identificar las oportunidades de acción para las mejoras constantes.
9. Como mínimo, instituir un entrenamiento básico sobre estadística para todos los empleados.
10. Asegurar que a todos los empleados se les provea de educación continua y entrenamiento apropiado.
11. Como cambio a los procesos, instituir reentrenamiento apropiado para los empleados calificados para que obtengan nuevas oportunidades de empleo.
12. Reconocer que las metas a corto plazo arbitrarias y los lemas sin soporte pueden inhibir las mejoras constantes.
13. Reevaluar los estándares de trabajo y otras medidas de los resultados del trabajo que se enfoquen en la cantidad sin tomar en cuenta la calidad. Estos criterios son usualmente inconsistentes con las mejoras constantes en calidad y productividad.
14. Examinar cada sistema gerencial y cada precedente operativo para determinar si soportan o inhiben las mejoras constantes en la calidad y la productividad.

## 2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

### 2.1. EL SIGNIFICADO DE CALIDAD

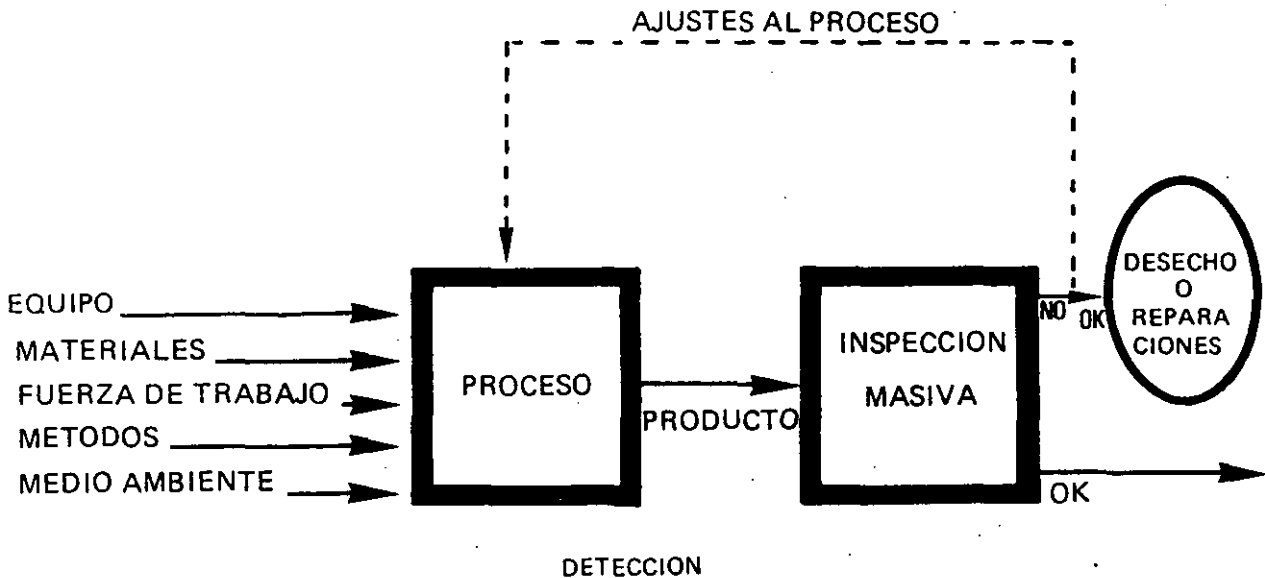
Comenzaremos este módulo con el análisis del significado de la **calidad** en sí misma. Tradicionalmente, el término calidad en Ford Motor Company ha significado **cumplir con las especificaciones**. Esto implica que la responsabilidad por la calidad ha sido asociada, generalmente, con las áreas de Ingeniería, Calidad del Producto y Manufactura de la Compañía. Las personas de estas áreas eran las responsables de que nuestros productos cumplieran con las especificaciones.

Recientemente en Ford Motor Company, el término calidad ha evolucionado a un significado más amplio. Ahora significa **"Estar adecuado al uso"**. Como puede observarse al contrastar ambos conceptos, el enfoque ha cambiado. Antes nos centrábamos en nosotros, en los empleados de Ford Motor Company, quienes nos preocupábamos por alcanzar las especificaciones. Actualmente, el significado amplio de la calidad se enfoca en el **cliente**, en las **necesidades y expectativas** que él tiene.

### 2.2. PREVENCION EN VEZ DE DETECCION

Nuestro enfoque hacia la calidad en Ford ha evolucionado, a través de los años, de la detección de defectos a su prevención.

El enfoque de **detección de defectos** podría ser ilustrado con el siguiente esquema:



Este esquema puede representar un proceso de manufactura o un proceso administrativo. En cualquier caso, lo que tenemos aquí son una serie de elementos que influyen en el **proceso**. Ya sea que se trate de operar un torno o de mecanografiar una carta, los cinco elementos básicos que intervienen en el proceso son generalmente los mismos: máquinas, materiales, gente, métodos para desempeñar el trabajo y cierto medio ambiente.

## 2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

Tenemos una serie de elementos que influyen en el proceso y obtenemos un cierto resultado de ese proceso, algún producto, y una función de inspección que separa el producto bueno del malo. Con base en lo que se encuentre en el producto malo, podemos ajustar el proceso. Esos productos se retrabajan o se desechan. Desafortunadamente, este enfoque propicia el que haya desperdicio, ya que significa que tenemos que hacer el producto y luego revisar lo que tenemos que hacer para corregirlo. Toma tantos recursos el hacer un mal producto como el producir un producto bien hecho; e incluso, en el caso del primero, necesitamos regresarnos para repararlo o desecharlo. En este enfoque la energía está concentrada en la inspección masiva, en inspeccionar el producto terminal en lugar del proceso. Así, cuando el producto ha estado saliendo mal, la reacción general que se ha tenido, es incrementar la inspección masiva. La energía no se ha concentrado en el proceso, aún cuando ahí fue donde se produjo el producto defectuoso.

El énfasis en el enfoque de detección de defectos ha sido la inspección después de los hechos; en este sentido, se ha pensado que lo importante es que el producto cumpla con las especificaciones. Después de todo, si íbamos a inspeccionar necesitábamos tener ciertos estándares contra los cuales podíamos comparar el producto. Entonces, se da por hecho que una vez que se ha alcanzado la especificación ya no puede haber posibilidades de mejora. Este punto de vista impide que se busquen mejoras constantes en la calidad del producto.

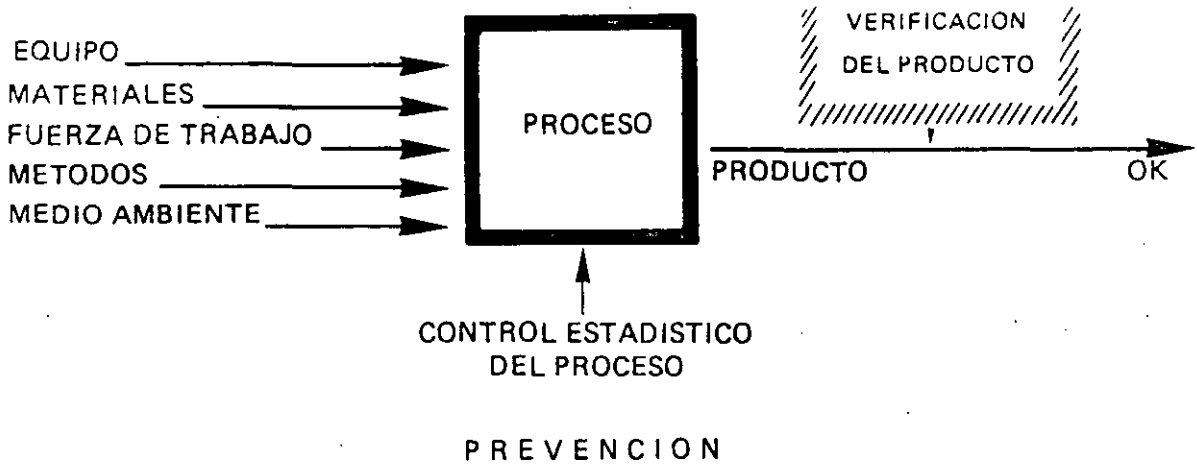
Otro aspecto del sistema de detección de defectos es el que involucra la relación de Ford con sus proveedores. Implica un mayor énfasis en el precio que en la calidad y otros aspectos del servicio del proveedor. En este sentido, el rol tradicional se centra en disponer de una muestra inicial, hacer seguimiento a los problemas con los proveedores y utilizar la Especificación de Calidad Ford (Q-101, versión 1978) basada en la inspección y en el muestreo de lotes, en otras palabras, en la detección de defectos.

Hay muchos aspectos de nuestra organización en los que se refleja el enfoque a la detección. Con esta apreciación se dá la impresión de que la calidad es responsabilidad del departamento de Control de Calidad y con frecuencia el personal de producción se hace responsable del volumen. La tendencia es mantener líneas rígidas que separan a los departamentos, con lo que no se favorece el trabajo en equipo.

La alternativa diferente que propone Ford Motor Company es el enfoque de sistemas llamado **Prevención de Defectos**.

El enfoque hacia la prevención puede esquematizarse de la siguiente manera:

## 2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO



Aquí tenemos algunos insumos (máquinas, materiales, fuerza de trabajo, métodos y medio ambiente), los mismos que teníamos en la detección de defectos y tenemos también algún resultado. Creemos que, a final de cuentas, el enfoque de **prevención de defectos** significará el reemplazar la inspección masiva que vimos antes, por lo que llamamos **verificación del producto**. El énfasis aquí no está en la inspección masiva sino en el **proceso** en sí mismo. Cuando algo sale mal, podemos detectarlo observando el proceso en lugar de esperar a la inspección final. Este esquema también puede representar lo mismo un proceso de oficina que un proceso de manufactura.

El enfoque hacia la prevención reconoce que el resultado de un proceso no va a ser el mismo producto tras producto, parte tras parte. Esto significa que existe cierta **variación** asociada con ese resultado. La **variación** en el resultado dependerá de las variaciones que se presenten en el equipo, los materiales, los métodos de trabajo, la gente que participe en el proceso y los cambios que se presenten en el medio ambiente.

La herramienta con la que contamos para conocer cómo varía un proceso es el **CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO**; a través de esta herramienta podemos **observar y mejorar la variabilidad en el proceso**.

Los métodos de estadística nos permiten observar lo que ocurre en el proceso a **través del tiempo**. No tenemos que esperar un día o una semana o un mes para conocer los resultados del proceso que se está operando; es posible obtener esta información casi de manera instantánea.

El papel del Control Estadístico del Proceso (C.E.P.) no es la inspección, no es separar las partes buenas de las malas, sino controlar y mejorar el proceso proporcionando los insumos necesarios. El Control Estadístico del Proceso no es una parte del proceso en sí, es el enfoque que nos permite mejorar el proceso cotidianamente.

## 2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

La clave para el enfoque de prevención de defectos son los métodos de estadística y el uso del control estadístico del proceso, tanto internamente como con los proveedores de la Compañía.

El Manual sobre el Sistema de Calidad (Q-101, versión 1983) incorpora el enfoque de prevención de defectos a través del uso del control estadístico del proceso.

### 2.3. UN SISTEMA PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Un sistema para el control del proceso puede ser descrito como un sistema para conocer nuestros resultados. En esta sección definiremos los elementos básicos de este sistema.

- 2.3.1. **El Proceso.** Por proceso nos referimos a la combinación de gente, máquinas, equipo, materiales, métodos y medio ambiente que trabajan juntos para producir un resultado. El desempeño total del proceso —la calidad del resultado y su eficiencia productiva— depende de la manera en que este proceso haya sido diseñado y de la manera en que lo estemos operando.
- 2.3.2. **Información sobre el Comportamiento del Proceso.** Podemos aprender mucho sobre el comportamiento actual del proceso analizando el resultado del mismo. Si esta información la colectamos e interpretamos correctamente, nos puede mostrar las acciones que es necesario tomar para corregir el proceso. Si no tomamos las acciones apropiadas y en el tiempo requerido; cualquier información de la que dispongamos se estará desperdiciando.
- 2.3.3. **Acción sobre el Proceso.** Las acciones que tomemos para mejorar el proceso están orientadas hacia el futuro, en el sentido de que prevendrán que vuelva a ocurrir un problema. Estas acciones pueden consistir en cambios que se efectúen en las operaciones (por ejemplo: adiestrar al operario, cambiar los materiales, etc.), o en los elementos más básicos del proceso en sí (por ejemplo: el equipo, el cual puede necesitar reparación; o el diseño del proceso, el cual también puede ser susceptible de cambios). Sólo debemos **efectuar un cambio a la vez** y observar cuidadosamente los efectos para conocer con precisión si el cambio que hicimos fué o no la causa de nuestro problema. Esto nos dá la pauta para realizar futuros análisis y para tomar acciones en caso de que se requieran.
- 2.3.4. **Acción sobre el Resultado.** Las acciones que tomemos sobre el resultado están orientadas hacia el pasado, ya que implica **detectar** los productos que están fuera de especificaciones cuando ya fueron producidos. Desafortunadamente, si los resultados actuales no están cumpliendo consistentemente con los requerimientos de nuestros clientes, puede ser necesario inspeccionar todos los productos y desechar o retrabajar aquellos que no se adecúen a dichos requerimientos. Esto debe continuar hasta que se tomen las acciones necesarias sobre el proceso, o hasta que se cambien las especificaciones del producto.

## 2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

### 2.4. VARIACION: ACCIONES LOCALES PARA CAUSAS ESPECIALES Y ACCIONES SOBRE EL SISTEMA PARA CAUSAS COMUNES

Para utilizar efectivamente los datos que obtengamos al controlar un proceso, es importante comprender el concepto de variación.

No hay dos productos que sean exactamente iguales debido a que cualquier proceso tiene muchas fuentes de variación. Las diferencias entre los productos pueden ser muy grandes o pueden ser tan pequeñas que no puedan medirse, pero siempre están presentes. El diámetro de una flecha maquinada, por ejemplo, puede ser susceptible a una variación potencial de la máquina (claros, baleros muy usados); de la herramienta (fuerza, promedio de uso); del material (diámetro, dureza); del operador (alimentación de la parte, precisión del centrado); de mantenimiento (lubricación, reemplazo de partes usadas) y del medio ambiente (temperatura, uniformidad de la corriente suministrada).

Algunas fuentes de variación en el proceso causan diferencias en períodos de tiempo muy cortos; por ejemplo, los claros y la precisión del operario. Otras fuentes de variación tienden a causar cambios en el producto solamente después de un largo período de tiempo; también puede presentarse un cambio gradualmente, como el desgaste de una herramienta o máquina, o paso a paso, por ejemplo al cambiar un procedimiento; puede también haber cambios irregulares, por ejemplo, cambios ambientales tales como variaciones en la corriente eléctrica. Por lo tanto, el período de tiempo y las condiciones bajo las cuales sean hechas las mediciones afectarán la cantidad de la variación total que se presente.

Desde el punto de vista de requerimientos mínimos, el resultado de la variación es frecuentemente simplificado: Las partes dentro de tolerancias de especificación son aceptadas, las partes fuera de tolerancias no son aceptadas; los reportes que se entreguen a tiempo son aceptados, los que llegan tarde no se aceptan. Sin embargo, para dirigir cualquier proceso y reducir su variación, la variación debe analizarse en función de las fuentes que la ocasionan. El primer paso para lograr esto es hacer la distinción entre CAUSAS COMUNES y CAUSAS ESPECIALES de variación y el tipo de acciones que deben tomarse para cada caso con el propósito de reducir dicha variación.

Las causas especiales de variación pueden ser detectadas a través de las técnicas de estadística que se tratarán en los módulos subsecuentes. Estas causas de variación no son comunes a todas las operaciones involucradas; por ejemplo, en una máquina particular puede haber un operario nuevo que se está adiestrando y que ocasiona cierta variación diferente a la de un operario ya entrenado o, si se tiene una herramienta sin afilar, ésta puede también ocasionar una variación mayor. El descubrimiento de una causa especial de variación y su arreglo es, usualmente, responsabilidad de alguien que está directamente conectado con la operación. Entonces, la solución de una causa especial de variación requiere generalmente de una acción local.

La magnitud de las causas comunes de variación también puede ser detectada a través de las técnicas de estadística que se revisarán posteriormente, pero estas causas, por sí mismas, requieren de un análisis más detallado, ya que pueden implicar el cambio de un proceso de ma-

## 2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

nufactura o el cambio de un proveedor que no está surtiéndonos el material que satisface las necesidades del cliente, etc. Para corregir las causas comunes de variación, se requiere, generalmente, de decisiones que deben tomar las personas que son responsables de proporcionar servicios al área productiva y de administrar el sistema; sin embargo, las personas directamente relacionadas con la operación son quienes, algunas veces, están en una mejor posición para identificar estas causas y comunicarlas a las personas que puedan corregirlas. Entonces, la solución de las causas comunes de variación requiere generalmente de **acciones sobre el sistema**.

### 2.5. CONTROL DEL PROCESO Y HABILIDAD DEL PROCESO

El Control Estadístico del Proceso es el uso de técnicas de estadística, tales como las gráficas de control, para analizar un proceso, de tal manera que puedan tomarse las acciones apropiadas para lograr y mantener un proceso en control y para mejorar la habilidad del proceso. El estado de control estadístico es la condición que describe un proceso en el que han sido eliminadas todas las causas especiales de variación y únicamente permanecen las causas comunes. Pero un estado de control estadístico no es un estado natural de un proceso de manufactura, implica un logro, implica alcanzar la eliminación de cada una de las causas especiales de excesiva variación de un proceso y prevenir su repetición.

La habilidad del proceso está determinada por la variación total que se origina por las causas comunes, es la variación mínima que puede ser alcanzada una vez que todas las causas especiales han sido eliminadas. La habilidad representa el rendimiento del proceso en sí mismo una vez que se ha demostrado que ese proceso está en control estadístico.

En resumen, el proceso debe tenerse primero en control estadístico detectando y eliminando las causas especiales de variación. Una vez que el proceso es estable y predecible, puede entonces ser evaluada su habilidad para lograr las expectativas del cliente. Esta es la base para una mejora continua.

### 2.6. GRAFICAS DE CONTROL: HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

El Dr. Walter Shewhart de los laboratorios Bell, mientras estudiaba los datos de un proceso en 1920, hizo por primera vez la distinción entre variación controlada y no controlada, debido a lo cual ahora nosotros distinguimos las causas comunes y las causas especiales. El desarrolló una simple pero poderosa herramienta para distinguir las causas especiales de las comunes —las gráficas de control. Desde aquella época, las gráficas de control han sido utilizadas exitosamente en una amplia variedad de situaciones para el control del proceso, tanto en los Estados Unidos como en otros países, especialmente en el Japón. La experiencia ha demostrado que las gráficas de control efectivamente dirigen la atención hacia las causas especiales de variación cuando éstas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debida a las causas comunes.

Todos los tipos de gráficas de control tienen dos usos básicos. En términos de Shewhart, las gráficas de control:



## 2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

- Dan evidencia acerca de si un proceso ha estado operando bajo control estadístico y señalan la presencia de causas especiales de variación que deben ser corregidas en cuanto se presentan.
- Permiten mantener el estado de control estadístico ya que pueden tomarse decisiones con base en el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo.

### 2.7. BENEFICIOS DE LAS GRAFICAS DE CONTROL

Es importante sumarizar algunos de los principales beneficios que pueden derivarse del uso de gráficas de control. La siguiente lista incluye las ventajas encontradas por los escritores en este campo, tales como el Dr. Deming y la experiencia de Ford a nivel corporativo:

- Las gráficas de control son herramientas simples y efectivas para lograr un control estadístico. Se prestan para que el operario las maneje en su propia área de trabajo. Dan información confiable a la gente cercana a la operación sobre cuándo debieran tomarse ciertas acciones y cuándo **no** debieran tomarse.
- Cuando un proceso está en control estadístico puede predecirse su desempeño respecto a las especificaciones. Por consiguiente, tanto el productor como el cliente pueden contar con niveles consistentes de calidad y ambos pueden contar con costos estables para lograr ese nivel de calidad.
- Una vez que un proceso se encuentra en control estadístico, su comportamiento puede ser mejorado posteriormente reduciendo la variación. A través de los datos de las gráficas de control pueden anticiparse las mejoras que se requieren en el sistema. Estas mejoras en el proceso deberán:
  - Incrementar el porcentaje de productos que satisfagan las expectativas de los clientes (mejoras en la calidad).
  - Disminuir los productos que necesiten retrabajarse o desecharse (mejoras en el costo por unidad bien producida).
  - Incrementar la cantidad total de productos aceptables a través del proceso (mejoras efectivas en la habilidad).
- Las gráficas de control proporcionan un lenguaje común para comunicarse sobre el comportamiento de un proceso —entre los diferentes turnos que operen un proceso; entre la línea de producción (supervisor, operario) y las actividades de soporte (mantenimiento, control de materiales, ingeniería de manufactura, calidad del producto); entre las diferentes estaciones en el proceso; entre el proveedor y el usuario; entre la Planta de Manufactura o Ensamble y las actividades de Ingeniería del Producto.

## 2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

- Las gráficas de control, al distinguir entre las causas especiales y las causas comunes de variación, dan una buena indicación de cuándo algún problema debe ser corregido localmente y cuándo se requiere de una acción en la que deben participar todos los niveles de la organización. Esto minimiza la confusión, frustración y costo excesivo que se deriva de los problemas no resueltos.

En las siguientes secciones de este manual se describen las técnicas para elaborar e interpretar gráficas de control, así como las técnicas para elaborar e interpretar el diagrama de Pareto y el diagrama de causa—efecto. Estas dos últimas herramientas de estadística facilitarán el proceso de fijar prioridades y de analizar problemas, respectivamente.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

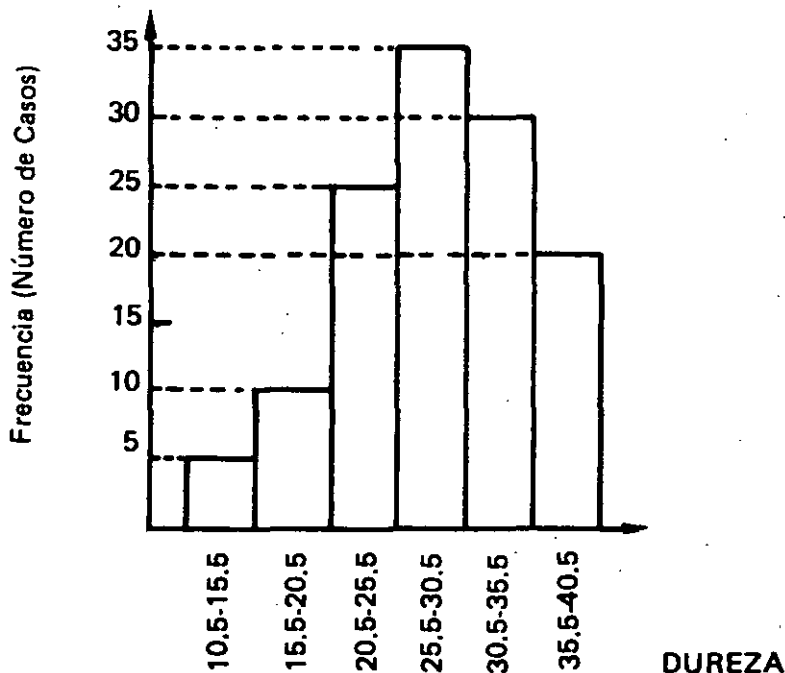
#### 3.1. GRAFICAS DE CONTROL $\bar{X}$ -R

Las gráficas de control por variables son una herramienta poderosa que puede utilizarse cuando se dispone de mediciones de los resultados de un proceso. El diámetro de un conjinete en milímetros, el esfuerzo de cierre de una puerta en libras o el torque de un tornillo en libras-pie son algunos ejemplos típicos de aplicación. Las gráficas de control por variables más conocidas son las gráficas de Control  $\bar{X}$ -R.

Las gráficas de control por variables son particularmente útiles por varias razones:

1. La mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles, por lo que su aplicación potencial es amplia.
2. Un valor medible (por ejemplo, "el diámetro es 16.45mm") contiene más información que una simple afirmación de si-no (por ejemplo, "la pieza **está dentro** de tolerancia").
3. A pesar de que el costo en la medición precisa de una pieza es mayor que el de establecer simplemente si la misma está bien o no, como se requieren menos piezas para obtener más información sobre el proceso, en algunos casos los costos totales de inspección pueden ser menores.
4. Debido a que se requiere medir una menor cantidad de piezas para tomar decisiones confiables, el período de tiempo entre la producción de las piezas y la acción correctiva puede ser acortado significativamente.

Si graficamos la dureza con la que es producida una pieza en nuestro proceso, obtendríamos los siguientes datos:



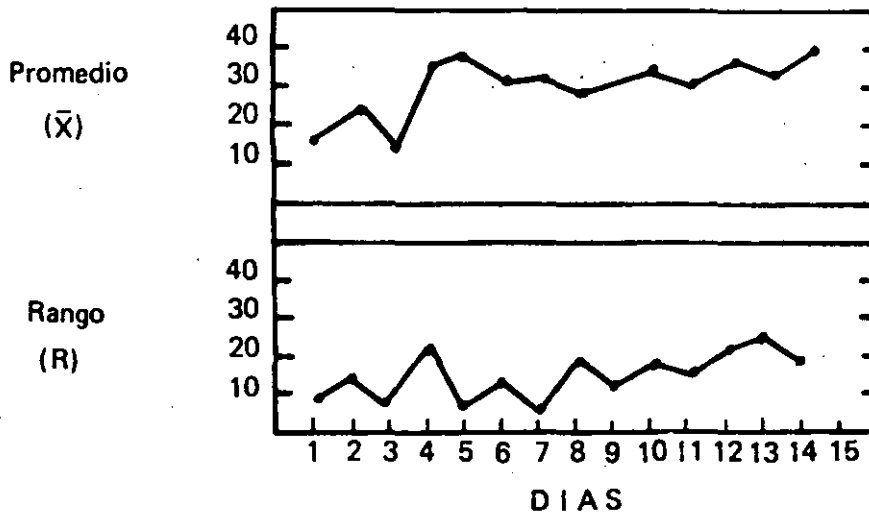
### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Este tipo de gráficas es conocida en Estadística como Histogramas de Frecuencia.

Con el sólo hecho de ver los datos que se muestran en el histograma anterior ¿podría usted determinar cuál es la tendencia del proceso? y, como consecuencia, ¿podría predecir cuáles serían los valores futuros en cuanto a la dureza de la pieza?. Es imposible contestar estas preguntas cuando sólo se cuenta con un histograma como el mostrado, en el que se indica el número de veces que ocurre cierta dureza según los rangos preestablecidos.

La única manera de saber si un proceso es estable y predecible es a través del registro de la información en las gráficas de control.

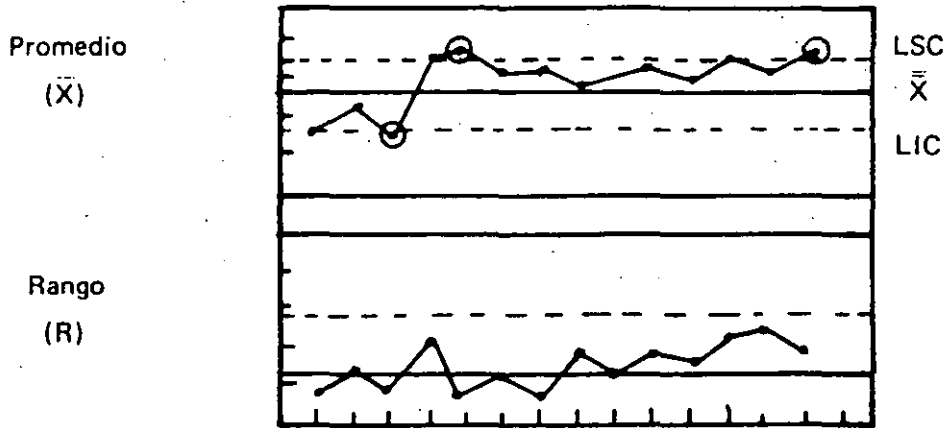
Tomando como base los mismos datos anteriores, construyamos una gráfica indicando el valor diario promedio ( $\bar{X}$ ) de la dureza y el rango diario (R) (el rango es la diferencia entre el máximo y mínimo valor obtenido en un período de tiempo en particular; en este caso, la diferencia diaria).



Esta gráfica muestra que los valores de los promedios eran bajos en el inicio, pero que mostraban una tendencia a elevarse con el tiempo, no hubiéramos conocido esto con sólo ver el histograma. En otras palabras, fuimos capaces de obtener información adicional al ver el movimiento o variación de los datos a través del tiempo.

La siguiente pregunta sería: ¿Cuáles valores de los mostrados en esta gráfica son normales y cuáles anormales?. Para esto tracemos líneas límites sobre las gráficas y una línea que nos muestra el promedio del total de nuestras lecturas, esto nos permitirá apreciar la dispersión o variación de los datos y así saber cuando se presenta una situación anormal en el proceso.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO



Donde:

LSC – Límite superior de control

LIC – Límite inferior de control

$\bar{X}-\bar{R}$  – Línea central o de promedio

En esta gráfica de Control  $\bar{X}$ -R podemos ver algunos puntos que son anormales (los circulados), ya que sobrepasan nuestras líneas límite; a partir de estos datos podremos investigar la causa y tomar alguna acción correctiva.

#### 3.1.1. Elaboración de las Gráficas de Control $\bar{X}$ -R

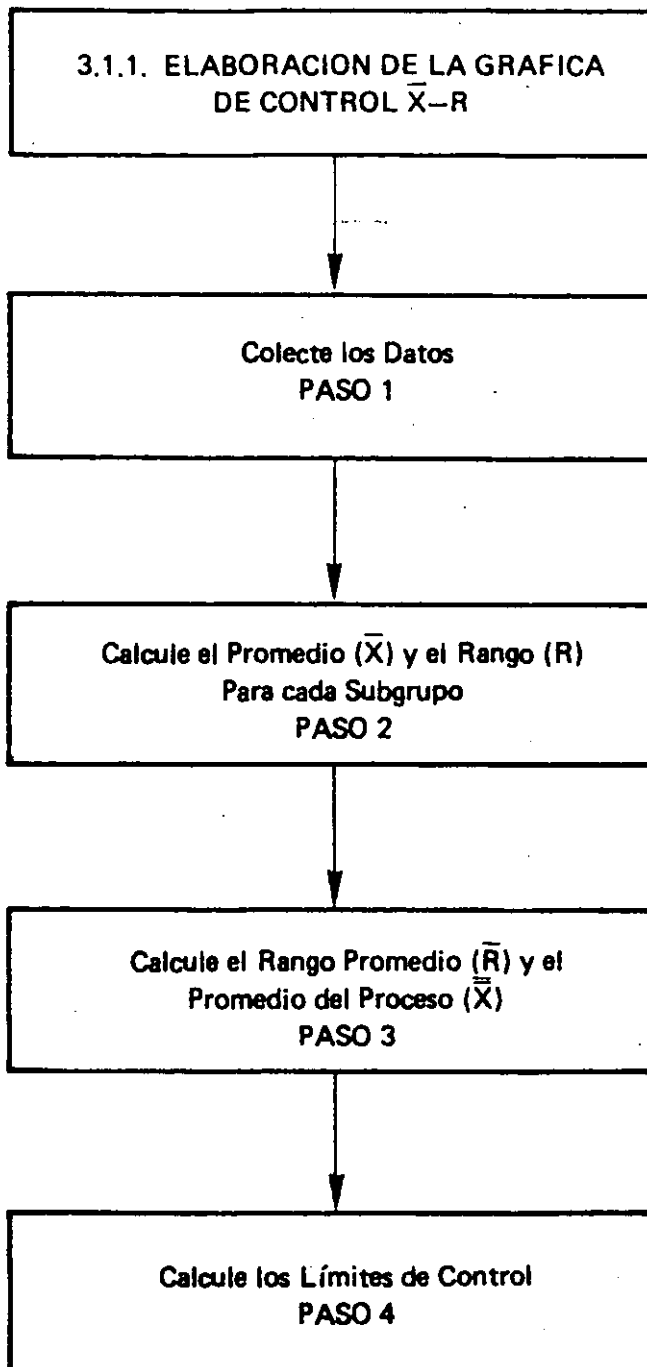
Una gráfica de control  $\bar{X}$ -R muestra tanto el valor promedio ( $\bar{X}$ ) como el rango (R) de nuestro proceso.

La porción  $\bar{X}$  de una gráfica muestra cualquier cambio en el valor promedio del proceso, mientras que la porción R muestra cualquier dispersión o variación del proceso. A continuación se describen los pasos para elaborar una gráfica de control  $\bar{X}$ -R.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

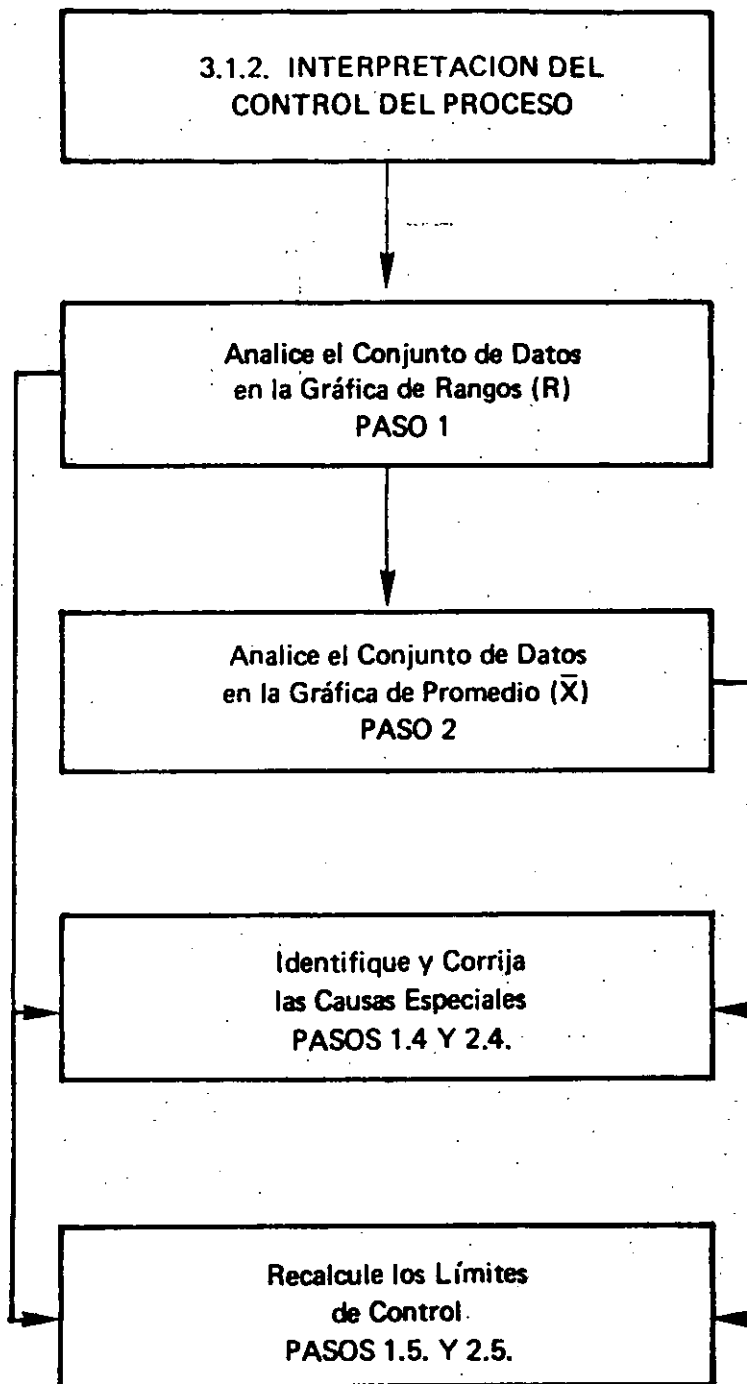
#### 3.1. GRAFICAS DE CONTROL $\bar{X}$ -R

Diagrama de Flujo



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

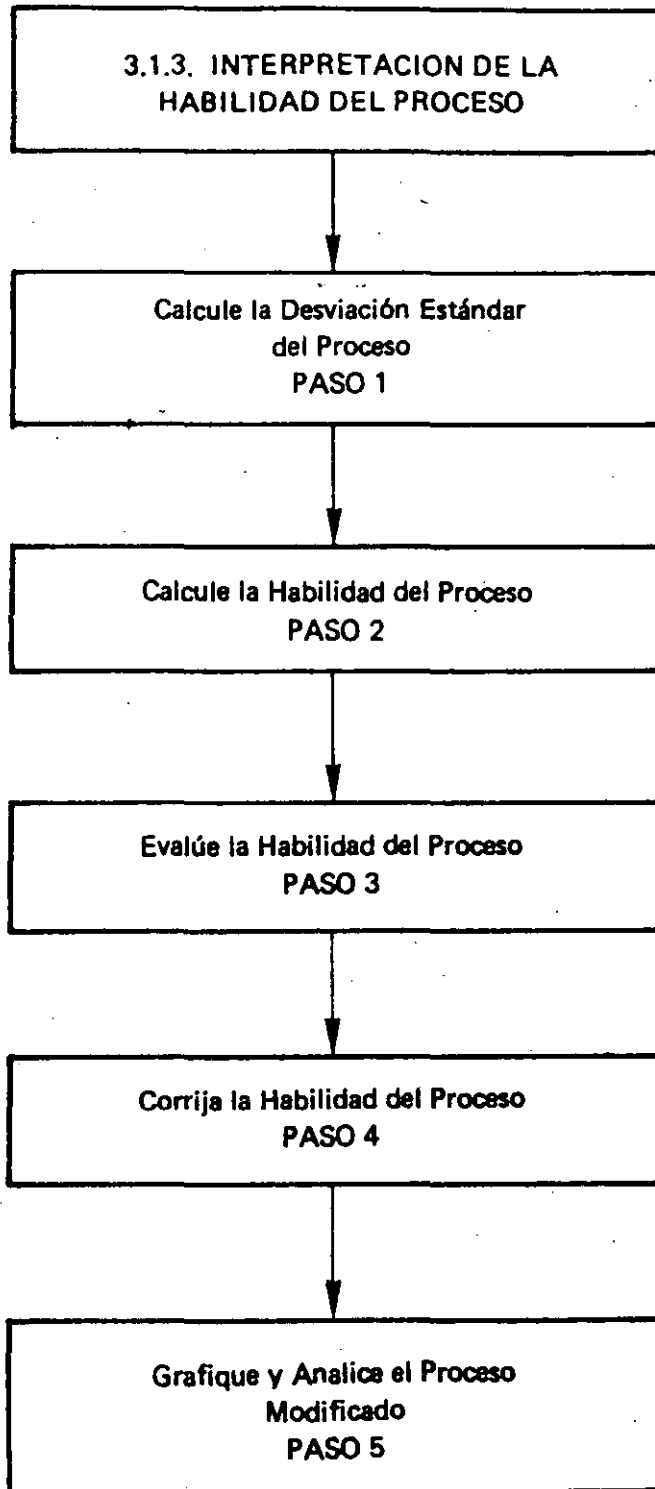
#### 3.1. GRAFICA DE CONTROL $\bar{X}$ -R Diagrama de Flujo



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### 3.1. GRAFICA DE CONTROL $\bar{X}$ -R

Diagrama de Flujo





### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### 3.1.1 Elaboración de la Gráfica de Control $\bar{X}$ - R (Cont.)

##### PASO 1 – Colecte los datos

Los datos son el resultado de la medición de las características de nuestro producto, los cuales deben ser registrados y agrupados de acuerdo al siguiente plan:

##### 1.1. Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra.

Para un estudio inicial de un proceso, las muestras (sub-grupos) deben estar formadas de 2 a 10 piezas producidas consecutivamente; de esta manera las piezas en cada subgrupo estarán producidas bajo condiciones similares de producción. Ford ha adoptado como típico el que las muestras estén formadas de 5 piezas consecutivas, ya que con menos de 5 empieza a perderse la sensibilidad de la gráfica para detectar problemas y, con más de 5 se obtiene muy poca información adicional.

Durante un estudio inicial, los subgrupos pueden ser tomados consecutivamente o a intervalos cortos para detectar si el proceso puede cambiar o mostrar inconsistencia en breves períodos de tiempo. Ford recomienda que el intervalo sea de 1/2 a 2 horas, ya que más frecuente puede representar demasiado tiempo invertido y menos frecuente pueden perderse eventos importantes que sean poco usuales. Cuando el proceso es estable (o cuando fue hecha una mejora al proceso) los períodos de tiempo en cada subgrupo pueden ser incrementados.

En cuanto al número de subgrupos, desde el punto de vista del proceso se recomienda capturar todas las fuentes de variación (a través del diagrama de causa-efecto) y, desde el punto de vista estadístico, deben colectarse al menos de 20 a 25 subgrupos.

##### 1.2. Establezca la forma en que se registrarán los datos

Las gráficas de control normalmente son dibujadas con la gráfica  $\bar{X}$  arriba de la gráfica R e incluyen un conjunto de datos de identificación en la parte superior.

Los valores de  $\bar{X}$  y R serán registrados en forma vertical y la secuencia de los subgrupos a través del tiempo estarán en forma horizontal.

##### PASO 2 – Calcule el promedio ( $\bar{X}$ ) y el rango (R) para cada subgrupo.

El cálculo de  $\bar{X}$  y R para cada subgrupo se hace de la siguiente forma:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$





## GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES CONTROL DE PROCESO

|   |  |  |
|---|--|--|
| PLANTA/DEPARTAMENTO<br>LTD Vestidura      | NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO<br>030 Doblado de Clip | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>E2BB-12321A - Reten                                       |
| CARACTERISTICA MEDIDA<br>Ranura Diam. "A" | ESPECIFICACION<br>0.50 a 0.90 mm.                            | ITEM CRITICO <input type="checkbox"/> SI<br><input checked="" type="checkbox"/> NO |

|                         |             |             |                  |                            |                                |
|-------------------------|-------------|-------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|
| $\bar{x} =$ _____       | LSC = _____ | LIC = _____ | <b>PROMEDIOS</b> | TAMAÑO DE MUESTRA <u>5</u> | FRECUENCIA <u>Cada 2 horas</u> |
| Empty grid for plotting |             |             |                  |                            |                                |

|                         |             |             |               |  |  |
|-------------------------|-------------|-------------|---------------|--|--|
| $\bar{R} =$ _____       | LSC = _____ | LIC = _____ | <b>RANGOS</b> |  |  |
| Empty grid for plotting |             |             |               |  |  |

PASO 1.2  
PRIMEROS  
SUBGRUPOS

| FECHA/HORA |     |      |     |     |  | PASO 2                                    |
|------------|-----|------|-----|-----|--|---|
| 1          | .65 | .75  | .75 | .60 |  | SUMA = .65 + .70 + .65 + .65 + .85 = 3.50 |
| 2          | .70 | .65  | .80 | .70 |  | $\bar{X} = 3.50/5 = .70$                  |
| 3          | .65 | .75  | .80 | .70 |  | $R = .85 - .65 = .20$                     |
| 4          | .65 | .65  | .78 | .75 |  |   |
| 5          | .85 | .65  | .75 | .65 |  |   |
| SUM.       | 3.5 | 3.85 | 3.8 | 3.4 |  |   |
| $\bar{X}$  | .70 | .77  | .76 | .68 |  |   |
| R          | .20 | .20  | .10 | .15 |  |   |

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

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

Donde  $X_1, X_2, \dots$  son los valores individuales en cada subgrupo y  $n$  es el tamaño de la muestra.

#### 2.1. Seleccione la escala para las gráficas de control

En las escalas verticales de las gráficas  $\bar{X} - R$  se indican los valores calculados de  $\bar{X}$  y  $R$  respectivamente. A continuación se presenta una forma general para determinar las escalas, aunque en circunstancias especiales deban ser modificadas. Para la gráfica  $\bar{X}$  la amplitud de valores en la escala debe incluir como mínimo el mayor de los siguientes valores: a) los límites de tolerancia especificados o b) 2 veces el rango promedio ( $\bar{R}$ ). Para la gráfica  $R$ , los valores deben extenderse desde el valor cero hasta un valor superior equivalente a 1 1/2 a 2 veces el rango mayor obtenido en el período inicial de estudio. En general, la escala en la gráfica de rangos debe ser la mitad de la correspondiente a la gráfica de promedio.

#### 2.2. Trace la gráfica de rangos y promedios.

Marcar con puntos los promedios y los rangos en sus respectivas gráficas y unirlos con líneas; esto nos ayudará tanto a visualizar la situación del proceso como su tendencia.

#### PASO 3 – Calcule el rango promedio ( $\bar{R}$ ) y el promedio del proceso ( $\bar{\bar{X}}$ )

Para el estudio de los  $K$  subgrupos, calcular.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_K}{K}$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K}$$

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

#### PASO 4 – Calcule los límites de Control.

Los límites de control son calculados para mostrar la extensión de la variación de cada subgrupo. El cálculo de los límites de control está basado en el tamaño de los subgrupos y estos se calculan de la siguiente forma:

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

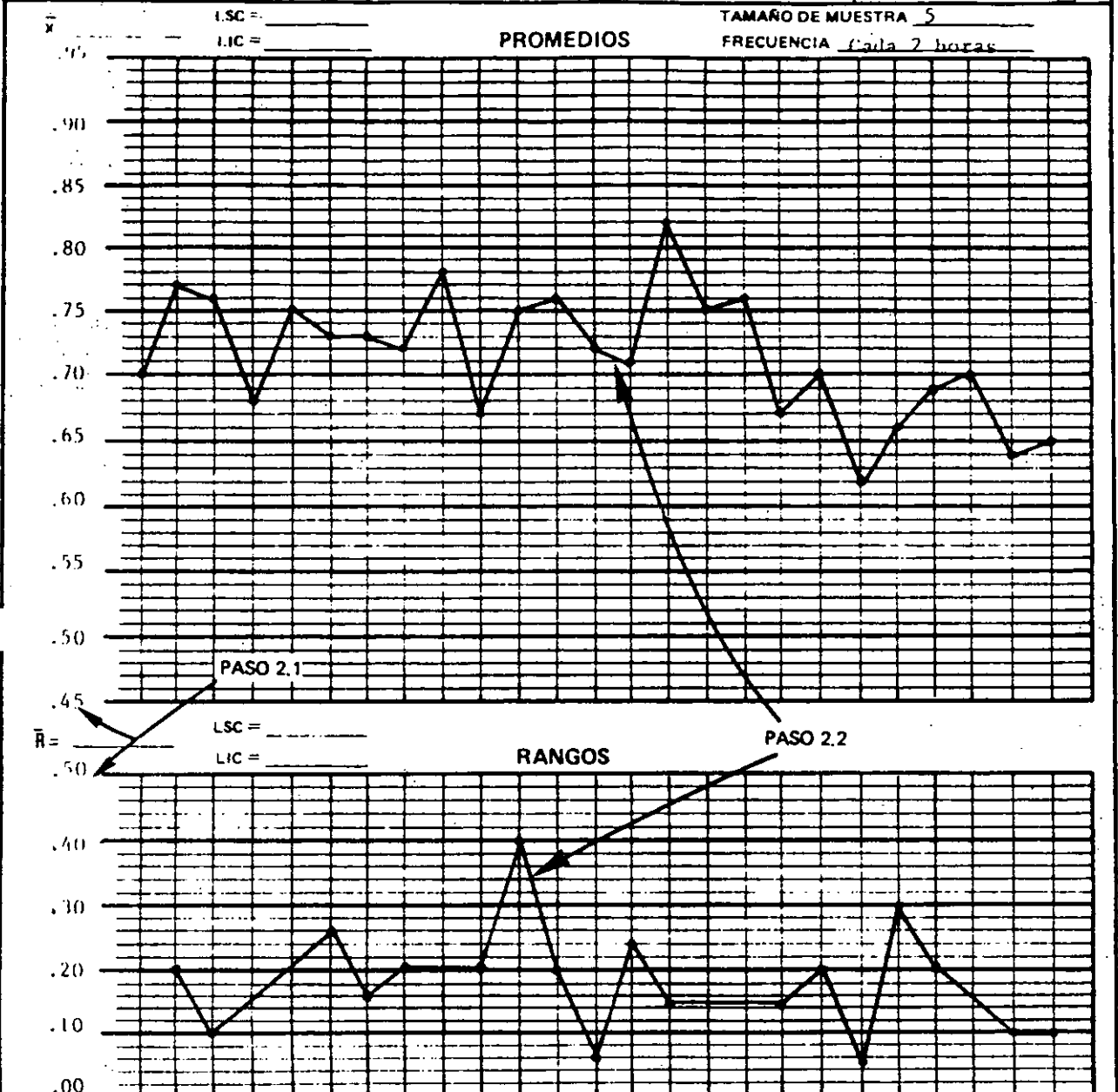
$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$



### CONTROL DE PROCESO

|  |   |   |
|--|---|---|
| PLANTA/DEPARTAMENTO<br>I.T.D. Vestidura  | NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO<br>030 Doblado del Clip | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>E2BB-12321-A Reten   |
| CARACTERISTICA MEDIDA<br>Anura Diam. "A" | ESPECIFICACION<br>0.50 a 0.90 mm.                             | ITEM CRITICO<br>SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |



| FECHA/HORA | 6-8 |      |      | 6-9 |     |      | 6-10 |     |     | 6-11 |      |     | 6-12 |      |     | 6-13 |     |      | 6-14 |      |      | 6-15 |     |     | 6-16 |  |  |
|------------|-----|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|--|--|
| 1          | .65 | .75  | .75  | .60 | .70 | .60  | .15  | .80 | .65 | .60  | .80  | .85 | .70  | .65  | .90 | .75  | .75 | .75  | .65  | .60  | .50  | .60  | .80 | .65 | .65  |  |  |
| 2          | .70 | .85  | .80  | .70 | .75 | .75  | .80  | .70 | .80 | .70  | .75  | .75 | .70  | .70  | .80 | .80  | .70 | .70  | .65  | .6   | .55  | .80  | .65 | .6  | .7   |  |  |
| 3          | .65 | .75  | .80  | .70 | .65 | .75  | .65  | .80 | .85 | .80  | .80  | .85 | .75  | .85  | .80 | .75  | .85 | .80  | .85  | .65  | .65  | .65  | .75 | .65 | .70  |  |  |
| 4          | .65 | .85  | .70  | .75 | .85 | .85  | .75  | .75 | .85 | .80  | .50  | .65 | .75  | .75  | .75 | .8   | .7  | .7   | .65  | .60  | .80  | .65  | .65 | .60 | .60  |  |  |
| 5          | .85 | .65  | .75  | .65 | .80 | .70  | .70  | .75 | .75 | .65  | .80  | .70 | .70  | .60  | .85 | .65  | .80 | .6   | .7   | .65  | .80  | .75  | .65 | .70 | .65  |  |  |
| SUM.       | 3.5 | 3.30 | 3.00 | 3.4 | .75 | 3.65 | 3.05 | 3.6 | 3.9 | 3.35 | 3.75 | 3.8 | 3.8  | 3.55 | 4.1 | 3.75 | 3.8 | 3.35 | 2.5  | 3.10 | 3.30 | 3.45 | 3.5 | 3.2 | 3.30 |  |  |
| $\bar{X}$  | .70 | .77  | .70  | .65 | .75 | .73  | .73  | .72 | .70 | .67  | .75  | .76 | .72  | .71  | .82 | .75  | .76 | .67  | .70  | .62  | .66  | .69  | .70 | .64 | .66  |  |  |
| R          | .20 | .20  | .18  | .15 | .20 | .25  | .15  | .20 | .20 | .20  | .40  | .20 | .85  | .25  | .15 | .15  | .15 | .15  | .20  | .05  | .30  | .20  | .15 | .10 | .10  |  |  |

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

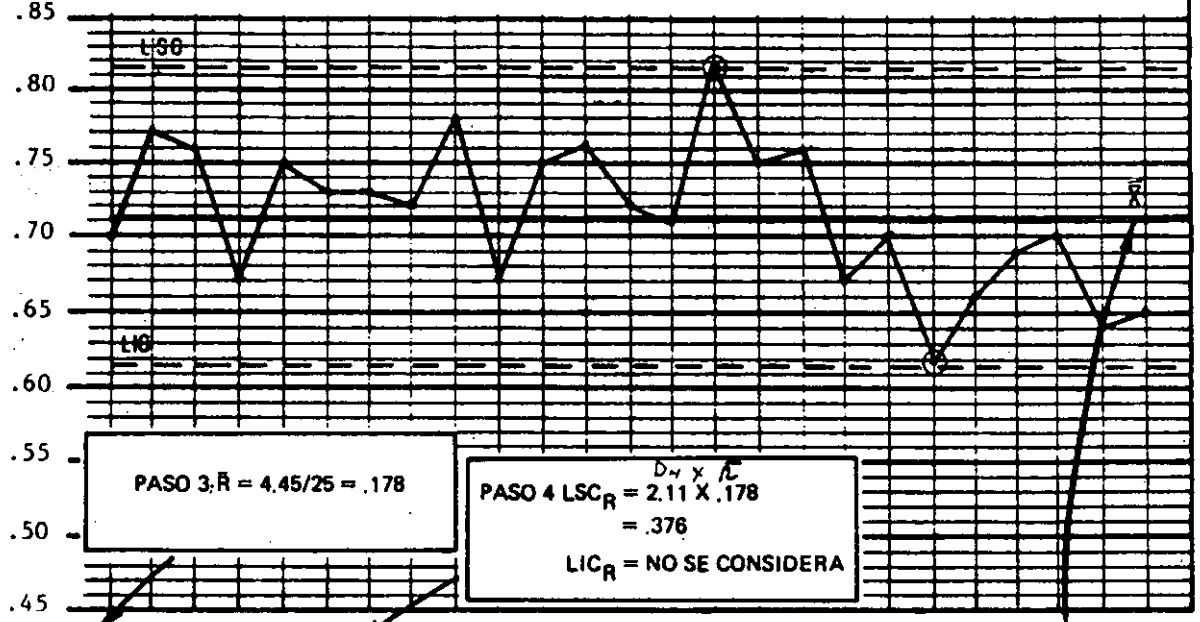


## GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES CONTROL DE PROCESO

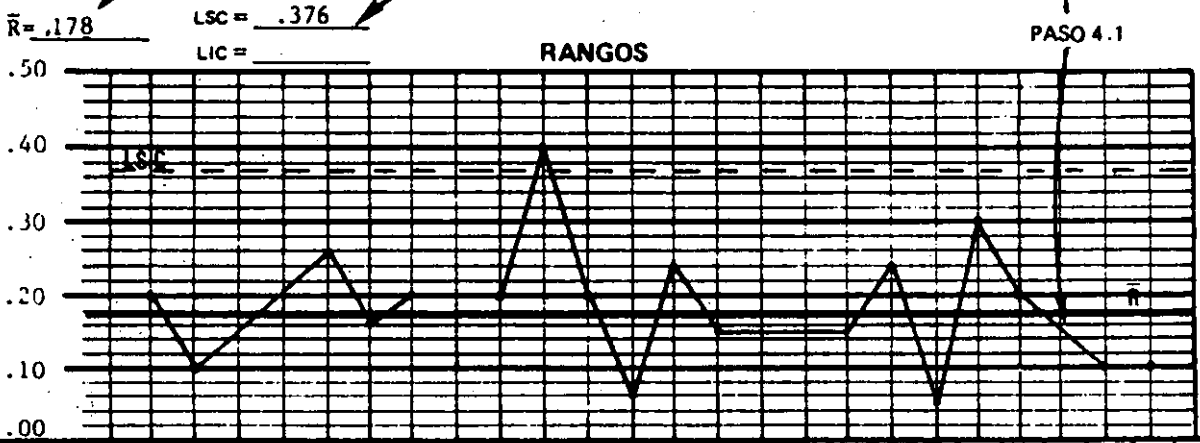
|  |  |  |
|--|--|--|
| PLANTA/DEPARTAMENTO<br><b>L.T.D. / VESTIDURA</b> | NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO<br><b>030 DOBLADO DEL CLIP</b> | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br><b>E2BB-12321-NA Retén</b>                                |
| CARACTERISTICA MEDIDA<br><b>RANURA DIAM. "A"</b> | ESPECIFICACION<br><b>0.50 a 0.90 mm.</b>                             | ITEM CRITICO <input type="checkbox"/> SI<br><input checked="" type="checkbox"/> NO |

$\bar{x} = .716$       LSC = .819      TAMAÑO DE MUESTRA 5  
 LIC = .613      PROMEDIOS      FRECUENCIA CADA 2 Horas.

PASO 3.  $\bar{X} = \frac{(.70 + .77 + .76 + \dots + .66)}{25}$       PASO 4  $LSC_{\bar{X}} = .716 + (.58 \times .178) = .819$   
 $= 17.90 / .25 = .716$        $LIC_{\bar{X}} = .716 - (.58 \times .178) = .613$



PASO 3.  $\bar{R} = 4.45/25 = .178$       PASO 4  $LSC_R = 2.11 \times .178 = .376$   
 $LIC_R = \text{NO SE CONSIDERA}$



| FECHA/MORA | 6-8 |      |      |     |      | 6-9  |      |     |     |      | 6-10 |     |     |      |     | 6-11 |     |      |     |      | 6-12 |      |     |     |      | 6-15      |     |      |      |     | 6-16 |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----------|-----|------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1          | .85 | .75  | .75  | .80 | .70  | .80  | .15  | .80 | .85 | .80  | .80  | .85 | .70 | .65  | .80 | .75  | .75 | .75  | .85 | .80  | .80  | .50  | .80 | .80 | .80  | .65       | .65 | 2    | .70  | .85 | .80  | .70  | .75  | .75 | .80 | .70  | .80  | .70 | .75 | .75  | .70 | .70  | .80 | .80  | .70 | .70  | .65  | .6   | .55 | .80 | .85  | .6        | .7   | 3   | .85  | .75  | .80 | .70  | .85  | .75  | .85 | .80 | .85  | .80  | .90 | .85 | .75  | .85 | .80  | .75 | .85  | .60 | .85  | .85  | .85  | .85 | .65 | .75  | .65       | .70  | 4   | .85  | .85  | .70 | .75  | .85  | .85  | .75 | .75 | .85  | .80  | .50 | .85 | .75  | .75 | .75  | .8  | .7   | .7  | .85  | .80  | .80  | .85 | .85 | .80  | .80       | .60 | 5    | .85  | .85 | .75  | .85  | .80  | .70 | .70 | .75  | .75  | .85 | .80 | .70  | .70 | .80  | .85 | .85  | .80 | .6   | .7   | .85  | .80 | .75 | .85  | .70       | .85 | SUM. | 3.5 | 3.30 | 3.00 | 3.4 | 3.75 | 3.85 | 3.85 | 3.6 | 3.9 | 3.35 | 3.75 | 3.8 | 3.6 | 3.55 | 4.1 | 3.75 | 3.8 | 3.35 | 3.5 | 3.10 | 3.30 | 2.45 | 3.5 | 3.2 | 3.30 | $\bar{x}$ | .70 | .77 | .76 | .85 | .75 | .73 | .73 | .72 | .78 | .87 | .75 | .76 | .72 | .71 | .82 | .75 | .78 | .67 | .70 | .62 | .66 | .69 | .70 | .64 | .66 | R | .20 | .20 | .10 | .15 | .20 | .25 | .15 | .20 | .20 | .20 | .40 | .20 | .85 | .25 | .15 | .15 | .15 | .15 | .20 | .85 | .30 | .20 | .15 | .10 | .10 |
| 2          | .70 | .85  | .80  | .70 | .75  | .75  | .80  | .70 | .80 | .70  | .75  | .75 | .70 | .70  | .80 | .80  | .70 | .70  | .65 | .6   | .55  | .80  | .85 | .6  | .7   | 3         | .85 | .75  | .80  | .70 | .85  | .75  | .85  | .80 | .85 | .80  | .90  | .85 | .75 | .85  | .80 | .75  | .85 | .60  | .85 | .85  | .85  | .85  | .65 | .75 | .65  | .70       | 4    | .85 | .85  | .70  | .75 | .85  | .85  | .75  | .75 | .85 | .80  | .50  | .85 | .75 | .75  | .75 | .8   | .7  | .7   | .85 | .80  | .80  | .85  | .85 | .80 | .80  | .60       | 5    | .85 | .85  | .75  | .85 | .80  | .70  | .70  | .75 | .75 | .85  | .80  | .70 | .70 | .80  | .85 | .85  | .80 | .6   | .7  | .85  | .80  | .75  | .85 | .70 | .85  | SUM.      | 3.5 | 3.30 | 3.00 | 3.4 | 3.75 | 3.85 | 3.85 | 3.6 | 3.9 | 3.35 | 3.75 | 3.8 | 3.6 | 3.55 | 4.1 | 3.75 | 3.8 | 3.35 | 3.5 | 3.10 | 3.30 | 2.45 | 3.5 | 3.2 | 3.30 | $\bar{x}$ | .70 | .77  | .76 | .85  | .75  | .73 | .73  | .72  | .78  | .87 | .75 | .76  | .72  | .71 | .82 | .75  | .78 | .67  | .70 | .62  | .66 | .69  | .70  | .64  | .66 | R   | .20  | .20       | .10 | .15 | .20 | .25 | .15 | .20 | .20 | .20 | .40 | .20 | .85 | .25 | .15 | .15 | .15 | .15 | .20 | .85 | .30 | .20 | .15 | .10 | .10 |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 3          | .85 | .75  | .80  | .70 | .85  | .75  | .85  | .80 | .85 | .80  | .90  | .85 | .75 | .85  | .80 | .75  | .85 | .60  | .85 | .85  | .85  | .85  | .65 | .75 | .65  | .70       | 4   | .85  | .85  | .70 | .75  | .85  | .85  | .75 | .75 | .85  | .80  | .50 | .85 | .75  | .75 | .75  | .8  | .7   | .7  | .85  | .80  | .80  | .85 | .85 | .80  | .80       | .60  | 5   | .85  | .85  | .75 | .85  | .80  | .70  | .70 | .75 | .75  | .85  | .80 | .70 | .70  | .80 | .85  | .85 | .80  | .6  | .7   | .85  | .80  | .75 | .85 | .70  | .85       | SUM. | 3.5 | 3.30 | 3.00 | 3.4 | 3.75 | 3.85 | 3.85 | 3.6 | 3.9 | 3.35 | 3.75 | 3.8 | 3.6 | 3.55 | 4.1 | 3.75 | 3.8 | 3.35 | 3.5 | 3.10 | 3.30 | 2.45 | 3.5 | 3.2 | 3.30 | $\bar{x}$ | .70 | .77  | .76  | .85 | .75  | .73  | .73  | .72 | .78 | .87  | .75  | .76 | .72 | .71  | .82 | .75  | .78 | .67  | .70 | .62  | .66  | .69  | .70 | .64 | .66  | R         | .20 | .20  | .10 | .15  | .20  | .25 | .15  | .20  | .20  | .20 | .40 | .20  | .85  | .25 | .15 | .15  | .15 | .15  | .20 | .85  | .30 | .20  | .15  | .10  | .10 |     |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 4          | .85 | .85  | .70  | .75 | .85  | .85  | .75  | .75 | .85 | .80  | .50  | .85 | .75 | .75  | .75 | .8   | .7  | .7   | .85 | .80  | .80  | .85  | .85 | .80 | .80  | .60       | 5   | .85  | .85  | .75 | .85  | .80  | .70  | .70 | .75 | .75  | .85  | .80 | .70 | .70  | .80 | .85  | .85 | .80  | .6  | .7   | .85  | .80  | .75 | .85 | .70  | .85       | SUM. | 3.5 | 3.30 | 3.00 | 3.4 | 3.75 | 3.85 | 3.85 | 3.6 | 3.9 | 3.35 | 3.75 | 3.8 | 3.6 | 3.55 | 4.1 | 3.75 | 3.8 | 3.35 | 3.5 | 3.10 | 3.30 | 2.45 | 3.5 | 3.2 | 3.30 | $\bar{x}$ | .70  | .77 | .76  | .85  | .75 | .73  | .73  | .72  | .78 | .87 | .75  | .76  | .72 | .71 | .82  | .75 | .78  | .67 | .70  | .62 | .66  | .69  | .70  | .64 | .66 | R    | .20       | .20 | .10  | .15  | .20 | .25  | .15  | .20  | .20 | .20 | .40  | .20  | .85 | .25 | .15  | .15 | .15  | .15 | .20  | .85 | .30  | .20  | .15  | .10 | .10 |      |           |     |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 5          | .85 | .85  | .75  | .85 | .80  | .70  | .70  | .75 | .75 | .85  | .80  | .70 | .70 | .80  | .85 | .85  | .80 | .6   | .7  | .85  | .80  | .75  | .85 | .70 | .85  | SUM.      | 3.5 | 3.30 | 3.00 | 3.4 | 3.75 | 3.85 | 3.85 | 3.6 | 3.9 | 3.35 | 3.75 | 3.8 | 3.6 | 3.55 | 4.1 | 3.75 | 3.8 | 3.35 | 3.5 | 3.10 | 3.30 | 2.45 | 3.5 | 3.2 | 3.30 | $\bar{x}$ | .70  | .77 | .76  | .85  | .75 | .73  | .73  | .72  | .78 | .87 | .75  | .76  | .72 | .71 | .82  | .75 | .78  | .67 | .70  | .62 | .66  | .69  | .70  | .64 | .66 | R    | .20       | .20  | .10 | .15  | .20  | .25 | .15  | .20  | .20  | .20 | .40 | .20  | .85  | .25 | .15 | .15  | .15 | .15  | .20 | .85  | .30 | .20  | .15  | .10  | .10 |     |      |           |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| SUM.       | 3.5 | 3.30 | 3.00 | 3.4 | 3.75 | 3.85 | 3.85 | 3.6 | 3.9 | 3.35 | 3.75 | 3.8 | 3.6 | 3.55 | 4.1 | 3.75 | 3.8 | 3.35 | 3.5 | 3.10 | 3.30 | 2.45 | 3.5 | 3.2 | 3.30 | $\bar{x}$ | .70 | .77  | .76  | .85 | .75  | .73  | .73  | .72 | .78 | .87  | .75  | .76 | .72 | .71  | .82 | .75  | .78 | .67  | .70 | .62  | .66  | .69  | .70 | .64 | .66  | R         | .20  | .20 | .10  | .15  | .20 | .25  | .15  | .20  | .20 | .20 | .40  | .20  | .85 | .25 | .15  | .15 | .15  | .15 | .20  | .85 | .30  | .20  | .15  | .10 | .10 |      |           |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\bar{x}$  | .70 | .77  | .76  | .85 | .75  | .73  | .73  | .72 | .78 | .87  | .75  | .76 | .72 | .71  | .82 | .75  | .78 | .67  | .70 | .62  | .66  | .69  | .70 | .64 | .66  | R         | .20 | .20  | .10  | .15 | .20  | .25  | .15  | .20 | .20 | .20  | .40  | .20 | .85 | .25  | .15 | .15  | .15 | .15  | .20 | .85  | .30  | .20  | .15 | .10 | .10  |           |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| R          | .20 | .20  | .10  | .15 | .20  | .25  | .15  | .20 | .20 | .20  | .40  | .20 | .85 | .25  | .15 | .15  | .15 | .15  | .20 | .85  | .30  | .20  | .15 | .10 | .10  |           |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |      |     |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |     |     |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Donde  $D_4$ ,  $D_3$ ,  $A_2$  son constantes que varían según el tamaño de la muestra, a continuación se presentan los valores de dichas constantes para tamaños de muestra de 2 a 10.

| n     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $D_4$ | 3.27 | 2.57 | 2.28 | 2.11 | 2.00 | 1.92 | 1.86 | 1.82 | 1.78 |
| $D_3$ | —    | —    | —    | —    | —    | 0.08 | 0.14 | 0.18 | 0.22 |
| $A_2$ | 1.88 | 1.02 | 0.73 | 0.58 | 0.48 | 0.42 | 0.37 | 0.34 | 0.31 |

#### 4.1. Dibuje las líneas de promedios y límites de control en las gráficas

Se dibujan el rango promedio ( $\bar{R}$ ) y el promedio del proceso ( $\bar{\bar{X}}$ ) con una línea horizontal continua, y los límites de control ( $LSC_R$ ,  $LIC_R$ ,  $LSC_{\bar{X}}$ ,  $LIC_{\bar{X}}$ ) con una línea horizontal discontinua.

#### 3.1.2. Interpretación del Control del Proceso

El objeto de analizar una gráfica de control es identificar cuál es la variación del proceso, las causas comunes y causas especiales de dicha variación, y en función de esto tomar alguna acción apropiada cuando se requiera.

#### PASO 1 – Analice el conjunto de datos en la gráfica de rangos (R).

Dado que la interpretación de los rangos (R) y promedios ( $\bar{X}$ ) de los subgrupos dependen de la variación de nuestro proceso, se analizará en primer lugar la gráfica de rangos.

#### 1.1. Puntos fuera de los Límites de Control

La presencia de uno o más puntos más allá de los límites de control es evidencia de una inconsistencia en el proceso. La variación de los puntos dentro de los límites de control es debida a causas comunes (fallas del sistema). Cuando se presentan puntos fuera de los límites de control se deben a causas especiales; es decir, a fallas locales. Un punto más allá de los límites de control es una señal de que se requiere un análisis inmediato de la operación para buscar la causa especial que lo originó. Marque todos los puntos que están fuera de los límites de control.

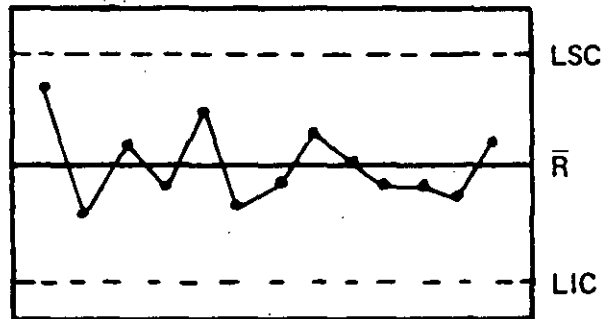
Un punto fuera de los límites de control es una señal de:

- El límite de control está mal calculado o los puntos están mal agrupados.

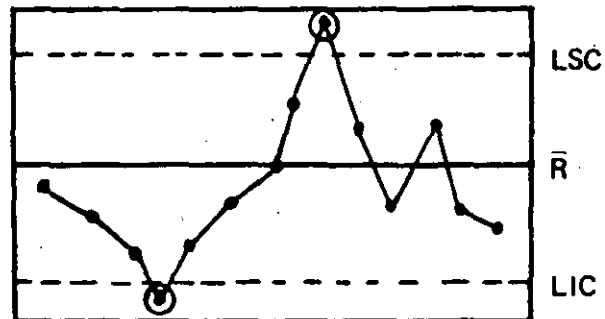
### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

- La variación de pieza a pieza o la dispersión de la distribución ha empeorado.
- El sistema de medición ha cambiado (diferente inspector o calibrador).

Proceso en Control para Rangos



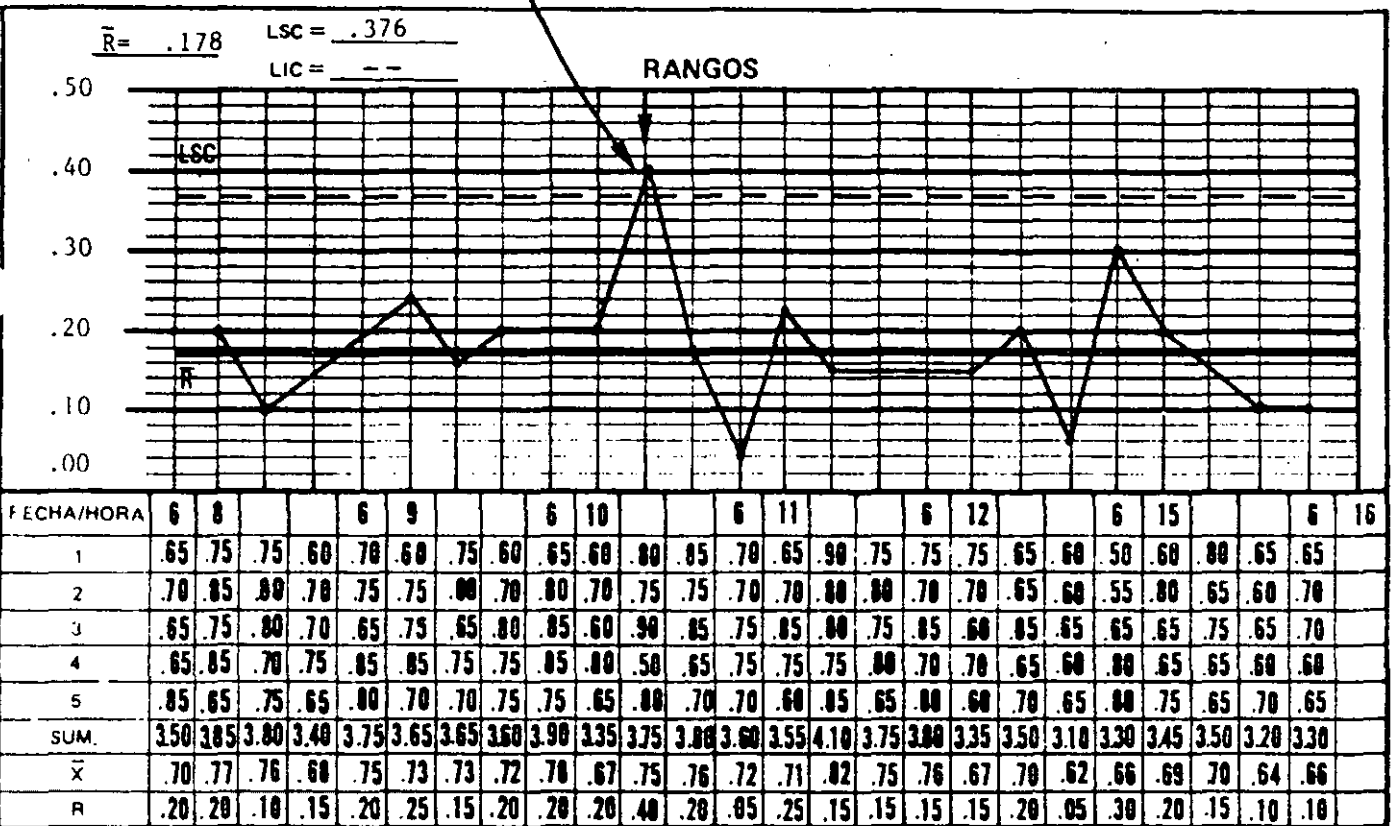
Proceso no Controlado (puntos fuera de los Límites de Control)





Del ejemplo:

Paso 1.1 - Un punto está fuera del Límite de Control.



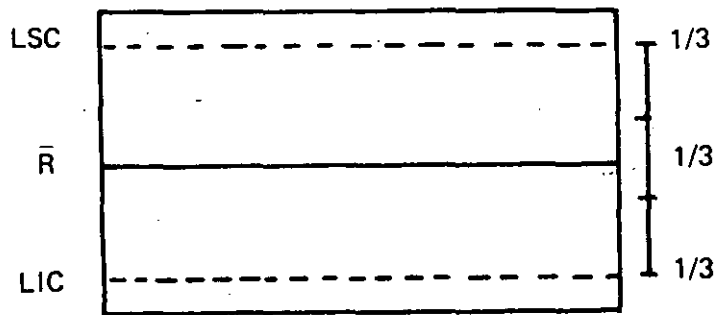
Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### 1.2. Adhesión a las Líneas de Control

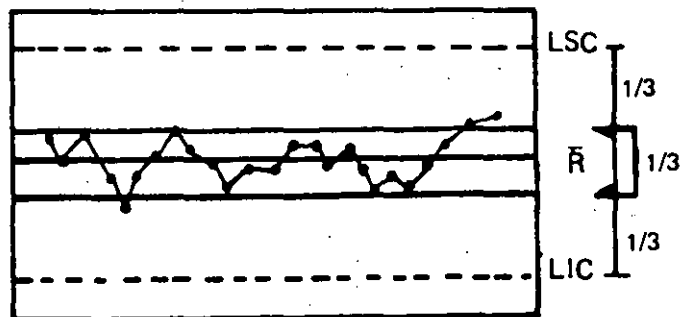
Cuando en la gráfica de control los puntos se agrupan junto a la línea central o junto a las líneas de control, hablamos de adhesión.

Para evaluar y poder decidir si hay o no adhesión a la línea central proceda de la siguiente manera: Divida la distancia que hay entre el LSC y el LIC en tres partes iguales, como se muestra en la siguiente figura.



Si una cantidad substancialmente mayor a  $2/3$  de los puntos graficados se encuentra concentrada dentro del tercio medio, existe adhesión a la línea central.

Proceso de adhesión a la línea central (23 de 25 puntos están dentro del tercio medio)



Si existe adhesión a la línea central se tiene que verificar lo siguiente:

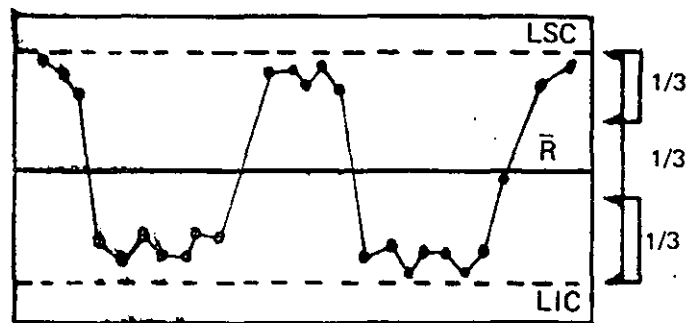
- Los límites de control han sido mal calculados o los puntos fueron mal graficados.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

- Los datos han sido adulterados (los valores que se alejan mucho del promedio  $\bar{R}$  fueron alterados u omitidos).
- Suelen haberse mezclado en el subgrupo un tipo diferente de datos o datos de factores diferentes (máquinas, materiales, mano de obra diferentes).

Si una cantidad substancialmente mayor a  $1/3$  se encuentra dentro de los tercios exteriores, existe adhesión a los límites de control.

Proceso con adhesión a los Límites de Control (24 de 25 puntos están en los tercios exteriores).

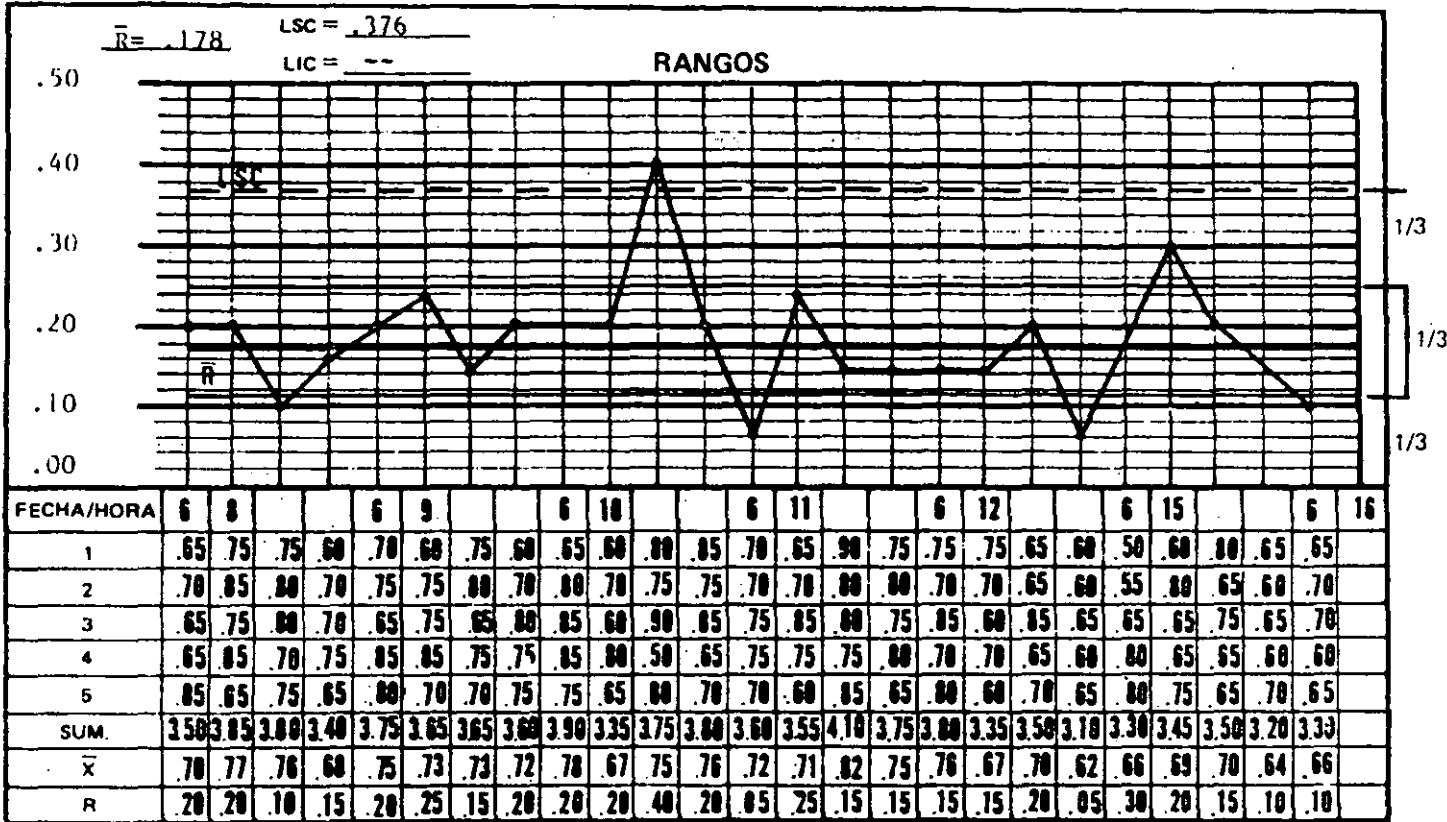


Quando esta situación se presenta, es necesario verificar lo siguiente:

- Los Límites de Control han sido mal calculados o los puntos mal graficados.
- El proceso o el método de muestreo es tal, que los subgrupos contienen mediciones de 2 o más factores diferentes.

Del ejemplo

PASO 1.2 – Alrededor de 2/3 de los puntos están dentro del tercio medio de los Límites de Control. (16 de 25) Por lo cual no hay adhesión en este proceso.



Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

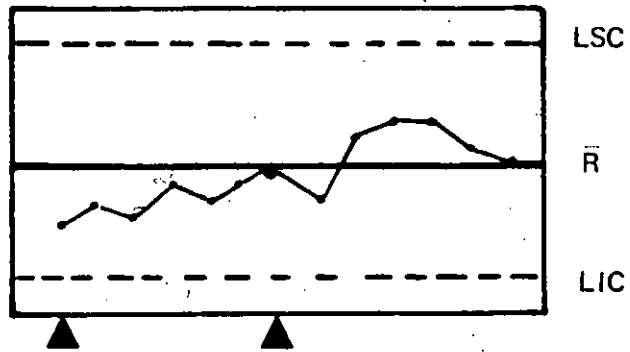
#### 1.3. Series

Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento del proceso.

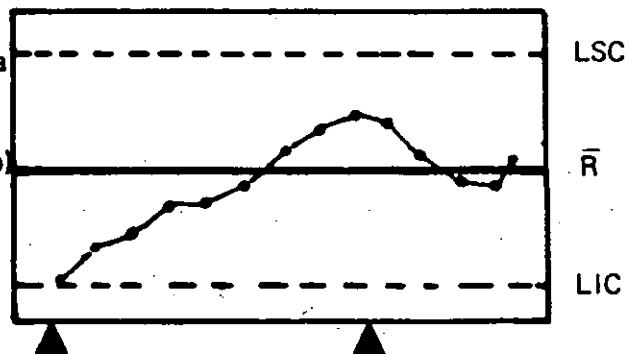
Cuando 7 ó más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del promedio, la serie recibe el nombre de Corrida.

Si 7 ó más intervalos consecutivos se presentan con valores crecientes o decrecientes, la serie recibe el nombre de Tendencia.

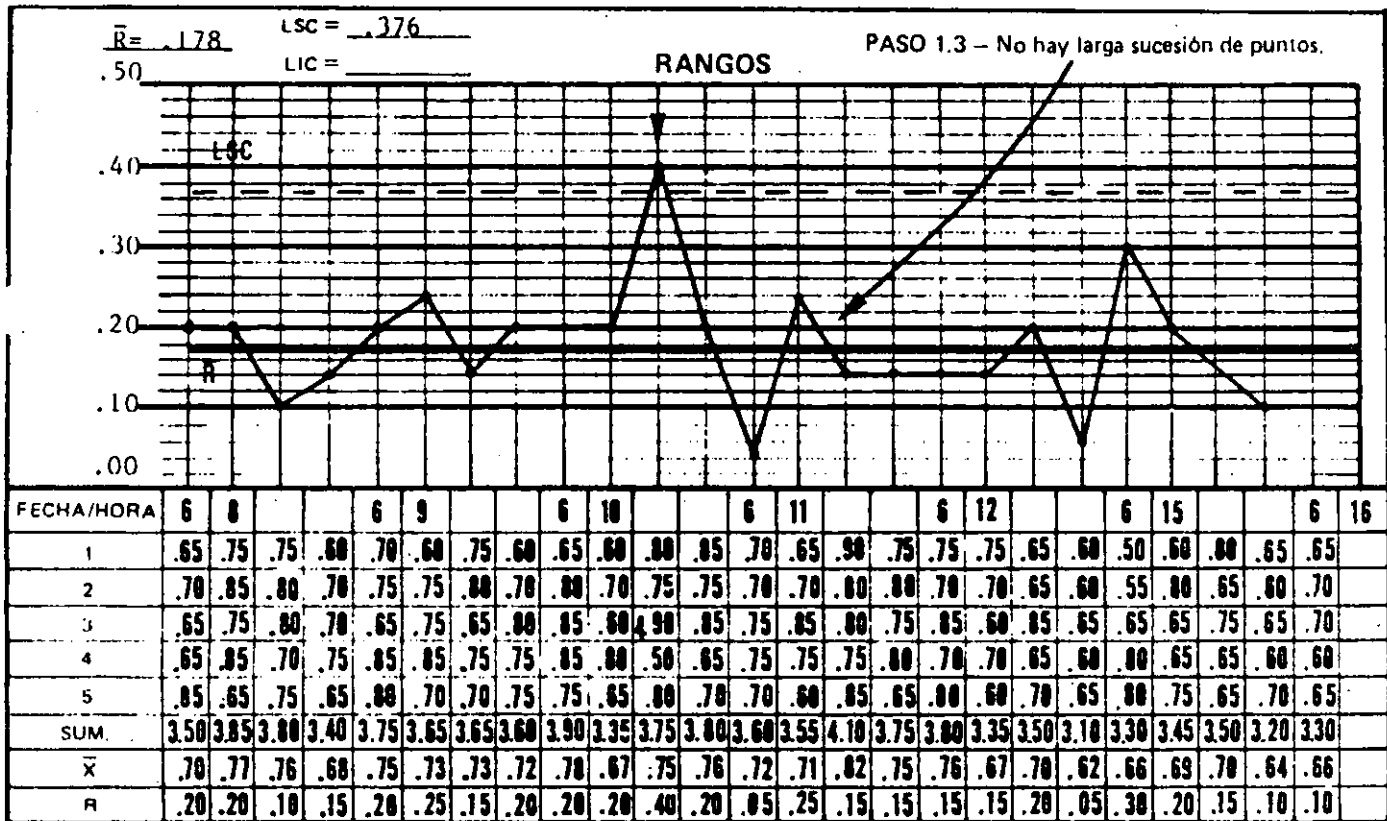
Este proceso presenta una corrida de 8 puntos abajo de  $\bar{R}$



Este proceso muestra una tendencia ascendente (8 intervalos en ascenso)



Del ejemplo:



Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Una serie por arriba del rango promedio ( $\bar{R}$ ) puede significar:

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

Una serie por debajo del rango promedio ( $\bar{R}$ ) puede significar:

- Menor variación en los resultados, lo cual es generalmente una buena condición que debe estudiarse para ampliar su aplicación.
- Un cambio en el sistema de medición.

#### 1.4. Identifique y corrija las causas especiales en la Gráfica de Rangos

Deberá efectuarse un análisis de la operación del proceso ante cada indicación de falta de control proveniente de la gráfica de rangos para determinar sus causas, corregir la condición y prevenir su repetición. La gráfica de control es una guía útil para el análisis del problema pues indica cuándo se inició el problema y el tiempo transcurrido.

Es importante la rapidez en el análisis de los problemas, a fin de minimizar la producción de piezas fuera de control y de tener datos recientes para el diagnóstico. Por ejemplo, la aparición de un punto más allá de los límites de control es razón suficiente para iniciar un análisis inmediato del proceso.

#### 1.5. Recalcule los Límites de Control

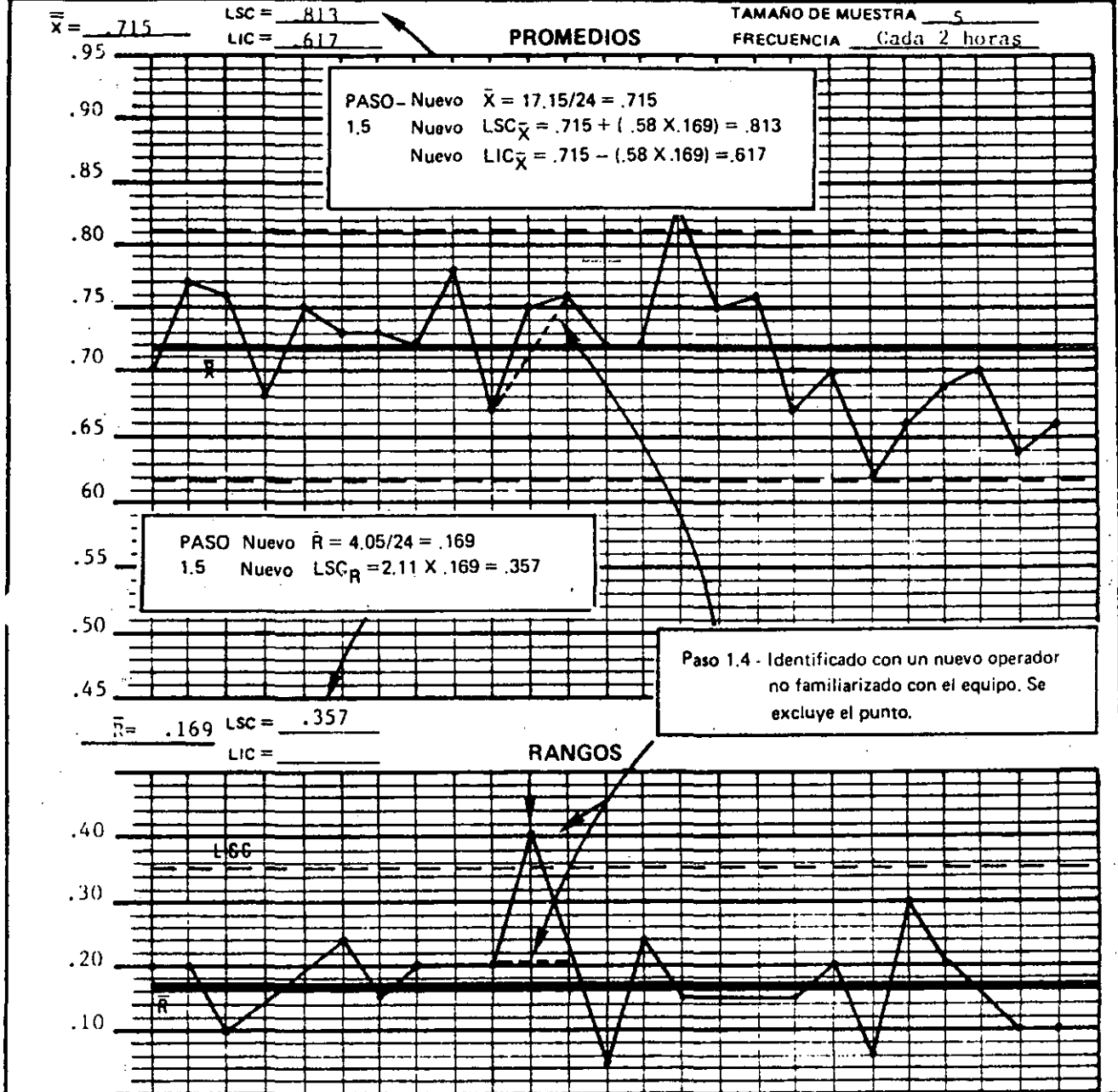
Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, deberá recalcular los límites de control para excluir los efectos de los puntos fuera de control cuyas causas fueron identificadas y corregidas. Omite los puntos fuera de control, recalcula y grafique el rango promedio ( $\bar{R}$ ) y los límites de control. Confirme que todos los puntos correspondientes a los rangos de los subgrupos estén bajo control cuando se les compare con los nuevos límites, repitiendo la secuencia de identificación/corrección y recálculo si fuera necesario.

Si algún punto de la gráfica de rangos fuera omitido debido a la identificación de una causa especial, deberá también ser excluido dicho punto de la gráfica  $\bar{X}$ . Los valores de  $\bar{X}$  y  $\bar{R}$  modificados deberán ser utilizados para recalcular los límites de control en la gráfica de promedios ( $\bar{X} \pm A_2\bar{R}$ ).



## GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES CONTROL DE PROCESO

|  |  |  |
|--|--|--|
| PLANTA/DEPARTAMENTO<br>LTD-Vestidura   | NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO<br>03-Doblado del Clip | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>E2BB-12321-A Reten  |
| ACTERISTICA MEDIDA<br>Ranura Diam. "A" | ESPECIFICACION<br>.50 a .90 mm.                              | ITEM CRITICO SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |



| FECHA/HORA | 6 8  |      |      |      | 6 9  |      |      |      | 6 10 |      |      |      | 6 11 |      |      |      | 6 12 |      |      |      | 6 15 |      |      |      | 6 16 |      |      |     |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 1          | .65  | .75  | .75  | .60  | .70  | .60  | .75  | .60  | .65  | .60  | .80  | .85  | .70  | .65  | .90  | .75  | .75  | .75  | .65  | .60  | .50  | .60  | .80  | .65  | .65  | .65  | .65  |     |
| 2          | .70  | .85  | .80  | .70  | .75  | .75  | .80  | .70  | .80  | .70  | .75  | .75  | .70  | .70  | .80  | .80  | .70  | .70  | .65  | .60  | .55  | .80  | .65  | .60  | .70  | .60  | .70  |     |
| 3          | .65  | .75  | .80  | .70  | .65  | .75  | .65  | .80  | .85  | .60  | .90  | .85  | .75  | .85  | .80  | .75  | .85  | .60  | .85  | .65  | .65  | .65  | .65  | .75  | .65  | .70  | .65  | .70 |
| 4          | .65  | .85  | .70  | .75  | .85  | .85  | .75  | .75  | .85  | .80  | .50  | .65  | .75  | .75  | .75  | .80  | .70  | .70  | .65  | .60  | .80  | .65  | .65  | .60  | .60  | .60  | .60  |     |
| 5          | .85  | .65  | .75  | .65  | .80  | .70  | .70  | .75  | .75  | .65  | .80  | .70  | .70  | .60  | .85  | .85  | .80  | .60  | .70  | .65  | .80  | .75  | .65  | .70  | .65  | .70  | .65  |     |
| SUM.       | 3.50 | 3.85 | 3.80 | 3.40 | 3.75 | 3.65 | 3.65 | 3.60 | 3.90 | 3.35 | 3.75 | 3.80 | 3.80 | 3.55 | 4.10 | 3.75 | 3.80 | 3.35 | 3.50 | 3.10 | 3.30 | 3.45 | 3.50 | 3.20 | 3.30 | 3.20 | 3.30 |     |
| $\bar{x}$  | .70  | .77  | .76  | .68  | .75  | .73  | .73  | .72  | .78  | .67  | .75  | .76  | .72  | .71  | .82  | .75  | .76  | .67  | .70  | .62  | .66  | .69  | .70  | .64  | .66  | .64  | .66  |     |
| R          | .20  | .20  | .10  | .15  | .20  | .25  | .15  | .20  | .20  | .20  | .40  | .20  | .05  | .25  | .15  | .15  | .15  | .15  | .20  | .05  | .30  | .20  | .15  | .10  | .10  | .10  | .10  |     |

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

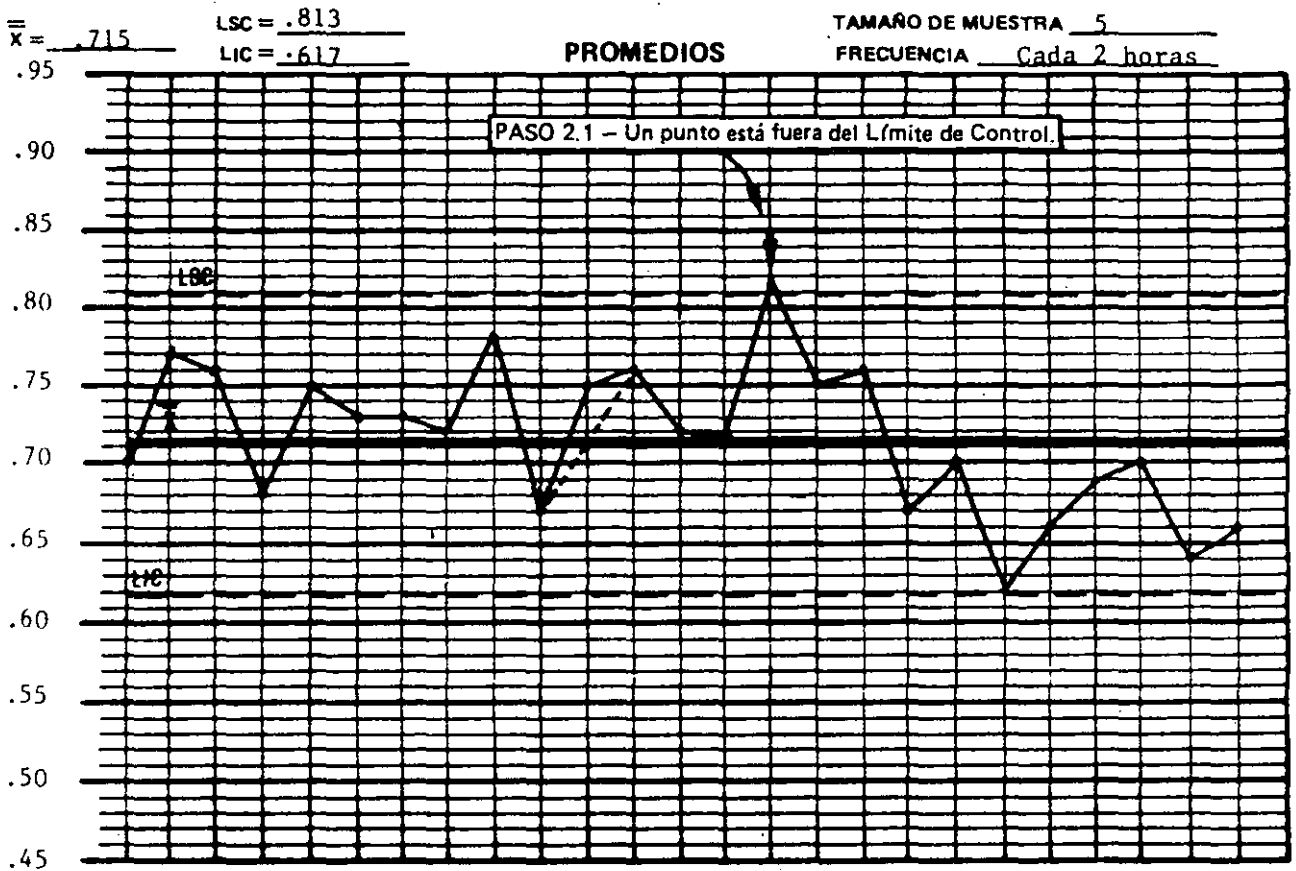


### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### PASO 2 – Analice el Conjunto de Datos en la Gráfica de Promedios ( $\bar{X}$ ).

Una vez concluido el análisis de la gráfica de rangos, proceda al análisis de la gráfica de promedios. Los pasos para dicho análisis son iguales a los ya descritos para la gráfica de rangos.

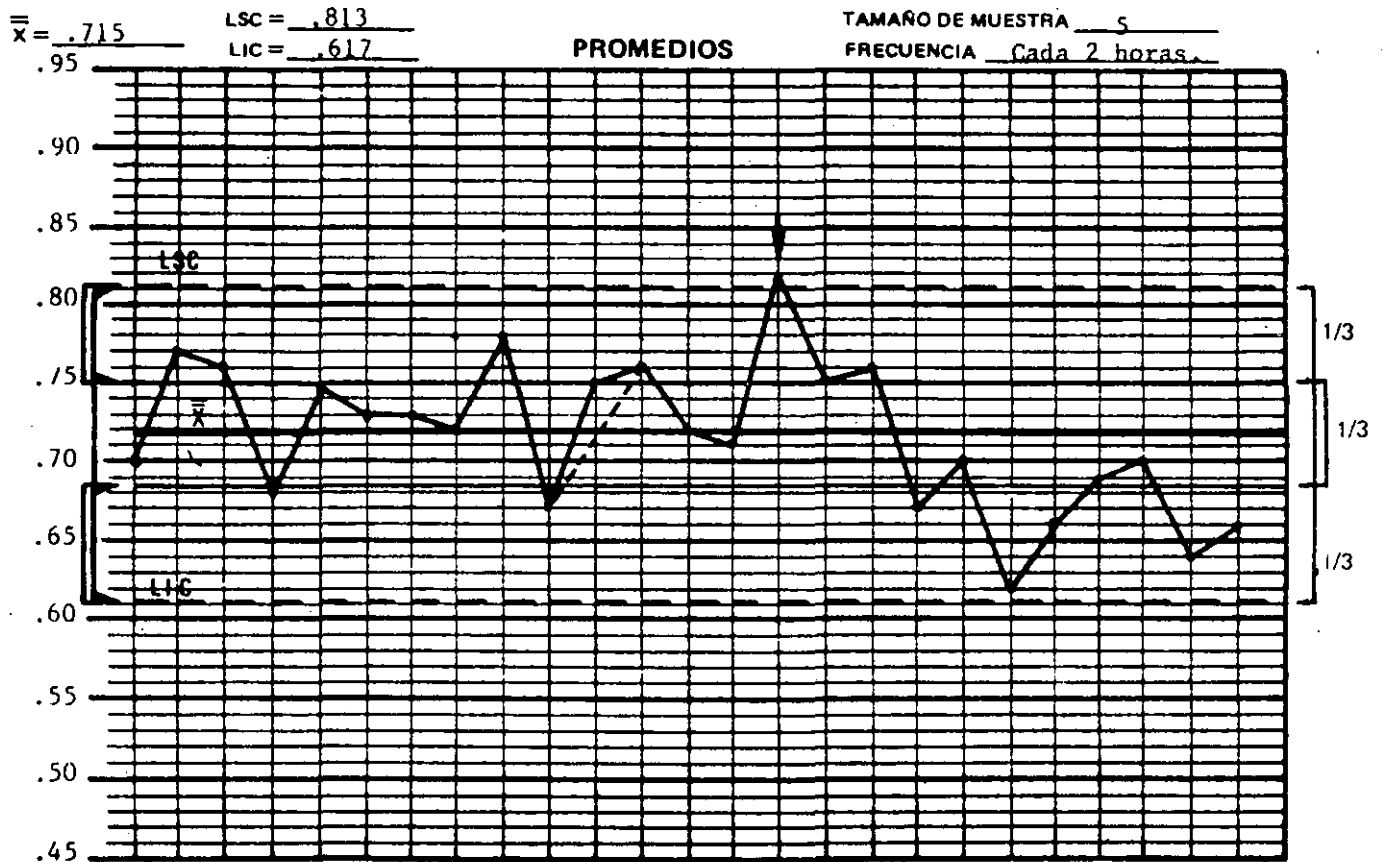
##### 2.1. Puntos fuera de los Límites de Control



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

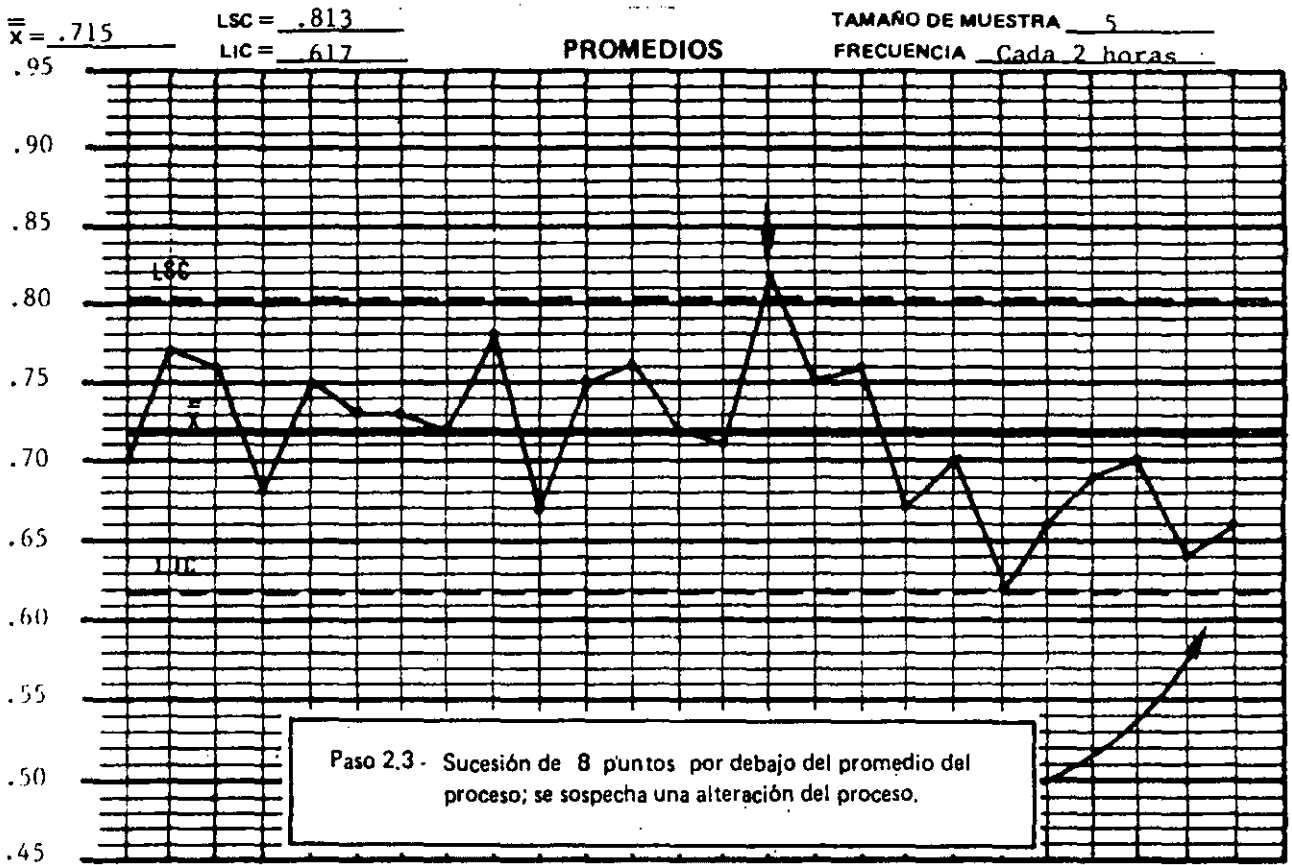
#### 2.2. Adhesión (Gráfica $\bar{X}$ )

- 16 de 25 puntos se encuentran en los tercios exteriores, por lo cual existe una adhesión a los límites de control; posible falta de control en el proceso.



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### 2.3. Series (Gráfica $\bar{X}$ )



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### 2.4. Identifique y corrija las Causas Especiales (Gráfica $\bar{X}$ )

Efectúe el análisis de la operación del proceso para determinar las causas ante cada indicación de falta de control proveniente de la gráfica de promedios; corrija la condición y tome las acciones que le permitan prevenir su repetición. La gráfica de control es muy útil como guía para determinar cuándo se inició un problema y cuánto tiempo lleva. Es muy importante la rapidez con la que se analice el problema para minimizar la producción de piezas que estén fuera de control.

#### 2.5. Recalcule los Límites de Control (Gráfica $\bar{X}$ )

Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, debe eliminar todos los puntos fuera de control para los cuales se encontraron las causas; recalcule y grafique el promedio del proceso ( $\bar{X}$ ) y sus límites de control. Confirme que todos los puntos estén bajo control cuando se les compare con los nuevos límites, repitiendo la secuencia de identificación, corrección y recálculo si fuera necesario.

#### 2.6. Extienda los Límites de Control para un Control Cotidiano

Una vez que se ha logrado mantener nuestro proceso dentro de control; es decir, cuando los datos se encuentren contenidos en forma consistente dentro de los límites de control, es necesario extender dichos límites para cubrir períodos futuros. Estos límites serán utilizados como referencia para el control continuo del proceso con el objeto de que el operario y/o supervisor tomen las acciones necesarias ante cualquier indicación de falta de control en las gráficas  $\bar{X}$ -R.

Un cambio en el tamaño de los subgrupos muestreados afectaría el rango promedio esperado y los límites de control en las gráficas de rangos y promedios. Esta situación pudiera ocurrir, por ejemplo, si se decide tomar muestras más pequeñas y más frecuentemente, de manera que puedan detectarse cambios grandes en el proceso más rápidamente sin aumentar el número total del muestreo por día. Para ajustar las líneas centrales y los límites de control para un nuevo tamaño de los subgrupos muestreados debe proceder como sigue:

1. Estime la desviación estándar del proceso (la estimación se indica como  $\hat{\sigma}$ ). Con base en el tamaño de la muestra anterior calcule:

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$$

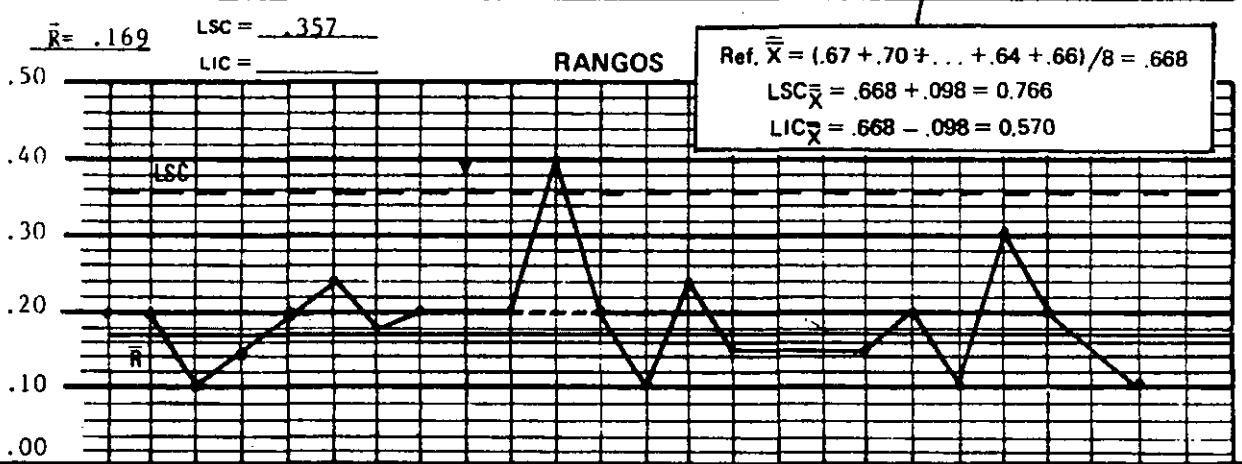
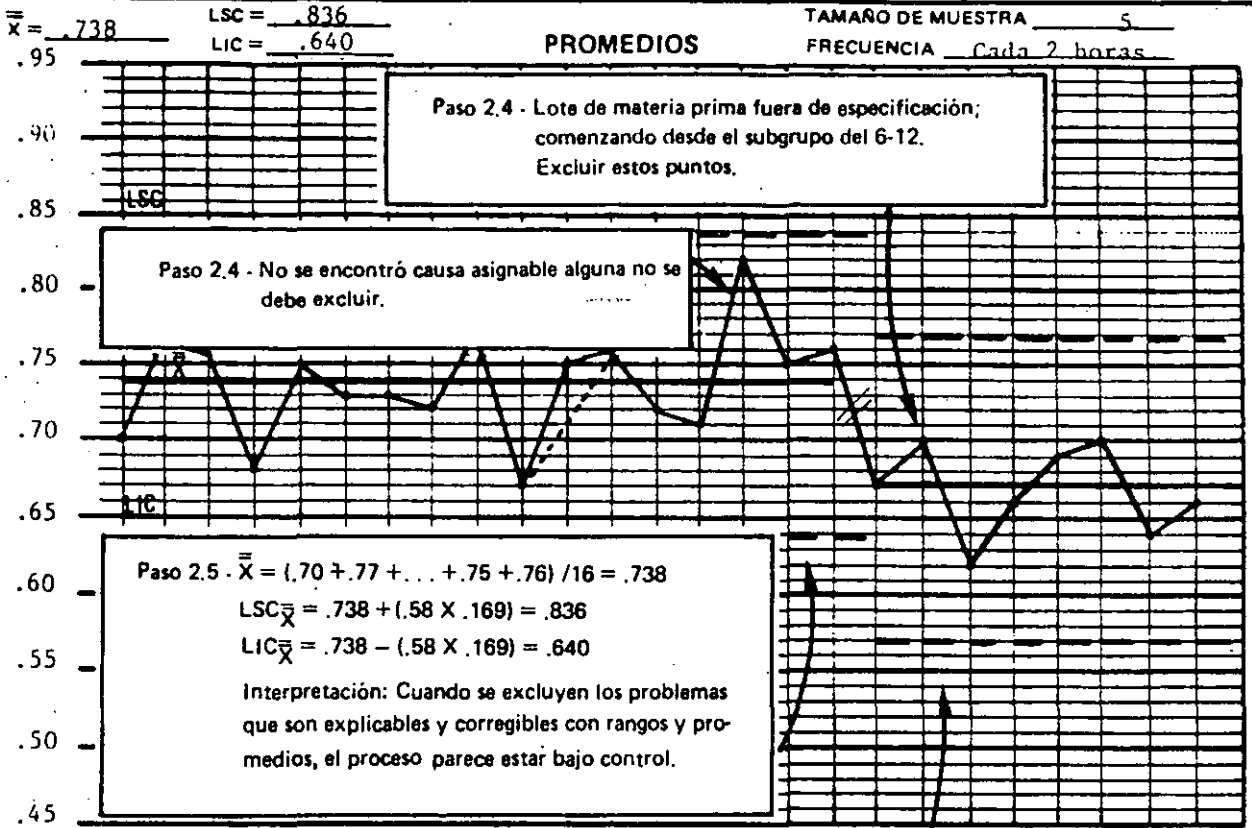
donde  $\bar{R}$  es el promedio de los rangos de los subgrupos (en los períodos en que los rangos estuvieron dentro de control) y  $d_2$  es una constante que se modifica en función del tamaño de la muestra, como se indica en la tabla siguiente:

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| $d_2$ | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 | 2.53 | 2.70 | 2.85 | 2.97 | 3.08 |



## GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES CONTROL DE PROCESO

|   |  |  |
|---|--|--|
| PLANTA/DEPARTAMENTO<br>LTD VESTIDURA    | NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO<br>030 Doblado de Clip | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>E2BB-12321-A Retón.                                       |
| CARACTERISTICA MEDIDA<br>Ranura Dim "A" | ESPECIFICACION<br>.500 - .900 mm.                            | ITEM CRITICO Si <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |



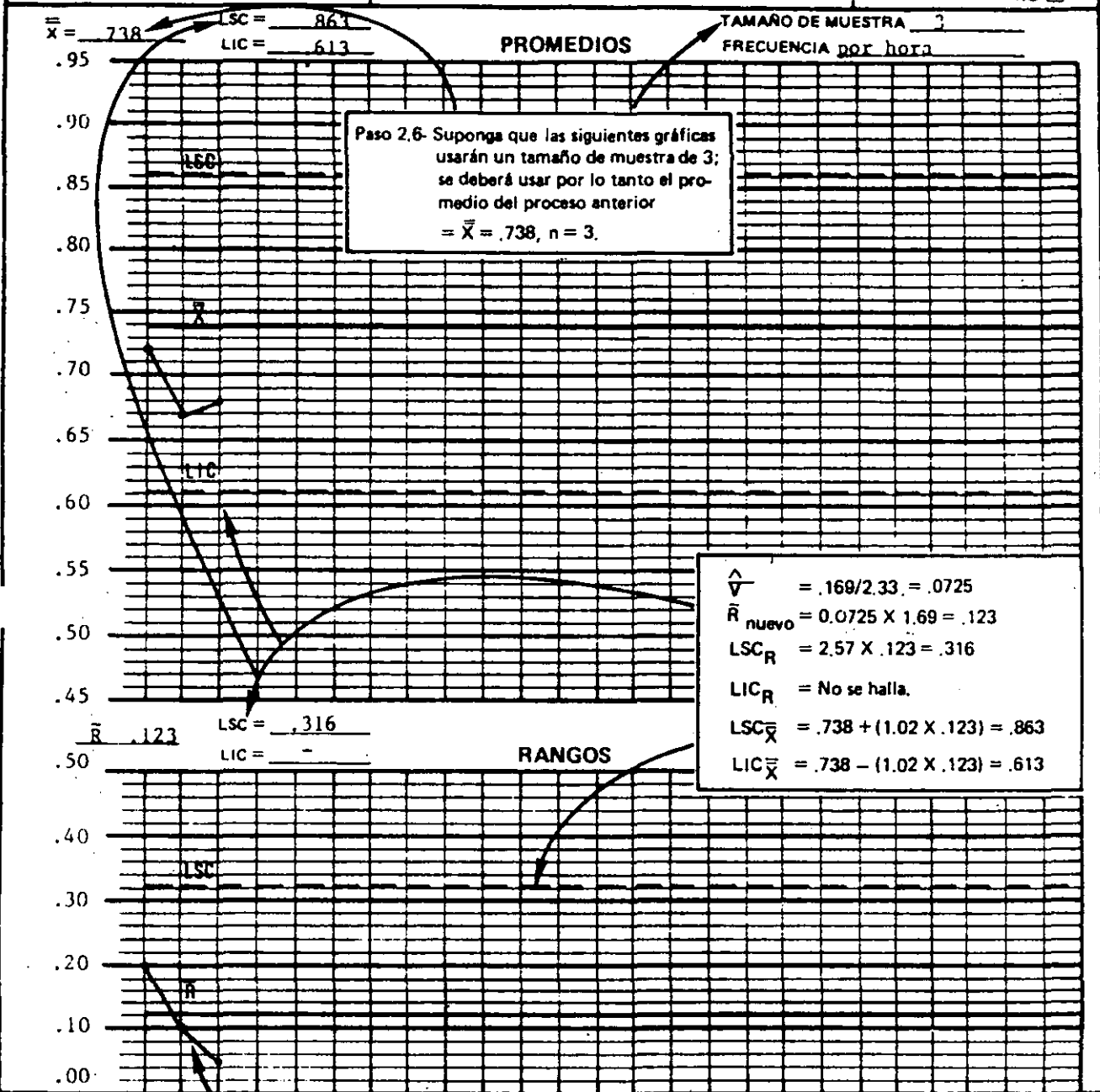
| FECHA/HORA | 6 8  |      |      |      |      | 6 9  |      |      |      |      | 6 10 |      |      |      |      | 6 11 |      |      |      |      | 6 12 |      |      |      |      | 6 15 |      |      |      |      | 6 16 |     |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 1          | .85  | .75  | .75  | .68  | .70  | .68  | .75  | .68  | .65  | .68  | .88  | .85  | .78  | .85  | .98  | .75  | .75  | .75  | .65  | .68  | .58  | .60  | .58  | .60  | .60  | .68  | .68  | .65  | .65  | .65  | .65  | .65 |
| 2          | .70  | .85  | .88  | .70  | .75  | .75  | .88  | .78  | .88  | .78  | .75  | .75  | .78  | .78  | .88  | .88  | .78  | .78  | .85  | .68  | .55  | .88  | .65  | .68  | .70  | .65  | .68  | .68  | .68  | .70  |      |     |
| 3          | .65  | .75  | .88  | .78  | .65  | .75  | .65  | .88  | .85  | .68  | .98  | .85  | .75  | .85  | .88  | .75  | .85  | .68  | .85  | .65  | .65  | .65  | .65  | .65  | .75  | .65  | .75  | .65  | .65  | .78  |      |     |
| 4          | .65  | .85  | .78  | .75  | .85  | .85  | .75  | .75  | .85  | .88  | .58  | .65  | .75  | .75  | .75  | .88  | .78  | .78  | .65  | .68  | .88  | .85  | .65  | .68  | .68  | .65  | .68  | .68  | .68  | .68  |      |     |
| 5          | .85  | .85  | .75  | .65  | .88  | .78  | .78  | .75  | .75  | .65  | .88  | .78  | .78  | .68  | .85  | .65  | .88  | .68  | .78  | .65  | .88  | .75  | .65  | .78  | .65  | .78  | .65  | .65  | .65  | .65  |      |     |
| SUM.       | 3.58 | 3.05 | 3.88 | 3.48 | 3.75 | 3.65 | 3.65 | 3.88 | 3.98 | 3.35 | 3.75 | 3.88 | 3.68 | 3.55 | 4.18 | 3.75 | 3.88 | 3.35 | 3.58 | 3.18 | 3.38 | 3.45 | 3.58 | 3.28 | 3.38 | 3.28 | 3.38 | 3.28 | 3.28 | 3.38 |      |     |
| $\bar{x}$  | .78  | .77  | .78  | .68  | .75  | .73  | .73  | .72  | .78  | .67  | .75  | .78  | .72  | .71  | .82  | .75  | .76  | .67  | .78  | .62  | .66  | .69  | .78  | .64  | .66  | .64  | .66  | .66  | .66  | .66  |      |     |
| R          | .28  | .28  | .18  | .15  | .28  | .25  | .15  | .28  | .28  | .28  | .48  | .28  | .05  | .25  | .15  | .15  | .15  | .15  | .28  | .05  | .38  | .28  | .15  | .18  | .18  | .18  | .18  | .18  | .18  | .18  |      |     |

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.



## GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES CONTROL DE PROCESO

|   |   |   |
|---|---|---|
| PLANTA/DEPARTAMENTO<br>L.T.D. Vestidura | NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO<br>030 Doblado de Clip. | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>E2BB-12321-A Reten   |
| RACTERISTICA MEDIDA<br>Ranura Dim. "A"  | ESPECIFICACION<br>.50 a .90 mm.                               | ITEM CRITICO<br>SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |



|            |      |           |
|------------|------|-----------|
| FECHA/HORA | 6    | 17        |
| 1          | .88  | .68 .65   |
| 2          | .75  | .70 .70   |
| 3          | .68  | .70 .70   |
| 4          |      |           |
| 5          |      |           |
| SUM.       | 2.15 | 2.00 2.05 |
| $\bar{x}$  | .72  | .67 .68   |
| R          | .20  | .10 0.05  |

Graficar los nuevos datos contra los Límites de Control en vigencia.

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

2. Con base en los factores tabulados  $d_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  y  $A_2$  correspondientes al nuevo tamaño de muestra, calcule el nuevo rango promedio y los límites de control:

$$\bar{R}_{\text{nuevo}} = \hat{\sigma} d_2$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}_{\text{nuevo}}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}_{\text{nuevo}}$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}_{\text{nuevo}}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}_{\text{nuevo}}$$

Marque estos nuevos límites de control en las gráficas como base para el control continuo del proceso.

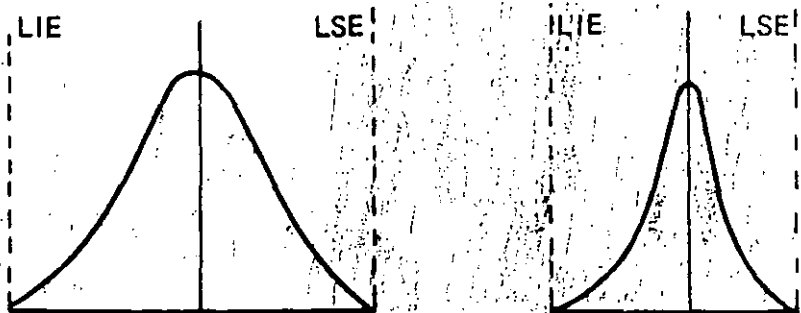
NOTA: Se deberá usar el promedio ( $\bar{\bar{X}}$ ) del proceso anterior.

#### 3.1.3. Interpretación de la Habilidad del Proceso

Una vez que se ha determinado si el proceso está en control estadístico (puntos dentro de los límites de control o puntos distribuidos sin tendencias) la siguiente pregunta será si el proceso es HABIL; esto es ¿cumple con las especificaciones de Ingeniería en forma consistente? La siguiente figura muestra el concepto de un proceso hábil.

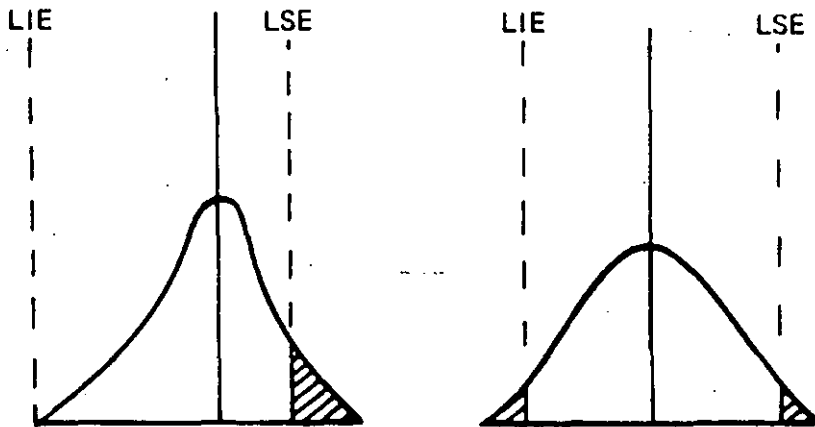
LIE-Límite Inferior  
Especificado

LSE-Límite Superior  
Especificado



Si la habilidad no es aceptable, entonces un cambio importante debe ser hecho para mejorar el sistema. Dado que la habilidad refleja una variación de causas comunes (ya que las causas especiales fueron corregidas para mantener el proceso bajo control), la falta de dicha habilidad en un proceso casi siempre se debe a fallas en el sistema. A continuación se muestran dos procesos iguales.

### 3.- HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO



El procedimiento para evaluar la habilidad del proceso comienza después de que el problema de control en las gráficas  $\bar{X}$  y R ha sido resuelto (causas especiales para evitar su repetición) y el control continuo de las gráficas refleja que el proceso está en control estadístico en 25 ó más subgrupos.

A continuación se describe la secuencia para determinar la habilidad del proceso.

#### PASO 1 – Calcule la desviación estándar del proceso.

Dado que la variación en el proceso de una pieza a otra se refleja en el rango del subgrupo, la estimación de la desviación estándar  $\hat{\sigma}$  (se lee sigma testada), está basada en el promedio de rangos ( $\bar{R}$ ) calculado en la gráfica de control mediante la siguiente fórmula:

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

donde  $\bar{R}$  es el promedio de rangos de los subgrupos (para periodos en que el rango se encuentra en control) y  $d_2$  es una constante que cambia en función del tamaño de la muestra, como se indica en la tabla siguiente:

| Tamaño de la muestra (n) | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| $d_2$                    | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 | 2.53 |

Para el ejemplo en estudio:

$$\bar{R} = .169$$



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

$$n = 5$$

$$d_2 = 2.33$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.169}{2.33} = .0725$$

$$\bar{\bar{X}} = 0.738$$

$$LIE = .500$$

$$LSE = .900$$

#### PASO 2 – Calcule la Habilidad del Proceso

La habilidad de un proceso es descrita en términos de la distancia que hay entre el promedio del proceso ( $\bar{\bar{X}}$ ) y los límites de especificación, para esto definiremos dicha distancia en unidades que llamaremos Z.

Cuando la tolerancia de la especificación es unilateral, es decir hacia un solo lado:

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

donde:

LE = Límite especificado

$\bar{\bar{X}}$  = Promedio del Proceso y

$\hat{\sigma}$  = Desviación estándar del proceso.

Para tolerancias bilaterales, es decir hacia ambos lados:

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{\hat{\sigma}} \quad Z_l = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{\hat{\sigma}}$$

donde:

LSE = Límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

$Z_s$  = Z superior

$Z_l$  = Z inferior

Z es usada en conjunto con la tabla de distribución normal para estimar la fracción de piezas que estarán fuera de especificación (una vez que el proceso está bajo control estadístico).

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

- Para una tolerancia unilateral (busque el valor de Z a lo largo de los bordes de la tabla de distribución normal). Los dígitos de unidades y decenas están colocados a lo largo de la columna izquierda y el de las centenas a lo largo del renglón superior.

El número que corresponde a la intersección de estas columnas y renglones, lo llamaremos  $P_Z$  y representa la fracción de piezas fuera de especificación. Por ejemplo, para  $Z=1.56$ ; la intersección de la columna en 1.5 y el renglón x.x6 nos dará  $P_Z=0.0594$  (ver tabla de área bajo la curva normal en el apéndice).

- Para una tolerancia bilateral, calcule las fracciones fuera de los límites superior e inferior por separado y súmelos, por ejemplo, si  $Z_s = 2.21$  y  $Z_l = 2.85$ , el total fuera de especificación será:  $P_{Z_s} + P_{Z_l} = 0.0136 + 0.0022 = 0.0158$  en términos de porcentaje (multiplique por 100), el 1.58% de piezas está fuera de especificación.

Para el ejemplo en estudio:

$$\bar{X} = 0.738$$

$$\hat{\sigma} = 0.0725$$

$$LSE = 0.900$$

$$LIE = 0.500$$

Como este proceso tiene tolerancias bilaterales:

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{.900 - .738}{.0725} = \frac{.162}{.0725} = 2.23$$

$$Z_l = \frac{\bar{X} - LIE}{\hat{\sigma}} = \frac{.738 - .500}{.0725} = \frac{.238}{.0725} = 3.28$$

Las fracciones fuera de especificación serán:

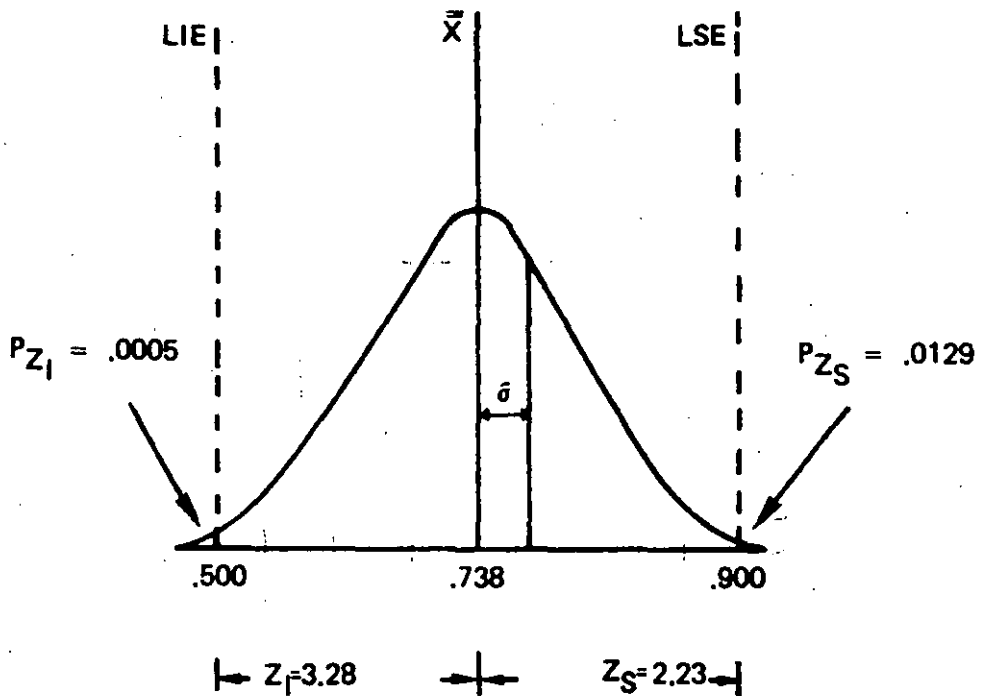
$$P_{Z_s} = 0.0129 \text{ (valor encontrado en la tabla)}$$

$$P_{Z_l} = 0.0005 \text{ (valor encontrado en la tabla)}$$

$$P_{\text{total}} = 0.0134$$

en términos de porcentaje 1.34%

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO



Tomando en consideración que un proceso puede considerarse hábil cuando el 99.73% de las observaciones están dentro de la especificación para  $\pm 3\sigma$  y 99.996% para  $\pm 4\sigma$ . Este proceso no es hábil para  $\pm 3\sigma$  ni para  $\pm 4\sigma$ , ya que sólo el  $100\% - 1.34\% = 98.66\%$  se encuentra dentro de especificaciones.

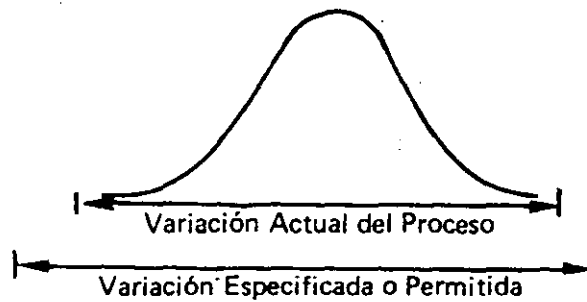
Otra forma de evaluar la habilidad en los procesos es a través de los parámetros  $C_p$  y  $C_{pK}$ .

El parámetro  $C_p$  muestra la habilidad potencial que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones del diseño.

El parámetro  $C_{pK}$  muestra la habilidad real que tiene el proceso.

El parámetro  $C_p$  está definido como la comparación entre la variación actual del proceso y la variación permitida por especificación.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO



Así entonces la habilidad potencial del proceso queda definida como:

$$C_p = \frac{\text{Variación Especificada o Permitida}}{\text{Variación Actual del Proceso}}$$

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

$$W = LSE - LIE$$

$$C_p = \frac{W}{6\sigma}$$

Donde:

$$W = LSE - LIE$$

LSE = Límite Superior Especificado

LIE = Límite Inferior Especificado

Así un valor de  $C_p = 1.00$  para  $\pm 3\sigma$  y  $C_p = 1.33$  para  $\pm 4\sigma$  son los requerimientos mínimos para decir que un proceso es potencialmente hábil.

Cualquier valor menor que 1 del índice  $C_p$  implica que el proceso no es potencialmente hábil.

Es deseable conocer cuál es el potencial de habilidad del proceso, pero también es necesario evaluar la habilidad real del proceso lo cual es posible a través del parámetro  $C_{pK}$  y puede calcularse en dos formas:

1) A través del parámetro  $Z$  definido en la sección anterior

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

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

2) A través del parámetro  $C_p$  y se obtiene en la forma siguiente:

a) Definir el punto medio de la especificación

$$M = \frac{LSE + LIE}{2}$$

LSE = Límite Superior Especificado

LIE = Límite Inferior Especificado

b) Definir la diferencia entre el punto medio de la especificación y el promedio del proceso.

$$D = |M - \bar{X}|$$

M = Punto Medio Especificado

$\bar{X}$  = Promedio del Proceso

NOTA: Se deben considerar valores absolutos | |

c) Definir el índice de localización k

$$k = \frac{2D}{W} \quad \text{Donde: } W = LSE - LIE$$

d) Finalmente  $C_{pK}$  quedará definido como:

$$C_{pK} = C_p (1 - K)$$

Para considerar que un proceso es realmente hábil debemos tener como mínimo  $C_{pK} > 1.00$  para  $\pm 3\sigma$  y  $C_{pK} > 1.33$  para  $\pm 4\sigma$ .

Así; para el ejemplo que veníamos manejando:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{0.900 - 0.500}{6(0.0725)} = 0.919$$

$C_p = 0.919$  es menor que 1, por lo que el proceso potencialmente no es hábil.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Por lo tanto ya no sería necesario evaluar la habilidad real pero como ejercicio vamos a desarrollarlo:

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

$$Z_S = 2.23 \quad Z_I = 3.28$$

Por lo tanto  $Z_{\min} = 2.23$

$$C_{PK} = \frac{2.23}{3} = 0.743$$

Como  $C_{PK} = 0.743$  es menor que 1, por lo tanto este proceso no es realmente hábil ni para  $\pm 3\sigma$  ni para  $\pm 4\sigma$ .

Calculando ahora el  $C_{PK}$  por el otro método tenemos:

$$\begin{aligned} \text{a) } M &= \frac{LSE + LSI}{2} \\ M &= \frac{.900 + .500}{2} = 0.7 \end{aligned}$$

$$M = 0.7$$

$$\begin{aligned} \text{b) } D &= IM \cdot \bar{X}_I \\ D &= 10.7 \cdot 0.7381 \\ D &= 0.038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } K &= \frac{2D}{W} \\ K &= \frac{2(0.038)}{0.400} \\ K &= 0.19 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } C_{PK} &= C_p(1-K) \\ C_{PK} &= 0.919(1-0.19) \\ C_{PK} &= 0.744 \end{aligned}$$

La conclusión es similar a la del método donde usamos el parámetro  $Z$  ya que los valores son casi iguales.

A continuación se muestra un diagrama de flujo que indica los pasos a seguir para el cálculo de la habilidad de un proceso que se encuentra en control estadístico:

### CALCULO DE LA HABILIDAD DEL PROCESO

SUMA DE  $\bar{X}$  =   
A

SUMA DE R =   
B

PROMEDIO DE  $\bar{X}$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{A}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \underline{\quad} =$$

$\bar{\bar{X}}$

PROMEDIO DE R

$$\bar{R} = \frac{B}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \underline{\quad} =$$

$\bar{R}$

LIMITE SUPERIOR DE CONTROL  $\bar{X}$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \times \bar{R} = \quad + \quad \times \quad =$$

$LSC_{\bar{X}}$

LIMITE INFERIOR DE CONTROL  $\bar{X}$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \times \bar{R} = \quad - \quad \times \quad =$$

$LIC_{\bar{X}}$

LIMITE SUPERIOR DE CONTROL R

$$LSC = D_4 \times \bar{R} = \quad \times \quad =$$

$LSC_R$

DESVIACION ESTANDAR

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \underline{\quad} =$$

PARAMETRO INFERIOR

$$Z_1 = \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{\hat{\sigma}} = \underline{\quad} =$$

$Z_1$

PARAMETRO SUPERIOR

$$Z_S = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{\hat{\sigma}} = \underline{\quad} =$$

$Z_S$

CALCULO DEL PORCENTAJE DEFECTUOSO

$$P_Z = P_{Z1} + P_{ZS}$$

(Ver Tabla)

PROBABILIDAD  $P_Z =$    $+$    $=$

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

$$K = 1 - \frac{C_{pK}}{C_p} = 1 - \frac{\quad}{\quad} =$$

$$C_{pK} = C_p (1 - K) = (1 - \quad) =$$

$$C_{pK} = \frac{Z_{min.}}{3} = \frac{\quad}{3} =$$

| TAMAÑO DE LA MUESTRA | 2    | 3    | 4    | 5    |
|----------------------|------|------|------|------|
| $A_2$                | 1.88 | 1.02 | 0.73 | 0.58 |
| $D_4$                | 3.27 | 2.57 | 2.28 | 2.11 |
| $d_2$                | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 |



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### PASO 3 – Evalúe la Habilidad del Proceso

En este punto el proceso está bajo control estadístico y su habilidad ha sido calculada, el próximo paso es evaluar la habilidad del proceso y decidir si es aceptable o no.

Es necesario recordar que el objetivo fundamental de nuestras acciones es el constante mejoramiento en la habilidad del proceso durante su desarrollo; pero se deben establecer las prioridades para dar atención al proceso. Esta es una decisión que generalmente implica repercusiones económicas, sin embargo las circunstancias varían de un caso a otro, dependiendo de la naturaleza del proceso en particular y de la habilidad de otros procesos que también deberán ser sometidos a una acción de mejoramiento inmediato.

Mientras cada una de estas decisiones es resuelta individualmente, es útil usar pautas más amplias para establecer prioridades y facilitar la consistencia de los esfuerzos para el mejoramiento.

Por ejemplo, en el Q-101 se especifica que para estudios del Potencial del Proceso que afecte las características significativas del producto deberá cumplir con una habilidad de  $\pm 4 \hat{\sigma}$  (99.99%) y para procesos estables  $\pm 3 \hat{\sigma}$  (99.73%); ésto está dirigido a asegurar un nivel mínimo de rendimiento que sea consistente con las características del producto.

Cuando existe un criterio de habilidad, la regla para decidir se simplifica; los procesos que fallan en cumplir con el criterio requieren de una acción inmediata. En estas situaciones, existe un grupo limitado de opciones disponibles:

- Seleccionar el producto y desechar o reparar cualquier pieza que no cumpla con las especificaciones (una propuesta costosa y no confiable que tolera un derroche continuo), o
- Requerir que las tolerancias de las especificaciones sean alteradas y sean consistentes con la habilidad del proceso actual (una acción administrativa que no mejorará directamente el producto y que sería aprobada solamente si las características del diseño no estuvieran comprometidas), o
- Mejorar la habilidad del proceso mediante la reducción de la variación de las causas comunes.

#### PASO 4 – Corrija la Habilidad del Proceso

A partir del momento en que las causas especiales que afectan el control del proceso han sido eliminadas (es conveniente recordar que esto es necesario para mantener el proceso en control estadístico) los problemas que hacen que la habilidad del mismo sea inaceptable son generalmente debido a causas comunes por fallas del sistema. Las acciones deben ser dirigidas hacia los factores del proceso que generan su variabilidad, tales como la habilidad inherente de la máquina, consistencia en la calidad de los materiales

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

utilizados, los métodos básicos de operación del proceso o las condiciones ambientales de trabajo. Como regla general, la falta de habilidad de un proceso por causas relacionadas con los sistemas van más allá de las posibilidades de corrección por parte de los operadores o supervisores. Frecuentemente requieren la ayuda del grupo gerencial para efectuar los cambios necesarios en la aprobación del recurso y proveer de la coordinación necesaria para mejorar la habilidad. Los intentos para corregir las fallas del sistema con acciones locales independientes no tendrán éxito.

#### PASO 5 -- Grafique y Analice el Proceso Modificado

Una vez tomadas las acciones correctivas en el sistema, sus efectos deben hacerse visibles en las gráficas de control, especialmente en la reducción de los valores de los rangos. Las gráficas en este caso son una forma de verificar la efectividad de las acciones tomadas.

En la medida que se implementen cambios en el proceso, debe realizarse un seguimiento cuidadoso a través de las gráficas de control. El período de cambio puede generar nuevos problemas potenciales en otras operaciones que pueden encubrir el efecto real del cambio del sistema.

#### 3.2. GRAFICAS DE MEDIANAS

Las gráficas de mediana son alternantes a las  $\bar{X}$ -R para control de procesos con datos medidos, éstas proporcionan conclusiones similares pero tienen varias ventajas específicas:

- \* Las gráficas de medianas son fáciles de usar y no requieren cálculos día con día. Estas pueden incrementar o iniciar la aceptación a nivel planta (operario) del uso de las gráficas de control.
- \* Dado que los valores individuales (al igual que las medianas) son graficados, la gráfica de medianas muestra la dispersión del proceso y ofrece un panorama continuo de las variaciones del proceso.
- \* Dado que una misma gráfica muestra tanto la mediana como la dispersión, ésta puede ser usada para comparar los comportamientos de diferentes procesos o del mismo en etapas sucesivas:

Las instrucciones para el uso de las gráficas de medianas son similares a las de las gráficas  $\bar{X}$ -R excepto por:

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### PASO 1 – Obtención de Datos (ver pág. 21)

Las excepciones se muestran a continuación:

- Generalmente las gráficas de medianas se emplean con un tamaño de muestras de subgrupo de 10 ó menos. Los tamaños de muestra noes son más convenientes.
- Sólo una gráfica es usada. Establezca la escala de manera que: a) incluya el límite superior especificado, o b) que incluya de 1 1/2 a 2 veces la diferencia entre el valor mayor y menor de las lecturas individuales. El calibrador usado deberá dividir la tolerancia del producto en al menos 20 divisiones y, las escalas de la gráfica deben de ser congruentes con el calibrador.
- Grafique las mediciones individuales para cada subgrupo en línea vertical. Circule la mediana de cada subgrupo (número central; si el tamaño de muestra es par, la mediana será la media de los 2 puntos centrales).

Como ayuda para la interpretación de tendencias, una las medianas de los subgrupos con una línea sólida.

- Registre la mediana de cada subgrupo ( $\bar{X}$ ) y el rango (R) en la tabla de datos.

#### PASO 2 – Cálculo de los Límites de Control (ver pág. 24)

Las excepciones se muestran a continuación:

- Encuentre el promedio de las medianas de los subgrupos y dibújelos como la línea central en la gráfica. Regístrelo como  $\bar{\bar{X}}$ .
- Encuentre el promedio de los rangos; regístrelo como  $\bar{R}$ .
- Calcule los límites de control superior e inferior para rangos y medianas ( $LSC_R$ ,  $LIC_R$ ,  $LSC_{\bar{X}}$  y  $LIC_{\bar{X}}$ ).

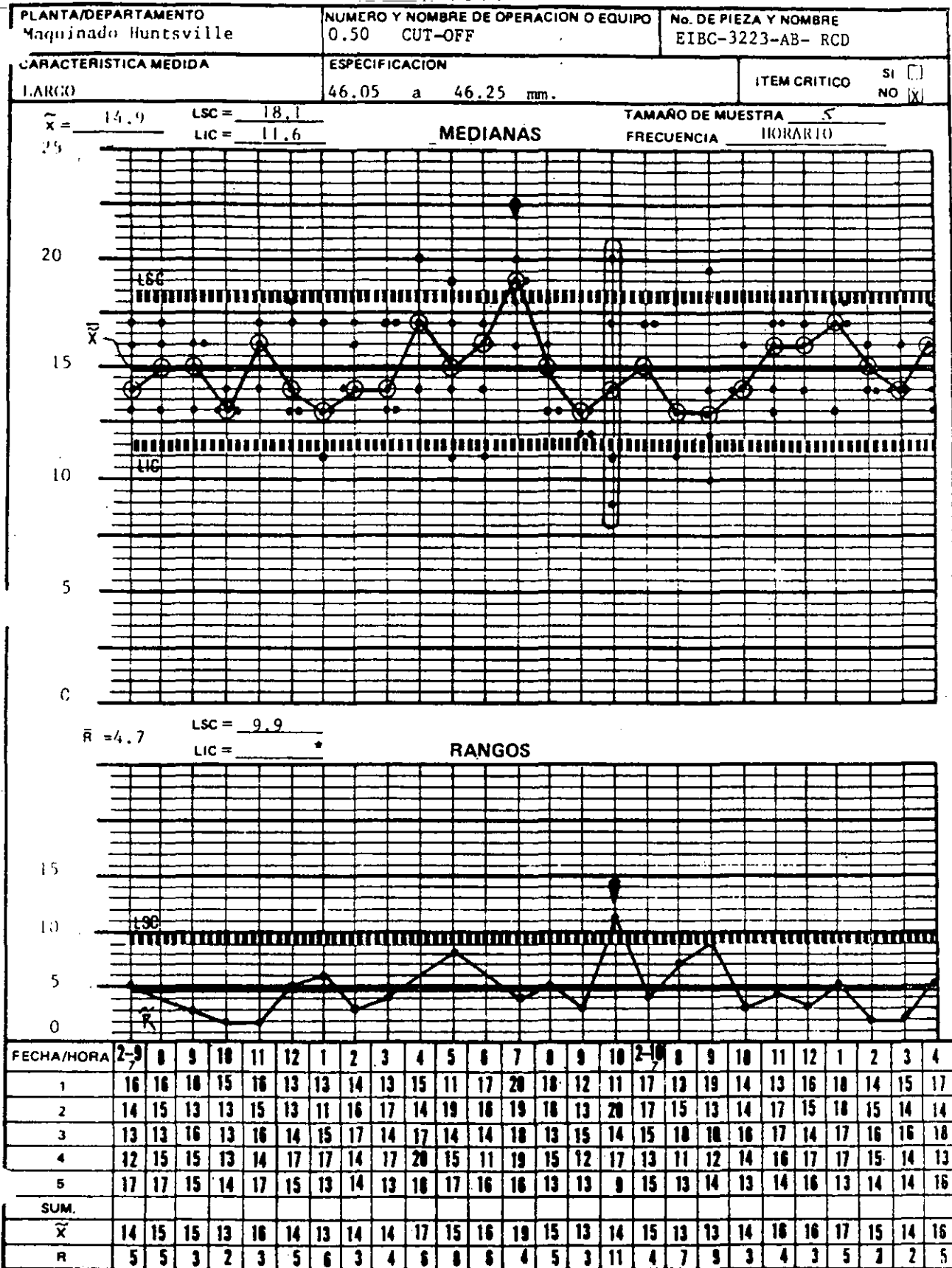
$$\begin{aligned}LSC_R &= D_4 \bar{R} \\LIC_R &= D_3 \bar{R}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}LSC_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + \bar{A}_2 \bar{R} \\LIC_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - \bar{A}_2 \bar{R}\end{aligned}$$

donde:  $D_4$ ,  $D_3$  y  $\bar{A}_2$  son constantes que varían de acuerdo a los tamaños de muestra. Los valores para los tamaños de muestra de 2 a 10 se muestran en la siguiente tabla:



## GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES CONTROL DE PROCESO



Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

| n           | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $D_4$       | 3.27 | 2.57 | 2.28 | 2.11 | 2.00 | 1.92 | 1.86 | 1.82 | 1.78 |
| $D_3$       | *    | *    | *    | *    | *    | 0.08 | 0.14 | 0.18 | 0.22 |
| $\bar{A}_2$ | 1.88 | 1.19 | 0.80 | 0.69 | 0.55 | 0.51 | 0.43 | 0.41 | 0.36 |

- \* No hay límites inferiores de control para rangos en tamaños de muestra menores a 7.
- \* Grafique los límites de control para las medianas en la gráfica.

#### PASO 3 – Interpretación del Control del Proceso ( ver pág. 27 ).

Las excepciones se muestran a continuación:

- \* Compare el  $LSC_R$  y el  $LIC_R$  con cada rango calculado. Alternativamente marque el filo de una tarjeta cualquiera con los límites de control para R y compare estas marcas con la distancia entre el valor mayor y menor en cada subgrupo de la gráfica  $\bar{X}$ . Enmarque aquellos subgrupos con rangos excesivos.
- \* Marque cualquier mediana de subgrupos que esté fuera de los límites de control de medianas y observe la dispersión de medianas dentro de los límites de control (2/3 de los puntos dentro del tercio medio de los límites) o la existencia de patrones o tendencias.
- \* Tome acciones correctivas para las causas especiales que afecten a los rangos o medianas.

#### PASO 4 – Interpretación de la Habilidad del Proceso (ver pág. 43 ).

Las excepciones se muestran a continuación:

- \* Estime la desviación estándar del proceso.

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

donde:  $\bar{R}$  es el promedio de los rangos de las muestras (para períodos con los rangos bajo control) y  $d_2$  es una constante que varía de acuerdo al tamaño de la muestra mostrada abajo para tamaños de muestra de 2 a 10.

| n     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $d_2$ | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 | 2.53 | 2.70 | 2.85 | 2.97 | 3.08 |

**Ejemplo de Control de Proceso:**

Solamente se usa la gráfica de Medianas.

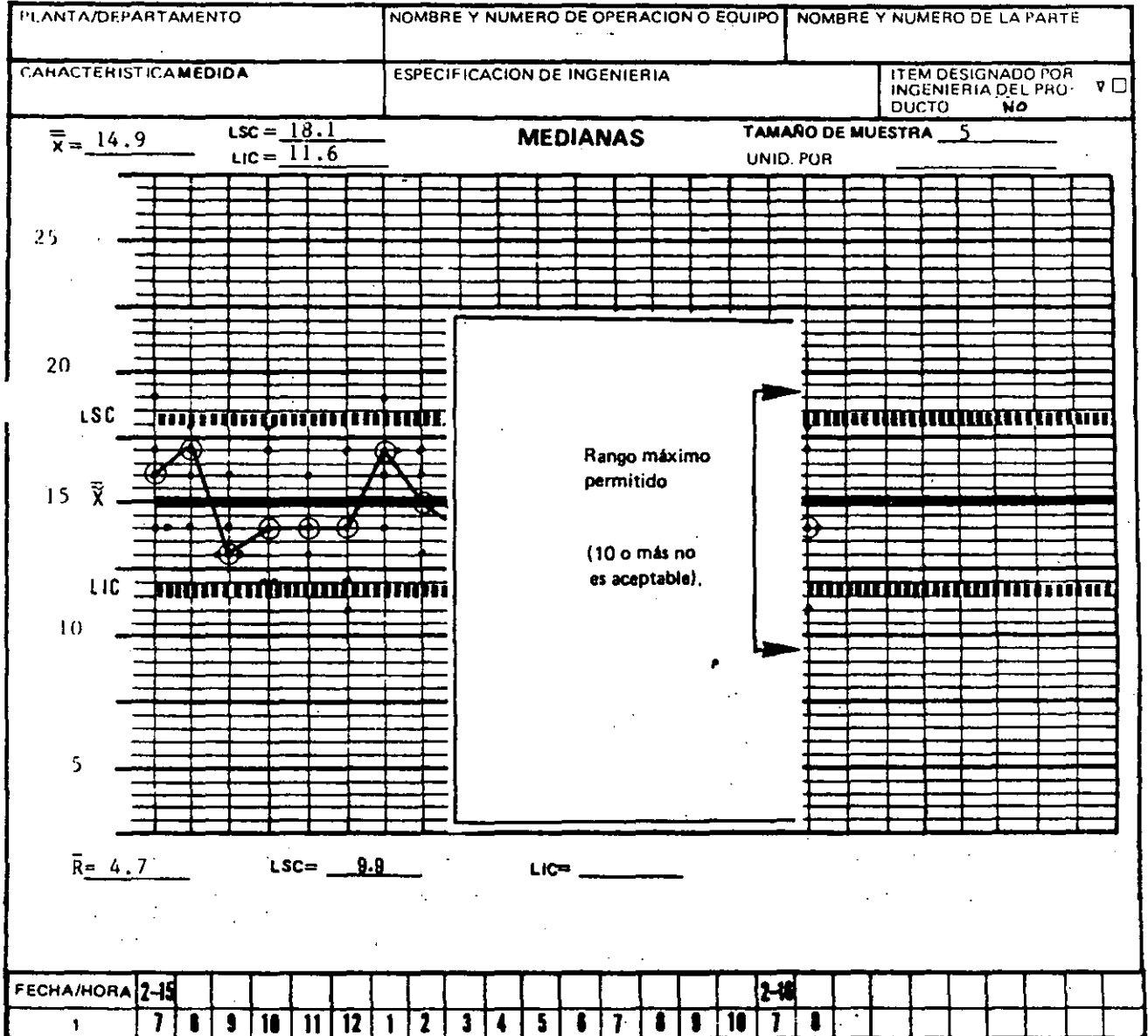
La línea central es el promedio de las medianas de los subgrupos del período de estudio anterior.

Los límites de control están basados en los rangos del período de estudio anterior.

Los datos son marcados directamente en la gráfica.

Las medidas son circularizadas y comparadas con los límites de control.

Una tarjeta marcada con el  $LSC_R$  es usada para verificar los rangos de cada subgrupo.



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

- Si el proceso tiene una distribución normal, el estimado de la desviación estándar puede ser usado directamente en la determinación de la habilidad del proceso, siempre y cuando los rangos y las medianas estén bajo control estadístico.

NOTA: Para control continuo del proceso donde los límites de control están basados en datos anteriores, el proceso de elaboración de la gráfica puede ser simplificado como sigue:

- Una sola gráfica es usada con las escalas establecidas con las mismas divisiones que el calibrador usado (al menos 20 divisiones entre los límites especificados del producto), y con la línea central y los límites de control para medianas ya registrados.
- Una tarjeta (posible de plástico) es usada, marcada con los límites de control para los rangos.
- El operador marca la gráfica con cada lectura individual, pero los valores numéricos no necesitan ser registrados.
- Para cada subgrupo, el operador compara la tarjeta de rangos con las marcas mayores y menores del subgrupo; cualquier subgrupo con un rango fuera de los límites de la tarjeta se enmarca.
- El operador identifica la mediana de cada subgrupo y la circula; cualquier mediana fuera de los límites de control se identifica con una marca.
- Para rangos o medianas fuera de los límites de control, el operador toma acciones apropiadas para ajustar o corregir el proceso, o notifica a su supervisor.

#### 3.3. GRAFICAS POR LECTURAS INDIVIDUALES

En algunos casos, es necesario que los controles de proceso estén basados en lecturas individuales, en vez de un subgrupo. Esto sucedería cuando las mediciones son muy costosas (ej. pruebas destructivas), o cuando la característica a medir en cualquier punto en el tiempo es relativamente homogénea (ej. el PH de una solución química). En estos casos, gráficas de control para lecturas individuales pueden ser construídas como se describe a continuación, se deben tomar en cuenta cuatro precauciones:

- Las gráficas por lecturas individuales no son tan sensibles a los cambios en los procesos como las gráficas  $\bar{X}$  y R.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

- \* Las gráficas por lecturas individuales deben ser interpretadas cuidadosamente si la distribución del proceso no es simétrica.
- \* Las gráficas por lecturas individuales no segregan la repetibilidad pieza a pieza del proceso. Por esta razón, en muchas aplicaciones es más conveniente usar una gráfica  $\bar{X}$  y R con tamaños pequeños de muestra para subgrupos (2 a 4) aunque esto requiera de un período mayor entre subgrupos.
- \* Debido a que solamente existe un individuo por subgrupo, los valores de  $\bar{X}$  y  $\bar{R}$  pueden tener una variabilidad substancial (aún si el proceso es estable) hasta que el número de subgrupo sea 100 ó mayor.

Los detalles de instrucción para las gráficas por lecturas individuales son de alguna forma similares a aquellos para las gráficas  $\bar{X}$  y R; las excepciones se muestran a continuación:

#### PASO 1 – Obtención de Datos (ver pág. 21 )

Las excepciones se muestran a continuación:

- \* Las lecturas individuales ( $X$ ) son registradas de izquierda a derecha en la gráfica.
- \* Calcule el rango móvil ( $R$ ) entre individuos. Es generalmente mejor registrar la diferencia entre cada par sucesivo de lecturas (ej. Diferencia entre la 1a. y 2a. lectura, la segunda y tercera, etc.). Habrá un rango menos que el número de lecturas individuales (25 lecturas dan 24 rangos). En algunos casos el rango puede estar basado en un grupo móvil mayor (ej. de tres o de cuatro) o en un subgrupo fijo (ej. todas las lecturas tomadas en un solo turno). Observe que aunque las mediciones son muestreadas individualmente, es el número de lecturas agrupadas para formar el rango móvil (ej. 2, 3 ó 4) el que determina el tamaño de muestra nominal ( $n$ ).
- \* Seleccione las escalas para la gráfica de individuos ( $X$ ) igual al mayor de: a) la tolerancia especificada más una tolerancia para lecturas fuera de especificación o, b) 1 1/2 a 2 veces la diferencia entre las lecturas individuales mayores y menores. El espaciamento de escala para la gráfica de rangos ( $R$ ) debe ser igual a la de la gráfica ( $X$ ).

#### PASO 2 – Cálculo de los Límites de Control (ver pág. 24 )

Las excepciones se muestran a continuación:

- \* Calcule y grafique el promedio del proceso ( $\bar{X}$ ) y calcule el promedio del rango ( $\bar{R}$ ); observe que hay un valor de rangos ( $R$ ) menor que el número de lecturas individuales ( $X$ ).
- \* Calcule los límites de control.

$$\begin{aligned}LSC_R &= D_4 \bar{R} & LSC_X &= \bar{X} + E_2 \bar{R} \\LIC_R &= D_3 \bar{R} & LIC_X &= \bar{X} - E_2 \bar{R}\end{aligned}$$

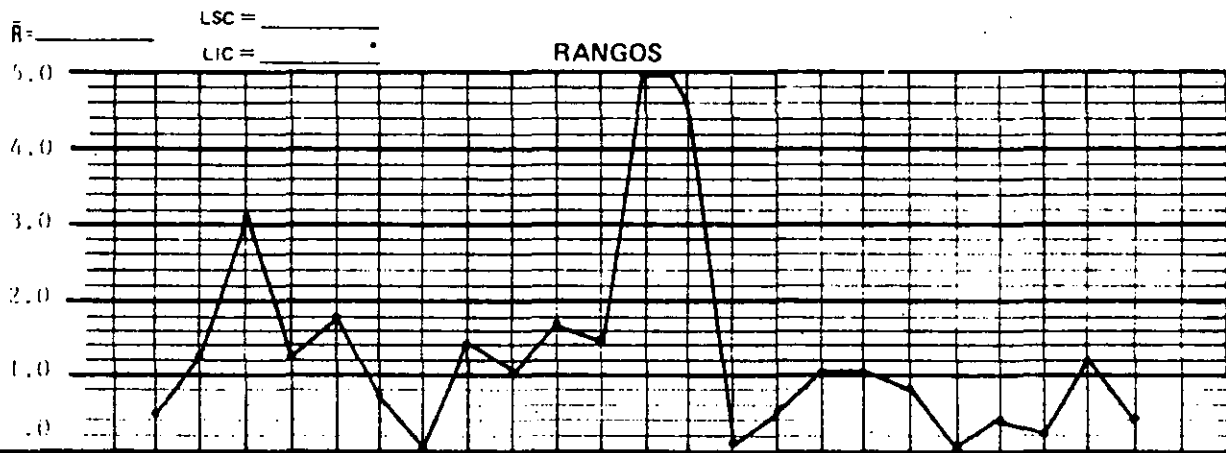
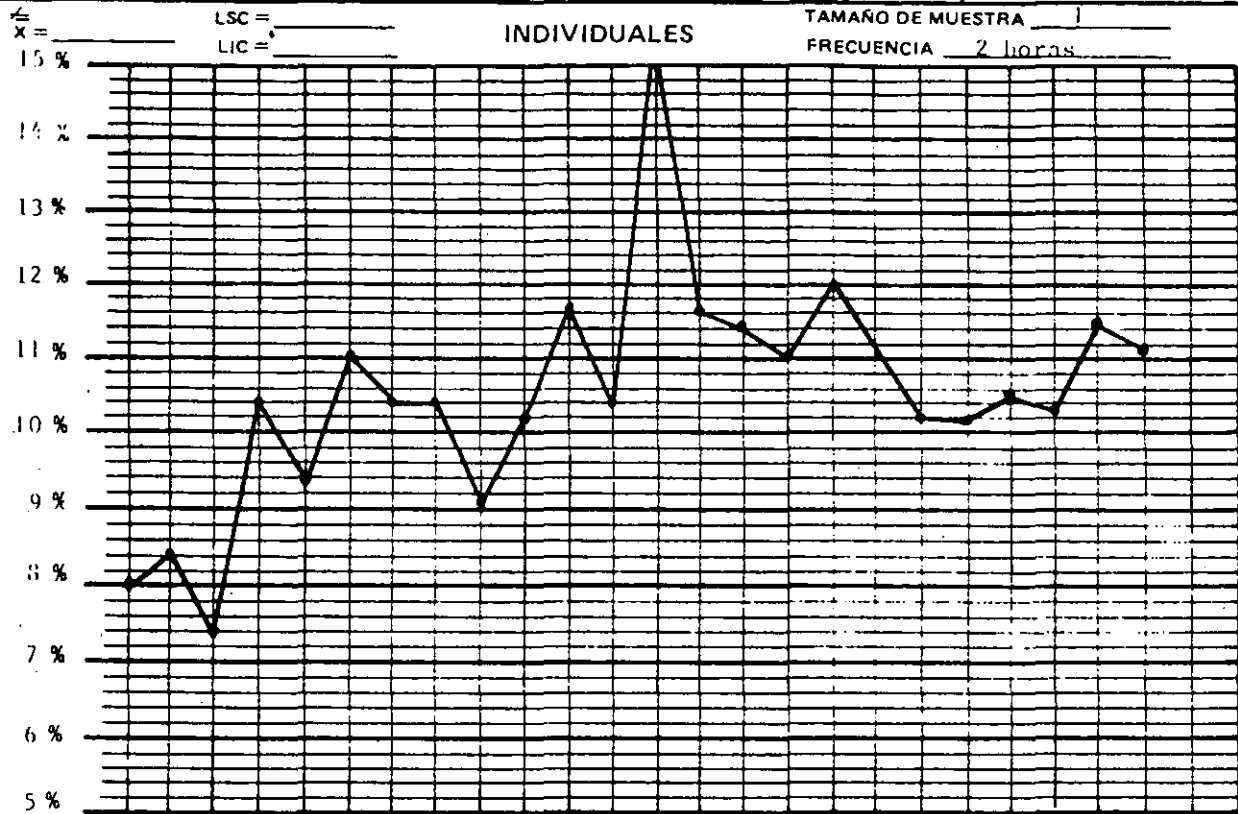




## GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES CONTROL DE PROCESO

|                                       |   |                       |
|---------------------------------------|---|-----------------------|
| PLANTA/DEPARTAMENTO<br>ROLADO EN FRIO | NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO<br>LINEA DE PREPARO No.3 TANQUE | No. DE PIEZA Y NOMBRE |
|---------------------------------------|---|-----------------------|

|  |  |   |
|--|--|---|
| CARACTERISTICA MEDIDA<br>Z CONCENTRACION ACIDO | ESPECIFICACION<br>OBJETIVO DE PRODUCCION 9% MIN. | ITEM CRITICO<br>SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |
|--|--|---|



| FECHA/HORA | 11-2 |     |     | 3    |     |      | 11-3 |      | 2   |      |      | 3    |      |      | 11-4 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1          | 8.0  | 8.5 | 7.4 | 10.5 | 9.3 | 11.1 | 10.4 | 10.4 | 9.0 | 10.0 | 11.7 | 10.3 | 16.2 | 11.6 | 11.5 | 11.0 | 12.0 | 11.0 | 10.2 | 10.1 | 10.5 | 10.3 | 11.5 | 11.1 |
| 2          |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3          |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4          |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5          |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SUM.       |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $\bar{x}$  |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| R          |      | .5  | 1.1 | 3.1  | 1.2 | 1.8  | .7   | .0   | 1.4 | 1.8  | 1.7  | 1.4  | 5.9  | 4.6  | .1   | .5   | 1.0  | 1.0  | .8   | .1   | .4   | .2   | 1.2  | .4   |

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

donde:  $\bar{R}$  es el promedio del rango móvil,  $\bar{X}$  es el promedio del proceso y  $D_4$ ,  $D_3$  y  $E_2$  son constantes que varían de acuerdo al tamaño de la muestra usado para agrupar los rangos móviles como se muestra en la tabla siguiente:

| n     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $D_4$ | 3.27 | 2.57 | 2.28 | 2.11 | 2.00 | 1.92 | 1.86 | 1.82 | 1.78 |
| $D_3$ | *    | *    | *    | *    | *    | 0.08 | 0.14 | 0.18 | 0.22 |
| $E_2$ | 2.66 | 1.77 | 1.46 | 1.29 | 1.18 | 1.11 | 1.05 | 1.01 | 0.98 |

- \* No hay límite inferior de control para rangos para tamaños de muestra menores a 7.

#### PASO 3 – Interpretación del Control del Proceso (ver pág. 27 )

Las excepciones se muestran a continuación:

- \* Revisar la gráfica de rangos para puntos fuera de los límites de control como signo de la existencia de causas especiales. Note que los rangos sucesivos están correlacionados, debido a que tienen un punto en común y debido a esto, se debe tener cuidado al interpretar tendencias.
- \* Las gráficas por lecturas individuales pueden ser analizadas para puntos fuera de los límites de control, dispersión de puntos dentro de los límites de control y para tendencias o patrones. Cabe hacer notar que si la distribución del proceso no es simétrica, las reglas mostradas anteriormente para gráficas  $\bar{X}$  podrán dar señales de causas especiales sin que éstas existan.

#### PASO 4 – Interpretación de la Habilidad del Proceso (ver pág. 43 )

Las excepciones se muestran a continuación:

- \* Al igual que en las gráficas  $\bar{X}$ -R, la desviación estándar del proceso puede ser estimada a partir de:

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

donde:  $\bar{R}$  es el promedio de los rangos móviles y  $d_2$  es una constante que varía de acuerdo al tamaño de la muestra como se puede observar en la tabla siguiente:



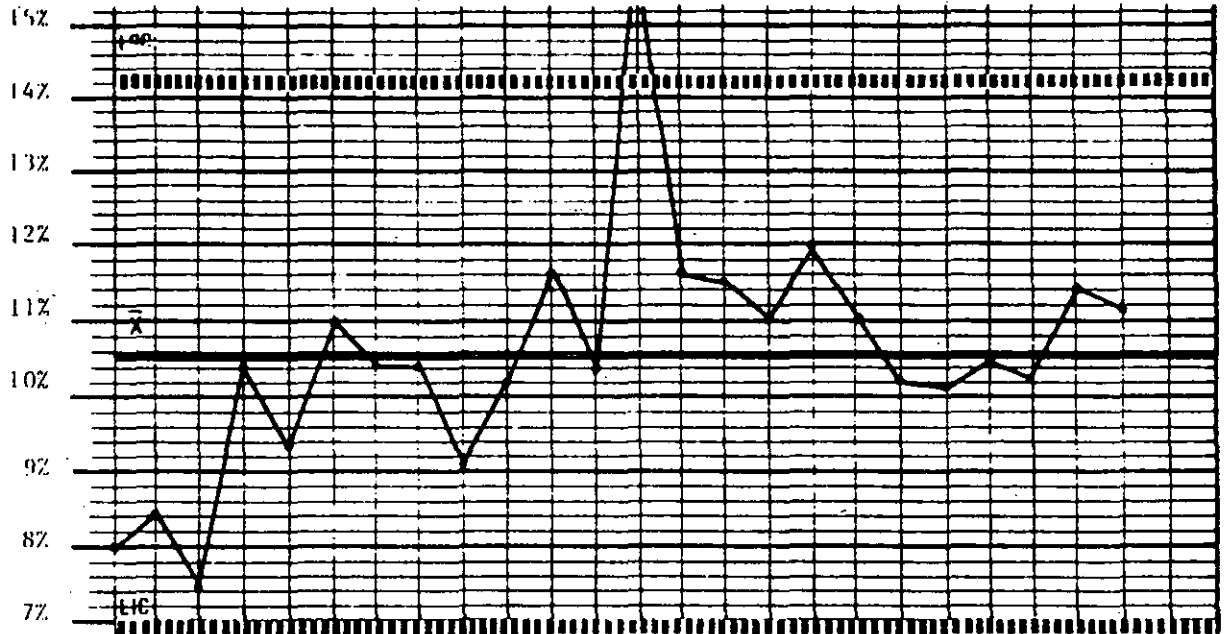
## GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES CONTROL DE PROCESO

|   |  |   |
|---|--|---|
| PLANTA/DEPARTAMENTO<br>ROLADO EN FRIO             | NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO<br>LINEA DE PREPARADO # 3 TANQUE | No. DE PIEZA Y NOMBRE   |
| CARACTERISTICA MEDIDA<br>Z CONCENTRACION DE ACIDO | ESPECIFICACION<br>OBJETIVO DE PRODUCCION 9% MIN.                       | ITEM CRITICO<br>SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |

$\bar{x} = 10.57$       LSC = 14.21  
 LIC = 6.93

TAMAÑO DE MUESTRA 1  
 FRECUENCIA CADA 2 HORAS

### INDIVIDUALES



Analisis: (1) El primer punto del 2o turno de 11-3 fué mal interpretado; punto en caída; (2) Límites revisados: el tercer punto en 11-2 está debajo del nuevo LIC; es un problema que empezó en los tres primeros puntos; (3) Revisar otra vez los valores; ahora utilizando:  $R = .84$ ,  $LSC_R = 2.75$ ,  $X = 10.68$ ,  $LSC_X = 12.91$ ,  $LIC_X = 8.45$ .

$\bar{R} = 1.37$       LSC = 4.48  
 LIC = 0.26

### RANGOS



| FECHA/HORA | 11-2 |     |     | 3    |     |      | 11-3 |      |     | 2    |      |      | 3    |      |      | 11-4 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | 1    | 2   | 3   | 1    | 2   | 3    | 1    | 2    | 3   | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    |      |      |      |      |      |      |
| 1          | 8.0  | 8.5 | 7.4 | 10.5 | 9.3 | 11.1 | 10.4 | 10.4 | 9.0 | 10.0 | 11.7 | 10.3 | 16.2 | 11.6 | 11.5 | 11.0 | 12.0 | 11.0 | 10.2 | 10.1 | 10.5 | 10.3 | 11.5 | 11.1 |
| 2          |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3          |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4          |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5          |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SUM.       |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $\bar{x}$  |      |     |     |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| R          | .5   | 1.1 | 3.1 | 1.2  | 1.8 | .7   | .0   | 1.4  | 1.0 | 1.7  | 1.4  | 5.9  | 4.6  | .1   | .5   | 1.0  | 1.0  | .8   | .1   | .4   | .2   | 1.2  | .4   |      |

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

| n     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $d_2$ | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 | 2.53 | 2.70 | 2.85 | 2.97 | 3.08 |

- \* Si el proceso presenta distribución normal, este estimado puede ser usado directamente en la determinación de la habilidad del proceso siempre y cuando el proceso se encuentre en control estadístico.

#### 3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

- Son potencialmente aplicables a cualquier proceso.
- Los datos están a menudo disponibles.
- Son rápidos y simples de obtener.
- Son frecuentemente usados en los informes a la Gerencia.
- Pueden ayudar a dar prioridad a las áreas con problemas.
- Son fáciles de interpretar.

##### Tipos de Gráficas de Control por Atributos

p  
np  
c  
u

A pesar de que las gráficas de control por variables ( $\bar{X}$ -R) son las más conocidas, se han desarrollado versiones para el caso de atributos. Los datos por atributos tienen sólo dos posibilidades (conforma/no conforma, pasa/no pasa, OK/NO OK, presente/ausente) pero pueden ser contados para registro y análisis. Como ejemplo se puede mencionar la presencia de una etiqueta requerida, la instalación de los tornillos especificados, la presencia de salpicaduras de soldadura o la continuidad de un circuito eléctrico. Las gráficas de control por atributos son importantes por las siguientes razones:

- 1) Las operaciones medidas por atributos existen en cualquier proceso de manufactura o ensamble, por lo que estas técnicas de análisis son muy útiles.
- 2) Los datos por atributos están disponibles en múltiples situaciones siempre que exista inspección, listados de reparaciones, material seleccionado o rechazado, etc.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

En estos casos, no se requiere gasto adicional de búsqueda de datos sólo el trabajo de incorporarlos a la gráfica de control.

- 3) Cuando se requiere obtener datos, la información por atributos es generalmente rápida y barata de obtener y con medios simples (pasa/no pasa) no necesita de personal especializado.
- 4) Muchos de los datos presentados a la gerencia en forma de resúmenes es del tipo de atributos y se puede beneficiar con el análisis de gráficas de control. Ejemplos: Desarrollo del departamento en cuanto al número de unidades "OK de primera vuelta" (First Run Capability), índices de desecho (scrap), auditorías de calidad y rechazo de materiales.
- 5) Al introducir las gráficas de control en las Plantas, es importante dar prioridad a las áreas con problemas y utilizarlas donde más se necesiten. El uso de las gráficas de control por atributos en las áreas claves de control de calidad indicarían cuáles son los procesos que requieren un análisis más detallado —incluyendo la posibilidad de utilizar gráficas de control por variables.
- 6) Finalmente, las gráficas de control por atributos son más fáciles de construir e interpretar que las gráficas por variables.

Los criterios de aceptación al utilizar gráficas de control por atributos deben estar claramente definidos y el procedimiento para decidir si esos criterios se están alcanzando es producir resultados consistentes a través del tiempo. Este procedimiento consiste en definir operacionalmente lo que se desea medir. Una definición operacional consiste en:

- 1o. Un criterio que se aplica a un objeto o a un grupo.
- 2o. Una prueba del objeto o del grupo y
- 3o. Una decisión, sí o no: El objeto o el grupo alcanza o no el criterio.

Si por ejemplo, queremos medir a través de una gráfica por atributos si la superficie de los vehículos está o no libre de suciedad, necesitaremos definir claramente qué es suciedad y requeriremos probar si los inspectores están de acuerdo o no con esa definición. Una vez que está definida operacionalmente la especificación, cuando se esté midiendo en la gráfica de control si la superficie de los vehículos está o no libre de suciedad, podrá decidirse fácilmente si se alcanza o no el criterio en la superficie revisada.

Las próximas cuatro subsecciones cubren los fundamentos de las principales formas de gráficas de control por atributos:

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

- La gráfica p para Porcentaje de Unidades Defectuosas (para tamaños de muestras no necesariamente constantes).
- La gráfica np para Número de Unidades Defectuosas (para tamaños de muestras constantes).
- La gráfica c para Número de Defectos (para tamaños de muestras constantes).
- La gráfica u para Número de Defectos por Unidad (para tamaños de muestras no necesariamente constantes).

La presentación de la gráfica p aquí expuesta, es mucho más amplia que las otras, dado que se introducen los conceptos principales. Las restantes subsecciones se concentran en los factores que las diferencian de la primera.

#### 3.4.1. Gráfica p para Porcentaje de Unidades Defectuosas

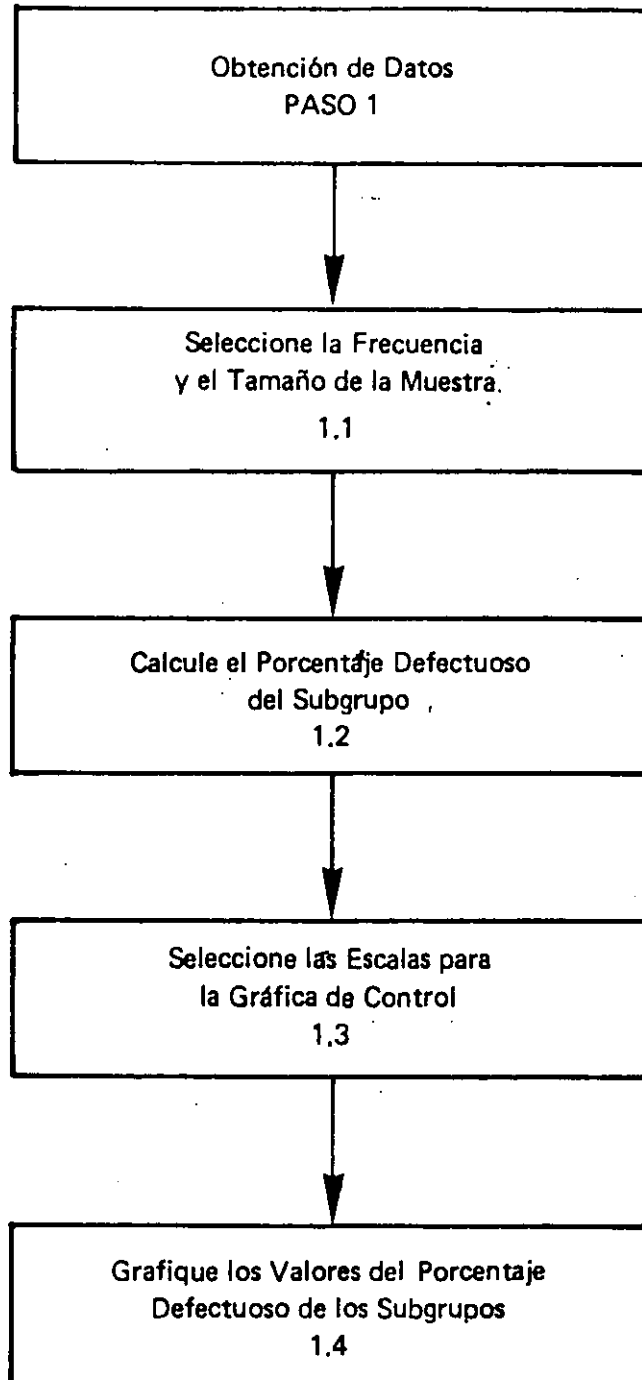
La gráfica p mide la fracción defectuosa o sea las piezas defectuosas en el proceso. Se puede referir a muestras de 75 piezas, tomada dos veces por día; 100% de la producción durante una hora, etc. Se basa en la evaluación de una característica (¿se instaló la pieza requerida?) o de muchas características (¿se encontró algo mal al verificar la instalación eléctrica?). Es importante que cada componente o vehículo verificado se registre como aceptable o defectuoso (aunque una pieza tenga varios defectos específicos se registrará sólo una vez como defectuosa).

A continuación se indican los pasos básicos para la construcción y aplicación de la gráfica p.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### 3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

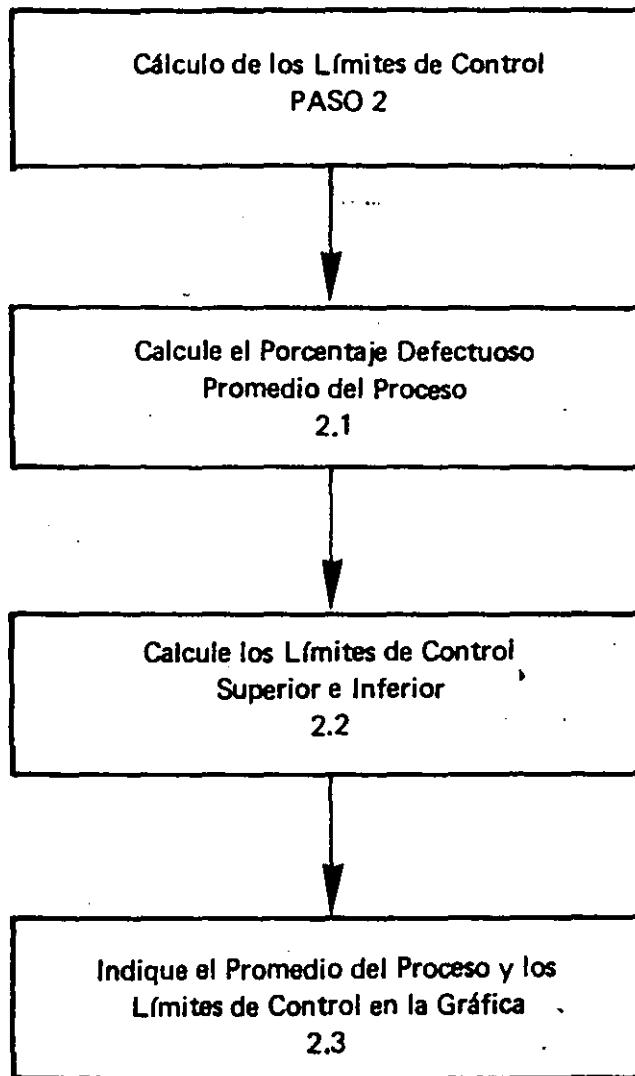
##### Diagrama de Flujo



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### 3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Diagrama de Flujo

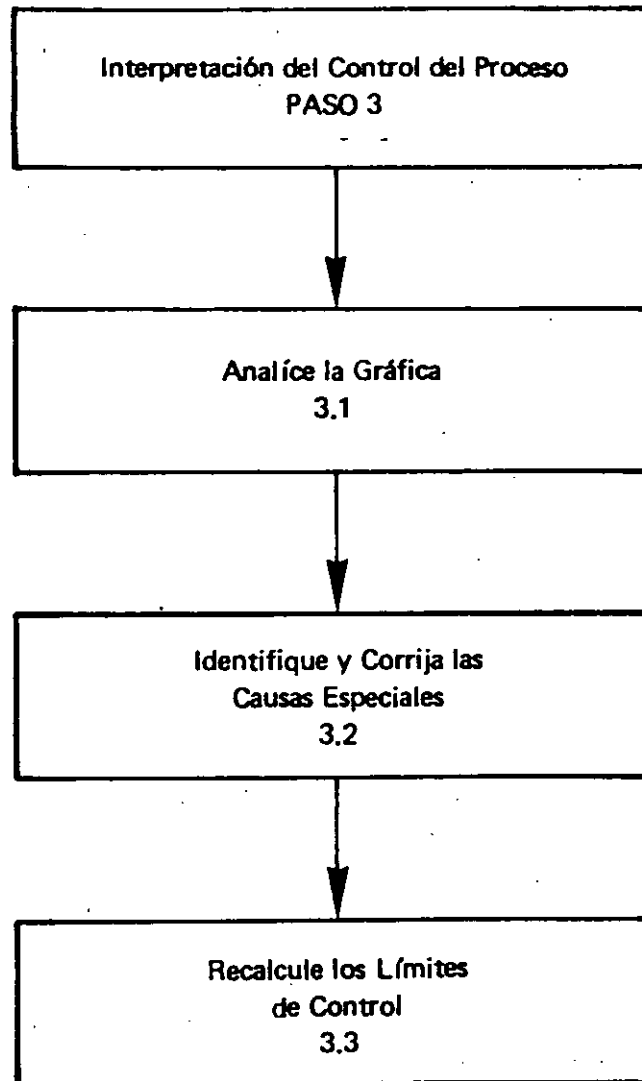




### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE PROCESO

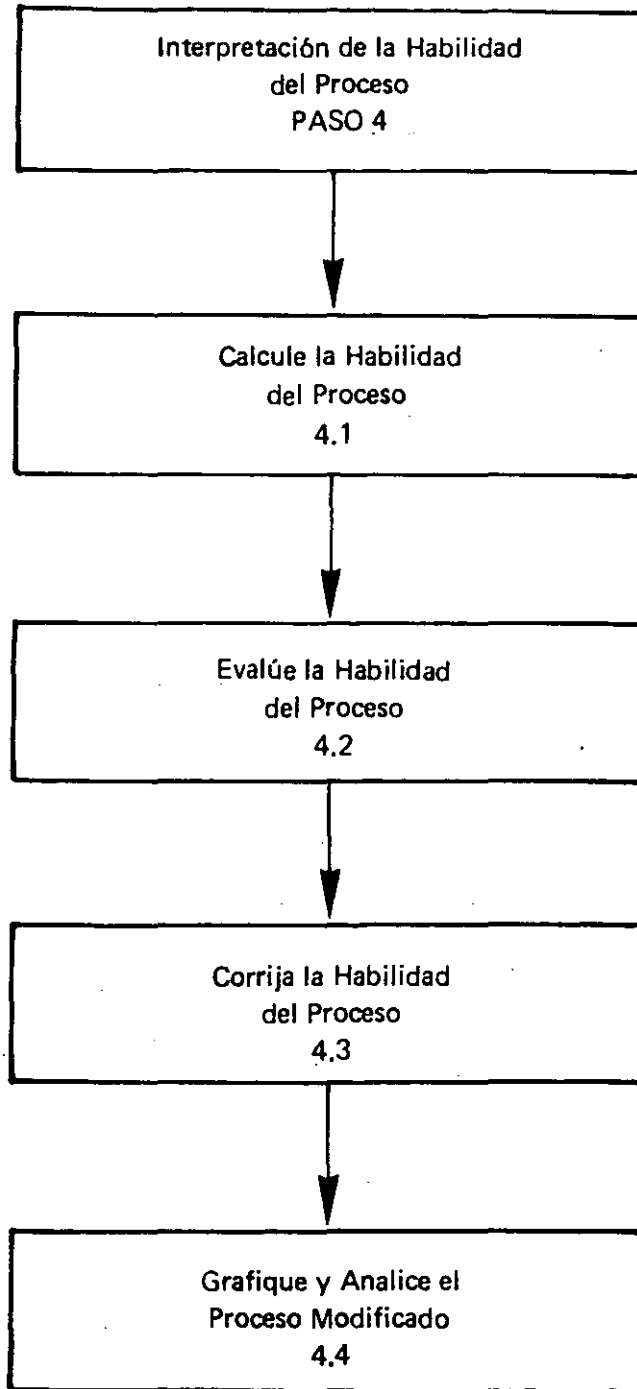
#### 3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Diagrama de Flujo



3.4. GRAFICAS DE CONTROL  
POR ATRIBUTOS

Diagrama de Flujo



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### PASO 1 – Obtención de Datos

##### 1.1. Seleccione la Frecuencia y el Tamaño de la Muestra

Es muy importante establecer la frecuencia de los subgrupos (horaria, diaria, semanal) y la cantidad a controlar (del 100% a una muestra). Los intervalos cortos entre tomas de muestras permitirán una rápida retroalimentación al proceso ante la presencia de problemas. Los tamaños de muestra grandes permiten evaluaciones más estables del desarrollo del proceso y son más sensibles a pequeños cambios en el promedio del mismo. Los tamaños de muestra son generalmente iguales entre períodos pero no tiene porqué darse esta situación. Si son iguales, mejor (dentro de más o menos el 25% del promedio).

##### 1.2. Calcule el Porcentaje Defectuoso (p) del Subgrupo

Registre la siguiente información para cada subgrupo:

El número de partes inspeccionadas — n

El número de partes defectuosas — np

A partir de estos datos, calcule la fracción defectuosa definida de la forma siguiente:  $p = \frac{np}{n}$

Estos datos deben registrarse en la forma 301h para al menos 10 y preferiblemente 25 o más subgrupos, como base de un análisis inicial. Cuando se dispone de datos históricos recientes, éstos podrán utilizarse para acelerar la fase inicial del estudio.

##### 1.3. Seleccione las Escalas para las Gráficas de Control

La fracción o porcentaje defectuoso debe indicarse en la escala vertical de la gráfica y los subgrupos (horas, días, etc.) en la escala horizontal. La escala vertical debe extenderse desde cero hasta alrededor de 1 1/2 a 2 veces el valor máximo de la fracción defectuosa medida durante la etapa inicial del estudio.

##### 1.4 Grafique los Valores del Porcentaje Defectuoso de los Subgrupos

Grafique los valores de p de cada subgrupo. Es útil unir los puntos graficados con líneas para visualizar mejor los patrones o tendencias.

A medida que grafique los puntos, analícelos brevemente para evaluar si son razonables. Si hay algún punto substancialmente más alto o más bajo que los otros, confirme que los cálculos sean correctos.

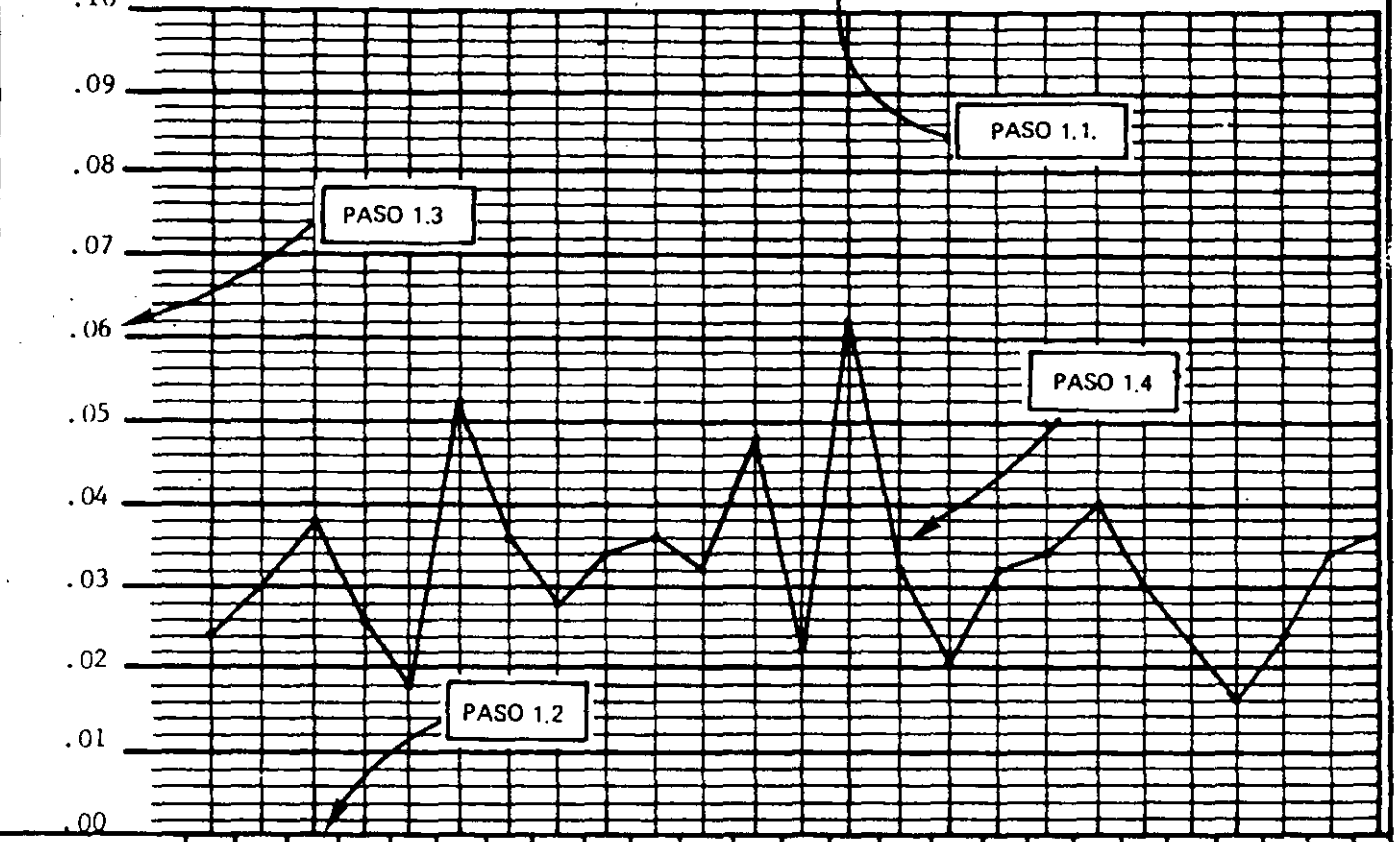


## GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

|                    |  |   |
|--------------------|--|---|
| LANTA<br>VIIIA     | p <input checked="" type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/><br>np <input type="checkbox"/> u <input type="checkbox"/> | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>ElBB-12121-A      Control Conj.                              |
| DEPARTAMENTO<br>65 | No. DE OPERACION Y NOMBRE<br>Ensayo funcional final  | ITEM CRITICO<br>SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |

PROM = \_\_\_\_\_ LSC = \_\_\_\_\_ LIC = \_\_\_\_\_

TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 500  
FRECUENCIA Cada envío.



| TAMAÑO DE LA MUESTRA (N) |                   | 500  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| RECHAZOS                 | CANTIDAD (np, p)  | 12   | 19   | 19   | 13   | 9    | 26   | 18   | 14   | 17   | 18   | 16   | 24   | 11   | 31    | 16   | 10   | 16   | 17   | 20   | 15   | 8    | 13   | 12   | 17   | 18   |  |
|                          | PORCENTAJE (p, p) | .024 | .030 | .038 | .026 | .018 | .052 | .036 | .028 | .034 | .036 | .032 | .048 | .022 | .062  | .032 | .020 | .032 | .034 | .040 | .030 | .016 | .026 | .024 | .034 | .036 |  |
| FECHA                    |                   | MAYO |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | JUNIO |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|                          |                   | 6    | 7    | 8    | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 26    | 27   | 28   | 29   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 8    | 9    | 10   |  |

OBSERVACIONES

---



---



---



---

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### PASO 2 - Cálculo de los Límites de Control

##### 2.1 Calcule el Porcentaje Defectuoso Promedio del Proceso ( $\bar{p}$ )

Calcule el porcentaje defectuoso promedio para los  $k$  subgrupos del período en estudio:

$$\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

donde  $np_1, np_2, \dots$  son los números de partes defectuosas y  $n_1, n_2, \dots$  son el número de partes inspeccionadas en cada subgrupo.

##### 2.2 Calcule los Límites de Control Superior e Inferior (LSC, LIC)

Los límites de control se establecen a partir del promedio del proceso más o menos una tolerancia para la variación promedio esperada, en función del tamaño de muestra. Calcule los límites de control superior e inferior para los  $k$  subgrupos del período en estudio en base a las fórmulas siguientes:

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

$$LIC_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$$

donde  $\bar{n}$  es el tamaño de muestra promedio.

NOTA: Cuando  $\bar{p}$  es pequeño y/o  $\bar{n}$  es pequeño, el límite de control inferior puede resultar negativo. En estos casos no existe límite de control inferior dado que aunque el valor de  $p = 0$ , para un subgrupo en particular, este valor estará dentro de la variación aleatoria posible.

##### 2.3 Indique el Promedio del Proceso y los Límites de Control en la Gráfica

- Indique el promedio del proceso ( $\bar{p}$ ) con una línea horizontal continua.
- Indique los límites de control (LSC, LIC) con líneas horizontales discontinuas.

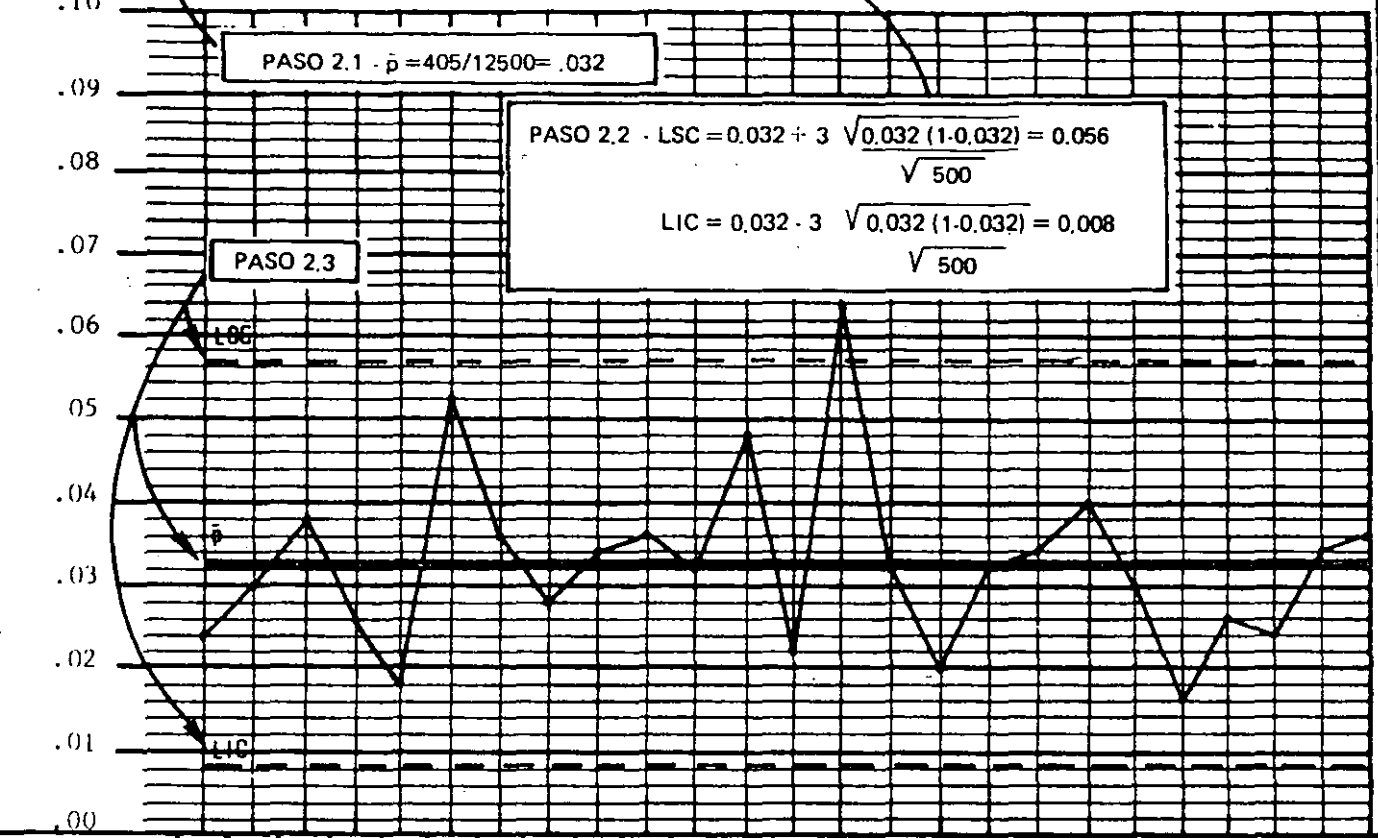
NOTA: El cálculo de los límites de control indicado previamente tiene validez cuando los tamaños de muestras son iguales (como en el caso de un muestreo controlado) o cuando los tamaños de los subgrupos no varían en más o menos el 25% con respecto a la muestra promedio (típico de condiciones reales de producción)



### GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

|                    |  |                                       |   |
|--------------------|--|---------------------------------------|---|
| PLANTA<br>I.I.A    | p <input checked="" type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/><br>np <input type="checkbox"/> u <input type="checkbox"/> | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>ETBR-12121-A | CONTROL.<br>Conj.   |
| DEPARTAMENTO<br>65 | No. DE OPERACION Y NOMBRE<br>Ensayo funcional final  | ITEM CRITICO                          | SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |

PROM = 0.032      LSC = 0.056      LIC = 0.008      TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 500  
 FRECUENCIA Cada envío.



| TAMAÑO DE LA MUESTRA (N) | 500               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RECHAZOS                 | CANTIDAD (np, p)  | 12   | 15   | 19   | 13   | 9    | 26   | 18   | 84   | 17   | 18   | 16   | 24    | 11   | 31   | 16   | 10   | 16   | 17   | 20   | 15   | 8    | 13   | 12   | 17   | 18   |
|                          | PORCENTAJE (p, p) | .024 | .030 | .038 | .026 | .018 | .052 | .036 | .028 | .034 | .036 | .032 | .048  | .022 | .062 | .032 | .020 | .032 | .034 | .040 | .030 | .016 | .026 | .024 | .034 | .036 |
| FECHA                    | MAYO              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | JUNIO |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                          | 6                 | 7    | 8    | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22    | 26   | 27   | 28   | 29   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 8    | 9    | 10   |      |

OBSERVACIONES

---



---



---



---

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

bajo condiciones relativamente estables). Cuando el tamaño de un subgrupo varía más que esa cantidad, podrá ser necesario el cálculo de nuevos límites de control para el subgrupo en particular.

El procedimiento para determinar los nuevos límites de control es el siguiente:

- Determine cuáles son los subgrupos que varían más del 25% con respecto al promedio.
- Si los puntos graficados para cualquiera de estos subgrupos están cerca del límite de control establecido, recalculé los límites precisos para ese/esos subgrupos como sigue:

$$LSC_p \text{ o } LIC_p = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

donde n es el tamaño de muestra de ese subgrupo en particular.

- Si el nuevo límite de control modifica la condición de rechazo o aceptación (debido al menor tamaño de muestra el punto resulta aceptable o debido al mayor tamaño de muestra resulta inaceptable) modifique el límite en la gráfica en caso contrario, no lo altere

NOTA: Cualquier procedimiento para el manejo de los límites de control variables será incómodo y llevará a confusión entre la gente que trate de interpretar las gráficas. Es mejor, donde sea posible, estructurar el plan de obtención de datos de manera que puedan usarse tamaños de muestra constantes.

#### PASO 3 – Interpretación del Control del Proceso

Objetivo: Identificar la información relevante que indique cuándo el proceso no está operando en forma consistente. Si está fuera de control, tomar las acciones correspondientes.

##### 3.1 Analice la Gráfica

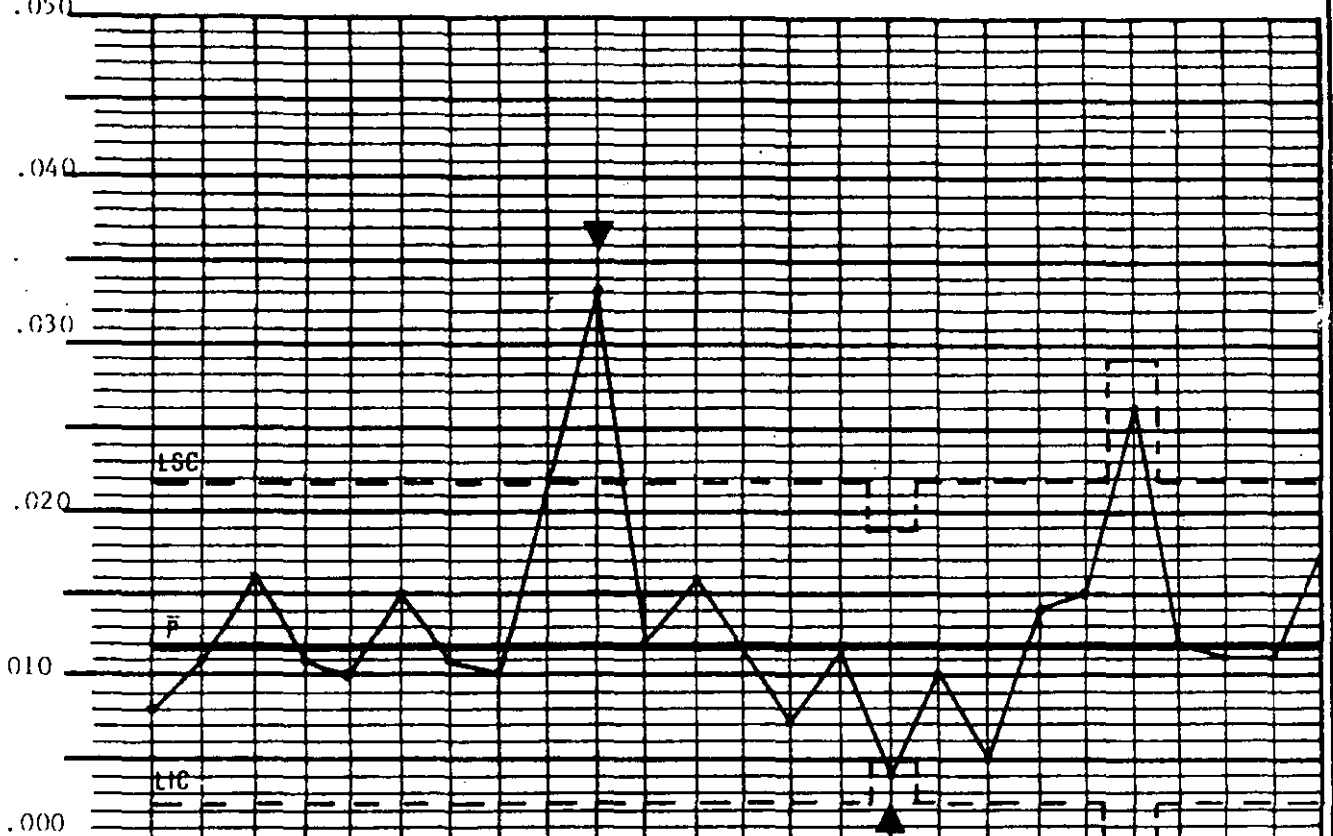
- 1) **Puntos fuera de los Límites de Control.** La presencia de uno o más puntos fuera de los límites de control es evidencia de falta de estabilidad en ese o esos puntos. Dado que la posibilidad de que existan puntos fuera de los límites de control en procesos estables donde sólo se manifieste la variación debido a causas comunes



### GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

|                             |   |  |  |  |   |
|-----------------------------|---|--|--|--|---|
| PLANTA<br>PLASTICOS TRENTON |   | p <input checked="" type="checkbox"/><br>np <input type="checkbox"/> | c <input type="checkbox"/><br>u <input type="checkbox"/> | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>E1BE-10A656-AA<br>Refuerzos |   |
| DEPARTAMENTO<br>Moldeo      | No. DE OPERACION Y NOMBRE<br>Rechazos por depresiones |  |  | ITEM CRITICO   | SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |

PROM = .012      LSC = .0215      LIC = .0025      TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 1194  
 FRECUENCIA Prod. Diaria

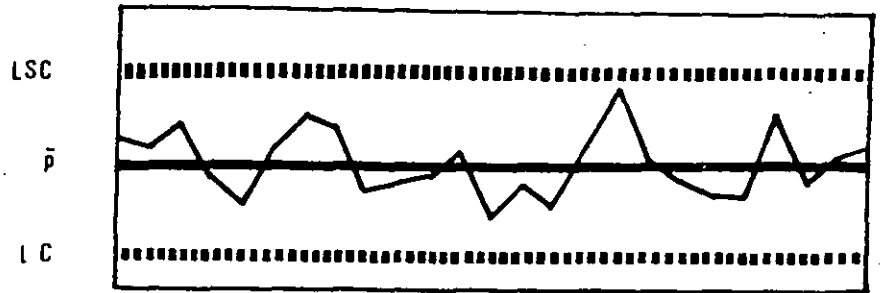


| RECHAZOS | TAMAÑO DE LA MUESTRA (N) |      | CANTIDAD (np, p) |      | PORCENTAJE (p, p) |      | FECHA   |
|----------|--------------------------|------|------------------|------|-------------------|------|---------|
|          | N                        | n    | np               | p    | p                 | p    |         |
|          | 968                      | 1216 | 8                | .008 | .011              | .016 | E 20    |
|          | 804                      | 1401 | 13               | .011 | .011              | .010 | N 21    |
|          | 1376                     | 995  | 13               | .010 | .015              | .011 | E 22    |
|          | 1202                     | 1028 | 14               | .011 | .010              | .011 | R 25    |
|          | 1184                     | 542  | 15               | .010 | .020              | .033 | D 26    |
|          | 1325                     | 1066 | 13               | .012 | .012              | .016 | 27      |
|          | 1721                     | 1721 | 16               | .011 | .011              | .011 | 28      |
|          | 1305                     | 1190 | 17               | .007 | .007              | .012 | 29      |
|          | 2306                     | 1365 | 9                | .012 | .004              | .010 | 1 FEB 1 |
|          | 973                      | 1058 | 5                | .005 | .005              | .014 | 2 FEB 2 |
|          | 1244                     | 342  | 15               | .012 | .026              | .012 | 3 FEB 3 |
|          | 1433                     | 1433 | 17               | .012 | .012              | .011 | 4 FEB 4 |
|          | 1225                     | 1225 | 13               | .011 | .011              | .011 | 5 FEB 5 |
|          | 1225                     | 1225 | 15               | .012 | .012              | .012 | 8 FEB 8 |
|          | 1167                     | 1167 | 20               | .017 | .018              | .018 | 9 FEB 9 |

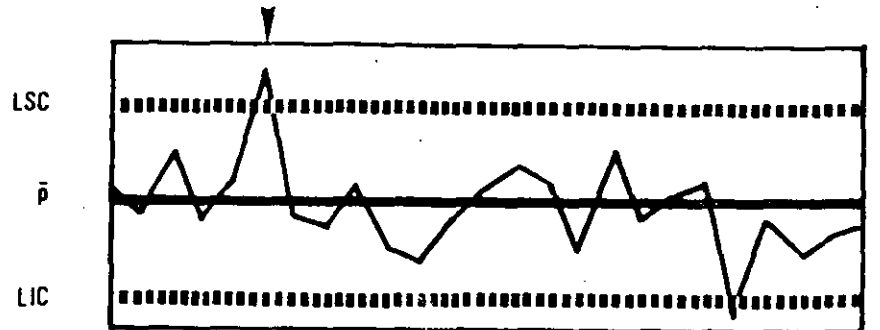
OBSERVACIONES  $\bar{p} = 356/29858 = .012$      $\bar{n} = 29858 / 25 = 1194$   
 $LSC, LIC = .012 \pm (3 \sqrt{.012 \times .988} / \sqrt{1194}) = .0215, .0025$   
 Estos límites son para el tamaño de muestra  $1194 \pm 25\% = 895$  a  $1493$ /1-22: LSC. LIC =  $.012 \pm .327 \sqrt{804} = .0235, .0005$ ; 2-2 :  $.012 \pm .327\% \sqrt{542} = .026, -$ ; 2-5 :  $.012 \pm .327 / \sqrt{1721} = .0199, .0041$ ; 2-10:  $.012 \pm .327 \sqrt{2306} = .0188, .0052$ ; 2-17 :  $.012 \pm .327 \sqrt{392} = .0285, -$ . Dado que solo los nuevos límites de Feb. 10 y 17 cambian la decisión, son los únicos que se grafican



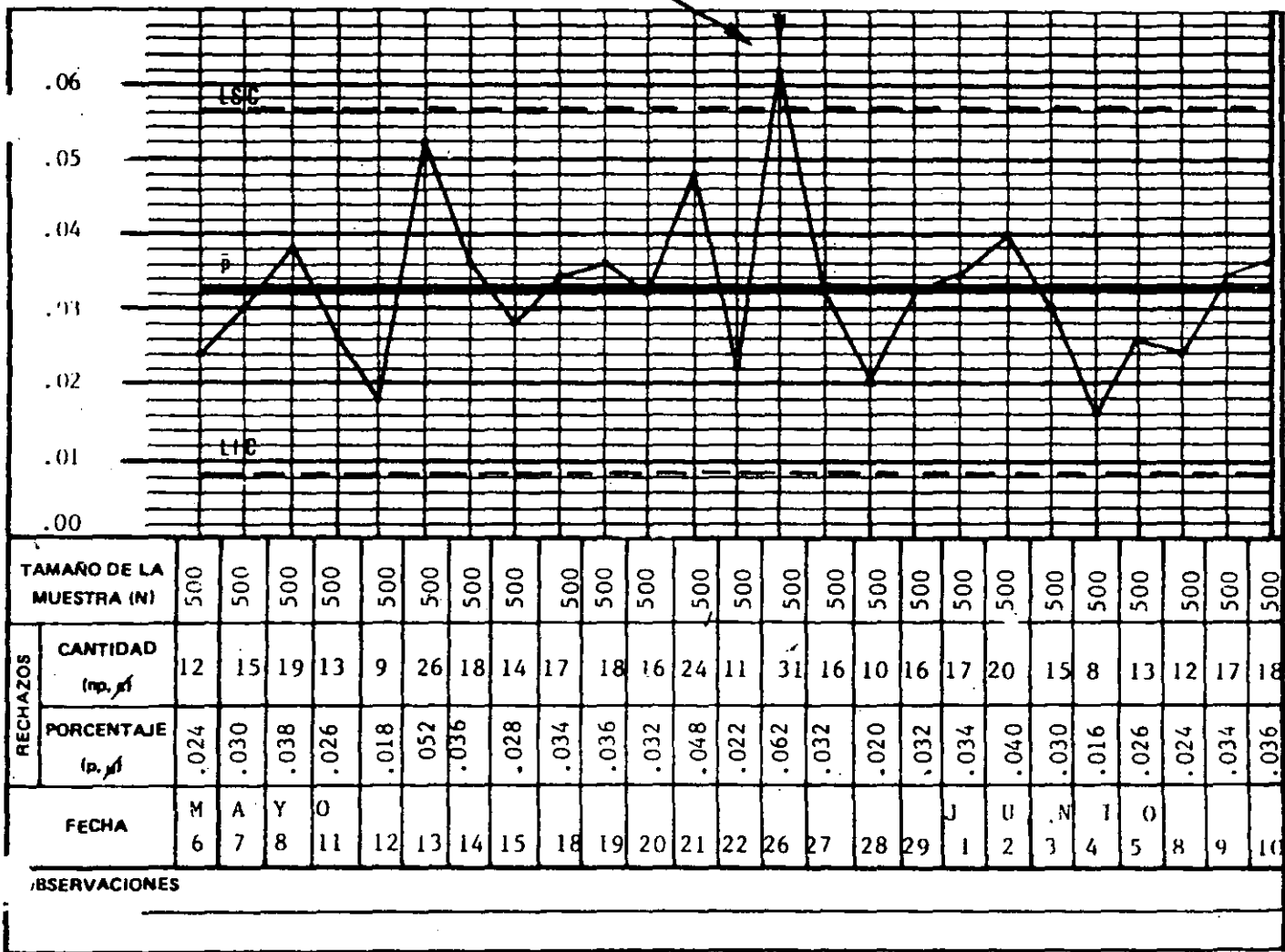
Proceso bajo control.



Proceso fuera de control.  
(puntos fuera de los  
Límites de Control)



Paso 3.1.1 - Un punto está fuera del límite de Control.



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

es muy remota, se presupone que dichos puntos han sido consecuencia de causas especiales. La causa especial puede ser favorable o desfavorable; sin embargo ambas requieren una investigación inmediata. Esta es la regla de decisión primaria para tomar acción con las gráficas de control. Todos los puntos que excedan los límites de control deben ser marcados.

Un punto por encima del límite de control superior (mayor fracción defectuosa) puede ser una indicación de que:

- El límite de control ha sido mal calculado o el punto mal graficado.
- El desarrollo del proceso ha empeorado, ya sea en ese momento o como parte de una tendencia.
- El sistema de medición ha sido modificado (inspector, calibrador, etc.)

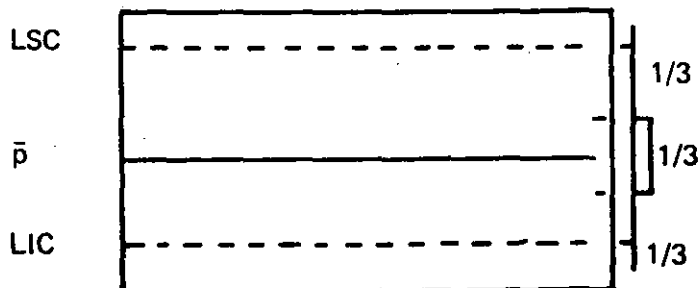
Un punto por debajo del límite de control inferior (menor fracción defectuosa) puede ser una indicación de que:

- El límite de control ha sido mal calculado o el punto mal graficado.
- El desarrollo del proceso ha mejorado (esta condición debe estudiarse con el fin de que las mejoras obtenidas puedan ser incorporadas en forma permanente y estable).
- El sistema de medición fué modificado.

#### 2) Adhesión a las Líneas de Control

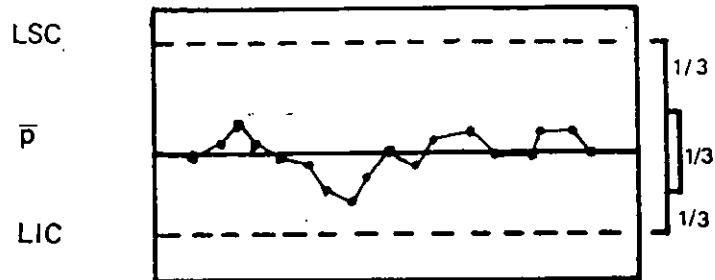
Cuando en las gráficas de control los puntos graficados se agrupan junto a la línea central o junto a las líneas de control, hablamos de adhesión.

- Para evaluar y poder decidir si hay o no adhesión a la línea central, proceda de la siguiente manera: Divida la distancia que hay entre el LSC y el LIC en tres partes iguales como se muestra en la figura.



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Si una cantidad substancialmente mayor a  $2/3$  de los puntos graficados, se encuentran concentrados dentro del tercio medio, existe adhesión a la línea central.

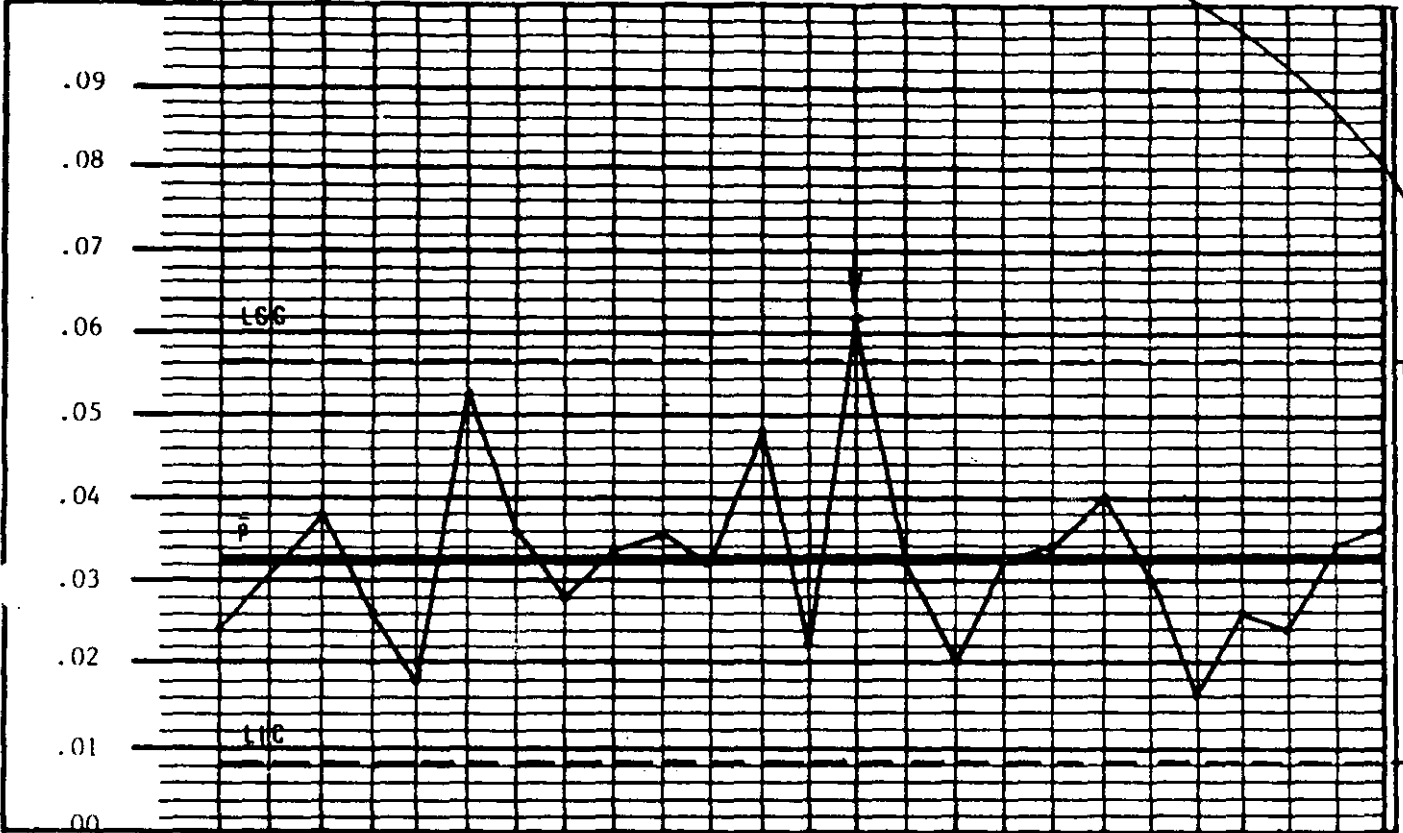


El proceso muestra adhesión a la Línea Central  
(puntos demasiado cerca del promedio del proceso).

Si existe adhesión a la línea central tiene que verificar lo siguiente:

- Los límites de control han sido mal calculados o los puntos mal graficados.
- Suelen haberse mezclado en el subgrupo un tipo diferente de datos o datos de factores diferentes (máquinas, materiales, mano de obra diferente).
- Los datos han sido alterados.

Paso 3.12. Alrededor de 2/3 de los puntos están dentro de la mitad del tercio de los Límites de Control. (17 de 25 entre .0245 y .0403), por lo tanto en este caso, no existe adhesión.



| TAMAÑO DE LA MUESTRA (N) |                   | 500  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------|-------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| RECHAZOS                 | CANTIDAD (np, #)  | 12 15 19 13 9 26 18 14 17 18 16 24 11 31 16 10 16 17 20 15 8 13 12 17 18   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                          | PORCENTAJE (p, %) | .024 .303 .038 .026 .018 .052 .036 .028 .034 .036 .032 .048 .022 .062 .032 .020 .032 .034 .040 .030 .016 .026 .024 .034 .036 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| FECHA                    |                   | M A Y O  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | J U N I O                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                          |                   | 6 7 8 11 12 13 14 15 18 19   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 20 21 22 26 27 28 29 1 2 3 4 5 8 9 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

OBSERVACIONES

---



---



---



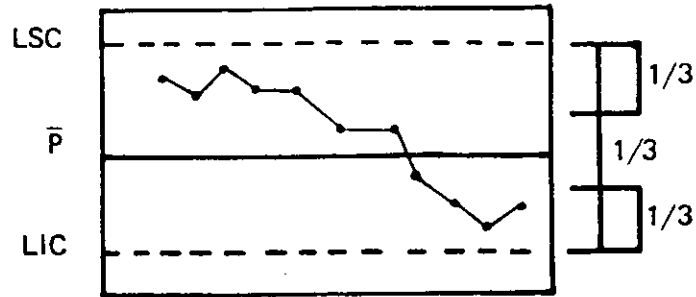
---



---

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Si una cantidad substancialmente mayor a  $1/3$  de los puntos graficados se encuentra dentro de los tercios exteriores existe adhesión a las líneas de control.



Proceso con adhesión a las Líneas de Control

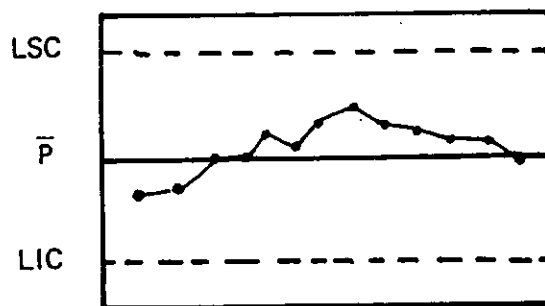
Cuando esta situación se presenta, verifique lo siguiente:

- Los límites de control han sido mal calculados o los puntos mal graficados.
- Suelen haberse mezclado en el subgrupo un tipo diferente de datos o datos de factores diferentes (máquinas, materiales, mano de obra diferentes).

#### 3) Series

Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento del proceso.

Cuando 7 ó más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del promedio, la serie recibe el nombre de corrida.



Proceso fuera de Control  
(larga sucesión de puntos por encima del promedio)

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

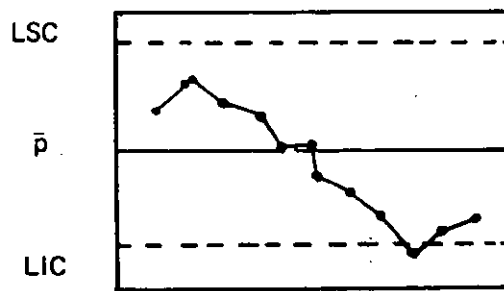
Una serie por encima del promedio del proceso puede significar:

- El desarrollo del proceso ha desmejorado y puede estar aún empeorando.
- El sistema de medición fué modificado.

Una serie por debajo del promedio del proceso puede indicar que:

- El desarrollo del proceso ha mejorado (deberán estudiarse las causas para incorporar los cambios definitivamente).
- El sistema de medición ha sido modificado.

Si 7 ó más intervalos consecutivos se presentan con valores crecientes o decrecientes, la serie recibe el nombre de tendencia.



Proceso Fuera de Control  
(tendencia descendente)

#### 3.2. Identifique y Corrija las Causas Especiales

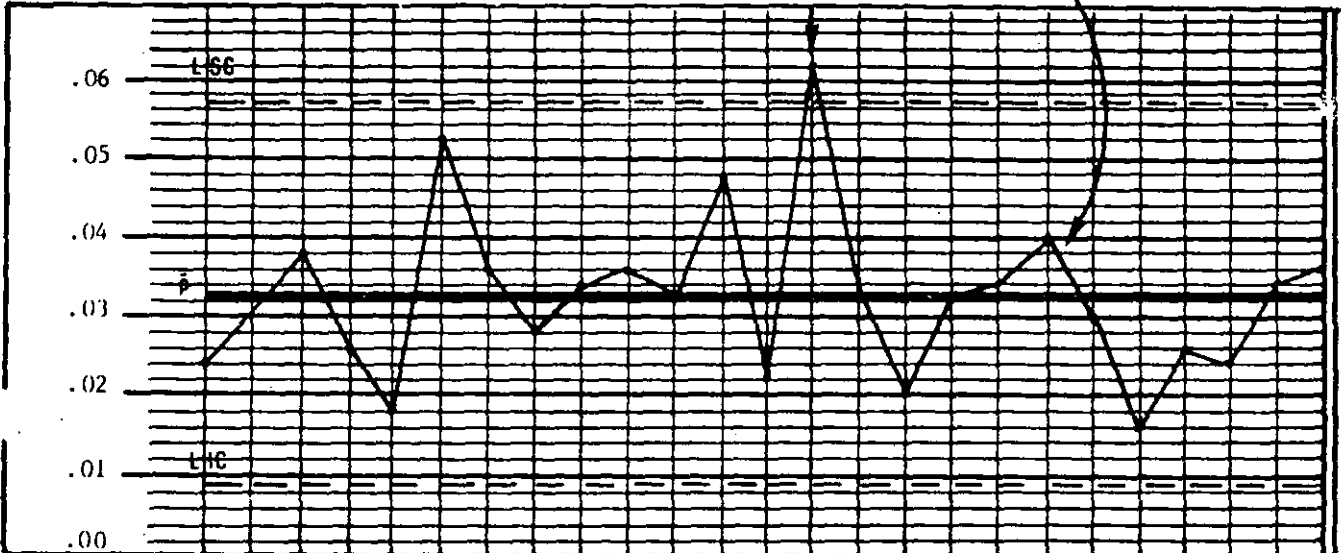
Cuando a través del análisis de los datos identifique una condición de falta de control, debe estudiar el proceso para determinar la causa. La acción correctiva deberá ser tal que evite la repetición del problema.

Las investigaciones de las condiciones fuera de control involucran el estudio oportuno —en tiempo— de los cambios ocurridos en el proceso (si los hubo), que expliquen la causa de dicha condición.

#### 3.3. Recalcule los Límites de Control

Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, debe eliminar todos los puntos fuera de control para los cuales se encontraron las causas; recalcula y grafique el promedio del proceso ( $\bar{p}$ ) y sus límites de control. Debe confirmar que todos los puntos están bajo control cuando se les compare con los nuevos límites y repetir la secuencia de identificación, corrección y recálculo si fuera necesario.

Paso 3.1.3 - No hay larga sucesión de puntos.

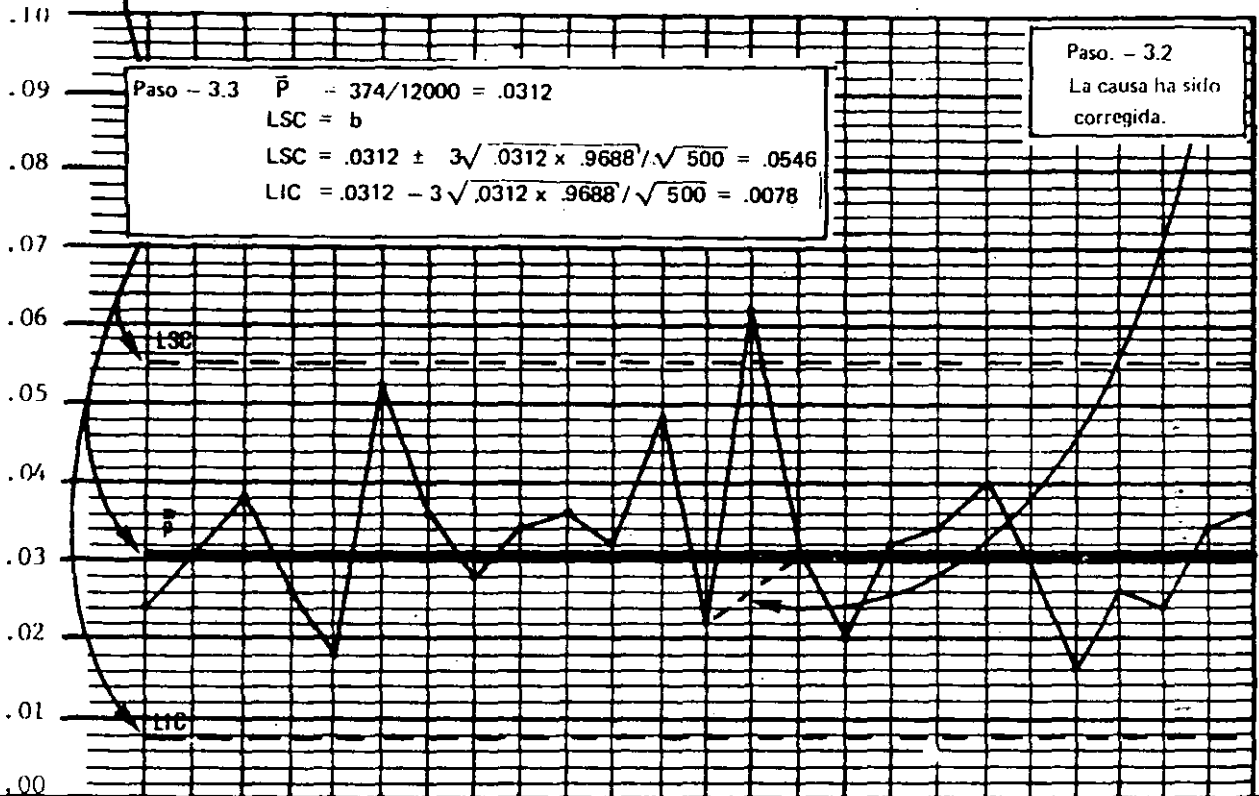


| TAMAÑO DE LA MUESTRA (n) |                   | 500  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RECHAZOS                 | CANTIDAD (np, c)  | 12   | 15   | 19   | 13   | 9    | 26   | 18   | 14   | 17   | 18   | 16   | 24   | 11   | 31   | 16   | 10   | 16   | 17   | 20   | 15   | 8    | 13   | 12   | 17   | 18   |
|                          | PORCENTAJE (p, p) | .024 | .030 | .038 | .026 | .018 | .052 | .036 | .028 | .034 | .036 | .032 | .048 | .022 | .062 | .032 | .020 | .032 | .034 | .040 | .030 | .016 | .026 | .024 | .034 | .036 |
| FECHA                    |                   | M    | A    | Y    | O    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | J    | U    | N    | I    | O    |      |      |      |
|                          |                   | 6    | 7    | 8    | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 26   | 27   | 28   | 29   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 8    | 9    | 10   |

|               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| OBSERVACIONES |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

DEPARTAMENTO 65 No. DE OPERACION Y NOMBRE Ensayo Funcional final ITEM CRITICO SI  NO

PROM = .0312 LSC = .0546 LIC = .0078 TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 500 FRECUENCIA Cada envío.



| TAMAÑO DE LA MUESTRA (N) | 500               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |
|--------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|--|
| RECHAZOS                 | CANTIDAD (np, p)  | 12   | 15   | 19   | 13   | 9    | 26   | 18   | 14   | 17   | 18   | 16   | 24   | 11   | 31   | 16   | 10   | 16   | 17   | 20   | 15   | 8    | 13   | 12   | 17   | 18   |  |  |  |  |
|                          | PORCENTAJE (p, p) | .024 | .030 | .038 | .026 | .018 | .052 | .036 | .028 | .034 | .036 | .032 | .048 | .022 | .062 | .032 | .020 | .032 | .034 | .040 | .030 | .016 | .026 | .024 | .034 | .036 |  |  |  |  |
| FECHA                    | M 6               | A 7  | Y 8  | 0 11 | 12   | 13   | 14   | 15   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 26   | 27   | 28   | 29   | J 1  | U 2  | N 3  | 1 4  | 0 5  | 8    | 9    | 10   |      |  |  |  |  |

OBSERVACIONES

---



---



---



---



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Los límites de control una vez que los datos históricos muestren un desarrollo consistente dentro de dichos límites, se transforman en límites de control de referencia para futuros análisis.

#### PASO 4 – Interpretación de la Habilidad del Proceso

Una vez corregidos los problemas que afectan al control del proceso (las causas especiales fueron identificadas, analizadas, corregidas para prevenir su repetición) la gráfica de control reflejará la habilidad del proceso.

##### 4.1 Calcule la Habilidad del Proceso

- Para la gráfica  $p$ , la habilidad del proceso se refleja a través del promedio de los subgrupos, calculando en base a todos los puntos que están bajo control. Esto puede ser expresado también como el porcentaje que está dentro de especificaciones  $(1 - \bar{p})$ .

del ejemplo  $\bar{p} = 0.0312 = 3.12\%$

$$(1 - \bar{p}) = 1.0000 - 0.0312 = .9688 = 96.88\%$$

por lo que la habilidad de este proceso es igual a 96.88% es decir, es capaz de producir el 96.88% de piezas OK.

Sin embargo, este valor (96.88%) no nos dice nada si no lo comparamos contra un valor objetivo o límite.

Para Ford un proceso es hábil a  $\pm 3 \sigma$  si  $(1 - \bar{p}) > 99.73\%$

Y es hábil a  $\pm 4 \sigma$  si:

$$(1 - \bar{p}) > 99.994\%$$

Por lo que en este ejemplo, este proceso (96.88% de piezas OK) no es hábil ni a  $\pm 3 \sigma$  (99.73%) ni a  $\pm 4 \sigma$  (99.994%).

- Para una estimación preliminar de la habilidad del proceso, utilice datos históricos, pero excluya los puntos asociados con causas especiales (puntos fuera de control).
- Para un estudio formal de habilidad del proceso deberán buscarse nuevos datos durante 25 períodos o más de acuerdo a las condiciones del proceso, en los que todos los puntos se encuentran bajo control. El promedio del proceso  $\bar{p}$ , en este caso, es la mejor estimación de la habilidad actual del proceso.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### 4.2. Evalúe la Habilidad del Proceso

- La habilidad del proceso refleja su desarrollo actual y lo que se puede esperar del mismo en la medida en que continúe bajo control y no se produzcan cambios que modifiquen su habilidad. La proporción defectuosa entre períodos variará dentro de los límites de control y, a menos que se modifique el proceso o que existan condiciones fuera de control por causas especiales, el promedio permanecerá estable.
- La habilidad del proceso (no los valores individuales de los subgrupos), en un problema determinado, debe ser evaluado en función de lo que esperamos obtener; si tenemos presente que las mejoras que hagamos al proceso deben ser interminables, será necesario realizar nuevos análisis del proceso y tomar las correspondientes acciones correctivas.

#### 4.3. Corrija la Habilidad del Proceso

Una vez que el proceso está bajo control estadístico, el nivel promedio de defectos reflejará las causas del sistema que afectan la habilidad del proceso.

Los tipos de análisis llevados a cabo en el diagnóstico de la causa especial no serán efectivos en el diagnóstico de las fallas del sistema.

Es necesario generar soluciones a largo plazo para corregir las fuentes de defectos crónicos.

#### 4.4. Grafique y Analice el Proceso Modificado

Una vez adoptadas las acciones correctivas sobre las fallas del sistema, sus efectos deben manifestarse en las gráficas de control; éstas se transforman en un medio para verificar la efectividad de dichas acciones.

Al implementar cambios en el proceso debe hacerse un seguimiento cuidadoso de los datos registrados en la gráfica de control. Los períodos de cambio pueden ser un problema para otras operaciones, generando nuevos problemas que pueden encubrir el efecto real del cambio en el sistema.

Luego de que cualquier causa especial de variación que aparezca durante el período de cambio haya sido identificada y corregida, el proceso estará bajo control estadístico con un nuevo promedio del proceso ( $\bar{p}$ ). Si este nuevo promedio que refleja un rendimiento controlado es aceptable, será usado como base para los límites de control. Si no fuera aceptable, la investigación y corrección de fallas del sistema, continuará.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

#### PASO 4 – Interpretación de la Habilidad del Proceso

La habilidad del proceso es  $\bar{np}$ , la cual representa el promedio de piezas defectuosas en una muestra de tamaño fijo  $n$ . Esto también puede ser expresado como porcentaje aprobado de piezas:  $\frac{n - \bar{np}}{n} \times 100$ .

#### 3.4.3. Gráfica c para Número de Defectos

La gráfica c mide el número de defectos (discrepancias) en un lote inspeccionado (a diferencia del número de unidades discrepantes de las gráficas np). La gráfica C requiere tamaños de muestra o tamaños de material inspeccionado constantes. Esta gráfica se aplica principalmente en dos tipos de situaciones:

- 1) Donde las discrepancias se distribuyen a través de un flujo más o menos continuo del producto (defectos en un rollo de vinilo de "X" metros, burbujas en un parabrisas o puntos con aislante delgado en un conductor), y donde se pueda expresar el promedio o la relación de defectos (ejemplo: número de defectos por cada 100 metros cuadrados de tela).
- 2) Donde los defectos provenientes de diferentes fuentes (líneas, operaciones) puedan encontrarse en una unidad inspeccionada (los defectos en una estación de inspección de línea donde cada vehículo o componente puede tener uno o más defectos potenciales dentro de un patrón de variación muy amplio).

La forma de elaborar una gráfica c es similar a la gráfica p, con las siguientes excepciones:

#### PASO 1 – Obtención de Datos

- Los tamaños de muestra inspeccionadas (número de unidades, área de tela, longitud de un cable, etc.) deben ser constantes, de manera que los valores graficados de c reflejen los cambios en el desarrollo de la calidad (c: representa la ocurrencia de defectos).
- Registre y grafique el número de defectos de cada subgrupo (c).

#### PASO 2 – Cálculo de los Límites de Control

- Calcule el número de defectos promedio del Proceso ( $\bar{c}$ ):

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{k}$$



### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

donde  $c_1, c_2, \dots$  representan la cantidad de defectos en cada uno de los  $k$  subgrupos.

Calcule los Límites de Control ( $LSC_c, LIC_c$ )

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

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

#### PASO 3 – Interpretación del Control del Proceso

La interpretación del Control del Proceso en una gráfica  $c$  es igual a la descrita en la gráfica  $p$ .

#### PASO 4 – Interpretación de la Habilidad del Proceso

La Habilidad del Proceso es  $\bar{c}$ , el número promedio de defectos en una muestra de tamaño fijo,  $n$ .

#### 3.4.4. Gráfica $u$ para Cantidad de Defectos por Unidad

La gráfica  $u$  mide la cantidad de defectos (discrepancias) por unidad de inspección en subgrupos cuyos tamaños pueden ser variables. Es similar a la gráfica  $c$ , con la diferencia de que la cantidad de defectos se expresa sobre una base unitaria. Las gráficas  $c$  y  $u$  son adecuadas para las mismas situaciones, pero deberá utilizarse la gráfica  $u$  si (a) la muestra incluye más de una unidad o si (b) el tamaño de muestra varía entre subgrupos. Las instrucciones para elaboración de la gráfica  $u$  son similares a las de la gráfica  $p$ , con las siguientes excepciones:

#### PASO 1 – Obtención de Datos

- El tamaño de la muestra puede variar entre subgrupos. El cálculo de los límites de control se simplifica en la medida en que la variación de los subgrupos no exceda el 25% del tamaño de la muestra promedio.
- Registre y grafique los defectos por unidad de cada subgrupo ( $u$ ):

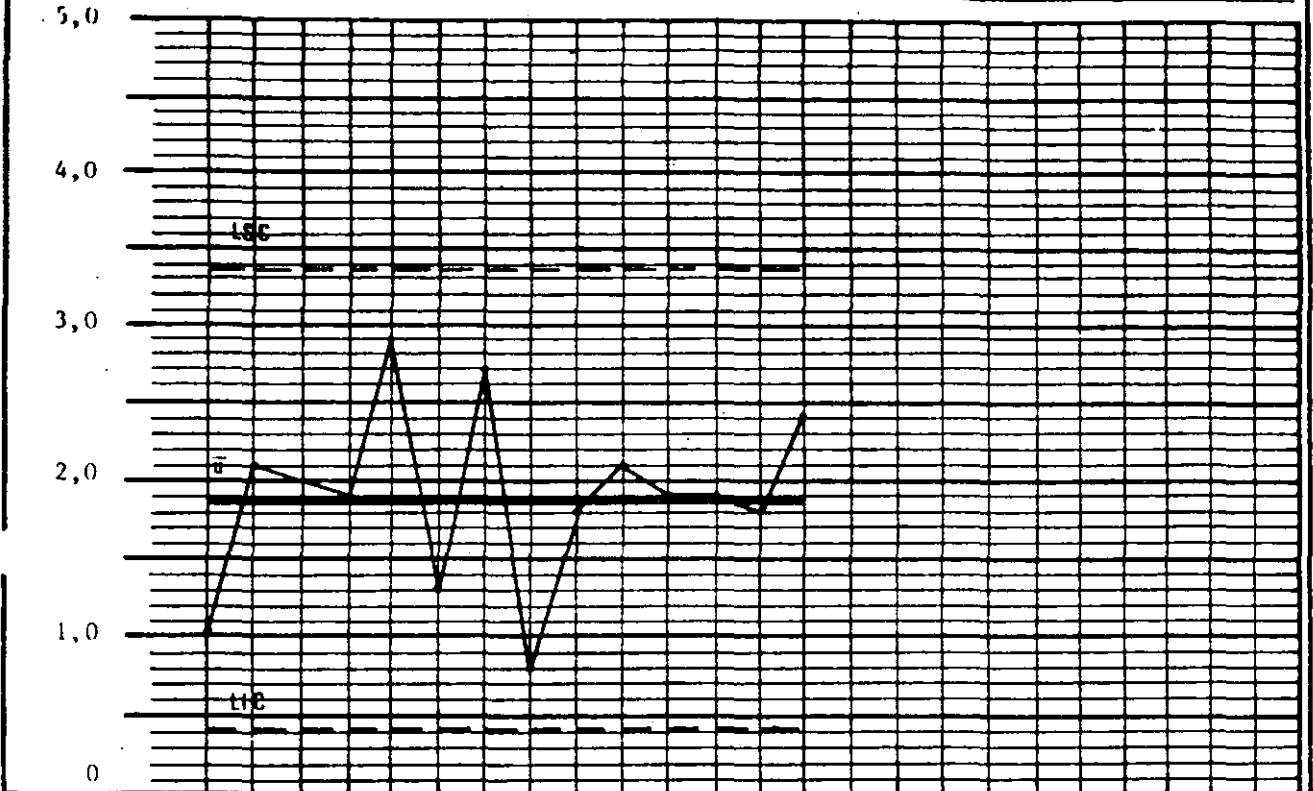
$$u = \frac{c}{n}$$



### GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>UNTA</b> PRODUCTOS METALICOS, SA     | p <input type="checkbox"/><br>np <input type="checkbox"/>                    | c <input type="checkbox"/><br>u <input checked="" type="checkbox"/> | <b>No. DE PIEZA Y NOMBRE</b><br>EOTA-8A452-AA<br>Abrazadera soporte                          |
| <b>DEPARTAMENTO CALIDAD CERTIFICADA</b> | <b>No. DE OPERACION Y NOMBRE</b><br>Auditoria de envío. (Todos los defectos) |   | <b>ITEM CRITICO</b><br>SI <input type="checkbox"/><br>NO <input checked="" type="checkbox"/> |

PROM = 1,89      LSC = 3,35      LIC = 0,43      TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 8 Cajae  
 FRECUENCIA Una vez por día.



| TAMAÑO DE LA MUESTRA (N) | 8                 | 8    | 9   | 8   | 8   | 7   | 7   | 8   | 8   | 8   | 7   | 8   | 9   | 9   |     |    |    |    |  |  |
|--------------------------|-------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|--|--|
| RECHAZOS                 | CANTIDAD (mg. cl) | 8    | 17  | 18  | 15  | 23  | 9   | 19  | 6   | 14  | 17  | 13  | 15  | 16  | 22  |    |    |    |  |  |
|                          | PORCENTAJE (p. u) | 1.02 | 2.1 | 2.0 | 1.9 | 2.9 | 1.3 | 2.7 | 0.8 | 1.8 | 2.1 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 2.4 |    |    |    |  |  |
| FECHA                    | FEBRERO           |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |  |  |
|                          | 9                 | 10   | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24 | 25 | 26 |  |  |

**OBSERVACIONES**  $\bar{u} = 212 / 112 = 1,89$   
 $LSC, LIC = 1,89 \pm 3 \sqrt{1,89 / 8} = LSC 3,35, LIC = 0,43$

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

donde  $c$  es la cantidad de defectos encontrados y  $n$  es el tamaño de muestra (número de unidades inspeccionadas) del subgrupo. Registre los valores de  $c$  y  $n$  en la forma 301h.

#### PASO 2 – Cálculo de los Límites de Control

Calcule la cantidad de defectos promedio por unidad del proceso ( $\bar{u}$ ).

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

donde  $c_1, c_2, \dots$  y  $n_1, n_2, \dots$  representan las cantidades de defectos y tamaño de muestra de cada uno de los  $k$  subgrupos respectivamente.

– Calcule los límites de control ( $LSC_U, LIC_U$ )

$$LSC_U = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \quad LIC_U = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

donde  $\bar{n}$  es el tamaño de muestra promedio.

NOTA: Cuando el tamaño de un subgrupo excede en 25% por encima o por debajo del tamaño de la muestra promedio y el punto graficado correspondiente está cerca del límite de control del proceso, deberán recalcularse los límites de control como sigue:

$$LSC_U \text{ ó } LIC_U = \bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

donde  $\bar{u}$  es el promedio del proceso y  $n$  el tamaño de muestra (cantidad de unidades de inspección) del subgrupo considerado.

#### PASO 3 – Interpretación del Control del Proceso

La interpretación del Control del Proceso en una gráfica  $u$  es igual a la descrita en las gráficas  $p$ .

#### PASO 4 – Interpretación de la Habilidad del Proceso

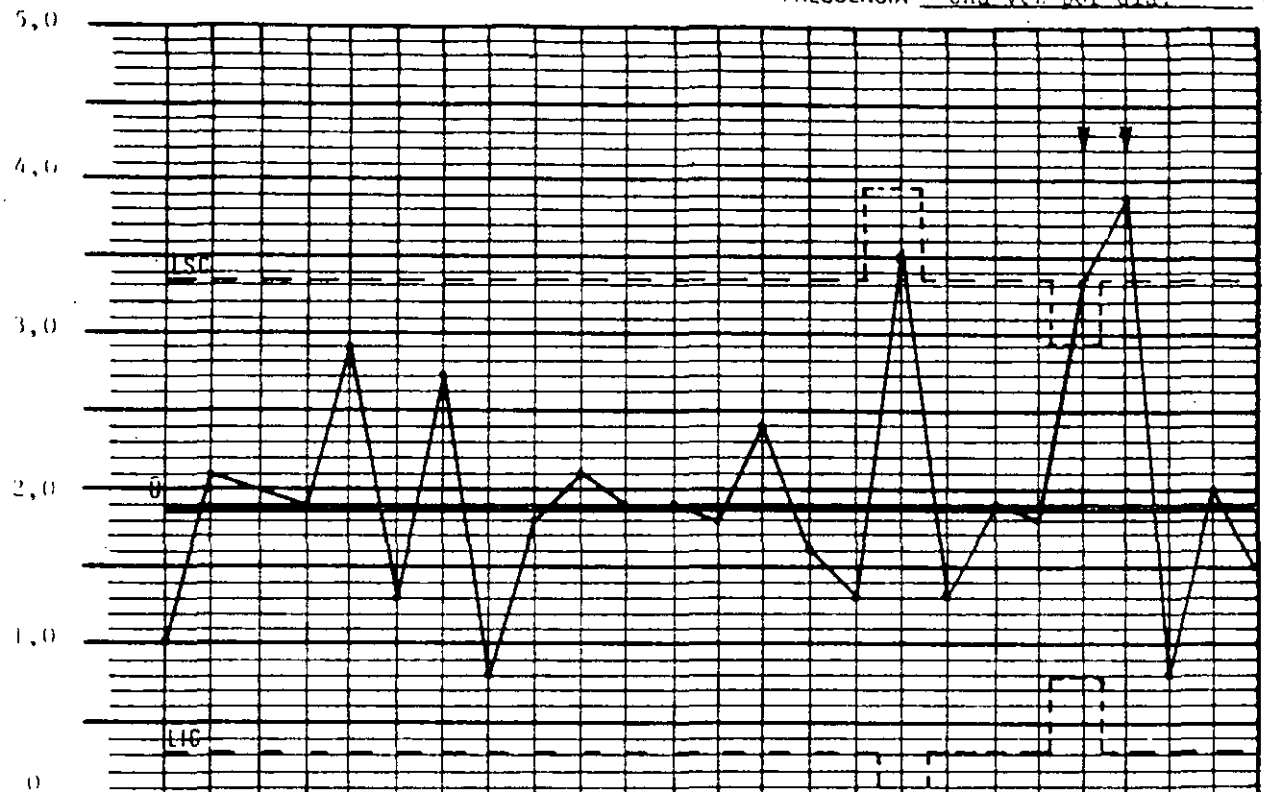
La habilidad del Proceso es  $\bar{u}$ , el número promedio de defectos por unidad.



### GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| FICHA<br>PRODUCTOS METALICOS, S. A.    | p <input type="checkbox"/><br>np <input type="checkbox"/>              | c <input type="checkbox"/><br>u <input checked="" type="checkbox"/>  | No. DE PIEZA Y NOMBRE<br>EOTA-8A452-AA<br>Abrazadera soporte |
| DEPARTAMENTO<br>Calidad<br>Certificada | No. DE OPERACION Y NOMBRE<br>Auditoria de envío - (todos los defectos) | ITEM CRITICO <span style="float: right;">SI <input type="checkbox"/></span><br><span style="float: right;">NO <input checked="" type="checkbox"/></span> |  |

PROM = 1.89      LSC = 3.35      LIC = 0.43      TAMANO DE MUESTRA PROMEDIO 8 cajas  
 FRECUENCIA Una vez por día.



|                          |                   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| TAMAÑO DE LA MUESTRA (N) | 8                 | 8  | 9  | 8  | 8  | 7  | 7  | 8  | 8  | 8  | 7  | 8  | 9  | 9  | 8  | 8  | 4  | 8  | 12 | 12 | 16 | 8  | 4  | 4  | 8  |    |
| RECHAZOS                 | CANTIDAD (p. c)   | 8  | 17 | 18 | 15 | 23 | 9  | 19 | 6  | 14 | 17 | 13 | 15 | 16 | 22 | 13 | 10 | 14 | 9  | 23 | 21 | 51 | 31 | 3  | 8  | 12 |
|                          | PORCENTAJE (p. u) | 10 | 21 | 20 | 19 | 29 | 13 | 27 | 08 | 18 | 21 | 19 | 19 | 18 | 24 | 16 | 13 | 35 | 13 | 19 | 18 | 32 | 39 | 08 | 20 | 15 |
| FECHA                    | F                 | E  | B  | R  | E  | R  | O  |    |    |    |    |    |    |    |    | M  | A  | R  | Z  | O  |    |    |    |    |    |    |
|                          | 9                 | 10 | 11 | 11 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 15 |    |

**OBSERVACIONES**      Valores desde Feb. 9 hasta Feb. 26 usados para control continuo. A partir de Marzo 1 se han corregido los límites calculados para los días 3, 5, 8, 9, 11, 12. De los nuevos límites solo se graficaron los días 3 y 9 de Marzo. Los otros no alterarían la decisión (dentro o fuera del control). Nótese que el valor alto de Marzo 3 no fué importante, pero sí los valores de Marzo 9 y 10.

$N=4 \quad LSC - LIC = 1.89 + 3\sqrt{1.89 / 4} = LSC= 3.95, LIC=0$   
 $N=16 \quad LSC - LIC = 1.89 + \sqrt{1.89 / 16} = LSC=2.92, LIC=0.86$



## 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS

### 4.1. Diagrama de Pareto

No todos los problemas a los que nos enfrentamos tienen la misma importancia. Algunos son más importantes que otros, la prueba la tenemos cuando decimos que no es posible resolver todos nuestros problemas al mismo tiempo; debemos asignar prioridades y resolver primero los más importantes.

En nuestro trabajo cotidiano se nos presentan una serie de problemas que requieren solución; si deseamos saber cuál es el problema más importante, podemos elaborar un DIAGRAMA DE PARETO.

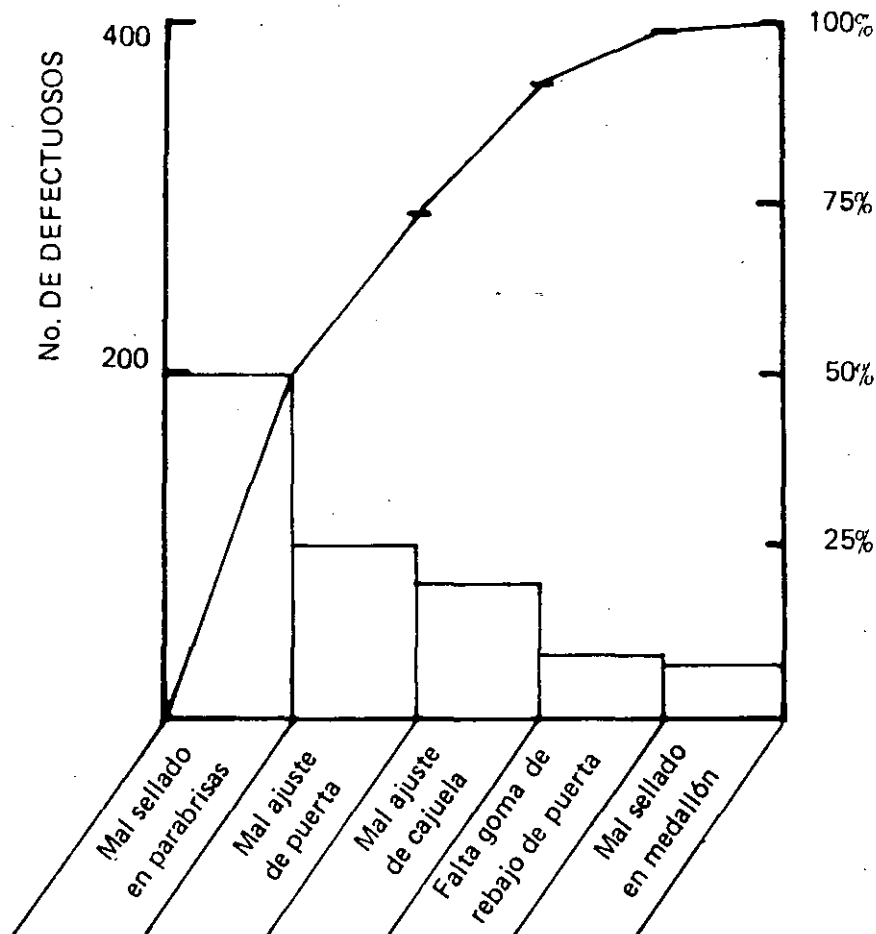
Veamos un ejemplo. En la siguiente tabla se muestran los datos sobre los defectos encontrados en la prueba de pasos de agua.

#### REGISTRO DE DEFECTOS

Fecha: Enero 24, 1983 Número Inspeccionado (N): 2165

| <u>Tipos de Defectos</u>             | <u>Número de Casos<br/>(n)</u> | <u>Porcentaje Defectuoso<br/><math>\frac{(n \times 100)}{N}</math></u> | <u>Porcentaje Relativo<br/>de Defectuosos<br/><math>\frac{(n \times 100)}{d}</math></u> |
|--------------------------------------|--------------------------------|--|---|
| Mal sellado en para-<br>brisas.      | 198                            | 9.1%   | 47.6 %  |
| Falta de goma en<br>rebajo de puerta | 25                             | 1.2%   | 6.0 %   |
| Mal ajuste de<br>puerta              | 103                            | 4.8%   | 24.7 %  |
| Mal sellado en me-<br>dallón         | 18                             | 0.8%   | 4.3 %   |
| Mal ajuste de ca-<br>juela           | 72                             | 3.3%   | 17.3 %  |
| <b>T o t a l</b>                     | <u><u>d=416</u></u>            | <u><u>19.2%</u></u>  | <u><u>100.0%</u></u>  |

#### 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS



Cada barra representa un tipo diferente de defecto. El eje horizontal indica el defecto comenzando con el principal en la izquierda hasta el menor en importancia a la derecha. El eje vertical representa el grado del defecto en términos de porcentaje. Este es un Diagrama de Pareto.

En todo fenómeno que resulte de la intervención de varias causas o factores, ordenados en una lista de mayor o menor según la magnitud de su contribución, se encontrará que un pequeño número de causas de la lista, contribuyen a la mayor parte del efecto, mientras que la mayor parte de las causas restantes contribuye solamente a una pequeña parte del efecto.

Un diagrama de Pareto, indica qué problema debemos resolver primero en términos de su contribución al problema. En este ejemplo, el mal sellado en parabrisas es el problema más importante, puesto que forma la barra más alta y contribuye con el 48% del efecto. El siguiente tipo de defecto en importancia (la segunda barra más alta), es el mal ajuste de puertas, el cual contribuye con el 25% del efecto.

## 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS

### 4.1.1. Elaboración de un Diagrama de Pareto

A continuación se describen los pasos para elaborar un diagrama de Pareto:

**PASO 1** – Elabore la lista de los defectos, productos dañados, etc., que formarán parte del diagrama de Pareto.

**PASO 2** – Decida el período de tiempo que ilustrará en su gráfica. En otras palabras, de qué momento a qué momento cubrirá. No hay un período de tiempo preestablecido, de modo que es natural que el período varíe según la situación.

**PASO 3** – Obtenga el número de casos (frecuencia de ocurrencia) para cada artículo o defecto para el período considerado. El total de cada artículo estará representado por la longitud de la barra.

**PASO 4** – Calcule el porcentaje defectuoso mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ defectuoso} = \frac{n}{N} \times 100$$

Donde  $n$  = Número de casos por defecto (frecuencia de ocurrencia).

$N$  = Tamaño de la muestra (total de casos).

El porcentaje defectuoso nos dá información sobre la mejora que se puede obtener al solucionar un problema, en términos de porcentaje absoluto.

**PASO 5** – Calcule el Porcentaje Relativo de Defectuosos. Este porcentaje nos dá información de cuánto se puede mejorar al solucionar un problema dentro de la "dimensión crítica"; para el ejemplo: Luz de cortesía no funciona, contribuye con un 37.39% a la dimensión crítica "fallas eléctricas". El cálculo del porcentaje relativo se efectúa de la siguiente forma:

$$\% \text{ Relativo} = \frac{n}{d} \times 100$$

Donde  $n$  = Número de casos por defecto.

$d$  = Número de casos defectuosos de la dimensión crítica considerada.

#### 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS

**PASO 6** — Calcule el Porcentaje Relativo Acumulado. Este porcentaje nos dá información de los defectos considerados en nuestra dimensión crítica. Se calcula sumando el porcentaje relativo de defectuosos. Para el ejemplo, al llegar al problema de "claxon no funciona" se cubre el 80.86% de nuestra dimensión crítica.

Registro de Defectos

Dimensión Crítica: Fallas Eléctricas

Paso 2

Paso 4

$$\% \text{ Def.} = \frac{43}{500} \times 100 = 8.6$$

Período: De Enero 15, 1983

A Enero 16, 1983 Número Inspeccionado: N = 500

| Lista de Defectos                | Número de Casos (n) | Porcentaje Defectuoso | Porcentaje Relativo de Defectuosos | Porcentaje Relativo Acumulado |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| — Luz de cortesía no funciona    | 43                  | 8.6%                  | 37.39%                             | 37.39%                        |
| — Luz de frenos no funciona      | 30                  | 6.0%                  | 26.08 %                            | 63.47%                        |
| — Claxon no opera                | 20                  | 4.0%                  | 17.39 %                            | 80.86%                        |
| — Luz de tablero de instrumentos | 10                  | 2.0%                  | 8.69 %                             | 89.55%                        |
| — Alternador no opera            | 9                   | 1.8%                  | 7.82 %                             | 97.37 %                       |
| — Otros                          | 3                   | 0.6%                  | 2.60 %                             | 99.90 %                       |
| <b>T O T A L</b>                 | <b>d= 115</b>       | <b>23.0%</b>          | <b>99.90%</b>                      |                               |

Paso 6

$$37.39 + 26.08 = 63.47$$

Paso 1

Paso 3

Paso 5

$$\% \text{ Rel.} = \frac{3}{115} \times 100 = 2.60$$

**PASO 7** — Trace los ejes horizontal y vertical en un papel para gráficas y marque en el eje vertical la escala que representará el número de defectuosos y el porciento.

**PASO 8** — En el eje horizontal, anote primero el defecto o artículo más importante y así sucesivamente, de modo que el artículo defectuoso principal quede en el extremo izquierdo.

#### 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS

**PASO 9** – Trace las barras. El alto de la barra representa el número de casos o frecuencia de ocurrencia de un defecto o un artículo y debe corresponder al valor indicado en el eje vertical. Haga las barras del mismo ancho de tal manera que cada una quede en contacto con la siguiente. En caso de dejar espacio entre barras, estos deben ser siempre iguales. Trace los porcentajes relativos acumulados, calculados en el registro de defectos.

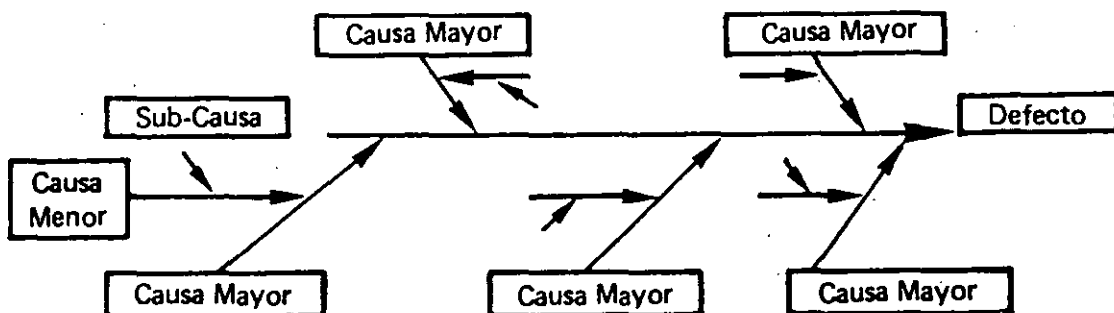
**PASO 10** –Ponga títulos a la gráfica y anote en forma breve el origen de los datos en que se basó para hacerla.

##### 4.1.2. Interpretación de un Diagrama de Pareto

El objeto de analizar un diagrama de Pareto es identificar cuáles son los principales problemas que afectan nuestro proceso y en qué medida, y en función de esto, establecer un orden de importancia. Esto nos permitirá tener un mejor aprovechamiento de nuestros recursos al solucionar los problemas más importantes.

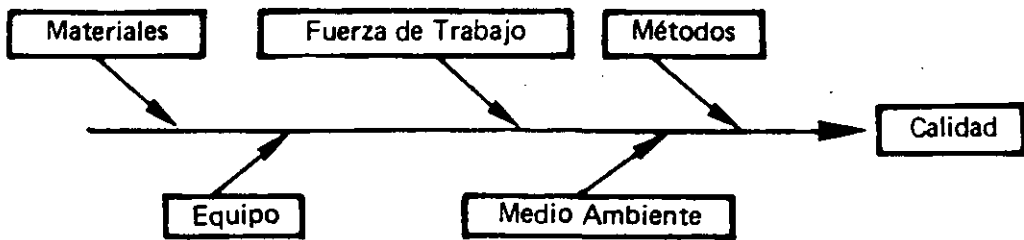
##### 4.2. Diagrama Causa-Efecto

El Diagrama de Ishikawa es una de las técnicas de análisis de causa-efecto para la solución de problemas; de ahí que se le llame también Diagrama de Causa y Efecto. Por su forma, recibe el nombre de espina de pescado o esqueleto de pescado, en el cual la espina dorsal o central constituye el camino que nos lleva a la cabeza de pescado, que es donde colocamos el problema, defecto o situación que queremos analizar y las espinas (o flechas) que la rodean, indican las causas y subcausas que contribuyen al defecto, problemas o situación (proceso).



Comúnmente, el diagrama causa-efecto permite analizar los factores que intervienen en la calidad de un producto, a través de una relación causa-efecto. Los factores, que pueden considerarse para dicho análisis se ilustran a continuación:

## 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS



### 4.2.1. Importancia de un Diagrama Causa-Efecto

Los diagramas causa-efecto se trazan para ilustrar con claridad las diversas causas que afectan un resultado, clasificándolas y relacionándolas. Un buen diagrama causa-efecto es el que logra el objetivo de encontrar la causa de la dispersión. El uso de los diagramas causa-efecto proporcionan muchos beneficios algunos de ellos se mencionan a continuación.

#### 4.2.1.1. Un Diagrama Causa-Efecto Enseña

Tome todas las ideas posibles al hacer el diagrama. Pregunte a todos: "¿Cuál es la causa de la dispersión?", "¿A qué se debe este resultado?". Toda persona que analice un problema a través de un diagrama causa-efecto adquiere nuevos conocimientos; también puede aprenderse mucho con el sólo hecho de estudiar un problema ya analizado por otros.

#### 4.2.1.2. Un Diagrama Causa-Efecto es una Guía para la Discusión

Una discusión no puede tener un fin cuando los que la sostienen se desvían del tema. Cuando un diagrama causa-efecto sirve de foco para la discusión, todo el mundo conocerá del tema y sabrá qué tan avanzado se encuentra. Se evitan las desviaciones del tema y las repeticiones de las quejas y sus motivos. Se llega más pronto a la conclusión sobre la acción a tomar.

#### 4.2.1.3. Un Diagrama Causa-Efecto Muestra el Nivel Tecnológico

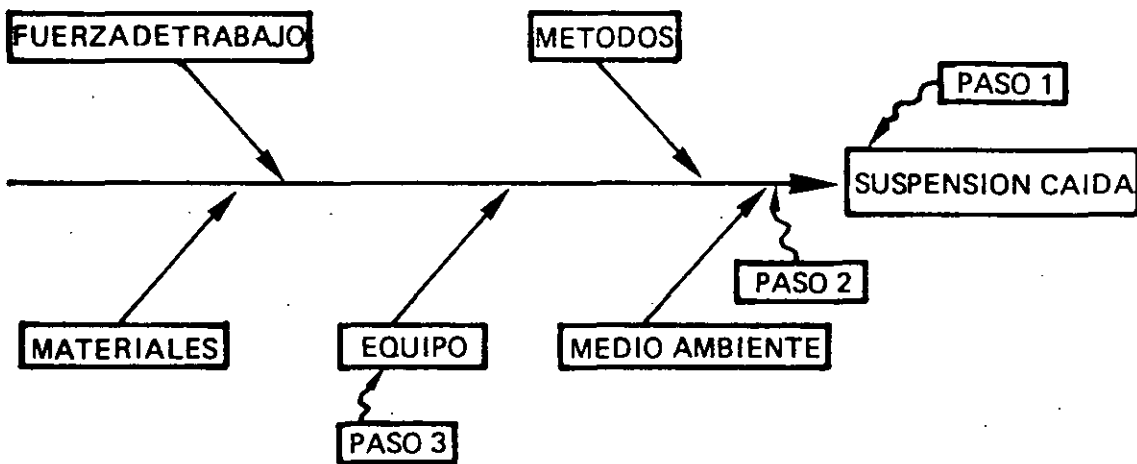
Si un diagrama causa-efecto puede trazarse en su totalidad, significa que las personas que lo elaboraron conocen bastante acerca del proceso de producción. Por otra parte, entre más se conozca el proceso de producción, más fácilmente se analizará un problema.

## 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS

### 4.2.1.4. Un Diagrama de Causa-Efecto Puede Utilizarse Para Analizar Cualquier Problema

Debido a que esta clase de diagramas ilustra la relación entre las causas y el efecto de una manera racional, puede ser utilizado para analizar problemas de calidad y productividad, seguridad, desempeño del personal, etc.

### 4.2.2. Elaboración de un Diagrama Causa-Efecto



Los factores relacionados con problemas de calidad en las plantas son innumerales. El diagrama causa-efecto nos ayuda a clarificar las causas de la dispersión y a organizar sus relaciones. A continuación se describen los pasos para elaborar un diagrama causa-efecto.

**PASO 1** — Decida la característica de calidad que desee mejorar y controlar.

**PASO 2** — Trace una flecha gruesa dirigida hacia la derecha y escriba la característica de calidad a controlar.

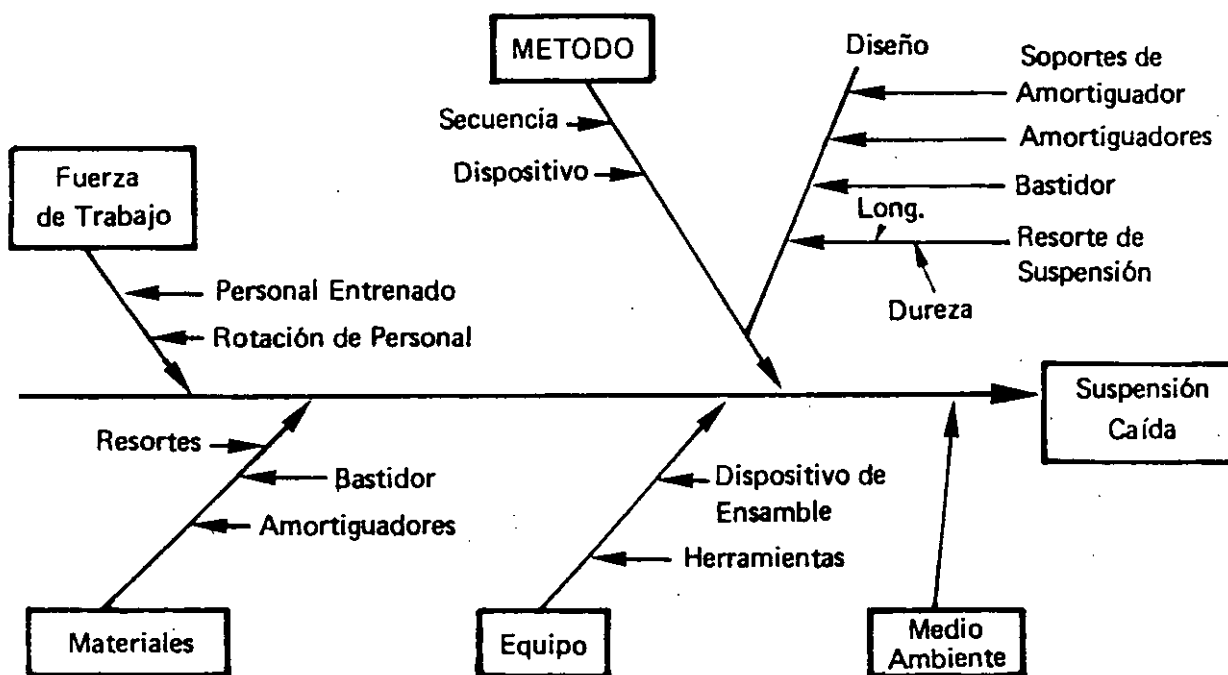
**PASO 3** — Anote los factores principales que puedan estar causando el defecto usando para esto flechas-rama dirigidas hacia la flecha principal. Se recomienda agrupar los factores principales que causen la dispersión en los siguientes grupos: La materia prima (materiales), Equipo (máquinas, herramientas), Medio Ambiente (condiciones climatológicas), Métodos de Trabajo (proceso) y Fuerza de Trabajo (operarios, inspectores).

#### 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS

**PASO 4** — Sobre cada uno de los factores-rama, anote los factores detallados que pudieran considerarse como causas. Estos se verán como varitas. Y dentro de cada una de estas últimas, anote factores aún más detallados, haciendo las varas más pequeñas.

**PASO 5** — Para finalizar debe verificar que todos los motivos que puedan causar la dispersión estén incluidos en el diagrama. En caso de que así sea y de que las relaciones causa-efecto estén ilustradas en forma adecuada, el diagrama estará completo.

##### Paso 4

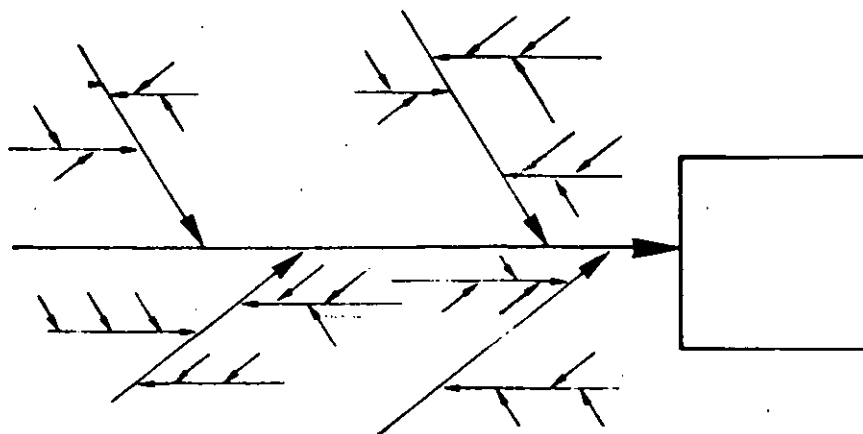


#### 4.2.3. Interpretación de un Diagrama Causa-Efecto

El objetivo fundamental de un diagrama causa-efecto, como ya se dijo, es detectar las causas de la dispersión en las características de calidad y en qué medida la afectan. En algunos casos, una causa suele derivarse de numerosos elementos complejos y si no se tiene el suficiente cuidado al relacionarlos y clasificarlos, el diagrama causa-efecto puede resultar demasiado complicado, como el que se muestra en la figura siguiente:



#### 4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS



Asimismo, si un diagrama sólo reúne cinco o seis causas, aún teniendo una forma correcta, no podrá considerarse como un diagrama satisfactorio.

Una vez que determine la causa más probable de un problema, verifíquela en el campo. Si ésta no fué la causa real, revise detalladamente su análisis (y de ser necesario, reconstrúyalo) y repita el proceso de verificación hasta que solucione el problema.

Durante este proceso, es conveniente tomar en cuenta lo siguiente:

- **No tome alguna acción hasta estar seguro de que ésta es la causa más probable de la dispersión.** Puede suceder que una de las causas de la dispersión que hemos detectado sea el equipo; sin embargo, como se ha visto, las máquinas tienen una variación natural en su funcionamiento y si realizamos algún ajuste, es posible que estemos encubriendo la causa verdadera.
- **No tome acciones sobre varias causas al mismo tiempo.** Cuando se han detectado las posibles causas de la dispersión es importante tomar acciones de una a la vez, ésto nos permitirá conocer exactamente cuál de ellas provoca la mayor dispersión y en qué medida; de otra forma, cuando el problema se presente nuevamente, no sabremos cuál fué la causa verdadera y, por lo tanto, no podremos solucionarlo rápidamente.

Así pues, tanto el Diagrama de Pareto como el Diagrama de Ishikawa son métodos simples, fáciles de entender y efectivos. Simplifican grandemente el análisis y mejoran la solución de cada problema; además, ayudan a visualizar mejor las situaciones problemáticas y, por sus mismas características, facilitan el que las entiendan otras personas que no están directamente relacionadas con ellas.

## 5.1. FORMULAS Y TABLAS

5.1.1. Gráficas  $\bar{X} - R$ .

| Observaciones en la muestra de tamaño $n$ | Gráfica de Promedios ( $\bar{X}$ )   | Gráfica de Rangos (R)                   |                                      |       |
|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-------|
|   | Factores para los Límites de Control | Divisores p/estimar Desviación Estándar | Factores para los Límites de Control |       |
|   | $A_2$                                | $d_2$                                   | $D_3$                                | $D_4$ |
| 2   | 1.880                                | 1.128                                   | —                                    | 3.267 |
| 3   | 1.023                                | 1.693                                   | —                                    | 2.574 |
| 4   | 0.729                                | 2.059                                   | —                                    | 2.282 |
| 5   | 0.577                                | 2.326                                   | —                                    | 2.114 |
| 6   | 0.483                                | 2.534                                   | —                                    | 2.004 |
| 7   | 0.419                                | 2.704                                   | 0.076                                | 1.924 |
| 8   | 0.373                                | 2.847                                   | 0.136                                | 1.864 |
| 9   | 0.337                                | 2.970                                   | 0.184                                | 1.816 |
| 10  | 0.308                                | 3.078                                   | 0.223                                | 1.777 |
| 11  | 0.285                                | 3.173                                   | 0.256                                | 1.744 |
| 12  | 0.266                                | 3.258                                   | 0.283                                | 1.717 |
| 13  | 0.249                                | 3.336                                   | 0.307                                | 1.693 |
| 14  | 0.235                                | 3.407                                   | 0.328                                | 1.672 |
| 15  | 0.223                                | 3.472                                   | 0.347                                | 1.653 |
| 16  | 0.212                                | 3.532                                   | 0.363                                | 1.637 |
| 17  | 0.203                                | 3.588                                   | 0.378                                | 1.622 |
| 18  | 0.194                                | 3.640                                   | 0.391                                | 1.608 |
| 19  | 0.187                                | 3.689                                   | 0.403                                | 1.597 |
| 20  | 0.180                                | 3.735                                   | 0.415                                | 1.585 |
| 21  | 0.173                                | 3.778                                   | 0.425                                | 1.575 |
| 22  | 0.167                                | 3.819                                   | 0.434                                | 1.566 |
| 23  | 0.162                                | 3.858                                   | 0.443                                | 1.557 |
| 24  | 0.157                                | 3.895                                   | 0.451                                | 1.548 |
| 25  | 0.153                                | 3.931                                   | 0.459                                | 1.541 |

## 5. APENDICE

$$LSC_{\bar{X}}, LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

### 5.1.2. Gráficas de Medianas y Lecturas Individuales

| Observaciones<br>en la<br>Muestra<br>de Tamaño n | GRAFICAS DE MEDIANAS                 |   |                                      |       | GRAFICAS DE LECTURAS INDIVIDUALES    |   |                                      |       |
|--|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-------|
|  | Gráficas de Medianas (X)             | Gráficas de Rangos (R)                  |                                      |       | Gráfica de Lecturas Individuales (X) | Gráfica de Rangos (R)                   |                                      |       |
|  | Factores para los Límites de Control | Factores p/ Estimar Desviación Estándar | Factores para los Límites de Control |       | Factores para los Límites de Control | Factores p/ Estimar Desviación Estándar | Factores para los Límites de Control |       |
|  | $\bar{A}_2$                          | $d_2$                                   | $D_3$                                | $D_4$ | $E_2$                                | $d_2$                                   | $D_3$                                | $D_4$ |
| 2  | 1.880                                | 1.128                                   | —                                    | 3.267 | 2.660                                | 1.128                                   | —                                    | 3.267 |
| 3  | 1.187                                | 1.693                                   | —                                    | 2.574 | 1.772                                | 1.693                                   | —                                    | 2.574 |
| 4  | 0.796                                | 2.059                                   | —                                    | 2.282 | 1.457                                | 2.059                                   | —                                    | 2.282 |
| 5  | 0.691                                | 2.326                                   | —                                    | 2.114 | 1.290                                | 2.326                                   | —                                    | 2.114 |
| 6  | 0.548                                | 2.534                                   | —                                    | 2.004 | 1.184                                | 2.534                                   | —                                    | 2.004 |
| 7  | 0.508                                | 2.704                                   | 0.076                                | 1.924 | 1.109                                | 2.704                                   | 0.076                                | 1.924 |
| 8  | 0.433                                | 2.847                                   | 0.136                                | 1.864 | 1.054                                | 2.847                                   | 0.136                                | 1.864 |
| 9  | 0.412                                | 2.970                                   | 0.184                                | 1.816 | 1.010                                | 2.970                                   | 0.184                                | 1.816 |
| 10   | 0.362                                | 3.078                                   | 0.223                                | 1.777 | 0.975                                | 3.078                                   | 0.223                                | 1.777 |

$$LSC_{\bar{X}}, LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm \bar{A}_2 \bar{R}$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

$$LSC_X, LIC_X = \bar{\bar{X}} \pm E_2 \bar{R}$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

## 5.1.3. Gráficas por Atributos

Gráfica p para Proporción Defectuosa y muestra de tamaño no necesariamente constante:

$$LSC_p, LIC_p = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$$

Gráfica np para Cantidad de Defectuosos y muestras de tamaño constante:

$$LSC_{np}, LIC_{np} = \bar{np} \pm 3 \sqrt{\bar{np}(1-\bar{np}/n)}$$

Gráfica c para Cantidad de Defectos y muestras de tamaño constante:

$$LSC_c, LIC_c = \bar{c} \pm 3 \sqrt{\bar{c}}$$

Gráfica u para Cantidad de Defectos por Unidad y muestras de tamaño no necesariamente constante:

$$LSC_u, LIC_u = \bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

## 5. APENDICE

### 5.1.4. Area Bajo la Curva Normal

$P_Z$  = Proporción del resultado del proceso fuera del límite especificado. (Para un proceso que está bajo control estadístico y normalmente distribuido).

#### AREA BAJO LA CURVA NORMAL

| z   | x.x0   | x.x1   | x.x2   | x.x3   | x.x4   | x.x5   | x.x6   | x.x7   | x.x8   | x.x9   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4.0 | .00003 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3.9 | .00005 | .00005 | .00004 | .00004 | .00004 | .00004 | .00004 | .00004 | .00003 | .00003 |
| 3.8 | .00007 | .00007 | .00007 | .00006 | .00006 | .00006 | .00006 | .00005 | .00005 | .00005 |
| 3.7 | .00011 | .00010 | .00010 | .00010 | .00009 | .00009 | .00008 | .00008 | .00008 | .00008 |
| 3.6 | .00016 | .00015 | .00015 | .00014 | .00014 | .00013 | .00013 | .00012 | .00012 | .00011 |
| 3.5 | .00023 | .00022 | .00022 | .00021 | .00020 | .00019 | .00019 | .00018 | .00017 | .00017 |
| 3.4 | .00034 | .00032 | .00031 | .00030 | .00029 | .00028 | .00027 | .00026 | .00025 | .00024 |
| 3.3 | .00048 | .00047 | .00045 | .00043 | .00042 | .00040 | .00039 | .00038 | .00036 | .00035 |
| 3.2 | .00069 | .00066 | .00064 | .00062 | .00060 | .00058 | .00056 | .00054 | .00052 | .00050 |
| 3.1 | .00097 | .00094 | .00090 | .00087 | .00084 | .00082 | .00079 | .00076 | .00074 | .00071 |
| 3.0 | .00135 | .00131 | .00126 | .00122 | .00118 | .00114 | .00111 | .00107 | .00104 | .00100 |
| 2.9 | .0019  | .0018  | .0018  | .0017  | .0016  | .0016  | .0015  | .0015  | .0014  | .0014  |
| 2.8 | .0026  | .0025  | .0024  | .0023  | .0023  | .0022  | .0021  | .0021  | .0020  | .0019  |
| 2.7 | .0035  | .0034  | .0033  | .0032  | .0031  | .0030  | .0029  | .0028  | .0027  | .0026  |
| 2.6 | .0047  | .0045  | .0044  | .0043  | .0041  | .0040  | .0039  | .0038  | .0037  | .0036  |
| 2.5 | .0062  | .0060  | .0059  | .0057  | .0055  | .0054  | .0052  | .0051  | .0049  | .0048  |
| 2.4 | .0082  | .0080  | .0078  | .0075  | .0073  | .0071  | .0069  | .0068  | .0066  | .0064  |
| 2.3 | .0107  | .0104  | .0102  | .0099  | .0096  | .0094  | .0091  | .0089  | .0087  | .0084  |
| 2.2 | .0139  | .0136  | .0132  | .0129  | .0125  | .0122  | .0119  | .0116  | .0113  | .0110  |
| 2.1 | .0179  | .0174  | .0170  | .0166  | .0162  | .0158  | .0154  | .0150  | .0146  | .0143  |
| 2.0 | .0228  | .0222  | .0217  | .0212  | .0207  | .0202  | .0197  | .0192  | .0188  | .0183  |
| 1.9 | .0287  | .0281  | .0274  | .0268  | .0262  | .0256  | .0250  | .0244  | .0239  | .0233  |
| 1.8 | .0359  | .0351  | .0344  | .0336  | .0329  | .0322  | .0314  | .0307  | .0301  | .0294  |
| 1.7 | .0446  | .0436  | .0427  | .0418  | .0409  | .0401  | .0392  | .0384  | .0375  | .0367  |
| 1.6 | .0548  | .0537  | .0526  | .0516  | .0505  | .0495  | .0485  | .0475  | .0465  | .0455  |
| 1.5 | .0668  | .0655  | .0643  | .0630  | .0618  | .0606  | .0594  | .0582  | .0571  | .0559  |
| 1.4 | .0808  | .0793  | .0778  | .0764  | .0749  | .0735  | .0721  | .0708  | .0694  | .0681  |
| 1.3 | .0968  | .0951  | .0934  | .0918  | .0901  | .0885  | .0869  | .0853  | .0838  | .0823  |
| 1.2 | .1151  | .1131  | .1112  | .1093  | .1075  | .1056  | .1038  | .1020  | .1003  | .0985  |
| 1.1 | .1357  | .1335  | .1314  | .1292  | .1271  | .1251  | .1230  | .1210  | .1190  | .1170  |
| 1.0 | .1587  | .1562  | .1539  | .1515  | .1492  | .1469  | .1446  | .1423  | .1401  | .1379  |
| 0.9 | .1841  | .1814  | .1788  | .1762  | .1736  | .1711  | .1685  | .1660  | .1635  | .1611  |
| 0.8 | .2119  | .2090  | .2061  | .2033  | .2005  | .1977  | .1949  | .1922  | .1894  | .1867  |
| 0.7 | .2420  | .2389  | .2358  | .2327  | .2297  | .2266  | .2236  | .2206  | .2177  | .2148  |
| 0.6 | .2743  | .2709  | .2676  | .2643  | .2611  | .2578  | .2546  | .2514  | .2483  | .2451  |
| 0.5 | .3085  | .3050  | .3015  | .2981  | .2946  | .2912  | .2877  | .2843  | .2810  | .2776  |
| 0.4 | .3446  | .3409  | .3372  | .3336  | .3300  | .3264  | .3228  | .3192  | .3156  | .3121  |
| 0.3 | .3821  | .3783  | .3745  | .3707  | .3669  | .3632  | .3594  | .3557  | .3520  | .3483  |
| 0.2 | .4207  | .4168  | .4129  | .4090  | .4052  | .4013  | .3974  | .3936  | .3897  | .3859  |
| 0.1 | .4602  | .4562  | .4522  | .4483  | .4443  | .4404  | .4364  | .4325  | .4286  | .4247  |
| 0.0 | .5000  | .4960  | .4920  | .4880  | .4840  | .4801  | .4761  | .4721  | .4681  | .4641  |

## 5.2. GLOSARIO DE TERMINOS Y SIMBOLOS

## 5.2.1. Términos Utilizados en esta Guía

**Atributos** — Son datos cualitativos que pueden ser contados para su registro y análisis. Como ejemplo se pueden tener características tales como la presencia o no de una etiqueta y la instalación o no de todos los tornillos requeridos. Otros ejemplos pueden ser características que son medibles (que pueden ser tratadas como variables), pero donde los resultados son registrados con un simple sí o no cumple, tales como la aceptación de un diámetro de flecha cuando se mide con un calibrador pasa/no pasa. Cartas p, np, c y u son usadas para atributos.

**Causa Común** — Es una fuente de variación que siempre está presente; es parte de la variación normal inherente al proceso mismo. Su origen puede usualmente ser rastreado hasta un elemento del sistema, el cual sólo la Gerencia puede corregir.

**Causa Especial** — Es una fuente de variación que es intermitente, impredecible, inestable; algunas veces llamada causa asignable. Está señalada por un punto fuera de los límites de control, o por tendencias u otros patrones de puntos no casuales dentro de los límites de control.

**Consecutivas** — Son piezas producidas sucesivamente, son la base para seleccionar las muestras en los subgrupos.

**Control Estadístico** — Es la condición que describe un proceso en el cual todas las causas especiales de variación han sido eliminadas y sólo permanecen las causas comunes; esto se evidencia en la gráfica de control por la ausencia de puntos fuera de los límites de control y por la ausencia de patrones no casuales o tendencias dentro de los límites de control.

**Desviación Estándar** — Es una medida de la dispersión de la producción del proceso o de la dispersión de una muestra estadística tomada del proceso (p.e. de promedios de subgrupos); se denota por la letra griega  $\sigma$  (SIGMA).

**Discrepancias** — Son ocurrencias específicas de una condición, las cuales no cumplen especificaciones u otro estándar de inspección; algunas veces llamados defectos. Una parte individual discrepante puede tener más de una discrepancia (p.e. una puerta puede tener diferentes abolladas; una prueba funcional de un carburador puede revelar un gran número de discrepancias). Las gráficas c y u se utilizan para analizar sistemas que producen discrepancias.

**Distribución** — Es la forma de describir los resultados de un sistema de variación por causas comunes, en la cual el comportamiento de los valores indivi-

## 5. APENDICE

duales no es predecible pero cuyos resultados como conjunto tienen un patrón que puede ser descrito por su ubicación.

**Distribución Binominal** — Es una distribución de probabilidades para atributos que se aplica en el caso de unidades defectuosas y sobre la cual se basan las gráficas  $p$  y  $np$ .

**Distribución Normal** — Es una distribución por variables, simétrica y con forma de campana que subyace en las gráficas de control por variables. Cuando los datos se distribuyen normalmente, alrededor del 68,26% de las mediciones individuales estarán comprendidos entre más y menos una desviación estándar de la media; alrededor del 95,44% entre más y menos dos desviaciones estándar, y alrededor del 99,73% entre más y menos tres desviaciones estándar de la media. Estos porcentajes son la base para los límites de control y el análisis de las gráficas de control (dado que los promedios de los subgrupos se distribuyen normalmente a pesar de que no se distribuya así la población), y para la toma de decisiones sobre habilidad (dado que los resultados de muchos procesos industriales siguen la distribución normal estándar en el Apéndice 5.1.3).

**Distribución de Poisson** — Es una distribución de probabilidades para atributos que se aplica a los defectos y que subyace en las gráficas  $c$  y  $u$ .

**Especificación** — Es el requerimiento de Ingeniería que permite juzgar la aceptabilidad de una característica en particular. Se selecciona de acuerdo a los requerimientos funcionales del producto o del cliente, una especificación puede ser consistente o no con la habilidad demostrada del proceso (si no lo es, seguramente partes fuera de especificación serán fabricadas). Una especificación no debe ser confundida con un límite de control.

**Estabilidad** — Es la ausencia de causas especiales de variación o sea, la propiedad de estar bajo control estadístico.

**Estadístico** — Es un valor basado o calculado con los datos de un muestreo (p. e. rangos o promedios de subgrupos, usado para hacer análisis sobre el proceso que produjo los datos).

**Estratificación** — Es la selección de muestras de manera que cada subgrupo contenga datos provenientes de dos o más flujos de proceso con diferentes características de desarrollo.

**Fallas Localizadas** — Es una fuente de variación asociada al operador, máquina, etc., que puede ser solucionada por el operador mismo, el supervisor o personal de servicio de la planta. Es una condición asociada a la forma en que el proceso es operado, más que al diseño y construcción del mismo y se identifica generalmente con una causa especial de variación en la gráfica de control.

Las fallas localizadas constituyen el 15% aproximadamente de los problemas de calidad de manufactura.

**Fallas del Sistema** — Es una fuente de generación de variación que es característica de varias operaciones, máquinas, etc., constante a través del tiempo y que requiere de la acción de la gerencia para su corrección. Es una condición asociada al diseño y construcción del proceso, más que a la forma en que es operado; siendo ésta última una parte de las causas comunes de variación. Las fallas del sistema constituyen el 85% aproximadamente de los problemas de calidad de manufactura (ver fallas localizadas).

**Flujo de Proceso** — Es el flujo de resultados a través de un conjunto de estaciones y condiciones de proceso. Un flujo de proceso se divide —se transforma en varios flujos de proceso— cuando hay elementos de proceso paralelos (ejemplo, husillos múltiples, matrices de múltiples cavidades, varios operadores haciendo la misma operación, varios lotes de materia prima diferente).

**Gráfica de Control** — Es una representación gráfica de una característica de un proceso, mostrando valores graficados de algún estadístico obtenido de esa característica, y uno o dos límites de control. Tiene dos usos básicos: como un juicio para determinar si el proceso estuvo dentro de control, y como una ayuda para lograr y mantener el control estadístico.

**Habilidad** — Puede ser determinada sólo después de que el proceso esté en control estadístico. Cuando el promedio del proceso calculado tomando como base las lecturas individuales  $\pm 3$  desviaciones estándar esté localizado dentro de los límites especificados (datos por variables), o cuando al menos el 99.73% de los resultados individuales obtenidos estén dentro de especificación (datos por atributos) se dice que el proceso es hábil. Sin embargo, los esfuerzos para mejorar la habilidad deben de continuar, siguiendo el concepto de operación hacia una mejoría continua de la calidad y la productividad.

**Lectura Individual** — Es la medición de una sola característica.

**Límite de Control** — Es una línea (o líneas) de una gráfica de control usada como base para juzgar el significado de la variación de subgrupo a subgrupo. La variación fuera del límite de control es evidencia que causas especiales están afectando al proceso. Los límites de control son calculados a partir de los datos del proceso y no deben ser confundidos con los límites especificados por Ingeniería.

**Línea Central** — Es la línea que representa el valor promedio o mediana de las mediciones indicadas en una gráfica de control. Generalmente se indica con una línea continua.



## 5. APENDICE

**Media** — Es el promedio de los valores de un grupo de mediciones.

**Mediana** — Es el valor central de un grupo de mediciones, cuando el mismo está ordenado de menor a mayor. Si la cantidad de valores es par, por convención la mediana es el promedio de los dos valores centrales. Es una medida de posición en una distribución y se utiliza como línea central en las gráficas de medianas. Las medianas son identificadas a través de un tilde ( $\sim$ ) sobre el símbolo de los valores individuales;  $\bar{X}$  es la mediana de un subgrupo;  $\bar{\bar{X}}$  es la mediana del proceso y  $\bar{R}$  es la mediana del rango.

**Muestra** — Es uno o más eventos o mediciones individuales seleccionados de la producción de un proceso.

**Muestra Aleatoria** — Muestras elegidas de manera tal que cualquier ítem resultante del proceso tiene igual probabilidad de ser elegido, sin importar ningún tipo de ordenamiento existente como la secuencia de producción.

**Partes Discrepantes** — Son aquellas que no cumplen con una especificación u otro estándar de inspección; algunas veces llamadas partes defectuosas. Gráficas p y np son utilizadas para analizar sistemas que producen partes discrepantes.

**Proceso** — Es la combinación de mano de obra, máquinas y equipo, materia prima, métodos y medio ambiente que producen un producto dado o servicio.

**Promedio** — Es la suma de los valores de las mediciones dividida por la cantidad (tamaño de muestra) de mediciones y se indica con una barra sobre el símbolo de los valores que son promediados; p.e.,  $\bar{X}$  es el promedio de los valores de X de un subgrupo;  $\bar{\bar{X}}$  es el promedio de los subgrupos;  $\bar{p}$  es el promedio de los valores p de todos los subgrupos.

**Rango** — Es la diferencia entre el mayor y menor valor de un subgrupo. El rango esperado se incrementa con el tamaño de la muestra y con la desviación estándar de acuerdo a la relación  $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$ .

**Series** — Sucesión de puntos que presentan una característica particular, tal como puntos por encima del promedio del proceso o puntos de valor decreciente. Cuando sólo se presentan causas comunes de variación se puede predecir el comportamiento de series típicas dentro de ciertos límites. El alejamiento de este patrón de comportamiento aleatorio es evidencia de la existencia de causas especiales de variación.

**Sigma ( $\sigma$ )** — Es la letra griega utilizada para designar la desviación estándar.

## 5. APENDICE

**Sistema de Control de Procesos** — Es un método para administrar la operación de un proceso basado en la retroalimentación, que incluye la obtención de información del proceso y sus resultados, y la utilización de dicha información para modificarlo o ajustarlo según necesidad. El uso de técnicas estadísticas tales como las gráficas de control en la interpretación de la información del proceso, es la clave para un sistema de control de proceso exitoso.

**Subgrupo** — Es una cantidad de valores muestrales elegidos de manera de ser representativos del proceso, en un período o momento en el tiempo en particular, y que se analizan en conjunto (ver subgrupo racional).

**Subgrupos Racionales** — Son subgrupos elegidos de manera de que la variación dentro de los mismos sea la menor posible resultante del proceso (representa la variación por causas comunes), de manera tal que cualquier cambio en el desarrollo del proceso (causas especiales) aparecerá como diferencia entre los subgrupos. Los subgrupos racionales son generalmente determinados en base a piezas consecutivas, a pesar de que a veces se utilizan muestras aleatorias o estratificadas en forma intencional.

**Variables** — Son aquellas características de una parte que pueden ser medidas. Como ejemplos se tiene la longitud en milímetros, la resistencia en ohms, esfuerzo de cierre de una puerta en kilogramos y el par de apriete de un tornillo en Newton-metro. (Ver también Atributos).

### 5.2.2. Símbolos Utilizados en esta Guía

- $A_2$  — Es un factor de multiplicación de  $\bar{R}$  utilizado para calcular los límites de control de la gráfica de promedios y tabulado en el apéndice 5.1.1.
- $\bar{A}_2$  — Es un factor de multiplicación de  $\bar{R}$  usado para calcular los límites de control de la gráfica de medianas.
- $c$  — Es la cantidad de defectos en muestras de tamaño constante  $n$ . La gráfica  $c$  se describe en la Sección 3.2.3.
- $\bar{c}$  — Es la cantidad de defectos promedio en muestras de tamaño constante  $n$ .
- $C_p$  — Índice de habilidad potencial del proceso.
- $K$  — Índice de localización.
- $C_{PK}$  — Índice de habilidad real del proceso.
- $d_2$  — Es un divisor de  $\bar{R}$  utilizado para estimar la desviación estándar del proceso y tabulado en el Apéndice 5.1.1.

## 5. APENDICE

- $D_3$ ,  $D_4$  — Son factores de multiplicación de  $\bar{R}$ , utilizados para calcular los límites de control inferior y superior de la gráfica de rangos y tabulados en el Apéndice 5.1.1.
- $E_2$  — Es un factor de multiplicación de  $\bar{R}$  usado para calcular los límites de control para la gráfica de lecturas individuales.
- $k$  — Es la cantidad de subgrupos utilizados para calcular los límites de control.
- LIC — Es el límite inferior de control:  $LIC_{\bar{x}}$ ,  $LIC_R$ ,  $LIC_p$ , etc., son respectivamente los límites de control inferior de los promedios, rangos, proporción defectuosa, etc.
- LIE — Es el límite inferior especificado.
- $n$  — Es la cantidad de mediciones en un subgrupo o sea, el tamaño de muestra del subgrupo.
- $\bar{n}$  — Es el promedio del tamaño de muestra de los subgrupos.
- $np$  — Es la cantidad de ítemes defectuosos en una muestra de tamaño  $n$ . La gráfica  $np$  se describe en la Sección 3.2.2.
- $\bar{np}$  — Es la cantidad promedio de ítemes defectuosos en muestras de tamaño constante  $n$ .
- $p$  — Es la proporción de unidades defectuosas en una muestra. La gráfica  $p$  se describe en la Sección 3.2.1.
- $\bar{p}$  — Es el promedio de los porcentajes de unidades defectuosas en una serie de muestras (ponderado por tamaño de muestra).
- $P_Z$  — El porcentaje de piezas fuera de un límite especificado;  $Z$  o más unidades de desviación estándar fuera del promedio del proceso.
- $R$  — Es el rango del subgrupo (valor mayor menos valor menor). La gráfica  $R$  se describe en la Sección 3.1.
- $\bar{R}$  — Es el rango promedio en una serie de subgrupos de tamaño constante.
- LE — Es el límite unilateral de tolerancia especificado.
- $u$  — Es la cantidad de defectos por unidad en una muestra que puede contener más de una unidad. La gráfica  $u$  se describe en la Sección 3.2.4.

## 5. APENDICE

- $\bar{u}$  — Es el promedio de la cantidad de defectos por unidad en muestras que no tienen necesariamente el mismo tamaño.
- LSC — Es el límite superior de control,  $LSC_{\bar{X}}$ ,  $LSC_R$ ,  $LSC_p$ , etc. son respectivamente los límites superiores de control de los promedios, rangos, proporción defectuosa, etc.
- LSE — Es el límite superior de tolerancia especificado.
- X — Es un valor individual, en el cual se basa la estadística de otro subgrupo.
- $\bar{X}$  — Es el promedio de los valores de un subgrupo. La gráfica  $\bar{X}$  se describe en la Sección 3.1.1.
- $\bar{\bar{X}}$  — Es el promedio de los promedios de los subgrupos (ponderado por el tamaño de muestra si fuera necesario). Es el promedio medido del proceso.
- $\tilde{X}$  — Es la mediana de los valores de un subgrupo.
- $\bar{\tilde{X}}$  — Es el promedio de las medianas de los subgrupos. Es la mediana estimada del proceso.
- Z — Es la habilidad del proceso expresada en el número de unidades de desviación estándar del promedio del proceso a un límite especificado;  $Z_{min}$  es la distancia al límite especificado más cercano.
- $\sigma$   
(sigma) — Es la desviación estándar del proceso.
- $\hat{\sigma}$  — Es la estimación de la desviación estándar del proceso.

$\sigma_{\bar{X}}$ ,  $\sigma_R$ ,  $\sigma_p$ , etc. Son respectivamente la desviación estándar de la distribución de los promedios de los subgrupos ( $\sigma / \sqrt{n}$ ), la desviación estándar de la distribución de los rangos de los subgrupos, la desviación estándar de la distribución de la proporción defectuosa, etc.

### 5.3. REFERENCIAS

- 1) Charbonneau, Harvey C. and Webster, Gordon L., *Industrial Quality Control*, Prentice Hall, Inc., 1978.
- 2) Deming, W. Edwards, *Quality, Productivity and Competitive Position*, 1982.

## 5. APENDICE

- 3) Duncan, Acheson J., *Quality Control and Industrial Statistics*, Richard D. Irwin, Inc., cuarta edición 1974.
- 4) Grant, Eugene L. and Leavenworth, Richard S., *Statistical Quality Control*, McGraw Hill, Inc., quinta edición, 1980.
- 5) Ishikawa, Kaorn, *Guide to Quality Control*, Asian Productivity Organization, edición revisada, 1976.
- 6) Juran, J. N., Gryna, Frank-M. and Bingham, R. S., Jr., *Quality Control Handbook*, McGraw-Hill, Inc., tercera edición, 1979.
- 7) Ott, Ellia R., *Process Quality Control*, McGraw-Hill, Inc., 1975.
- 8) Siegel, James C., *Managing with Statistical Methods*, Manufacturing Staff, Ford Motor Company, 1982.



## FORMULAS PARA GRAFICAS DE CONTROL

Número  
(Tamaños de muestra constantes).

Unidades discrepantes

Gráfica np

$$LSC_{np}, LIC_{np} = n\bar{p} \pm 3 \sqrt{n\bar{p} \left(1 - \frac{n\bar{p}}{n}\right)}$$

Discrepancias

Gráfica c

$$LSC_c, LIC_c = \bar{c} \pm 3 \sqrt{\bar{c}}$$

Proporción  
(Tamaños de muestra no necesariamente constantes).

Gráfica p

$$LSC_p, LIC_p = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$$

Gráfica u

$$LSC_u, LIC_u = \bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

| FECHA | HORA | COMENTARIOS |
|-------|------|-------------|
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |
|       |      |             |

| ACCIONES<br>SOBRE CAUSAS ESPECIALES  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• CUALQUIER PUNTO FUERA DE LOS LIMITES DE CONTROL.</li> <li>• UNA SERIE DE 7 PUNTOS ARRIBA O ABAJO DE LA LINEA CENTRAL.</li> <li>• UNA TENDENCIA DE 7 INTERVALOS ASCENDENTES O DESCENDENTES.</li> <li>• CUALQUIER OTRO PATRON QUE DEMUESTRE INESTABILIDAD.</li> </ul> |
| ACCIONES   |
| 1.   |
| 2.   |
| 3.   |
| 4.   |
| 5.   |



# DIAGRAMA DE PARETO

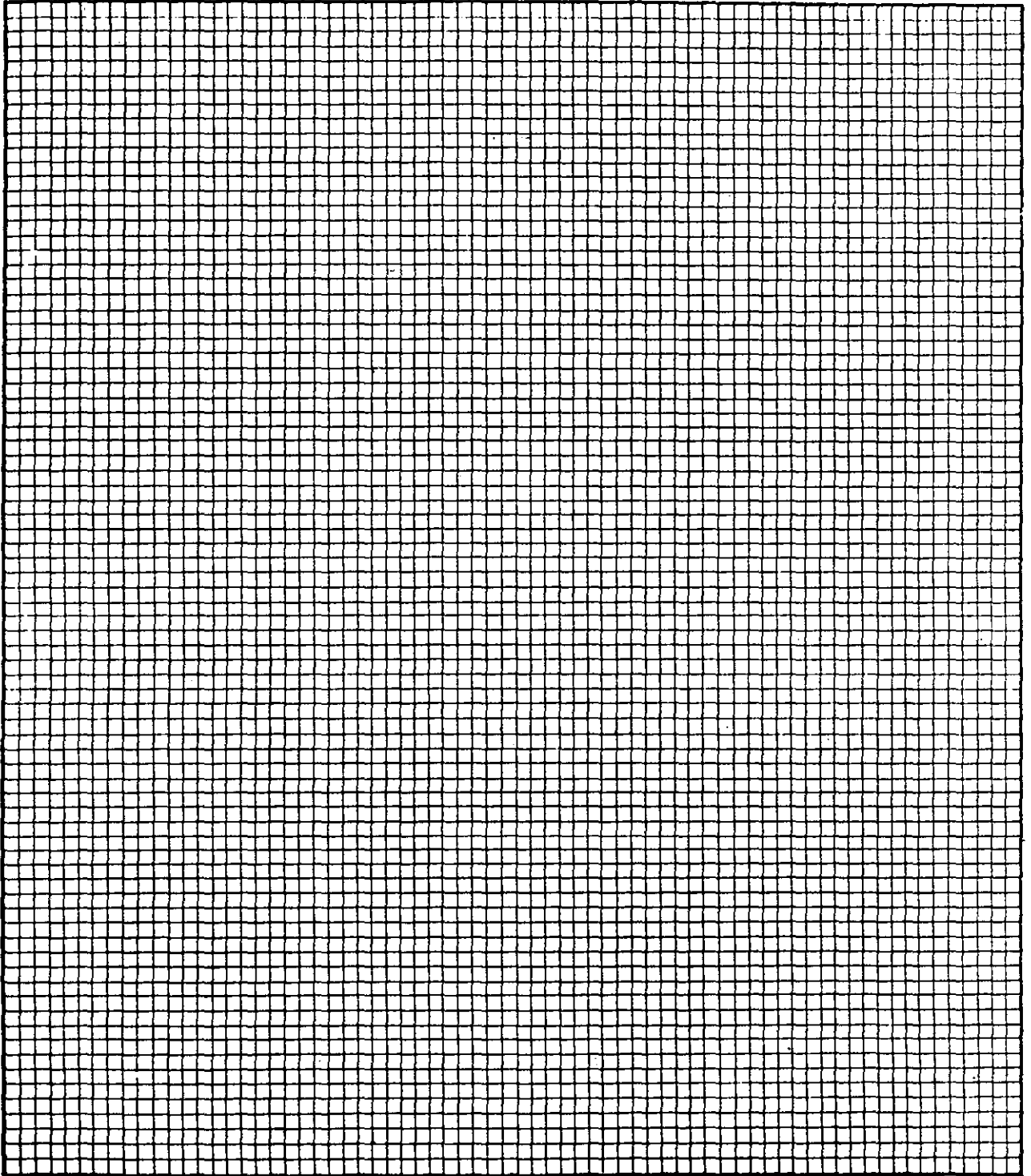
DESCRIPCION DEL PROBLEMA: \_\_\_\_\_

PLANTA: \_\_\_\_\_

FRECUENCIA: \_\_\_\_\_

DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_







**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES**

**MUESTREO DE INSPECCION PARA ATRIBUTOS**

**ING. K. ISHIKAWA**

**JUNIO, 1994.**

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285  
Teléfonos: 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 521-4020 AL 26

# CAPITULO 12

## Inspección por muestreo

---

### 12.1 ¿Qué es la Inspección por muestreo?

Cuando vamos a comprar algo, habitualmente examinamos cierta cantidad de artículos y ponderamos su calidad antes de decidir si efectuamos o no la compra. Reflexionemos un instante sobre ello. Al juzgar los artículos que hemos escogido, en realidad estamos examinando muestras; y posiblemente compremos el producto sólo si todas las muestras son de buena calidad. Por otra parte, llegado el momento de tomar la decisión, tal vez transijamos y compremos el artículo aunque las muestras incluyan algunos productos defectuosos. Esto se puede denominar inspección por muestreo. Pero la inspección por muestreo que vamos a considerar ahora es muy distinta. La diferencia es importante, de manera que ruego al lector que la tenga presente. El hecho de seleccionar varias muestras de una gran cantidad de artículos y luego examinarlas con el fin de decidir si el lote es aceptable o no puede identificarse aparentemente con el método de la inspección por muestreo en uso desde hace mucho tiempo. Sin embargo, existe una gran diferencia. Debemos considerar la cantidad de productos defectuosos que puede haber en un conjunto y la fracción defectuosa que juzgamos aceptable; después, tras determinar la cantidad adecuada de muestras a extraer y el nivel de aceptación o rechazo, se lleva a cabo la inspección por muestreo. Esta se efectúa entonces sobre bases estadísticas, lo que es fundamental. Las siguientes inspecciones por muestreo se realizan de conformidad con este concepto.

### 12.2 Problemas de la Inspección total

En general, una inspección de calidad completa de todos y cada uno de los productos (denominada "inspección total") resulta imposible. Pero es necesario inspeccionar minuciosamente características de calidad que, debido a su inestabilidad, dan lugar a la aparición de defectos, así como puntos vitales para la vida del producto que pueden inspeccionarse a un costo razonable. No cometa el error de llevar a cabo una inspección total inadecuada sobre demasiadas características de calidad (es decir, sobre muchos rubros de inspección diferentes), para despachar o recibir los productos sobre esa base. La consecuencia de ello será la presentación de quejas tanto dentro como fuera de la empresa.

Cuando hay una cantidad limitada de inspectores, tener que inspeccionar aunque sólo sea un rubro más obligará a acortar el tiempo disponible para la inspección de cada característica; o bien a descartar algún otro rubro de inspección importante.\*

Para evitar los problemas mencionados de la inspección total, es preciso determinar exactamente cuántas características se inspeccionarán y qué método de inspección habrá de utilizarse. Además, la meta para la garantía de calidad de productos aceptados se debe fijar en el 100% y se debe controlar su cumplimiento. Cabe recordar que, aunque las inspecciones totales se repitan una y otra vez, nadie está exento de omitir ocasionalmente algunos rubros. La inspección racional exige tener conocimiento de la inspección por muestreo (en términos de costo de la inspección y garantía de calidad).

### 12.3 Situaciones en que es necesaria la inspección por muestreo

1. Pruebas destructivas: situación en la que es imposible efectuar la inspección sin destruir química o físicamente el producto.
2. Inspección de productos de gran longitud: una bobina de alambre de cobre, una película fotográfica, un rollo de papel, los textiles, un carrete de hilo, etc., son difíciles de desenrollar para su inspección.
3. Inspección de grandes cantidades: las tuercas, los tornillos, los bulones, etc., que se fabrican en grandes cantidades y a alta velocidad.

La inspección por muestreo se utiliza a menudo también en las siguientes situaciones:

4. Cuando se desea bajar los costos de inspección.
5. Cuando se desea incentivar al fabricante y/o al comprador.
6. Cuando hay muchos rubros o áreas a inspeccionar.

### 12.4 Calidad del lote

Supongamos un lote de 1.000 ( $N = 1.000$ ) y una fracción defectuosa del 5 por ciento ( $p = 5\%$ ). Inspeccionamos 10 muestras ( $n = 10$ ). ¿Cuál será el resultado?

Colocamos 1.000 bolillas de acero en una caja, como en la figura 12.1, y las mezclamos. La cantidad de bolillas defectuosas para este lote es 50, y están pintadas de rojo. Extraemos 10 bolillas al azar. Reponemos las 10 y volvemos a extraer 10 bolillas; repetimos la operación 100 veces. En la tabla 12.1 aparecen los resultados. Aunque hay 50 bolillas rojas entre las 1.000, al extraer  $n = 10$  por vez y repetir la operación no sacamos una bolilla roja en 59 pruebas de las 100. Si un lote se considerase inaceptable por hallar una bolilla roja entre 10, en 59 oportunidades de las 100 el lote se juzgaría aceptable.

---

\* En el Japón, la mayoría de las empresas aplica el sistema de autoinspección. Según este sistema, son los trabajadores de la fábrica, no los inspectores, quienes inspeccionan la mayor parte de las características de calidad. De modo que en ese país el porcentaje de inspectores con relación a los trabajadores es apenas del 1 al 5%.

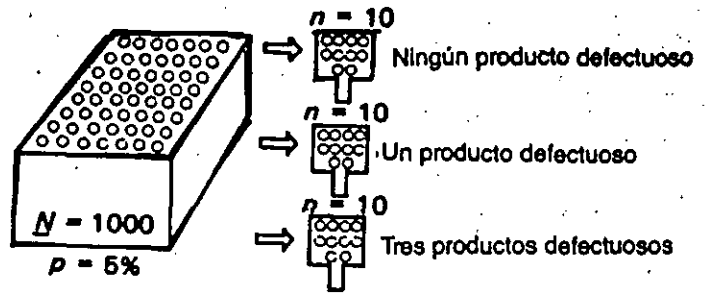


Figura 12.1

Tabla 12.1

| Cantidad de productos defectuosos | Cantidad de ocurrencias |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 0                                 | 59                      |
| 1                                 | 32                      |
| 2                                 | 8                       |
| 3                                 | 1                       |

Aumentemos ahora el tamaño de nuestra muestra a 30 ( $n = 30$ ). Con el mismo método, llegamos a los resultados que se indican en la tabla 12.2 y la figura 12.2. En otras palabras, aun

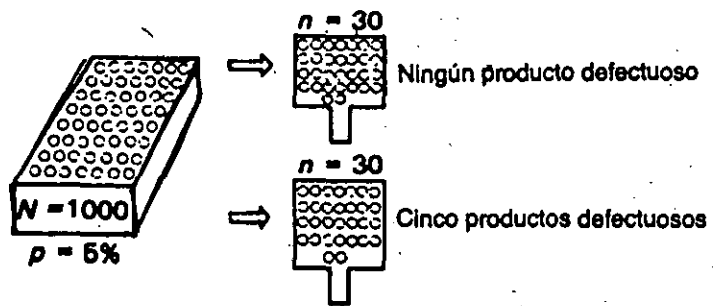


Figura 12.2

**Tabla 12.2**

| Cantidad de productos defectuosos | Cantidad de ocurrencias |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 0                                 | 21                      |
| 1                                 | 34                      |
| 2                                 | 27                      |
| 3                                 | 13                      |
| 4                                 | 4                       |
| 5                                 | 1                       |

cuando  $p = 5\%$ , el lote se acepta 21 veces de 100. Siguiendo con el experimento, aumentamos el tamaño de la muestra a 100 ( $n = 100$ ). Los resultados aparecen en la tabla 12.3.

**Tabla 12.3**

| Cantidad de productos defectuosos | Cantidad de ocurrencias |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 0                                 | —                       |
| 1                                 | 3                       |
| 2                                 | 8                       |
| 3                                 | 14                      |
| 4                                 | 13                      |
| 5                                 | 11                      |
| 6                                 | 11                      |
| 7                                 | 11                      |
| 8                                 | 6                       |
| 9                                 | 4                       |
| 10                                | 1                       |

Vemos ahora que cuando  $N = 1,000$ ,  $p = 5\%$  y el tamaño de la muestra es  $n = 100$ , casi no

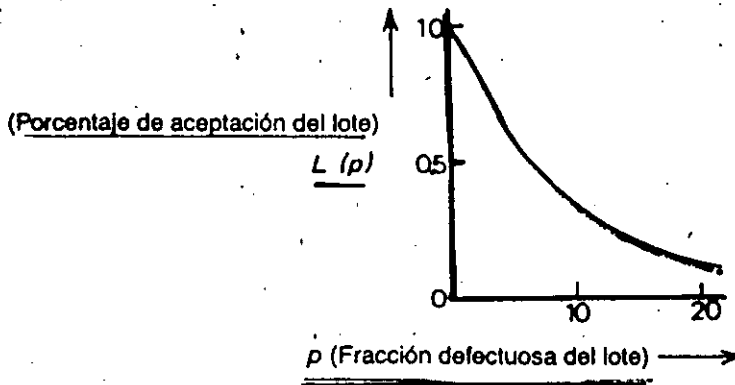


Figura 12.3 Curva CC

hay posibilidades de que se acepte el lote sobre la base de inspecciones en las que no se encontró ninguna bolilla roja.

Observamos también que el máximo de bolillas rojas (productos defectuosos) que encontramos fue 5 en el caso en que el tamaño de la muestra era  $n = 100$ . Esto demuestra que podemos estimar en 5 por ciento la fracción defectuosa del lote.

Como se ha visto, la cantidad de veces que aparecen productos defectuosos depende del tamaño de la muestra. Cuando  $n = 10$ , la inspección por muestreo carece de sentido. Se debe tener presente este principio al efectuar inspecciones por muestreo. En otros términos, hay que tener en cuenta lo que se denomina la curva de características de funcionamiento. Como vemos en la figura 12.3, cuando  $N = 1,000$ ,  $n = 10$  y el número de aceptación  $c = 0$ , la tasa a la cual se acepta el lote variará de acuerdo con  $p$  (fracción defectuosa). Esto se puede demostrar experimentalmente.

### 12.5 Curvas OC (de características de funcionamiento) y muestreo de aceptación

Si efectuamos una inspección con valores de  $n = 100$  (tamaño de la muestra) y  $c = 2$  (cantidad admisible de productos defectuosos), ¿cuál será el porcentaje de aceptación (o probabilidad de aceptación) de un lote con 2 por ciento de productos defectuosos? Suponiendo que el lote está compuesto por más de 1,000 piezas y que la fracción defectuosa es pequeña, la probabilidad de aceptación puede determinarse utilizando la distribución de Poisson. Se aceptará el lote si la cantidad de productos defectuosos que aparezcan en muestras escogidas al azar es cero, uno o dos.

La probabilidad de aceptación será:

$$\text{Probabilidad de aceptación} = \frac{\text{porcentaje de veces sin productos defectuosos entre las muestras} + \text{porcentaje de veces con un producto defectuoso entre las muestras} + \text{porcentaje de veces con dos productos defectuosos entre las muestras.}}{100}$$

De este modo, la inspección por muestreo efectuada con la condición  $n = 100$  y  $c = 2$  reveló que la probabilidad de aceptación de un lote con 2 por ciento de productos defectuosos es 0,68 (resulta aceptado 68 veces de 100). Una curva de características de funcionamiento, o curva de características de la inspección por muestreo o curva característica de inspección, es un gráfico que indica la probabilidad de aceptación de lotes con una fracción defectuosa que va de 0 por ciento a 100 por ciento. El porcentaje defectuoso del lote aparece en el eje horizontal y la probabilidad de aceptación del lote en el vertical (ver figura 12.4).

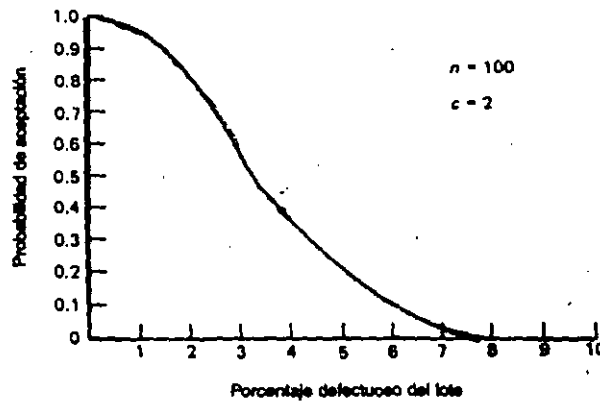


Figura 12.4

Veamos qué significa la curva OC. A continuación se incluyen algunas abreviaturas tomadas de la JIS Z 9002:

- $p_0$  : límite superior para la fracción defectuosa aceptable de un lote.
- $p_1$  : límite inferior para la fracción defectuosa rechazable de un lote.
- $\alpha$  : riesgo del productor (porcentaje según el cual se rechazaría un lote con fracción defectuosa  $p_0$ ).
- $\beta$  : riesgo del consumidor (porcentaje según el cual se aceptaría un lote con fracción defectuosa  $p_1$ ).

$p_0$  es la fracción defectuosa de un lote producido con el equipo, los trabajadores, los materiales y los métodos actuales, cuya aceptación el productor requiere de los consumidores y que éstos, por su parte, consideran razonable.

$p_1$  es la fracción defectuosa de un lote que los consumidores desearían rechazar por mala calidad y que el productor no desearía distribuir.

Sin embargo, en las inspecciones por muestreo a veces se rechazan lotes aceptables o se aceptan lotes imperfectos. La primera situación se denomina riesgo del productor: ( $\alpha$ ); la segunda, riesgo del consumidor ( $\beta$ ). En general,  $\alpha = 0.05$  y  $\beta = 0.10$ .

La figura 12.5 presenta la curva OC para:

- $N = 1,000$  (tamaño del lote)
- $n = 10$  (tamaño de la muestra)
- $c = 0$  (cantidad admisible de productos defectuosos)
- $p_0 = 0.512\%$  (límite superior de la fracción defectuosa aceptable)
- $p_1 = 20.6\%$  (límite inferior de la fracción defectuosa rechazable)
- $\alpha = 0.05$  (riesgo del productor)
- $\beta = 0.10$  (riesgo del consumidor)

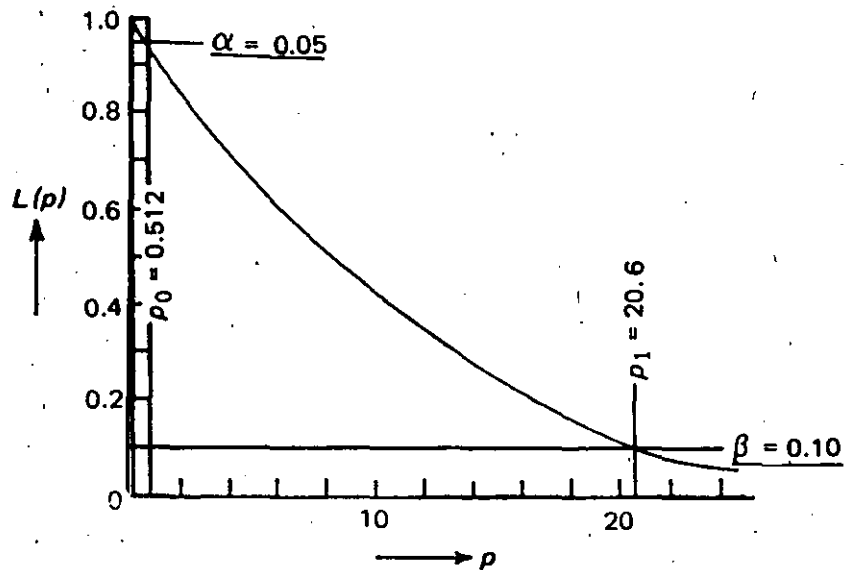


Figura 12.5

Como surge de lo anterior, al llevar a cabo inspecciones por muestreo es necesario considerar  $p_0$  y  $p_1$  y también determinar  $n$  y  $c$ . Como se requieren algunos cálculos complicados, generalmente se emplea una tabla de inspección por muestreo como la 12.4.

**(1) Inspección normal por muestreo simple por atributos en casos de productos defectuosos (JIS Z 9002)**

Las inspecciones por muestreo basadas en las curvas de características de funcionamiento no están concebidas siquiera para incluir la elección de los lotes que habrán de rechazarse, puesto que esta clase de inspección tiene por objeto determinar si un lote es aceptable o no.



Tabla 12.4 Tabla de Inspección normal por muestreo simple por atributos ( $\alpha = 0,05, \beta = 0,10$ )

La letra fina = n, letra negrita = c

| $p_1$ (%) \ $p_0$ (%) | 0.71 | 0.91  | 1.13  | 1.41  | 1.81  | 2.25  | 2.81   | 3.56   | 4.51   | 5.61   | 7.11   | 9.01   | 11.3   | 14.1   | 18.1  | 22.5  | 28.1 | $p_1$ (%) \ $p_0$ (%) |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|------|-----------------------|
| 0.090-0.112           | *    | 400 1 | ↓     | ←     | ↓     | →     | 60 0   | 50 0   | ←      | ↓      | ↓      | ←      | ↓      | ↓      | ↓     | ↓     | ↓    | 0.090-0.112           |
| 0.113-0.140           | *    | ↓     | 300 1 | ↓     | ←     | ↓     | →      | ↓      | 40 0   | ←      | ↓      | ↓      | ←      | ↓      | ↓     | ↓     | ↓    | 0.113-0.140           |
| 0.141-0.180           | *    | 500 2 | ↓     | 250 1 | ↓     | ←     | ↓      | →      | ↑      | 30 0   | ←      | ↓      | ↓      | ←      | ↓     | ↓     | ↓    | 0.141-0.180           |
| 0.181-0.224           | *    | *     | 400 2 | ↓     | 200 1 | ↓     | ←      | ↓      | →      | ↑      | 25 0   | ←      | ↓      | ↓      | ←     | ↓     | ↓    | 0.181-0.224           |
| 0.225-0.280           | *    | *     | 500 3 | 300 2 | ↓     | 150 1 | ↓      | ←      | ↓      | →      | ↑      | 20 0   | ←      | ↓      | ↓     | ←     | ↓    | 0.225-0.280           |
| 0.281-0.355           | *    | *     | *     | 400 3 | 250 2 | ↓     | 120 1  | ↓      | ←      | ↓      | →      | ↑      | 15 0   | ←      | ↓     | ↓     | ←    | 0.281-0.355           |
| 0.356-0.450           | *    | *     | *     | 500 4 | 300 3 | 200 2 | ↓      | 100 1  | ↓      | ←      | ↓      | →      | ↑      | 15 0   | ←     | ↓     | ↓    | 0.356-0.450           |
| 0.451-0.560           | *    | *     | *     | *     | 400 4 | 250 3 | 150 2  | ↓      | 80 1   | ↓      | ←      | ↓      | →      | ↑      | 10 0  | ←     | ↓    | 0.451-0.560           |
| 0.561-0.710           | *    | *     | *     | *     | 500 6 | 300 4 | 200 3  | 120 2  | ↓      | 60 1   | ↓      | ←      | ↓      | →      | ↑     | 7 0   | ←    | 0.561-0.710           |
| 0.711-0.900           | *    | *     | *     | *     | *     | 400 6 | 250 4  | 150 3  | 100 2  | ↓      | 50 1   | ↓      | ←      | ↓      | →     | ↑     | 5 0  | 0.711-0.900           |
| 0.901-1.12            |      | *     | *     | *     | *     | *     | 300 6  | 200 4  | 120 3  | 80 2   | ↓      | 40 1   | ↓      | ←      | ↓     | ↑     | ↑    | 0.901-1.12            |
| 1.13 -1.40            |      |       | *     | *     | *     | *     | 500 10 | 250 6  | 150 4  | 100 3  | 60 2   | ↓      | 30 1   | ↓      | ←     | ↓     | ↑    | 1.13 -1.40            |
| 1.41 -1.80            |      |       |       | *     | *     | *     | *      | 400 10 | 200 6  | 120 4  | 80 3   | 50 2   | ↓      | 25 1   | ↓     | ←     | ↓    | 1.41 -1.80            |
| 1.81 -2.24            |      |       |       |       | *     | *     | *      | *      | 300 10 | 150 6  | 100 4  | 60 3   | 40 2   | ↓      | 20 1  | ↓     | ←    | 1.81 -2.24            |
| 2.25 -2.80            |      |       |       |       |       | *     | *      | *      | *      | 250 10 | 120 6  | 70 4   | 50 3   | 30 2   | ↓     | 15 1  | ↓    | 2.25 -2.80            |
| 2.81 -3.55            |      |       |       |       |       |       | *      | *      | *      | *      | 200 10 | 100 6  | 60 4   | 40 3   | 25 2  | ↓     | 10 1 | 2.81 -3.55            |
| 3.56 -4.50            |      |       |       |       |       |       |        | *      | *      | *      | *      | 150 10 | 80 6   | 50 4   | 30 3  | 20 2  | ↓    | 3.56 -4.50            |
| 4.51 -5.60            |      |       |       |       |       |       |        |        | *      | *      | *      | *      | 120 10 | 60 6   | 40 4  | 25 3  | 15 2 | 4.51 -5.60            |
| 5.61 -7.10            |      |       |       |       |       |       |        |        |        | *      | *      | *      | *      | 100 10 | 50 6  | 30 4  | 20 3 | 5.61 -7.10            |
| 7.11 -9.00            |      |       |       |       |       |       |        |        |        |        | *      | *      | *      | *      | 70 10 | 40 6  | 25 4 | 7.11 -9.00            |
| 9.01 -11.2            |      |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        | *      | *      | *      | *     | 60 10 | 30 6 | 9.01 -11.2            |
| $p_0$ (%) \ $p_1$ (%) | 0.71 | 0.91  | 1.13  | 1.41  | 1.81  | 2.25  | 2.81   | 3.56   | 4.51   | 5.61   | 7.11   | 9.01   | 11.3   | 14.1   | 18.1  | 22.5  | 28.1 | $p_0$ (%) \ $p_1$ (%) |
|                       | 0.90 | 1.12  | 1.40  | 1.80  | 2.24  | 2.80  | 3.55   | 4.50   | 5.60   | 7.10   | 9.00   | 11.2   | 14.0   | 18.0   | 22.4  | 28.0  | 35.5 |                       |

Use la primera columna de n, c en la dirección de la flecha. No hay métodos de muestreo para las columnas en blanco.

Ejemplo: En la fabricación de remaches, supongamos que deseamos aceptar lotes cuya fracción defectuosa es  $p_0 = 2\%$  a base de la inspección del diámetro del remache. Queremos rechazar los que presenten  $p_1 = 12\%$ . ¿Cómo determinar la cantidad de muestras a extraer ( $n$ ) y la cantidad admisible de productos defectuosos ( $c$ ) utilizando la inspección normal por muestreo simple (JIS Z 9002)?

Observaciones: En la tabla 12.4, la columna donde se interceptan  $p_0 = 2\%$  y  $p_1 = 12\%$  muestra los valores  $n = 40$  y  $c = 2$ .

Pero aquí hay un elemento a considerar. Dados los valores asignados a  $p_0$  y  $p_1$ , la tabla nos indicará el tamaño de la muestra y el número de aceptación sin tomar en cuenta el tamaño del lote. Tenga presentes los siguientes factores:

- a Cuando el proceso de producción se halla bajo control: si el proceso está bien controlado, trate de que los lotes sean grandes, puesto que así reducirá la cantidad total de inspecciones.
- b Cuando el proceso de producción no se halla bajo control: si la situación es muy inestable, conviene que los lotes sean pequeños.
- c Cuando existe poca información acerca del proceso de producción: efectúe primero la inspección con lotes pequeños y, a medida que adquiera más información, aumente el tamaño de los lotes.

Factores a tener en cuenta en la determinación de  $p_0$  y  $p_1$ :

Por lo general,  $p_0$  y  $p_1$  se fijan mediante un acuerdo entre productores y consumidores. Pero es importante fijar los valores de  $p_0$  y  $p_1$  tomando en cuenta la pérdida generada por el rechazo de lotes buenos o por la aceptación de lotes malos que están vinculados al nivel de garantía de calidad, gastos de inspección y el tamaño de los lotes. Si  $p_0 = p_1$ , debe efectuarse una inspección total. Por lo tanto, en general se recomienda que  $p_1/p_0 = 4 \sim 10$ .

(2) Norma militar norteamericana (MIL-STD-105D)

La Norma militar norteamericana fue elaborada para poder efectuar inspecciones económicas de bienes adquiridos por las fuerzas armadas. Se la utilizó por primera vez en agosto de 1950 y fue luego objeto de numerosas revisiones, desde la MIL-STD-105A (septiembre de 1950) hasta la MIL-STD-105D (abril de 1963), como se la designa a la fecha. Muchas inspecciones por muestreo utilizan hoy la MIL-STD-105D, pero hay quienes vacilan en recurrir a ella. El espacio disponible no nos permite entrar aquí en más detalles sobre este problema, pero lo esencial es lo siguiente:

- a La norma favorece al consumidor.
- b Los procedimientos para ajustar el rigor de la inspección son demasiado complicados e incómodos.
- c A veces resultan estrictas las condiciones para pasar a una inspección reducida.
- d El riesgo del consumidor con una inspección reducida es muy elevado.

Estos problemas probablemente den lugar a una nueva revisión de la norma MIL-STD-105D. La MIL-STD-105D es una inspección por muestreo ajustada; su característica consiste en que el rigor de la inspección se ajusta según la calidad de los productos presentados a la inspección y los incentivos para aplicar al proveedor el sistema de control de calidad total. Con este fin se fija el límite de calidad de acuerdo con el nivel de calidad aceptable (AQL).

El AQL es el límite superior del porcentaje defectuoso que es aceptable por considerarlo satisfactorio en términos del promedio del proceso de producción. La severidad de la inspección se clasifica como normal, reducida o rigurosa, y se la expresa sobre una curva OC como en la figura 12.6 y la tabla 12.5.

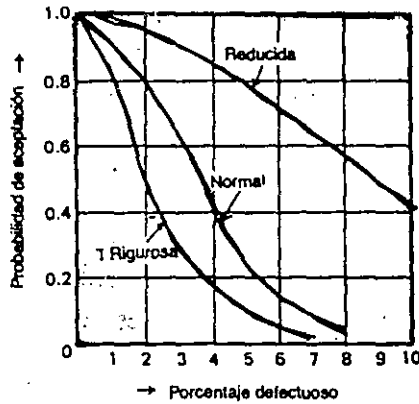


Figura 12.6

Tabla 12.5

AQL = 1%

|                     | $n$ | $A_c$ | $R_e$ |
|---------------------|-----|-------|-------|
| Inspección reducida | 32  | 1 (2) | 3     |
| Inspección normal   | 80  | 2     | 3     |
| Inspección rigurosa | 80  | 1     | 2     |

$n$  = cantidad de muestras

$A_c$  = número de aceptación

$R_e$  = número de rechazo

Por lo general hay tres niveles de inspección, que pueden llegar a cuatro en casos especiales. Esos niveles no guardan relación alguna con la severidad. Cuanto más bajo es el nivel de inspección, más pequeño es el tamaño de la muestra y menor el costo de la inspección. Empero, a medida que aumentan el riesgo del productor y el riesgo del consumidor deben aplicarse las siguientes reglas:

(2) Aspectos problemáticos de las inspecciones por muestreo

Veamos algunos elementos básicos. Para mayor detalle se aconseja consultar las obras de referencia corrientes sobre control de calidad.

a) Puesto que en una inspección por muestreo se toma como muestra parte de un todo, la decisión a que se arrije mediante este método se aplica a la totalidad del lote.

b) El muestreo debe efectuarse al azar, regla que es menester respetar estrictamente. La prueba de que las muestras son representativas del lote es que han sido escogidas al azar. Para lograr este objetivo, utilice dados o una tabla de números al azar.

c) La decisión relativa a la totalidad del lote se basará en los resultados del examen de la muestra. Por lo tanto, si se rechaza un lote, admita que ese lote ya ha sido rechazado y nunca vuelva a examinar el mismo lote. Si sólo desea buenos productos, debe inspeccionar todas las unidades de todos los lotes rechazados. Jamás se debe repetir un muestreo simple devolviendo una muestra y extrayendo otra; de cualquier forma, las posibilidades de aceptación o rechazo seguirán siendo las mismas.

A título de referencia se incluyen aquí ejemplos de tablas de muestreo que presentan valores similares:

MIL-STD-105D (AQL 4%, nivel de inspección II, inspección normal,  $N = 281 \sim 500$ ); MIL Table II-A (MIL-STD-105D, inspección normal, muestreo simple)

$$n = 50, Ac = 5, Re = 6$$

MIL Table III-A\* (inspección normal muestreo doble)

$$n_1 = 32, Ac = 2, Re = 5$$

$$n_2 = 32, Ac = 6, Re = 7$$

$$(n_1 + n_2 = 64)$$

MIL Table IV-A\* (inspección normal muestreo múltiple)

$$n_1 = 13, Ac_1 = 0, Re_1 = 4$$

$$n_2 = 13, Ac_2 = 1, Re_2 = 5$$

$$n_3 = 13, Ac_3 = 2, Re_3 = 6$$

$$n_4 = 13, Ac_4 = 3, Re_4 = 7$$

$$n_5 = 13, Ac_5 = 5, Re_5 = 8$$

$$n_6 = 13, Ac_6 = 7, Re_6 = 9$$

$$n_7 = 13, Ac_7 = 9, Re_7 = 10$$

$$(n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7 = 91)$$

d) La composición del lote reviste importancia crucial, ya que la aceptación o rechazo del lote depende de las muestras que de él se extraen. Recuerde al respecto el principio de la estratificación y trate de mantener juntos los lotes que corresponden a los mismos materiales, máquinas, áreas, fechas de fabricación, etc.

Cuando las inspecciones por muestreo resultan erróneas o arrojan resultados insatisfactorios, la causa a menudo radica en los factores b) o d).

\* Estas tablas no se proporcionan.

Naturalmente, existe la posibilidad de que haya productos defectuosos en lotes aceptados. Qué hacer en tal situación ha sido objeto de prolongados debates. Si en la muestra aparecen productos defectuosos es menester descartarlos. Pero ocurre en la práctica que se restituyen al lote aceptado productos aparecidos en la muestra que se sabe que son defectuosos. Nunca hay que proceder así. También hay que descartar, en cuanto aparezca, cualquier producto defectuoso proveniente de un lote que ha sido aceptado y que se está utilizando.

Debemos decidir ahora las medidas a adoptar con los productos defectuosos.

- a) Devuelva todos los productos defectuosos al proveedor o fabricante.
- b) Pida indemnización al proveedor o fabricante.
- c) Destruya los productos defectuosos y consígnelos como pérdida para su empresa.
- d) Haga reparar los productos defectuosos en su propia planta o por el proveedor o fabricante.
- e) Si se descubren productos defectuosos, inspeccione todas las unidades del lote.

Los elementos antes enunciados deben ser objeto de estipulaciones claras en los contratos comerciales, puesto que es probable que se planteen en el momento de la inspección. Pese a su importancia, es frecuente omitirlos totalmente.

Las condiciones de la inspección por muestreo —  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , AOQL (nivel de la calidad media de salida), LTPD (porcentaje defectuoso en el lote), nivel de inspección y método de inspección— no pueden modificarse a voluntad. Ello debe estar claramente establecido en las normas de la empresa, al igual que los procedimientos de revisión de esas condiciones.

A menudo se cambia también el tamaño de la muestra debido a la escasez de mano de obra, de tiempo, de inspectores, etc. Sin embargo, como la inspección por muestreo es un método basado tanto en la economía como en la garantía de calidad, nunca se deben violar en modo alguno sus principios.

Si la inspección por muestreo se lleva a cabo con eficiencia, garantizará económicamente la calidad del producto.

- a) Es más económica que una inspección al 100%.
- b) Se puede garantizar la calidad del producto aun en el caso de pruebas destructivas.
- c) Requiere pocos inspectores.
- d) La mano de obra que se necesitaría para efectuar una inspección al 100% puede emplearse para mejorar la calidad y reducir la cantidad de productos defectuosos.
- e) Se disminuye la cantidad de productos defectuosos resultantes de la inspección (rayas; etc.).
- f) Debido al tamaño reducido de la muestra, se puede realizar una inspección atenta y minuciosa.
- g) Los inspectores adquieren mayor esmero y responsabilidad.
- h) Como se rechazan los lotes que contienen productos imperfectos, el aspecto producción es objeto de mayor cuidado.
- i) Muchos de los rubros de inspección importantes pueden ser inspeccionados minuciosamente.
- j) Se reducen las posibilidades de cometer omisiones en la inspección.
- k) Pocos inspectores pueden examinar muchos lotes.