DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO
"CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD"
DEL 1 AL 12 DE JUNIO DE 1992

ING. JORGE TAPIA GARDUÑO
JEFE DE ASEG. DE CALIDAD NISSAN MEXICO, S.A. DE C.V.
NISSAN MEXICO, S.A. DE C.V.
KM. 4.5 CUERNAVACA - CUAUTLA, MORELOS
TEL. (9173) 194641

M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ
PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE SISTEMAS
D.E.P.F.I., UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.
TEL. 622 32 81 Y 622 32 82

ING. MARIO MONTERO VAZQUEZ
SOCIO Y CONSULTOR
CALIDAD CORPORATIVA, S.C.

LIC. EDUARDO ORTIZ HERNANDEZ
GTE. DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD
CIA. HULERA EUZKADI
TEL. 586 32 33

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO
CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD
IMPARTIDO DEL 1 AL 12 DE JUNIO DE 1992.

1.- ARCE MORENO BLANCA LETICIA
AYUDANTE DE PROFESOR
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
CIUDAD UNIVERSITARIA. D.F.
TEL. 550 52 15 ext.4972 OFNA., 595 63 34 DOM.

2.- CORONADO CAMPI JOSE
PROFESIONISTA LIBRE
RANCHO GRANDE 82, COL. STA. CECILIA, COYOACAN, 04930
TEL. 671 15 19 OFNA.

3.- COVARRUBIAS MAQUEDA JOSE LUIS
SUPERVISOR CONTROL DE CALIDAD
EXEI SERVIGRAFICA
ALDAMA No. 40, SAN MIGUEL, COL.SAN MIGUEL AMANTLA,
AZCAPOTZALCO, TEL. 358 25 33 DOM.

4.- DOMINGUEZ MARTINEZ GERARDO
GERENTE DE COMPRAS
TEKNO S.A.
AV. CINCO, 119, COL. GRANJAS SAN ANTONIO, IZTAPALAPA
C.P. 09070, TEL, 581 61 60 OFNA., 581 69 80 DOM.

5.- FLORES CORRALES GONZALO
SUP. DE PROD.
PROVEEDORES PLASTICOS MACH. S.A. DE C.V.
JOSEFA O. DE DOMINGUEZ No. 70, COL. MAGDALENA A., LA PAZ
C.P. 56500, TEL. 855 58 44 OFNA., 855 18 98 DOM.

6.- FLORES MONTALVO FERNANDO
I.M. ALTAMIRANO 4b-5, COL. SAN RAFAEL, DELEG. CUAUHTEMOC
C.P. 064 70, TEL. 546 45 99 DOM.

7.- GARCIA CHAVEZ ARTURO
JEFE DE CALIDAD
LOGICA DIGITAL, S.A. DE C.V.
BAHIA DE SANTA BARBARA No. 86, COL. VERONICA ANZUREZ
DELEG. M. HIDALGO, C.P. 11300
TEL. 254 12 66 OFNA., 755 31 06 DOM.

8.- GONZALEZ CELIS ALFREDO
COORDINADOR EN EL AREA DE PRODUCCION
LOGICA DIGITAL, S.A. DE C.V.
BAHIA DE PERULA No. 80, COL. VERONICA ANZUREZ

9.- GUERRERO ROMERO JOSE
SUPERVISOR DE DESARROLLO DE SISTEMAS
AVON COSMETICS, S.A. DE C.V
AV.UNIVERSIDAD 1778, COL.PEDREGAL DE PANZACOLA, COYOACAN
C.P. 04318, TEL.659 78 30 EXT.1604 OFNA.,391 11 27 DOM.

10.- LEMUS LARA MA. ROSA
SUB GERENTE DE RECURSOS HUMANOS
TEKNO S.A.
AV. CINCO No. 119, COL. GRANJAS SAN ANTONIO, IZTAPALAPA
C.P. 09070, TEL. 670 23 28 OFNA., 594 46 14 DOM.

11.- MEJIA CRUZ ARTURO
JEFE DE DEPARTAMENTO
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS MIGRATORIOS
ALBAMILES 19, , ESQ. EDUARDO MOLINA,COL. 20 DE NOVIEMBRE
DELEG. CUAUHTEMOC, TEL. 789 56 38 OFNA.,561 00 73 DOM.

12.- MENDEZ MENDEZ MARIA ARLEDT
JEFE DE AREA DE PREPARACION ESMALTES
KERAMIKA S.A.
KM 6.5 CARR. SN. MARTIN TEX-TLAX, IXTACUIXTLA, TLAXCALA
TEL. (91 248) 4 22 33 OFNA.

13.- MENDOZA ALVARADO JUAN PAULINO
CARLOS GONZALES PEMA 47, COL. COPILCO, DELEG. COYOACAN
C.P. 04360, TEL. 658 63 65 DOM.

14.- MONROY HUITRON HECTOR
GERENTE DE PLANTA
SUPERVISION TEKNO ADMINISTRATIVA
AV.CINCO No.119, COL. GRANJAS DE SAN ANTONIO, DELEG.
IZTAPALAPA C.P. 09570, TEL. 582 56 22 OFNA.,
787 64 33 DOM.

15.- MORENO LOPEZ PEDRO
SUPERINTENDENTE DE PRODUCCION
MINSA ATLACOMULCO S.A. DE C.V.
MZ. 1, LOTE 18, PARQUE INDUSTRIAL ATLACOMULCO MEX.
TEL. 216 17 OFNA.

16.- OLIVERA MARTINEZ GUSTAVO
DIRECTOR DE FINANZAS
TEKNO S.A.
AV. CINCO No. 119, COL. GRANJAS SAN ANTONIO, DELEG.
IZTAPALAPA, C.P.09079, TEL. 670 23 28 OFNA.,
534 82 40 DOM.

17.- PAZ FUENTES GILBERTO

18.- RANGEL TREJO AURELIO
ABRAHAM SANCHEZ No. 176, COL. AMPL. SAN PEDRO XALPA,
AZCAPOTZALCO, 02710, TEL. 576 61 27 DOM.

19.- ROSALES SANCHEZ FERNANDO

20.- SALDAÑA ROJO OSCAR
EDIF. 36-J-201, UNIDAD LINDAVISTA VALLEJO
GUSTAVO A. MADERO, C.P. 07720, TEL. 368 08 39 DOM.

21.- SOLORZA LUNA FRANCISCO RODOLFO
AYUDANTE DE INVESTIGADOR
UNAM, FACULTAD DE ECONOMIA
CIRCUITO INTERIOR, CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.
COL. COPILCO-COYOACULCO, DELEG. COYOACAN
TEL. 550 52 15 EXT. 210A OFNA., 515 65 80 DOM.

22.- VELEZ MARTINEZ LIGIA MARTHA
JEFE DEPTO. CONTROL DE CALIDAD
MINSA ATLACOMULCO, S.A. C.V.
LOTE 1, MANZANA 18, PARQUE INDUSTRIAL ATLACOMULCO,
ATLACOMULCO, EDO. DE MEXICO, C.P. 50450
TEL. 217 84 OFNA., 216 17 DOM.

23.- ZANABRIA SALCEDO RAYMNUNDO I
GERENTE DE PRODUCCION
LOGICA DIGITAL
BAHIA DE PERUZA No. 80, COL. ANZUREZ, DELEG. M. HIDALGO
C.P. 11300, TEL. 254 12 66 OFNA., 795 18 15 DOM.

24.- ZAVALA GONZALEZ HECTOR
GERENTE DE PRODUCCION
PROVEEDORES PLASTICOS MACH S.A. DE C.V.
JOSEFA ORTIZ DE DOMINGUEZ No. 70, LA MAGDALENA ATLIPAC,
LOS REYES LA PAZ, EDO. DE MEXICO, C.P. 56500
TEL. 855 58 44 OFNA., 606 23 38 DOM.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

DEL 01 AL 12 DE JUNIO DE 1992

FECHA	HORARIO	TEMA	PROFESOR
LUNES 01 de junio	17:00 a 18:00	INTRODUCCION	M. en I. Rubén Tellez Sánchez
	18:00 a 21:00	ANALISIS ESTADISTICO DE SISTEMAS DE MEDICION	M. en I. Rubén Tellez Sánchez
MARTES 02 de junio	17:00 a 21:00	METODOLOGIA PARA LA IMPLANTACION DEL CEP 1	Ing. Mario Montero Vásquez
MIERCOLES 03 de junio	17:00 a 21:00	METODOLOGIA PARA LA IMPLANTACION DEL CEP II	Ing. Mario Moreno Vásquez
JUEVES 04 de junio	17:00 a 21:00	CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO I	M. en I. Rubén Tellez Sánchez
VIERNES 05 de junio	17:00 a 21:00	CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO II	M. en I. Rubén Tellez Sánchez
LUNES 08 de junio	17:00 a 21:00	IDENTIFICACION Y ANALISIS I	M. EN I. Rubén Tellez Sánchez
MARTES 09 de junio	17:00 a 21:00	IDENTIFICACION Y ANALISIS II	Lic. Eduardo Ortiz Hernández
MIERCOLES 10 de junio	17:00 a 21:00	MUESTREO MUESTREO DE INSPECCION	M. en I. Rubén Tellez Sánchez
JUEVES 11 de junio	17:00 a 21:00	IDENTIFICACION Y ANALISIS III	Lic. Eduardo Ortiz Hernández

UNIVERSIDAD NA NAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

DEL 01 AL 12 DE JUNIO DE 1992

FECHA	HORARIO	TEMA	PROFESOR
VIERNES 12 de junio	17:00 a 21:00	ANALISIS DE CASOS	ING. JORGE TAPIA GARDUÑO

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO: *CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD*

FECHA: *DEL 01 AL 12 DE JUNIO/1992*

	CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD	
1	*M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ*					
2	*ING. MARIO MONTERO VASQUEZ*					
3	*LIC. EDUARDO ORTIZ HERNANDEZ*					
4	*ING. JORGE TAPIA GARDUÑO*					
5						
6						
7						
8						
9						
	ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10					

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

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

	TEMA	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	
1	*INTRODUCCION*					
2	*ANALISIS ESTADISTICO DE SISTEMAS DE MEDICION*					
3	*METODOLOGIA PARA LA IMPLANTACION DEL CEP I*					
4	*METODOLOGIA PARA LA IMPLANTACION DEL CEP II*					
5	*CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO I*					
6	*CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO II*					
7	*IDENTIFICACION Y ANALISIS I*					
8	*IDENTIFICACION Y ANALISIS II*					
9	*MUESTREO DE INSPECCION*					
10	*IDENTIFICACION Y ANALISIS III*					
	ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10					

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

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

	TEMA	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	
11	*ANALISIS DEL CASO*					
	;CALA 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 CURSO	
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 DIVISION DE EDUCACION CONTINUA ☐

PERIODICO NOVEDADES ANUNCIO TITULADO DIVISION 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 ☐

METRO ☐

OTRO MEDIO ☐

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

_____

_____

_____

5.- ¿Recomendaría el curso a otras personas? ☐ SI ☐ NO

5.a. ¿Qué periódico lee con mayor frecuencia?

_____

_____

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

_____

_____

_____

7.- La coordinación académica fué:

EXCELENTE [ ] BUENA [ ] REGULAR [ ] MALA [ ]

8.- 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 COMIDAD) [ ]

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 [ ]

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

_____

_____

_____

10.- Otras sugerencias:

_____

_____

_____

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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

Del 1º al 12 de junio de 1992

INTRODUCCION:

FILOSOFIA, ESQUEMA CONCEPTUAL Y METODOLOGIA

M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

PALACIO DE MINERIA

JUNIO, 1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

En la historia de la civilización, las apreciaciones de lo que es la buena calidad han variado a través del tiempo en relación directamente proporcional al grado evolutivo de la capacitación de la gente, los avances científicos y el ilimitado arsenal de recursos tecnológicos que día a día se perfeccionan y preparan el camino para una vida mejor en la que se busca constantemente la excelencia.

El Dr. **W. Edwards Deming** encontró la fórmula que iniciaría la Tercera ola Industrial, basándose en el principio más ancestral que ha tenido el hombre de todas las culturas y razas sobre la calidad. Sólamente aportó la aplicación de una herramienta esencial para el mejoramiento de todo proceso: **La estadística.**

El gran mérito del Dr. Deming fue originar toda una revolución conceptual en la Administración de las Empresas. En su cruzada por la Calidad Total ha logrado convencer a la Alta Dirección que el mejor esfuerzo de cada persona no es suficiente, que la definición de calidad no es intuitiva y que sin herramientas para controlar la variación todo se reduce a especulaciones y opiniones sin fundamento científico que no llevan a ningún lado.

Tradicionalmente, el término calidad en la mayor parte de las empresas dedicadas a la manufactura de productos ha significado **cumplir con las especificaciones.** Esto implica que la responsabilidad por la calidad ha sido asociada, generalmente, con el área de Ingeniería o los departamentos de Control de Calidad. Las personas de estos departamentos eran responsables finalmente de que los productos cumplieran con las especificaciones.

A raíz del método propuesto por la Filosofía Deming, todas las áreas intervienen en el proceso de hacer buena calidad y el concepto ha evolucionado a un significado más amplio. Ahora quiere decir **"estar adecuado al uso"**. Como puede observarse el enfoque ha cambiado porque antes la preocupación era sólo por alcanzar las especificaciones y hoy, **la nueva definición de calidad se centra en el cliente ,en las necesidades y expectativas que él tiene.** El concepto ha cambiado **de la detección de defectos a su pervención.**

Lo que se considera a continuación es la introducción a la filosofía de un **sistema orientado hacia la excelencia** y que se basa tan solo en el ideal que cada hombre tiene de la calidad y en viejos conceptos de medición, comunicación y cooperación.

En 1931, el Dr. Walter Shewhart, reconocido como el padre del Control Estadístico de Proceso, expusó en su libro **"Control Económico de la Calidad en la Manufactura de Productos"**, los primeros fundamentos que más tarde darían lugar a la Tercera Ola Indus-

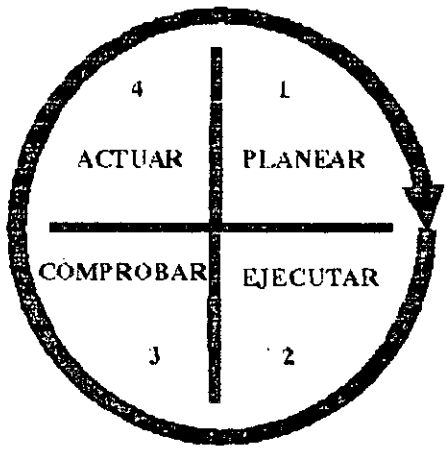
trial. Shewhart propuso métodos sencillos y medidas en orden de secuencia que mediante gráficas muestran los cambios que suceden en el proceso y, gracias a esto, se puede determinar cuando el sistema esta fuera de Control Estadístico.

Este concepto del **Control Estadístico del Proceso** hizo un profundo impacto en la mente del Dr. W. Edwards Deming y desde entonces pensó que esa teoría podría ser aplicada para dirigir el trabajo de todos hacia un proceso continuo de Calidad Integral. Deming invitó a Shewhart para que diera una serie de conferencias sobre métodos estadísticos desde el punto de vista del Control de Calidad y, a partir de entonces, se convenció del importante papel que podría tener la estadística en la industria, las oficinas gubernamentales y las empresas de servicio.

El control es definido como todas las actividades necesarias para lograr en forma eficaz y económica, un objetivo en un tiempo determinado. El Ciclo del Control comprende el proceso permanente de: **Planeación, Ejecución, Comprobación, y Actuación nuevamente sobre la nueva situación, en un proceso permanente de mejora continua.**

FIGURA 1.1

EL CICLO DEL CONTROL



1. PLANEAR:
   -DECIDIR LOS OBJETIVOS
   -ESTABLECER LOS METODOS PARA ALCANZAR LOS OBJETIVOS

2. EJECUTAR:
   -DAR EDUCACION Y ENTRENAMIENTO.
   -LLEVAR A CABO EL PLAN

3. COMPROBAR:
   -VERIFICAR EL APEGO AL PLAN

4. ACTUAR:
   -TOMAR ACCION CORRECTIVA.
   -VERIFICAR EL RESULTADO DE LA ACCION CORRECTIVA
   -VOLVER A COMENZAR CON 1: PLANEAR, CONTINUANDO CON UN PROCESO DE MEJORA PERMANENTE

1.2. FILOSOFIA DE E. W. DEMING

Las siguientes afirmaciones de E. W. Deming sustentan su filosofía para la mejora continua:

- Lo importante es **ser competitivo,** a través de la captura de mercados y de la permanencia en el negocio.

- Ser competitivos es la mejor aportación a la sociedad, al país porque **propicia empleo** y **retribuye** a los integrantes de la empresa: accionistas, personal, sociedad y gobierno.

- **La productividad es resultado de la calidad,** no viceversa.

- La enseñanza fundamental es que mejorando la calidad de un producto disminuyen los costos y se ahorra trabajo al eliminar la necesidad de repetir las cosas y esto trae consigo la mejora en la productividad y la posición competitiva de cada empresa. El milagro de la **Tercera Ola Industrial** tiene su base en la **Reacción en cadena para el incremento de la Calidad y la Productividad: Figura 1.2.**

- **Solo la Alta Dirección** de las empresas puede resolver el problema de definir la calidad; el cual es un concepto complicado que no tiene soluciones rápidas ni fáciles, pero es la responsabilidad de la gerencia.

- Para producir calidad y tener un método para lograrlo, se debe **estudiar al consumidor,** adquirir un conocimiento profundo de sus necesidades y con los controles de proceso, mirar hacia el futuro, producir bienes y servicios que tengan mercados por muchos años permaneciendo así en el negocio.

- **Los insumos y materiales deben ser de calidad,** para lo cual: se debe trabajar con los proveedores y mejorar la instrumentación.

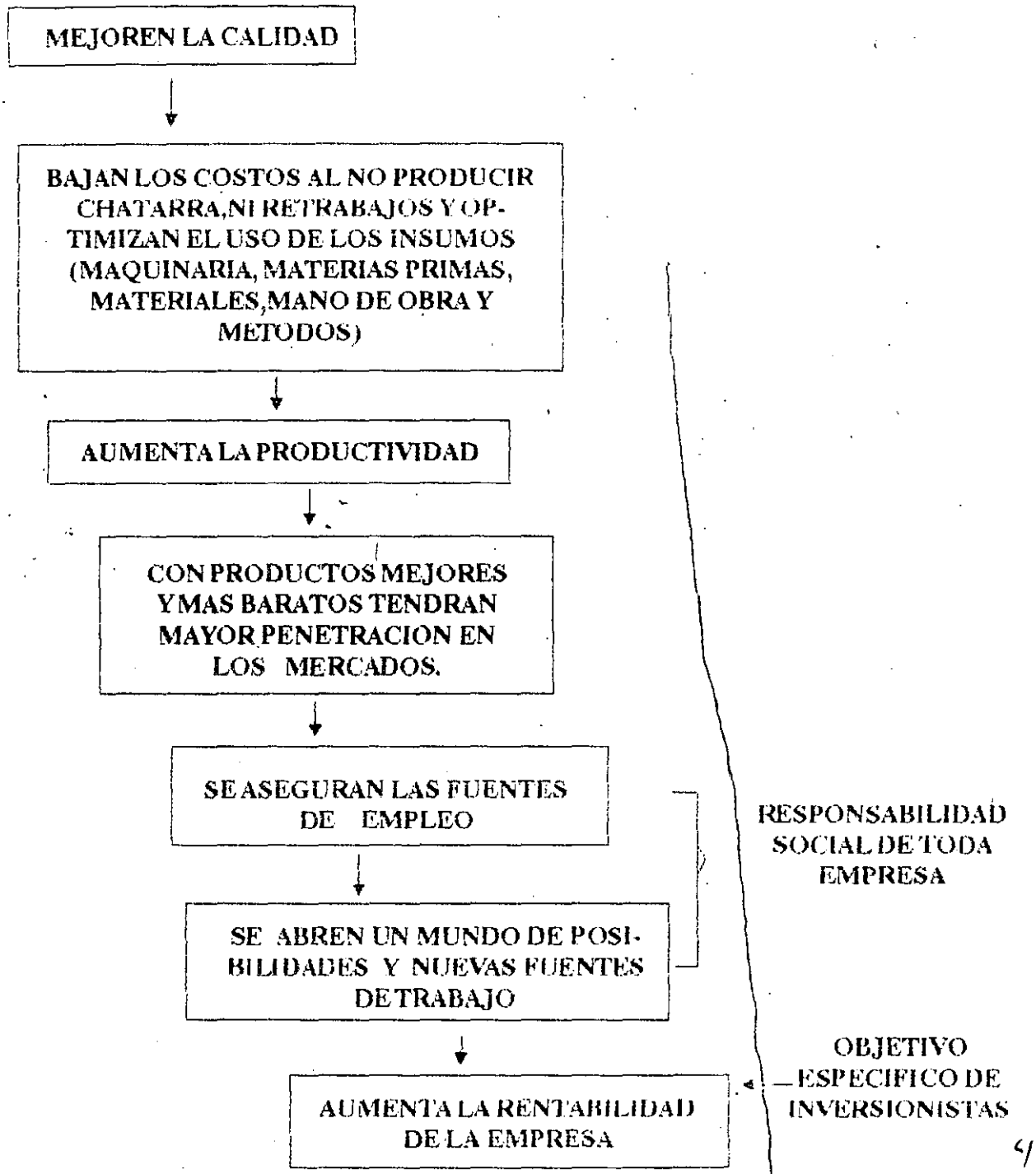
- **No se puede mejorar el proceso hasta haber llegado al Control Estadístico.** Sólo entonces se puede ver que, todo permanecerá de esta forma hasta que se hagan algunos cambios.

- **La introducción de métodos estadísticos de la calidad** en los esquemas de producción, mediante programas de Calidad Total, provocan una reacción en cadena de entusiasmo al ver que la buena calidad cuesta menos dinero y esfuerzo que las cosas hecha a medias. En este sentido, la única función significativa del estadístico es hacer predicciones y establecer bases para la acción.

- No nada mas hay que producir y tratar de vender. Se debe rediseñar **y entonces, otra vez controlar el proceso. El ciclo,** sigue y sigue en forma continua, siempre con un incremento de calidad.

FIGURA 1.2

REACCION EN CADENA DE E.W. DEMING PARA EL INCREMENTO DE LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.



- **Todos en cada empresa o institución tienen un trabajo que hacer para mejorar la calidad** y naturalemente, la produccion se incrementa: Así se tendrá algo que vender y los lientes estarán contentos.

- **Este movimiento debe ser a nivel nacional.** Se debe enseñar a otras empresas, a los competidores, moverse todos juntos. Conforme se aprenda divulgarlo a los demas.

El nuevo significado del concepto de calidad, impone severos desafios a todo el Mundo. Ahora para recuperar mercado, los paises están adoptando, programas de Calidad Total. Esto es un largo proceso de aprendizaje que no obedece a una moda sino a una verdadera necesidad; es en si un cambio de cultura, una manera diferente de ver y hacer las cosas, una disciplina de trabajo orientada a lograr la excelencia y de la que todos tenemos que ser parte en cada empresa, institución y país.

1.3. CATORCE PUNTOS PARA LA ADMINISTRACION

La filosofía de Calidad Total del Dr. E.W. Deming se traduce a catorce puntos para la administración. Adoptar y actuar de acuerdo a ellos es señal de que la administración intenta permanecer en el negocio y de que pretende proteger a los individuos y sus trabajos.

Estos catorce puntos son responsabilidad de la Alta Administración. Nadie más puede llevarlos a cabo. **La calidad es trabajo de todos**, pero la calidad debe ser dirigida por la alta administración. Estos catorce puntos se aplican en cualquier parte, tanto a pequeñas como a grandes organizaciones.

Estos catorce puntos se unen conceptualemente el uno con el otro como un conjunto de engranes, pero mantienen también un cierto grado de independencia. La mejora en un área trae el mejoramiento de la otra, e ignorar cualquiera de estos puntos obstaculiza el funcionamiento de la filosofia:

1. CREAR CONTINUIDAD Y CONSISTENCIA DE PROPOSITO.

Tener el propósito de mejorar consistentemente el producto y servicio con un plan para comenzar a ser competitivos y permanecer en los negocios.

Nadie, sino la Alta Administración, puede establecer las metas y las aspiraciones de la organización, siendo la calidad, la prioridad número uno, y no las utilidades a corto plazo.

Para la compañía que espera permanecer en los negocios hay dos tipos de problemas: Ser consistente en los inmediatos y los del futuro. El propósito significa aceptar obligaciones como las siguientes:

a) Innovar, colocar recursos para largo plazo: Nuevos servicios; Nuevos materiales que serán requeridos; Posibles cambios en métodos de producción; Costos de producción decrecientes; etc. **Un requisito para la innovación es la fé de que habrá un futuro.**

b) **Invertir recursos en: Investigación y Educación.**

c) **Mejorar constantemente el diseño del producto y de los servicios.** Esta obligación nunca termina: el consumidor es la parte más importante de la línea de producción.

d) **Programar recursos para el mantenimiento** del equipo, mobiliario e instalaciones, nuevas ayudas a producción, en las oficinas y en la planta.

2. ESTABLECER UNA FILOSOFIA DE CALIDAD.

Se ha aprendido a vivir en un mundo de errores y productos defectuosos como si ellos fueran necesarios para vivir. Es tiempo de adoptar una nueva religión en América. Los defectos y los artículos defectuosos no son gratis. El costo total de producir o arreglar un artículo defectuoso, excede el costo de producción de uno bueno. Esto implica:

- Reducir y eliminar los comunmente aceptados niveles de errores, defectos, ineficiencias. Aumentar el interés del personal por resolver problemas, en lugar de aprender a vivir con ellos.
- Crear la mentalidad en el personal de que siempre existirán nuevas y mejores maneras de hacer las cosas.

Lleva tiempo crear el hábito por la calidad en una organización. Se requiere educación, entrenamiento, ejemplo de la alta administración.

3. NO DEPENDER MAS DE LA INSPECCION MASIVA.

Un cien por ciento de inspección es lo mismo que planear, producir defectos es reconocer que el proceso no puede hacer las cosas correctamente o que no tiene sentido hacer en primer término las especificaciones.

La inspección resulta tardía, inefectiva y costosa. Cuando un lote del producto deja la bodega del proveedor, ya es muy tarde para hacer algo acerca de la calidad del lote. **La calidad no viene de la inspección, sino del mejoramiento del proceso a través de una mejor calidad de proceso:**

MEJORA DEL PROCESO
REDUCE VARIABILIDAD
REDUCE DESPERDICIOS
ERRORES, INFEFICIENCIAS.

→

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD CON MENOR ESFUERZO.

4. FIN A LA PRACTICA DE HACER NEGOCIOS EN BASE A PRECIO SOLAMENTE

Ya no se puede dejar que la competitividad se base sólo en los precios, menos ahora en que se requiere uniformidad y confiabilidad de los productos. El precio no tiene significado si no se tiene una medida de la calidad que se esta comprando, este grado de calidad es el que se compra. No se debe buscar tan sólo el proveedor que ofrezca el menor precio, sino considerar también al de mejor calidad, con evidencia estadística, teniendo una relación más estrecha y de largo plazo comprador-vendedor, examinando el número de proveedores. **La calidad debe ser juzgada examinando las Cartas de Control de Calidad que deben acompañar a cada compra.**

5. MEJORAR CONSTANTEMENTE Y PARA SIEMPRE LOS SISTEMAS DE PRODUCCION Y SERVICIOS

Esto significa continuar con la reducción de desperdicios, errores y mejorar la calidad en cada actividad: abastecimientos, transporte, ingeniería, métodos, mantenimiento, instrumentos de medición, ventas, métodos de distribución, contabilidad, nómina, servicio a clientes, etc. cuando existe un problema, el 85% de las veces se relaciona con deficiencias del sistema ,15% de las veces se relaciona con el **personal de linea. Las continuas mejoras en la calidad originan continuas mejoras en la productividad.** Se requiere el liderazgo estadístico para el diseño y análisis de pruebas y para diferenciar las causas especiales de las comunes. El proceso que está en estado de control estadístico puede ser mejorado solamente por el estudio del propio proceso.

El personal de linea trabaja dentro del sistema. La Administración debe trabajar sobre el sistema, para mejorarlo con la ayuda del personal de linea.

6. INSTITUIR METODOS MODERNOS DE ENTRENAMIENTO EN EL TRABAJO. ENSEÑANDO AL PERSONAL A IDENTIFICAR Y RESOLVER PROBLEMAS.

Se debe reestructurar totalmente el enfoque del entrenamiento. Un gran problema ligado al entrenamiento y a la supervisión es la determinación de la variable estándar de que es aceptable en el trabajo y que no lo es. El estándar muy a menudo depende de que el supervisor tenga o no problemas por alcanzar su cuota diaria en términos de cantidad no de calidad.

El personal puede ser el mayor desperdicio, no los materiales. Cualquier sistema de personas y máquinas muestra variaciones estadísticas, las cuáles solo pueden ser entendidas a través del uso del lenguaje y métodos estadísticos.

La inspección del proceso es tan importante como la inspección del producto, y la manera del realizarla es a través de las personas mas cercanas a la fuente del problema (el personal de linea).

7. INSTITUIR METODOS MODERNOS DE SUPERVISION.

La supervisión pertenece al sistema y es responsabilidad de la administración.

- Eliminar barreras que hagan imposible que el trabajador haga su trabajo con orgullo.

- El supervisor debe informar a la alta administración las condiciones correctivas necesarias. **Es responsabilidad de la supervisión crear las condiciones para mejorar la actuación del hombre y de la maquina, asi como hacerle al personal el trabajo más interesante y productivo.**

8. ELIMINAR EL MEDIO.

La mayoría de la gente, especialmente la gente en posiciones administrativas, no entienden cual es el trabajo, tampoco qué es correcto y qué no lo es. Muchos tienen miedo de hacer preguntas o tomar una posición. Para una mejor calidad y productividad es necesario que la gente se sienta segura.

La gente en el trabajo tiene miedo de preguntar más de tres veces dentro del trabajo: qué es el trabajo, qué es aceptable y qué no. El supervisor no tiene tiempo de explicar.

Se satisface lo pedido sin importar si los materiales son apropiados o están las máquinas operando correctamente.

Se efectúan inspecciones incorrectas por miedo a mostrar la verdad. El miedo desaparece conforme la administración mejora y los empleados adquieren confianza en ella. La administración debe crear un ambiente de confianza, teniendo congruencia entre el decir y el hacer.

Si el personal piensa que un incremento en productividad significa que serán despedidos, se resistirán a mejorar la productividad.

La administración solo podrá obtener apoyo incondicional de su gente si realmente se preocupa por crear una sociedad genuina entre el personal y la administración.

9. ROMPER LAS BARRERAS ENTRE LOS DEPARTAMENTOS: EL SISTEMA DE PRODUCCION DEBE SER TRATADO COMO UN TODO Y NO COMO PARTES SEPARADAS.

El personal de investigación, diseño, ingeniería, compra de materiales, ventas, y recibo de materiales deben romper las barreras entre los departamentos y asi por ejemplo aprender acerca de los problemas que ocasionan los materiales y las especificaciones de producción y ensamble. De otra manera habrá pérdidas en producción por la necesidad de retrabajos causados por intentos de usar materiales y especificaciones no adecuadas.

Es responsabilidad de la Alta Administración desarrollar los medios para promover una interacción saludable entre las partes del sistema, anteponiendo los intereses de la compañía a los intereses departamentales (internos)

El producto en manos del cliente es todavía parte del ciclo de producción. Este principio es válido tanto en clientes internos, como externos.

10. ELIMINAR METAS NUMERICAS POSTERS Y SLOGANS PARA LA FUERZA DE TRABAJO.

Eliminar metas, slogans, fotos, posters que presionen a la fuerza de trabajo a incrementar la productividad, marcando su trabajo como un autoretrato: Cero defectos, más productividad, etc.

Lo que se requiere no es una exhortación, sino una guía que la administración proporcione para el mejoramiento del trabajo, **un mapa que señala el camino para la mejora.**

La administración puede publicar posters donde explique a cada quien lo que ellos administración están haciendo mes a mes para mejorar el sistema y hacer posible mejorar la calidad y la productividad, no sólo trabajando más duro, sino más inteligentemente. La gente entrenderá que la administración está tomando su parte de responsabilidad. El efecto de fijar metas sin indicar cómo alcanzarlas es más negativo que positivo: 90% esencia 10% exhortación y no viceversa. **El método es lo único que cuenta. Hay que trabajar en el método.**

11. ELIMINAR ESTANDARES Y CUOTAS DE TRABAJO SOBRE CANTIDAD.

Estas cuotas toman sólo en cuenta cantidad, no calidad. Como normalmente son utilizados los estándares de trabajo son una garantía de ineficiencia y alto costo.

Por ejemplo, un estándar de trabajo puede incluir un 10% de artículos defectuosos permitidos y un 20% de desperdicios. Los estándares de trabajo garantizan que la compañía obtenga la cantidad especificada de artículos defectuosos y la cantidad especificada de desperdicios, mas entonces nunca se mejora.

Los estándares de trabajo, porcentajes y unidades de trabajo en este sentido, son manifestaciones de la inhabilidad para entender y proporcionar una supervición apropiada.

¿El trabajador fué el creador del producto defectuoso o el sistema?

12. REMOVER LAS BARRERAS QUE IMPIDEN QUE EL TRABAJADOR TENGA DERECHO DE SENTIR ORGULLO POR LA EJECUCION DE SU TRABAJO.

Sólo la administración puede eliminar las barreras que impiden al trabajador sentir orgullo por su trabajo, por hacer un buen trabajo. ¿Cómo puede un trabajador tener orgullo de su trabajo cuando no está seguro de que es un trabajo aceptable y que no lo es tanto ayer como hoy? ¿Cuál es su trabajo?

El supervisor debe ser calificado en base tanto a producción, como calidad. **Respetar la dignidad humana**

13. INSTITUIR UN VIGOROSO PROGRAMA DE EDUCACION Y ENTRENAMIENTO.

Es necesario para la administración adecuar al personal a sus nuevos productos y responsabilidades, asi como propiciar la asimilación y aplicación de técnicas estadísticas. Se requiere entrenar a las personas a usar la estadística en sus tareas (compras, calidad, ventas, etc.).

Unas pocas horas bajo la guía de un maestro estadístico competente usualmente es suficiente para empezar con los trabajadores y supervisores que deseen aprender y adoptar estos métodos. Este proceso es repetitivo en todos los niveles.

A medida que se mejore la calidad deberá existir menos y menos inspección cada año.

14. CREAR LA ESTRUCTURA EN LA ALTA ADMINISTRACION QUE IMPULSE DIA A DIA LOS TRECE PUNTOS ANTERIORES.

La alta administración requerirá de la orientación de un consultor, pero éste no puede tomar las obligaciones que a la administración le competen.

El consultor deberá enseñar y formar maestros en la utilización de métodos estadísticos. Cada quien en la compañía requerirá de un mapa que lo guíe hacia una constante mejora en conocimiento y efectividad.

El cambio de conducta de un individuo requiere primero que nada un cambio en sus creencias básicas: ¿y en una organización?

Nadie puede tomar como obligación, lo que solo a la administración corresponde. El involucrameinto de la Alta Administración es esencial para el éxito del programa.

1.4. CONCEPTOS BASICOS EN EL USO DE METODOS ESTADISTICOS.

Los conceptos más importantes que se relacionan con el uso de métodos de estadística para mejorar la calidad y la productividad, son los siguientes:

1. La filosofía fundamental asociada con la producción económica de bienes debe basarse en la **prevención** de defectos en lugar de **detección**. Este enfoque requiere un Sistema de Control del Proceso, el cual únicamente puede ser implantado 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 **Cartas de Control**.

2. Todos los niveles de la Organización deben dedicarse a mejorar la calidad cotidianamente. Deben implantarse los cambios que contribuyan a mejorar la calidad.

3. La interpretación de información estadística a través de técnicas tales como las **Cartas 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 todas 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 operadores, personal de mantenimiento, etc.). Sólo una parte de los problemas se debea 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.

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.

5. Las relaciones con los **proveedores** deben basarse en una asociación mutua que propicie 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 productos debe involucrárseles para que consideren el uso de técnicas de estadística.

6. Los conceptos tales como los estándares de trabajo, metas y especificaciones no pueden, por sí mismos, mejorar la calidad. **Unicamente la acción basada en la información estadística puede mejorar la calidad y productividad.**

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.

1.5. FILOSOFIA OPERATIVA DE LA MEJORA CONTINUA.

Las mejoras significativas en calidad y productividad no se deben a un sólo factor sino a un conjunto de prácticas tales como el que todo el personal tenga un compromiso hacia la calidad, la estabilidad y flexibilidad 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 continuas** a través de la **eliminación del desecho**, tratando constantemente de eliminar las fuentes que la 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.

La estrategia corporativa se puede traducir en acción a través de la filosofía operativa basada en satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes a través del establecimiento y mantenimiento de un ambiente en el que se estimula 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 Empresa, sus proveedores y sus distribuidores.

Se enfatiza 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, que se pensaba que satisfacían las necesidades de los clientes y usuarios. En la medida en que se entiende sobre los sistemas de calidad eficaces se admite que las 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 Empresa, 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 al personal se enfatiza aquí que es el más grande recurso; solamente

en forma conjunta, todo el personal podrá lograr los cambios en los sistemas de la Empresa que llevaran a ser mas competitivos.

Tercero, las **mejoras continuas** en la **calidad y productividad.** En el pasado, se establecían 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 o cualquier otra meta, la gente pensaba generalmente que su labor había terminado en ese aspecto de la calidad. La nueva filosofía ahora es mejorar continuamente no solamente alcanzar cierto nivel de calidad. Estas continuas mejoras son las que se deben hacer para responder a las necesidades del mercado. El Ciclo del Control (Figura 1.1) es un procedimiento valioso que ayuda a conseguir la mejora en cualquier etapa; también es un procedimiento para descubrir una causa especial que haya sido detectada por una señal estadística.

1.6. PRINCIPIOS DE OPERACION PARA LOGRAR MEJORAS CONSTANTES EN CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD.

La aplicación de la Filosofía operativa se puede dar a través de catorce pincipios que están en la filosofia y los catorce puntos de E.W. Deming y que están también asociados con tres objetivos principales de una Empresa:

- 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 pueden relacionar con los objetivos principales de la siguiente manera:

Proveer a los accionistas de utilidades satisfactorias sobre su 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 Empresa. 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 Empresa.

3. Promover el desarrollo de equipos de trabajo entre todas las áreas funcionales (por ejemplo: diseño del producto, manufactura, calidad del producto, empaque, 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.

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. Estos 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.

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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

Del 1°. al 12 de junio de 1992

ANALISIS ESTADISTICO DE SISTEMAS DE MEDICION

M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

JUNIO - 1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

ANEXO II
EVALUACION DE SISTEMAS DE MEDICION

I. INTRODUCCION

Frecuentemente se supone que los resultados de las mediciones tomadas en estudios y experimentos son los valores reales. Muchas veces se analizan los resultados y se concluye y decide en base a esta suposición, lo que mucha gente no logra percibir es que existe una variación en los sistemas de medición que afecta las mediciones individuales y consecuentemente a las decisiones basadas en estos datos.

Cada equipo de medición está sujeto a variaciones. Existen variaciones sistemáticas o tendencias cuando el equipo no está calibrado (exactitud) o cuando personas diferentes lo utilizan (reproducibilidad). El desgaste, el deterioro y las condiciones ambientales provocan variaciones periódicas (estabilidad). Un tipo de error muy importante y oculto es la variación aleatoria debida a complejidad del diseño y la construcción del sistema de medición (repetibilidad), tal es el caso, por ejemplo, de la fricción en calibradores.

Todos estos factores: precisión, reproducibilidad, estabilidad y repetibilidad se combinan para dar como resultado la efectividad total del sistema de medición. Las aplicaciones de estos estudios son las siguientes:

a) Proporcionan un criterio para aceptar un nuevo equipo de medición.

b) Proporcionan la comparación de un dispositivo de medición contra otro.

c) Proporcionan una base para evaluar un dispositivo que se sospeche deficiente.

d) Proporcionan la comparación del equipo de medición antes y después de reparado. El proveedor deberá evaluar siempre su equipo de medición después de ajustes o reparaciones.

e) Proporcionan la información necesaria para desarrollar curvas de comportamiento de los dispositivos (CCD), lo que indica la probabilidad de aceptar una parte buena o rechazar una mala, de manera correcta.

f) En síntesis, constituyen el método para lograr equipo de medición confiable que determine la variación verdadera del proceso y el nivel de aceptación para un proceso de producción, proporcionando la información más válida para el establecimiento del Control Estadístico de Procesos.

ANEXO II
EVALUACION DE SISTEMAS DE MEDICION

I. INTRODUCCION

Frecuentemente se supone que los resultados de las mediciones tomadas en estudios y experimentos son los valores reales. Muchas veces se analizan los resultados y se concluye y decide en base a esta suposición, lo que mucha gente no logra percibir es que existe una variación en los sistemas de medición que afecta las mediciones individuales y consecuentemente a las decisiones basadas en estos datos.

Cada equipo de medición está sujeto a variaciones. Existen variaciones sistemáticas o tendencias cuando el equipo no está calibrado (exactitud) o cuando personas diferentes lo utilizan (reproducibilidad). El desgaste, el deterioro y las condiciones ambientales provocan variaciones periódicas (estabilidad). Un tipo de error muy importante y oculto es la variación aleatoria debida a complejidad del diseño y la construcción del sistema de medición (repetibilidad), tal es el caso, por ejemplo, de la fricción en calibradores.

Todos estos factores: precisión, reproducibilidad, estabilidad y repetibilidad se combinan para dar como resultado la efectividad total del sistema de medición. Las aplicaciones de estos estudios son las siguientes:

a) Proporcionan un criterio para aceptar un nuevo equipo de medición.

b) Proporcionan la comparación de un dispositivo de medición contra otro.

c) Proporcionan una base para evaluar un dispositivo que se sospeche deficiente.

d) Proporcionan la comparación del equipo de medición antes y después de reparado. El proveedor deberá evaluar siempre su equipo de medición después de ajustes o reparaciones.

e) Proporcionan la información necesaria para desarrollar curvas de comportamiento de los dispositivos (CCD), lo que indica la probabilidad de aceptar una parte buena o rechazar una mala, de manera correcta.

f) En síntesis, constituyen el método para lograr equipo de medición confiable que determine la variación verdadera del proceso y el nivel de aceptación para un proceso de producción, proporcionando la información más válida para el establecimiento del Control Estadístico de Procesos.

II. DEFINICIONES

Dado que existen diversos términos para describir los tipos de errores asociados con un sistema de medición, las siguientes definiciones nos permitirán determinar de una forma unívoca el significado de los términos posteriormente empleados.

II. 1 Exactitud

La diferencia entre la media obtenida en las mediciones efectuadas con el Dispositivo en Evaluación y la media real de las medidas. El promedio real se determina usando un equipo de mayor exactitud.

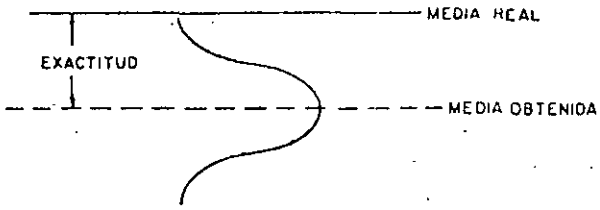


FIGURA 1

II. 2 Repetibilidad.

La variación de las mediciones obtenidas con un dispositivo cuando lo usa varias veces el mismo operador, para medir la misma característica, en las mismas partes.

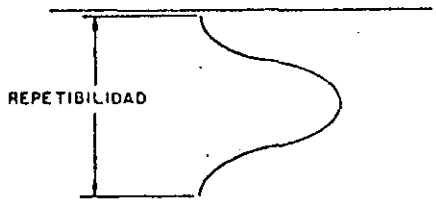


FIGURA 2

II. 3 Reproducibilidad.

La variación en el promedio de las mediciones efectuadas por Operadores diferentes, usando el mismo dispositivo para medir la misma característica, en el mismo grupo de piezas.

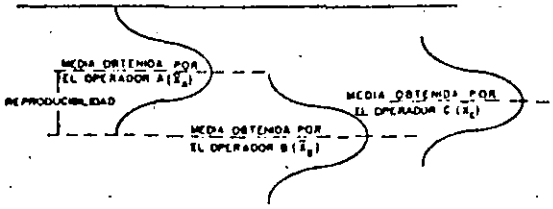


FIGURA 3

II. 4 Estabilidad

La diferencia en el promedio de por lo menos dos grupos de mediciones obtenidas con un dispositivo, en las mismas partes y características, como resultado del tiempo.

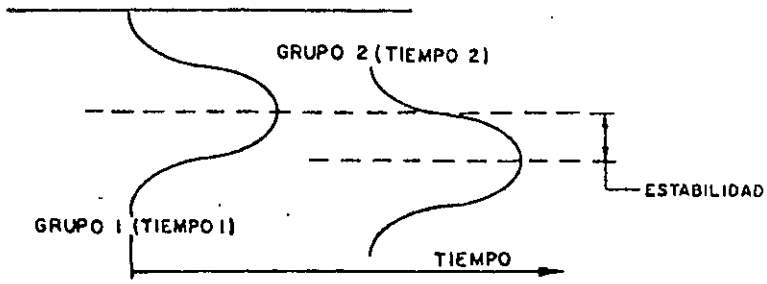


FIGURA 4

II. 5 Error y Habilidad de Dispositivo

La combinación de exactitud, repetibilidad, reproducibilidad y estabilidad representa el error del dispositivo. El error debe ser evaluado, por el proveedor, para cada aplicación del dispositivo, cuando éste se use para medir diferentes características, asegurándose así que tiene un comportamiento lineal. La habilidad es el complemento a 1 o a 100% del error, si este último esta expresado decimal o porcentualmente, respectivamente.

Habilidad = 1 − error Habilidad = 100% − % error

III. PREPARACION PARA LA EVALUACION

Como en cualquier estudio o análisis, se debe tener una preparación previa adecuada para llevar a cabo la evaluación del dispositivo. La preparación típica es la siguiente:

III. 1 Establecer claramente la necesidad de la evaluación.

III. 2 Establecer correctamente el enfoque del Estudio.

Por ejemplo, determinar si existe influencia del operador en la calibración o uso del dispositivo. Existen algunos dispositivos donde el efecto de reproducibilidad puede ser considerado insignificante; por ejemplo: cuando el operador sólo presiona un botón y se imprime un número. Tal es el caso de equipo automático de medición.

III. 3 Se deben determinar anticipadamente los números de operadores, de muestras y de lecturas a tomar. Algunos factores que se deben tomar en cuenta son:

a) Lo crítico de la dimensión.— Por ejemplo, en las características de control deberán efectuarse estudios con más partes y/o más mediciones.

b) La naturaleza de las partes .—Para partes pesadas o voluminosas puede resultar más práctico efectuar el estudio con menos partes y/o mediciones.

c) El nivel de confianza y precisión que se desea en la estimación del error del dispositivo.

III. 4 Siempre que sea posible, los operadores escogidos deberán ser seleccionados entre los que normalmente operan el dispositivo. Si ese personal no está disponible, entonces quienes vayan a practicar las mediciones deberán ser entrenados adecuadamente en el uso correcto del dispositivo.

III. 5 Las partes de muestra escogidas deben ser representativas de la variación del proceso.

III. 6 El dispositivo de medición deberá tener graduaciones tales que permitan efectuar lecturas de por lo menos un décimo de la tolerancia especificada para la característica a ser medida, por ejemplo; si la tolerancia de la característica es de 0.001, el equipo deberá ser tal que se puedan leer en él, de manera directa, incrementos no superiores a 0.0001.

III. 7 Asegurarse que el método de medición y dispositivo correspondan a la característica deseada.

La manera en que se lleve a cabo la evaluación es muy importante, si se desean resultados confiables. Con el objeto de minimizar la probabilidad de resultados imprecisos, se deben dar los siguientes pasos:

a) Las mediciones deben ser efectuadas en orden aleatorio para asegurar que las desviaciones o cambios que ocurran estén aleatoriamente distribuidas en todo el estudio.

b) En el equipo, las lecturas deben ser estimadas con la mayor aproximación posible: como mínimo, deben ser efectuadas a por lo menos la mitad de la graduación más pequeña, por ejemplo, si la menor graduación es de 0.0001, entonces la estimación debe ser redondeada a por lo menos las 0.00005" más próximas.

c) Si se sospecha que las calibraciones hechas por el operador constituyen un factor de gran influencia en la variación, el dispositivo debe ser recalibrado por el operador antes de cada serie de mediciones de las muestras.

d) La evaluación debe ser observada y coordinada por una persona que reconozca la importancia de las precauciones necesarias para efectuar una evaluación confiable.

IV. EVALUACION DE DISPOSITIVOS VARIABLES, METODO CORTO.

El Método corto para evaluación de dispositivos variables proporciona una manera rápida y muy significativa de determinar la aceptabilidad de un dispositivo, en un período breve. Este método debe ser empleado durante la etapa de estudios de potencial de procesos descrita en la Sección I. 4. 1 de este manual. Se utilizan sólo dos operadores, quienes deberán medir el mismo juego de cinco partes cada vez. Con este método, la repetibilidad y reproducibilidad no pueden ser separadas y el error resultante es una combinación de ambos tipos de error del dispositivo.

El Método Corto se lleva a cabo con dos operadores y las cinco partes son seleccionadas de tal manera que representen la dispersión del proceso: cada operador mide las cinco partes aleatoriamente y de manera que se evite cualquier predisposición o influencia externa. Los resultados deben ser registrados en una forma similar a la mostrada en la figura 5.

PARTES	OPERADOR A	OPERADOR B	RANGO (A - B)
1	0.1505	0.1510	0.0005
2	0.1530	0.1535	0.0005
3	0.1525	0.1520	0.0005
4	0.1510	0.1515	0.0005
5	0.1515	0.1520	0.0005
		SUMA DE RANGOS	$\Sigma R = 0.0025$

$$\text{MEDIA DE RANGOS } (\bar{R}) = \frac{\Sigma R}{5} = \frac{0.0025}{5} = 0.0005$$

$$\text{ERROR DEL DISPOSITIVO} = 6.73\,\bar{R} = 6.73\,(0.0005) = 0.003365$$

FIGURA 5
EJEMPLO DE EVALUACION DE UN DISPOSITIVO VARIABLE POR EL METODO CORTO

Se calcula la diferencia entre las lecturas tomadas por el operador A y aquéllas tomadas por el B, para cada pieza individualmente, y los valores absolutos de estas diferencias se registran en la columna de rangos.

Se calcula el promedio de los rangos ($\bar{R}$) sumando los rangos individuales y dividiendo esta suma entre 5. El error del dispositivo es entonces calculado multiplicando la media de los rangos ($\bar{R}$) por *6.73. Si el error del dispositivo es menor que o igual a 15% de la tolerancia especificada, se considera que el dispositivo es bueno para esta aplicación, si el error está entre 15% y 30% se puede usar, pero debe ser mejorado y reevaluado; si rebasa de 30% es inaceptable y debe corregirse inmediatamente o se deberá evaluar otro dispositivo y si éste resulta aceptable en el estudio asignarlo definitivamente a la operación. En el caso del ejemplo de la figura 5 la tolerancia es de ± 0.010, por lo que su porcentaje de error es:

$$\% \text{ error} = \frac{0.003365}{0.020} \times 100 = 16.8\ \% \text{ (requiere ser mejorado y reevaluado)}$$

Si se desea identificar el fundamento estadístico de esta técnica así como de cualquier otro contenido en este anexo, se deberán consultar los títulos referidos al final del manual.

VALORES DE d_2 PARA LA DISTRIBUCION NORMAL

g (NUMERO DE PARTES)	m = NUMERO DE OPERADORES			
1	2	3	4	5
1	1.41	1.91	2.24	2.48
2	1.28	1.81	2.15	2.40
3	1.23	1.77	2.12	2.38
4	1.21	1.75	2.11	2.37
5	1.19	1.74	2.10	2.36
6	1.18	1.73	2.09	2.35
7	1.17	1.73	2.09	2.35
8	1.17	1.72	2.08	2.35
9	1.16	1.72	2.08	2.34
10	1.16	1.72	2.08	2.34

* Este factor resulta de las siguientes consideraciones:

$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$ (Expresión de la desviación estándar en función del rango y tablas de distribución normal).

Puesto que queremos cubrir la dispersión dada por ± 4σ, la repetibilidad y reproducibilidad del dispositivo está dada por:

$$RRD = 8\,\sigma = 8\,\frac{\bar{R}}{d_2}$$

y de la Tabla 1 $d_2 = 1.19$, para m (número de operadores) = 2 y g (número de partes) = 5, por lo que resulta:

$$RRD = \frac{8}{1.19}\,\bar{R} \approx 6.73\,\bar{R}$$

V. EVALUACION DE DISPOSITIVOS VARIABLES, METODO LARGO.

El método más formal para determinar el error de un dispositivo de medición es el de Repetibilidad y Reproducibilidad. Por el contrario del método Corto, esta técnica proporciona una indicación de las causas del error del dispositivo, determinando los errores asociados con la repetibilidad y con la reproducibilidad de una manera separada. Por ejemplo, si la carencia en la reproducibilidad es superior a la correspondiente a repetibilidad, este método proporciona indicaciones tales como las siguientes:

a) Se requiere entrenar a los operadores en la forma de usar y leer los dispositivos.

b) Las calibraciones deben ser más acuciosas y su método mejorado.

Si el problema en repetibilidad es superior al correspondiente en reproducibilidad, el método proporciona indicaciones tales como:

a) Se requiere mantenimiento del dispositivo.

b) El dispositivo podría ser rediseñado para tener mayor rigidez.

c) La sujeción o localización de la parte al dispositivo podría ser mejorada.

V. 1 Realización del Estudio.

Aún cuando el número de operadores, intentos y partes pueda variar, en esta sección se discuten las condiciones óptimas para llevar a cabo el estudio. El procedimiento detallado, usando las formas CC—015 y CC—016 mostradas al final de esta Sección,—como figuras 6 y 7—, es como a continuación se describe:

V. 1. 1 Los operadores son referidos como A, B, y C, y las partes numeradas del 1 al 10. La numeración de las partes no debe estar visible a los operadores.

V. 1. 2 Calibrar el dispositivo con el patrón correspondiente antes de efectuar la primera serie de lecturas (intento).

V. 1. 3 Hacer que el operador A mida las 10 partes y otra persona, no operador, registre los resultados en la columna 1. Hacer que el operador B mida las mismas 10 partes sin ver los resultados del operador A y registrar los resultados en la columna 5.

V. 1. 4 Hacer lo propio con el operador C, sin permitir que vea los resultados de los operadores A y B. Registrar los resultados en la columna 9.

V. 1. 5 Repetir el ciclo, usando un orden diferente de medición de las 10 partes (aleatoriamente). Registrar los resultados en las columnas 2, 6 y 10. Repítase una vez más el ciclo, y regístrense los resultados en las columnas 3, 7 y 11.

GENERAL MOTORS DE MEXICO S.A. DE C.V.

FORMA PARA EL REGISTRO DE DATOS
EVALUACION DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

METODO LARGO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
OPERADOR	A.-				B.-				C.-			
MUESTRA 1	1er. INTENTO	2o. INTENTO	3er. INTENTO	RANGO	1er. INTENTO	2o. INTENTO	3er. INTENTO	RANGO	1er. INTENTO	2do. INTENTO	3er. INTENTO	RANGO
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
TOTALES												

SUMA $\bar{X}_A$ — $\bar{R}_A$ — SUMA $\bar{X}_B$ — $\bar{R}_B$ — SUMA $\bar{X}_C$ — $\bar{R}_C$

$\bar{X}_A$	
$\bar{R}_B$	
$\bar{R}_C$	
SUM	
$\bar{R}$	

INTENTOS	D_4
2	3.268
3	2.574

$(\bar{R}) \times (D_4) = LSC_R$ *

( ) x ( ) =

Max. $\bar{X}$	
Min. $\bar{X}$	
$\bar{X}$ DIFF.	

* LIMITE SUPERIOR DE CONTROL DE LOS RANGOS. CIRCUNSCRIBIR AQUELLOS QUE VAYAN MAS ALLA DE ESTE LIMITE, IDENTIFIQUE LA CAUSA Y CORRIJALA. REPITA ESTAS LECTURAS USANDO EL MISMO OPERADOR Y UNIDAD O DESCARTE LOS VALORES Y REPROMEDIE Y RECALCULE R Y EL LSC_R.

NOTAS:

PUBLICACION DE LA OFICINA CENTRAL DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD, AGOSTO DE 1985 LAGO VICTORIA No. 74-1er. PISO, 11570 MEXICO, D.F.

GENERAL MOTORS DE MEXICO S.A. DE C.V.

REPORTE DE EVALUACION DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DE DISPOSITIVOS

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

No. DE PARTE Y DESCRIPCION _____ No. DEL DISPOSITIVO _____

CARACTERISTICA _____ TIPO DE DISPOSITIVO _____

ESPECIFICACION _____ FECHA _____

NOMBRE DEL DISPOSITIVO _____ EFECTUADO POR _____

DE LA HOJA DE REGISTRO DE DATOS $\bar{R}$ = [ ] $\bar{X}_{DIF}$ = [ ]

ANALISIS DE LA UNIDAD DE MEDICION

REPETIBILIDAD - VARIACION DEL EQUIPO (V.E.)

INTENTOS	2	3
K_1	5.319	3.54

V.E. = ($\bar{R}$) x (K_1)

= (_____) x (_____) [ ]

r = número de intentos
n = número de piezas

REPRODUCIBILIDAD - VARIACION DEL OPERADOR (V.O.)

OPERADORES	2	3
K_2	4.255	3.141

$$V.O. = \sqrt{((\bar{X}_{diff}) \times (k_2))^2 - ((V.E.)^2 \div (n \times r))}\ *$$

$$= \sqrt{((\quad) \times (\quad))^2 - ((\quad)^2 \div (\quad \times \quad))}$$

= [ ]

REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (R Y R)

$$R\ \&\ R = \sqrt{(V.E.)^2 + (V.O.)^2}$$

$$= \sqrt{(\quad)^2 + (\quad)^2} = [\ ]$$

% DE ANALISIS DE TOLERANCIA

% V.E. = 100 (V.E. ÷ TOLERANCIA)

= 100 (_____ ÷ _____)

= [_____ %]

% V.O. = 100 (V.O. ÷ TOLERANCIA)

= 100(_____) ÷ (_____)

= [_____ %]

$$\%\ R\ \&\ R = \sqrt{(\%\ V.E.)^2 + (\%\ V.O.)^2}$$

$$= \sqrt{(\quad)^2 + (\quad)^2}$$

= [_____ %]

NOTA: TODOS LOS CALCULOS ESTAN BASADOS EN PREDECIR ± 3σ (99.73% BAJO LA CURVA NORMAL)

* SI EL RESULTADO DE LA RESTA DENTRO DEL RADICAL ES UN VALOR NEGATIVO, LA VARIACION DEL OPERADOR (V.O.) DEBERA CONSIDERARSE CERO.

FORMA CC-016

PUBLICACION DE LA OFICINA CENTRAL DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD, AGOSTO DE 1985. LAGO VICTORIA No. 74-1er. PISO, 11520 - MEXICO, D.F.

GENERAL MOTORS DE MEXICO S.A. DE C.V.

FORMA PARA EL REGISTRO DE DATOS
EVALUACION DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

METODO LARGO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
OPERADOR	A.-				B.-				C.-			
MUESTRA 1.	1er. INTENTO	2o. INTENTO	3er. INTENTO	RANGO	1er. INTENTO	2o. INTENTO	3er. INTENTO	RANGO	1er. INTENTO	2do. INTENTO	3er. INTENTO	RANGO
1	6.5	6		.5	5.5	5.5		0	5	5.5		.5
2	10	10		0	10.5	9.5		1	10.5	10		.5
3	8.5	8		.5	8	7.5		.5	8	8		0
4	8.5	9.5		1	8	7.5		.5	8	8		0
5	5.5	4.5		1	4	4		0	4.5	5		.5
6	10	10		0	10	10.5		.5	10	10.5		.5
7	9.5	9.5		0	9.5	9		.5	9.5	9.5		0
8	8.5	8		.5	7.5	7		.5	8	8		0
9	10	10		0	10	9.5		.5	10.5	10.5		0
10	6	7		1	5.5	5		.5	8.5	8		.5
TOTALES	83.0	82.5		4.5	78.5	75.0		4.5	82.5	83.0		2.5
		83.0		.45		78.5		.45		82.5		.25
SUMA		165.5		$\bar{R}_A$	SUMA	153.5		$\bar{R}_B$	SUMA	165.5		$\bar{R}_C$
$\bar{X}_A$		8.28			$\bar{X}_B$	7.68			$\bar{X}_C$	8.25		

$\bar{R}_A$	.45
$\bar{R}_B$	.45
$\bar{R}_C$	.25
SUM	1.25
$\bar{R}$	.383

INTENTOS	D_4
2	3.268
3	2.574

$(\bar{R}) \times (D_4) = LSC_R$ *

$(.383) \times (3.268) = 1.252$

Max. $\bar{X}$	8.28
Min. $\bar{X}$	7.68
$\bar{X}$ DIFF.	.6

* LIMITE SUPERIOR DE CONTROL DE LOS RANGOS. CIRCUNSCRIBIR AQUELLOS QUE VAYAN MAS ALLA DE ESTE LIMITE. IDENTIFIQUE LA CAUSA Y CORRIJALA. REPITA ESTAS LECTURAS USANDO EL MISMO OPERADOR Y UNIDAD O DESCARTE LOS VALORES Y REPROMEDIE Y RECALCULE R Y EL LSC_R.

NOTAS: _____

FIGURA 8

PUBLICACION DE LA OFICINA CENTRAL DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD, AGOSTO DE 1985. LAGO VICTORIA No. 74-1er. PISO, 11320 MEXICO, D.F.

VI. EXACTITUD Y ESTABILIDAD.

Aunque la carencia de exactitud o estabilidad en dispositivos de medición no son errores tan predominantes como la repetibilidad o la reproducibilidad, deben ser identificados.

VI. 1 Exactitud.

Con la finalidad de determinar la exactitud, es necesario obtener una media exacta de las muestras. Esto puede ser llevado a cabo con el auxilio de equipo de medición de laboratorio. El resultado se compara con las medias observadas. $\bar{X}_a$, $\bar{X}_b$, y $\bar{X}_c$, en la evaluación de repetibilidad y reproducibilidad.

La diferencia entre la media de las mediciones exactas tomadas con el equipo de laboratorio y la media de las medias observadas, $\bar{\bar{X}} = \dfrac{\bar{X}_a + \bar{X}_b + \bar{X}_c}{3}$ en el estudio de repetibilidad y reproducibilidad, es la exactitud. La exactitud se presenta también como porcentaje, sobre la tolerancia.

Este porcentaje debe usarse como un factor de corrección del dispositivo.

VI. 2 Estabilidad.

El método mediante el cual se determina la estabilidad, depende de la frecuencia de uso del dispositivo, entre calibraciones normales. La necesidad de calibración es el resultado de algunos factores: tiempo (largos períodos ociosos), número de mediciones tomadas, cambio de la presión de aire, calentamiento, etc. Si el factor causante es conocido, la frecuencia de calibración puede ser ajustada conforme a ello, para minimizar el error debido a estabilidad.

Si el dispositivo es normalmente usado intermitentemente y calibrado antes de cada uso, su estabilidad puede ser determinada simultáneamente con la evaluación de repetibilidad y reproducibilidad. Si este es el caso, el dispositivo debe ser calibrado antes y después de cada intento (intento = medición de todo el juego de muestras para el estudio), para determinar la cantidad de cambio de calibración. Este cambio es la estabilidad del intento. Para calcular la estabilidad del dispositivo, se deben promediar los cambios:

$$\text{Estabilidad del dispositivo} = \frac{\text{Suma de cambios de calibración}}{\text{No. de intentos}}$$

Si el dispositivo se usa normalmente por períodos relativamente prolongados sin recalibración (por ejemplo; desde el inicio del turno hasta después de la comida, hablando de un dispositivo de producción regular, para determinar la estabilidad, deberán efectuarse los estudios de repetibilidad y reproducibilidad: uno después de la calibración normal y otro inmediatamente antes de la siguiente recalibración normal. Entonces se puede calcular la estabilidad mediante la sola diferencia entre las medias de las lecturas de la primera y segunda evaluación.

La RRD puede ser determinada, en la figura 12, encontrando las X_t que corresponden a $P_a = 0.995$ y $P_a = 0.005$ para cualquiera de los dos límites conocidos a la curva de comportamiento. La RRD es la diferencia entre los dos valores X_t, como se muestra gráficamente en la figura 12.

Debe tenerse cuidado al seleccionar el tamaño de las piezas cuyas probabilidades son 0.5% y 99.5%, puesto que puede haber varios tamaños con la misma probabilidad. La RRD, entonces, puede ser medida desde el primer tamaño para el que $P_a = 0.995$ o desde el último para el que $P_a = 0.005$ hasta el primero para el que $P_a = 0.995$.

La exactitud se determina encontrado X_t, para cualquiera de los límites, superior o inferior que corresponde a $P_a = 0.5$ y calculando:

$$P = LIE - X_t$$

$$P = LSE - X_t$$

En donde:

LIE = Límite inferior especificado

LSE = Límite superior especificado

lo anteriormente expuesto se ejemplifica en la figura 12, en donde:

$$X_t = 5.5 \text{ para } P_a = 0.5$$

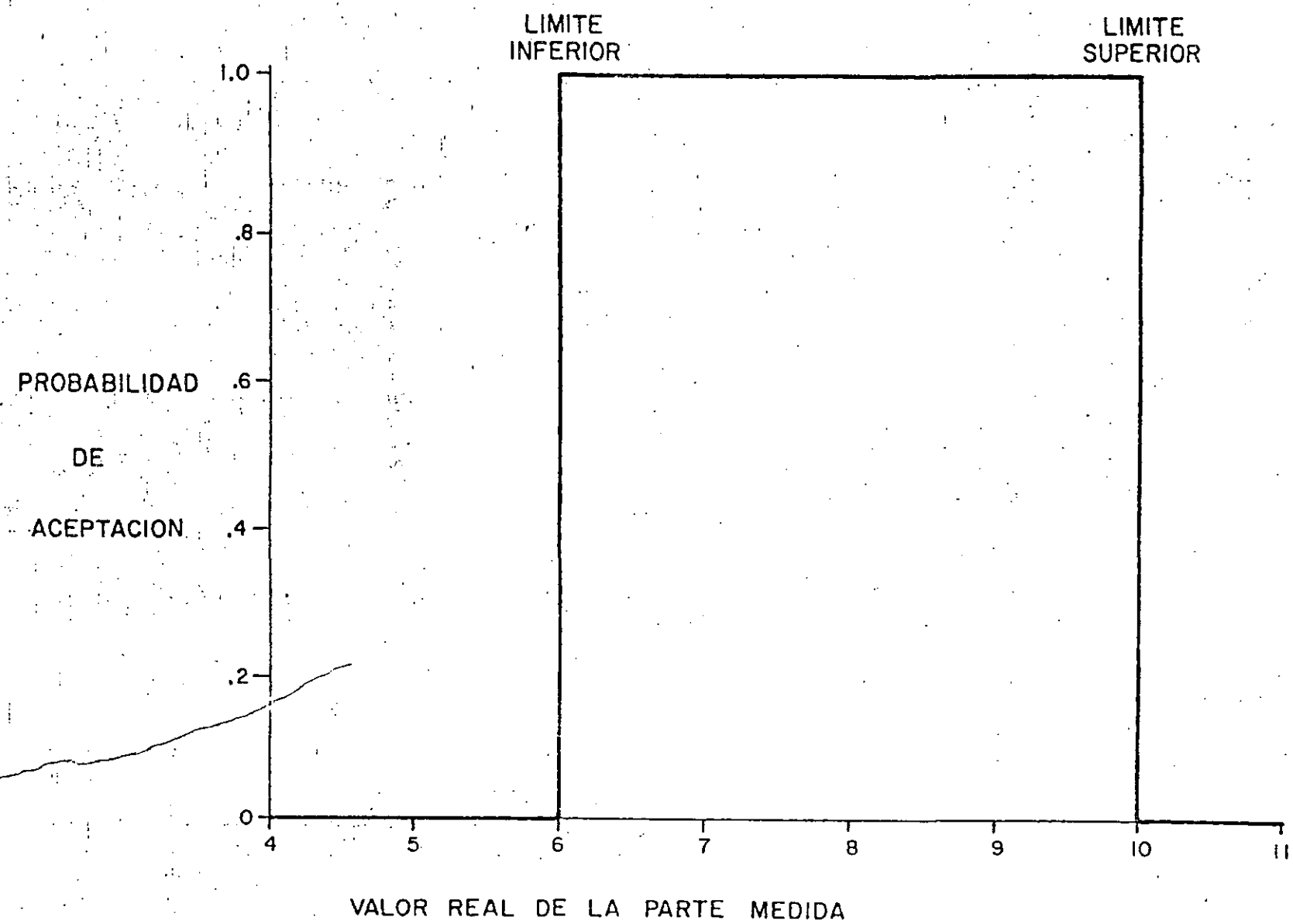
$$y \quad LIE = 6$$

$$P = LIE - X_t = 6 - 5.5 = 0.5$$

GENERAL MOTORS DE MEXICO S.A. DE C.V.

CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO

CALIDAD Y CONFIABILIDAD



FIGUR

PUBLICACION DE LA OFICINA CENTRAL DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD, AGOSTO DE 1985 LAGO VICTORIA No. 74 Int. PISO 11 (12) MEXICO D.F.

GENERAL MOTORS DE MEXICO S.A. DE C.V.

C DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

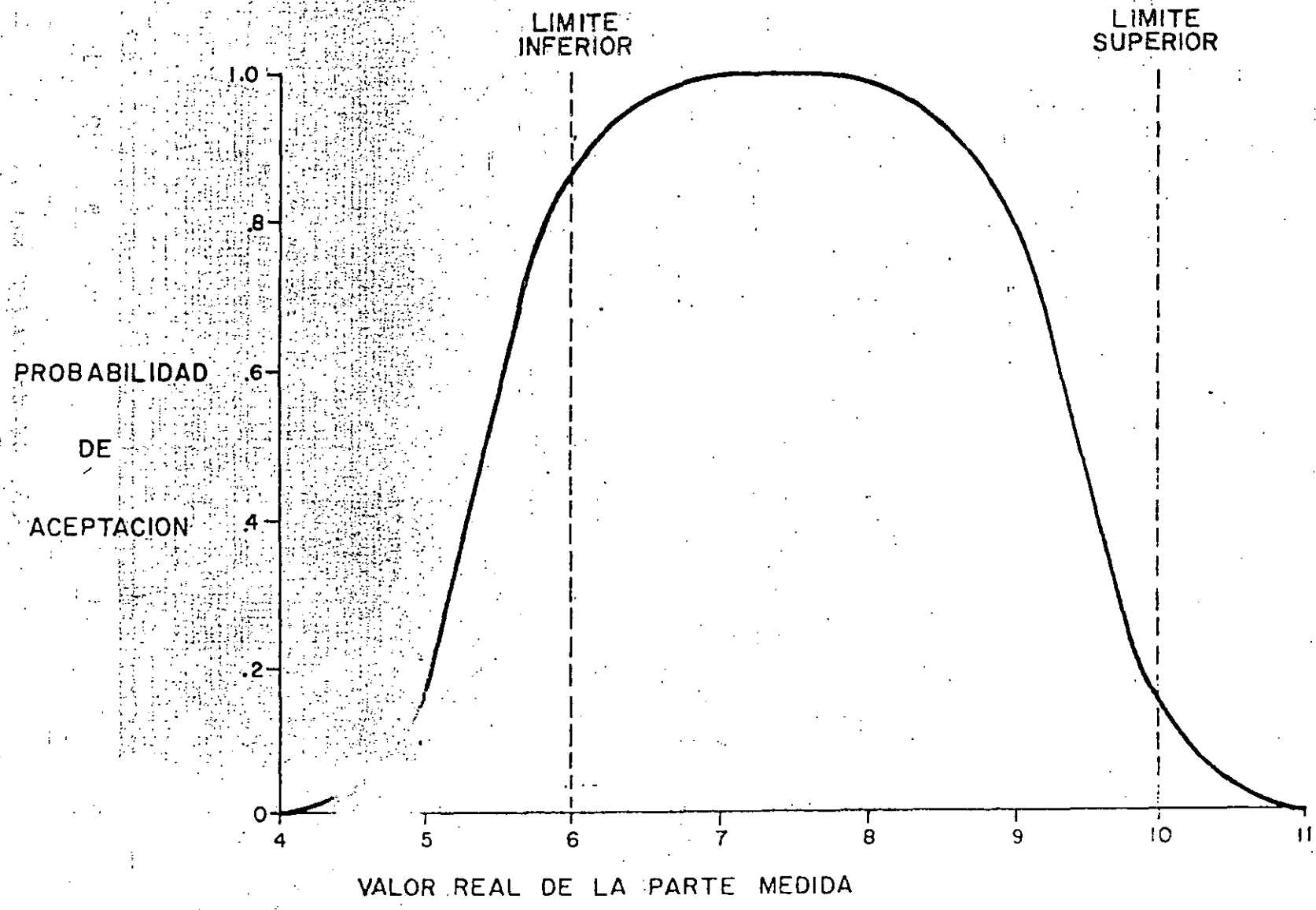


FIGURA 11

GENERAL MOTORS DE MEXICO S.A. DE C.V.

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO

No. DE PARTE Y DESCRIPCION 934117 ENS. – DISCO DE FRENOS

No. DEL DISPOSITIVO X – 0234

CARACTERISTICA PAR DE APRIETE DE LA TUERCA DE SEG.

TIPO DE DISPOSITIVO SNAP-ON DE 0 a 50 LBS.-PIE

ESPECIFICACION 6–10 LBS.–PIE

FECHA 16 AG 84

NOMBRE DEL DISPOSITIVO TORQUIMETRO

EFECTUADO POR RAUL TORRES

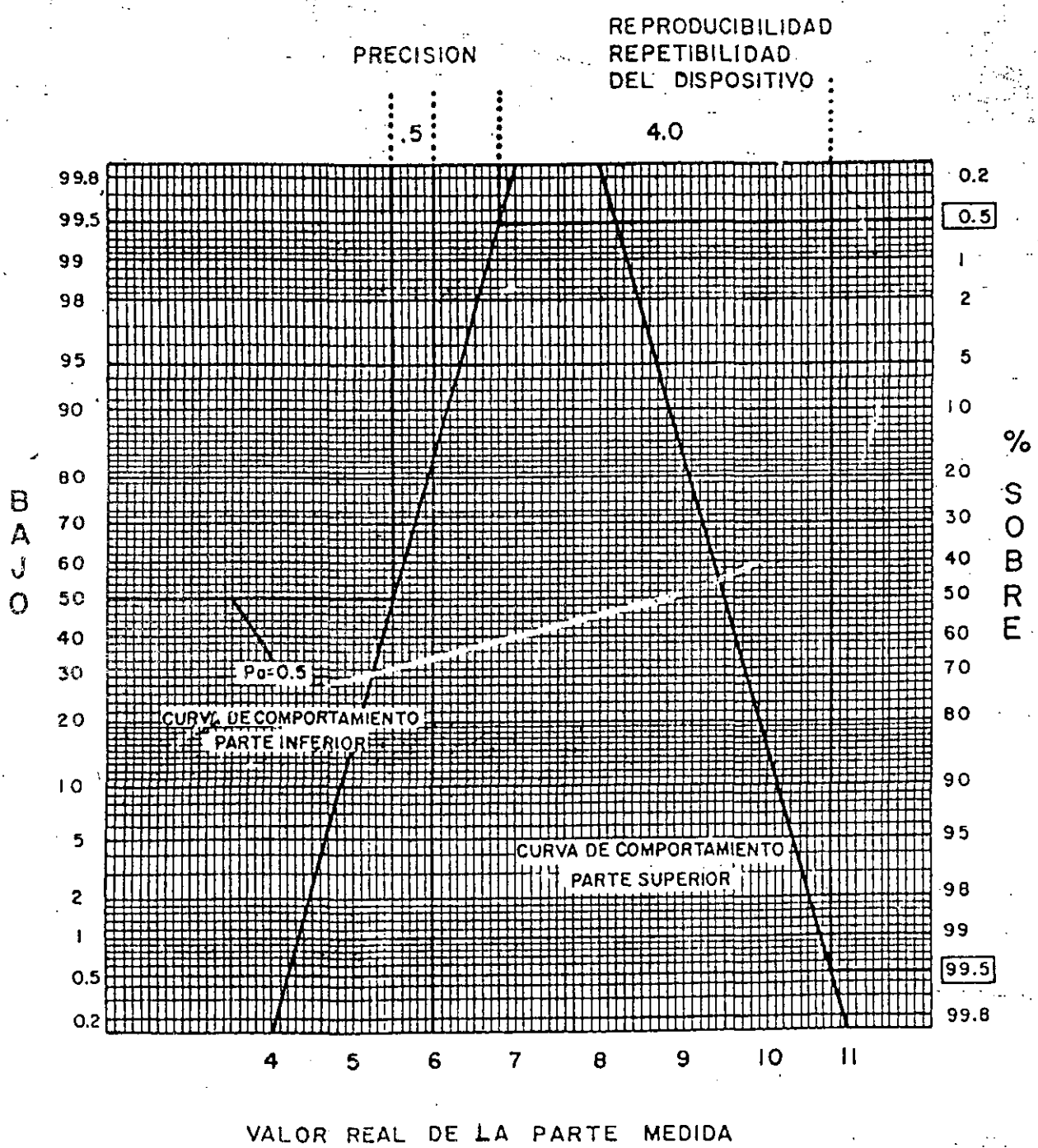


FIGURA 12

FORMA CC-018

PUBLICACION DE LA OFICINA CENTRAL DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD AGOSTO DE 1985. LAGO VICTORIA No. 74 1er. PISO 11520 MEXICO D.F.

VIII. EVALUACION DE DISPOSITIVOS PARA ATRIBUTOS, METODO CORTO.

Un dispositivo por atributos es el que compara cada parte con un par de límites y acepta la parte si los límites son satisfechos y la rechaza de lo contrario. Muchos de estos dispositivos son ajustados con patrones. De manera contraria a un dispositivo variable, un dispositivo por atributos no indica que tan bien o mal está la parte, sólo indica si la parte es buena o mala.

El método corto es llevado a cabo seleccionando 20 partes y haciendo que dos operadores midan todas las partes dos veces, de manera que se evite la predisposición. Al seleccionar las 20 partes, es deseable que algunas de ellas estén ligeramente por debajo del límite inferior especificado y otras ligeramente por encima del límite superior especificado.

El dispositivo es aceptable si todas las decisiones (4 por parte) concuerdan. Si las decisiones de medición no concuerdan, el dispositivo debe ser mejorado y reevaluado. Si el dispositivo no puede ser mejorado, es inaceptable y se debe encontrar un sistema alterno de medición que sea aceptable.

Una forma típica, usada por el método corto de evaluación de dispositivos se muestra en la figura 13. En este ejemplo se puede ver, de acuerdo con el criterio expuesto, que el dispositivo es inaceptable.

PUBLICACION DE LA OFICINA CENTRAL DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD. AGOSTO DE 1985. LAGO VICTORIA No. 74-1er. PISO 11529 MEXICO, D.F.

IX. EVALUACION DE DISPOSITIVOS POR ATRIBUTOS, METODO LARGO.

Usando el concepto de curva de comportamiento del dispositivo (CCD) fue desarrollado el estudio de dispositivos por atributos. Este análisis puede ser, usado en dispositivos tanto de un solo límite, como de dos. Para dispositivos de doble límite, sólo se requiere examinar un límite, puesto que las suposiciones de dispositivo variable se aplican. Por conveniencia, se usará el límite inferior para discutirlo.

En general, el estudio de dispositivos por atributos consiste en la obtención de los valores reales para varias partes seleccionadas. Estas partes se miden con el dispositivo una cantidad de veces m, en donde resulta un número de aceptaciones, A, para cada parte que se registra. De los resultados, se puede determinar la habilidad del dispositivo.

La primera etapa en el estudio de dispositivos por atributos es la selección de partes. Es esencial que se conozcan los valores reales de la dimensión de cada parte que intervenga en el estudio. Se deben seleccionar ocho partes a intérvalos lo más equidistantes posible. Los valores máximo y mínimo deben representar el rango en el que se espera tener error. Aunque esta selección no afecta la confianza de los resultados, si afecta el número total de partes requeridas para completar el estudio del dispositivo. Cada una de las ocho partes se debe medir con el dispositivo 20 veces (variable m) y se debe registrar el número de aceptaciones (A) para la evaluación.

En la evaluación total la parte más pequeña debe tener $A = 0$; la parte mayor $A = 20$ y las seis restantes $1 < A < 19$.-

Si estos criterios no son satisfechos, se deben medir más partes con valores conocidos reales, X_t, hasta que ello ocurra: si para el valor menor $A \neq 0$, se deben medir partes cada vez menores, hasta que $A = 0$. Si para la parte más grande $A \neq 20$, se deben tomar partes cada vez mayores hasta que $A = 20$. Si seis de las partes no tienen $1 < A < 19$, se pueden tomar partes adicionales, en puntos seleccionados a lo largo del rango. Estos puntos se toman en la parte media de los intervalos de medición. El primer intervalo para el que $A = 0$, comienza con el valor mayor para esta condición; el intervalo final, en el que $A = 20$, inicia en el menor valor para el que $A = 20$. Para obtener mejores resultados, se deben tomar muestras en ambos extremos, $A = 0$ y $A = 20$, y trabajar hacia la parte media del rango; esto es, iniciar la selección en los extremos e ir hacia la media. Se debe repetir el procedimiento hasta que se cumplan los criterios antes señalados.

Una vez que los criterios de recolección de datos han sido satisfechos, las probabilidades de aceptación deben calcularse para cada parte, usando las siguientes ecuaciones:

$$P'_a = \frac{A + 0.5}{m}, \quad \text{Si } \frac{A}{m} < 0.5, \; a \neq 0$$

$$P'_a = \frac{A - 0.5}{m}, \quad \text{Si } \frac{A}{m} > 0.5, \; a \neq 20$$

$$P'a = 0.5, \quad \text{Si } \frac{A}{m} = 0.5$$

En donde P'_a denota probabilidad de aceptación.

	X_t	A
Rango esperado de error	−0.016	0
	−0.014	1
	−0.012	8
	−0.010	20
	−0.008	20
	−0.006	20
	−0.004	20
	−0.002	20

Dado que sólo hay dos valores reales con $1 < a < 19$, se deben encontrar por lo menos cuatro partes mas. Por lo tanto, es necesario medir partes con valores reales en los puntos medios de los intervalos existentes. Estos valores reales y sus números correspondientes de aceptación son:

X_t	A
−0.015	1
−0.013	5
−0.011	16

Ahora se tienen 5 valores reales con $1 \leqslant A \leqslant 19$, el procedimiento requiere que se encuentre una parte más con $1 \leqslant A \leqslant 19$. Por lo tanto se mide otra parte en punto intermedio a alguno de los 3 últimos valores señalados y algún otro, resultando:

X_t	A
−0.0105	16

Ahora que ya se han satisfecho los criterios de selección de datos, las probabilidades de aceptación se pueden calcular utilizando los ajustes binomiales mostrados en esta sección.

X_t	A	P'_a
−0.016	0	0.025
−0.015	1	0.075
−0.014	1	0.075
−0.013	5	0.275
−0.012	8	0.425
−0.011	16	0.775
−0.0105	16	0.775
−0.010	20	0.975
−0.009	20	1.0

Las probabilidades anteriores se marcan en papel de probabilidad normal, como se muestra en la figura 14. Ajustando una recta a estos puntos, se determina la precisión y la repetibilidad. La exactitud es igual al límite inferior menos el valor real de medición que corresponda a $P'a = 0.5$. De la figura 14 tenemos:

$$\text{Exactitud} = -0.010 - (-0.0123) = 0.0023$$

La repetibilidad se determina encontrando las diferencias de los valores reales de medición correspondientes a P'a = 0.975 y P'a = 0.025 y dividiéndolos entre 1.08 y de la figura 14, se tiene:

$$R = \frac{-0.0084 - (-0.0153)}{1.08}$$

$$R \approx 0.0064$$

Para determinar si la exactitud es significativamente diferente de cero, calculamos:

$$t = \frac{31.3\ A}{R}$$

$$t = \frac{31.3\ (0.0023)}{0.0064} \approx 11.25$$

Dado que la estadística calculada: $t \approx 11.25$ es mayor que $t_{0.025,19} = 2.093$, la exactitud es significativamente diferente de cero.

Al igual que la curva de comportamiento de un dispositivo variable mostrada en la figura 11, la CCD de un dispositivo por atributos puede también ser trazada en su forma natural como se muestra en la Figura 15. Esto puede ser llevado a cabo en cualquiera de dos formas:

La primera sería practicar la misma evaluación, sólo en el otro límite de la especificación. En el ejemplo, la evaluación larga por atributos tendría que ser efectuada también en el límite alto de la especificación y los valores calculados, trazados. Sin embargo, existe la evidencia estadística de que esta segunda parte de la curva es una imagen a espejo de la correspondiente al límite inferior, la única consideración necesaria es la localización de la curva con respecto a los valores reales X_t. Esta ubicación se determina mediante el error de exactitud. La posición correcta de la curva sería definida en el punto donde $P_a = 0.5$ y en el valor X_t igual al límite de especificación menos la exactitud. En el ejemplo, este punto sería $X_t = 0.010 - 0.0023 = 0.0077$.

La curva de comportamiento trazada de esta manera se muestra en las figuras antes citadas.

GENERAL MOTORS DE MEXICO S.A. DE C.V.

CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

No. DE PARTE Y DESCRIPCION 2772435 VALVULA DE ESCAPE

No. DEL DISPOSITIVO 4115-1

CARACTERISTICA DISTANCIA ENTRE GARGANTAS DE LA GUIA

TIPO DE DISPOSITIVO LINEA FINAL/AUT.

ESPECIFICACION 0.240 - 0.250 PULGADAS

FECHA 15 DE MARZO DE 1985

NOMBRE DEL DISPOSITIVO SEPARADOR DE GUIAS

EFECTUADO POR JULIAN MARQUEZ

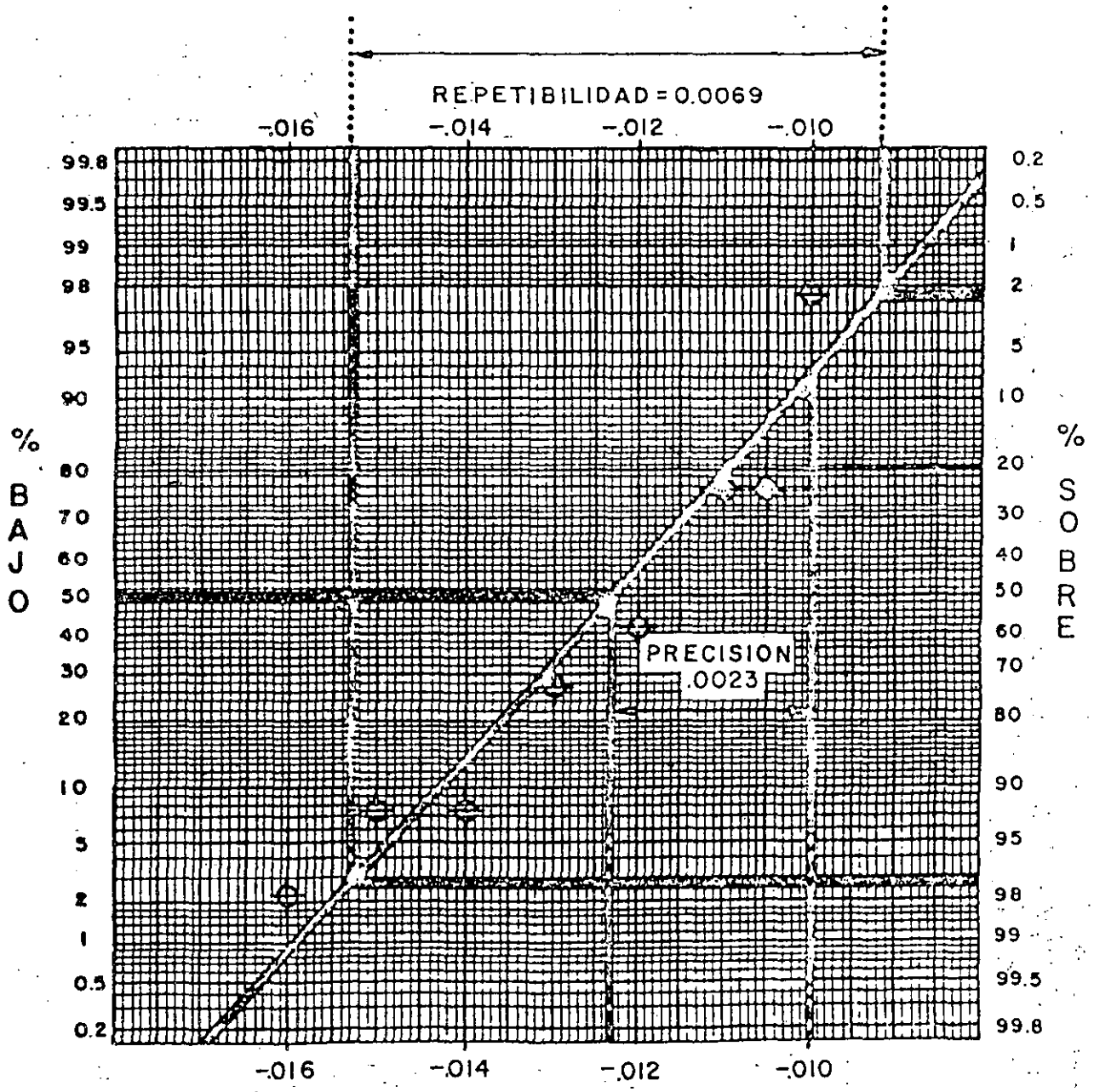


FIGURA 14

PUBLICACION DE LA OFICINA CENTRAL DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD AGOSTO DE 1985 LAGO VICTORIA No. 74 1er. PISO 11520 MEXICO D.F.

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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

Del 1° al 12 de junio de 1992

METODOLOGIA DE IMPLANTACION DEL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

ING. MARIO MONTERO VAZQUEZ

JUNIO-1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

Calidad
Corporativa, S.C.

CONSULTORIA PROFESIONAL EN
INGENIERIA Y ADMINISTRACION

INTRODUCCION

ES UNA REALIDAD LA NECESIDAD QUE EXISTE EN LOS SECTORES PRODUCTIVOS DEL PAÍS, DE DESARROLLAR LA CALIDAD, LA PRODUCTIVIDAD Y LA INTEGRACIÓN DEL PERSONAL, COMO ÚNICO CAMINO PARA LOGRAR SU PERMANENCIA Y SU DESARROLLO EN EL CADA VEZ MAS EXIGENTE MEDIO EN EL QUE NOS DESENVOLVEMOS.

PERO ESTA NECESIDAD DEBE SER TRADUCIDA EN ACCIONES Y ACTIVIDADES CONCRETAS PARA DEJAR DE SER UN SIMPLE IDEAL Y CONVERTIRSE EN UNA REALIDAD EN LAS EMPRESAS, TRADUCIÉNDOSE EN PLANES Y PROGRAMAS DETALLADOS EN DONDE "TODOS" TENEMOS ALGO QUE HACER.

HOY POR HOY, SE HA MANEJADO EL C.E.P. COMO LA COLUMNA VERTEBRAL DEL DESARROLLO DE LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD Y ESTO REALMENTE RESULTA ASI, CUANDO ES CONSIDERADO COMO PARTE DE UN PROGRAMA DE CALIDAD TOTAL, PUES EL C.E.P. NO PUEDE SER UN PROGRAMA AISLADO, DADA LA CONCIENTIZACIÓN Y CONVENCIMIENTO QUE DEBE CREARSE PARA QUE ÉSTE FUNCIONE, PUES REQUIERE DE UN AMBIENTE DE CONFIANZA Y PARTICIPACIÓN EN EL CUAL EL PERSONAL SE SIENTA MOTIVADO A USAR LA MAGNIFICA HERRAMIENTA QUE ES EL C.E.P.

AL DR. W. EDWUARDS DEMING, SE LE CONSIDERA EL FUNDADOR DE LA 3A. OLA DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL, PRECISAMENTE POR SUS -- TRABAJOS REALIZADOS EN EL C.E.P., ESTE HOMBRE QUE TAMBIÉN ES CONSIDERADO EL PADRE DE LA CALIDAD EN JAPÓN, ES UN PROFUNDO_ CONVENCIDO DE LOS BENEFICIOS Y VENTAJAS QUE TIENE TRABAJAR - EN LAS EMPRESAS CON UN SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DEL -- PROCESO, ATRIBUYE AL C.E.P., EL DESARROLLO INDUSTRIAL Y ECONÓMICO DEL JAPÓN Y DE UN GRAN NÚMERO DE EMPRESAS EN TODO EL MUNDO QUE HAN IMPLANTADO ESTE SISTEMA.

SIN AYUDA DE LAS TÉCNICAS ESTADÍSTICAS, LA REACCIÓN NORMAL - DE LOS SUPERVISORES ANTE UN PROBLEMA, ES CULPAR AL TRABAJADOR -DICE DEMING- ESTO DÁ ORIGEN AL MITO DE QUE NO HABRIA -- PROBLEMAS EN LA PRODUCCIÓN O EL SERVICIO SI LOS TRABAJADORES HICIERAN SU TRABAJO CORRECTAMENTE.

FINALMENTE QUEREMOS AGREGAR:

LAS TÉCNICAS ESTADÍSTICAS:

- PROPORSIONAN LOS INDICADORES QUE AYUDAN A PREVENIR O A RESOLVER LOS PROBLEMAS.
- DIRIGEN LA ATENCIÓN DEL PERSONAL HACIA LOS PUNTOS IMPORTANTES DEL PROCESO.
- NO RESUELVEN PROBLEMAS, IDENTIFICAN DONDE ESTÁN LOS PROBLEMAS Y SEÑALAN A JEFES Y COLABORADORES SU SOLUCIÓN.
- PROPORSIONAN LOS DATOS QUE PERMITEN A JEFES Y COLABORADORES TOMAR DECISIONES BASADAS EN HECHOS, MAS QUE EN ESPECULACIONES Y ADIVINANZAS.

PAPEL DE CADA NIVEL DE LA ORGANIZACION EN EL C.E.P.

EL C.E.P. COMO HERRAMIENTA DE UN PROGRAMA DE CALIDAD TOTAL, TIENE UNA INCIDENCIA EN CADA NIVEL DE LA ORGANIZACIÓN, EN OTRAS PALABRAS: EL C.E.P. NO ES UNA HERRAMIENTA DIRIGIDA SOLAMENTE PARA UN NIVEL DE LA EMPRESA, SINO QUE CADA NIVEL TIENE UN PAPEL QUE JUGAR, Y QUE ENSEGUIDA EXPLICAMOS.

NIVEL GERENCIAL

ADMINISTRACION GENERAL.-

1.- TOMA DE DECISIÓN (POR CONVENCIMIENTO) DE ESTABLECER EL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

2.- PREPARA PLANES Y PROGRAMAS PARA REALIZARLO, BUSCA AYUDAS Y DA TODO SU APOYO.

3.- TOMAN SU PROPIO PROGRAMA DE PREPARACIÓN Y CAPACITACIÓN EN C.E.P. Y ESTADÍSTICA ADMINISTRATIVA.

4.- EN LO POSIBLE APOYAN COMO INSTRUCTORES DEL C.E.P. A GRUPOS DE COLABORADORES.

NIVEL JEFATURAS

MANDOS INTERMEDIOS

1.- CONOCEN, ENTIENDEN Y SE INVOLURAN EN LA FILOSOFÍA DEL PROGRAMA.

2.- SE CAPACITÁN EN LAS TÉCNICAS ESPECÍFICAS DEL C.E.P., DISEÑAN FORMATOS Y MECÁNICA DEL AVANCE DEL PROGRAMA.

3.- COLABORAN COMO INSTRUCTORES EN GRUPOS DE TRABAJO DE SU PERSONAL Y LOS MOTIVAN AL DESARROLLO DEL C.E.P.

NIVELES SUPERVISION

1.- CONOCEN, ENTIENDEN Y SE INVOLUCRAN EN LA FILOSOFÍA DEL PROGRAMA.

2.- SE CAPACITAN EN TÉCNICAS ESPECÍFICAS DEL C.E.P.

3.- INSTRUYEN A SU PERSONAL, LOS AYUDAN Y ASESORAN PARA LA TOMA DE DATOS, REGISTRO DE GRÁFICAS, TOMA DE DECISIONES DE SU NIVEL.

NIVEL OPERARIO

1.- CONOCEN, ENTIENDEN Y SE INVOLUCRAN CON LA FILOSOFÍA DEL PROGRAMA.

2.- SE CAPACITAN EN TÉCNICAS ESPECÍFICAS DEL C.E.P.

3.- TOMAN DATOS, REGISTRAN EN GRÁFICAS Y TOMAN DECISIONES - MENORES EN EL PROCESO; COMO AJUSTE DE HERRAMIENTAS, CAMBIO DE DISPOSITIVOS, AJUSTES DE VELOCIDADES, TEMPERATURAS, VOLÚMENES, ETC.

4.- INFORMAN DE VARIACIONES MAYORES A SUS SUPERVISORES Y SOLICITAN AYUDA, CONSEJO Y ASESORÍA.

NIVEL SUPERVISOR

1.- ANALIZAN LA INFORMACIÓN DE SUS OPERARIOS Y TOMAN DECISIONES CONJUNTAMENTE, Y DE SU NIVEL; COMO, MODIFICACIONES - AL PROCESO, HERRAMIENTAS, MEZCLAS, ETC. REGISTRANDO Y - ESTANDARIZANDO LOS CAMBIOS UNA VEZ APROBADOS POR INGENIERÍA O SU JEFE INMEDIATO.

2.- INFORMAN A SUS JEFES SOBRE VARIACIONES QUE IMPLIQUEN SOLUCIONES MAYORES, COMO INVERSIONES, REDISEÑO DE PRODUCTOS, CAMBIOS MAYORES, ETC.

BENEFICIOS DEL C.E.P.

LOS BENEFICIOS DEL C.E.P. SON INIMAGINABLES, MENCIONEMOS LOS SIGUIENTES.

1.- PROVEE A LOS EJECUTIVOS INFORMACIÓN ESTADÍSTICA QUE PERMITE CONOCER LA SITUACIÓN REAL Y VERDADERA DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA Y TOMAR DECISIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.

2.- PERMITE ADOPTAR UN ENFOQUE REALMENTE DE PREVENCIÓN Y NO SOLO DE CORRECCIÓN, BAJO EL CONCEPTO DE AUTO-CONTROL Y BAJO-CONTROL.

3.- SE DETECTAN LOS PROBLEMAS A TIEMPO, PERMITIENDO SU ERRADICACIÓN TOTAL, EVITANDO SU REPETICIÓN Y ESTANDARIZANDO SU SOLUCIÓN.

4.- PERMITE SUMINISTRAR A CLIENTES Y USUARIOS ARTÍCULOS DE CALIDAD UNIFORME QUE SATISFAGAN SUS NECESIDADES Y EXPECTATIVAS.

- ELABORAR LAS POLÍTICAS DE CALIDAD.
- DETERMINAR LAS NECESIDADES DE RECURSOS, CAPACITACIÓN Y SISTEMAS.
- ORGANIZAR Y GUIAR SUB-GRUPOS DE TRABAJO CON SUS COLABORADORES, QUE LES SIRVAN DE APOYO Y EN LOS CUALES PUEDAN DELEGAR ACTIVIDADES.

CONTROL:

- JERARQUIZAR LAS ACTIVIDADES EN EL C.E.P.
- MEDIR EL DESEMPEÑO VS LAS METAS FIJADAS (EVIDENCIA ESTADÍSTICA)
- BUSCAR LAS CAUSAS QUE ORIGINEN LA DIFERENCIA.
- TOMAR ACCIÓN SOBRE LAS DIFERENCIAS.
- CUIDAR LA CONTINUIDAD DEL PROGRAMA.

MEJORAMIENTO:

- IDENTIFICAR PROYECTOS ESPECÍFICOS DE MEJORAMIENTO Y COORDINAR SU REALIZACIÓN.
- ELIMINAR LA REPETICIÓN DE PROBLEMAS.
- DESARROLLO DE HABILIDADES Y CONOCIMIENTOS DEL PERSONAL.
- MANTENER PROGRAMAS DE MOTIVACIÓN HACIA EL C.E.P.

OPERACIÓN:

PARA LA BUENA MARCHA DE ESTE GRUPO SE HACE NECESARIO QUE LOS INTEGRANTES DEL MISMO ESTABLEZCAN POR ACUERDO; SU MECÁNICA DE FUNCIONAMIENTO, QUE CONSITE BÁSICAMENTE EN:

- DÍA DE SESIÓN
- PERIODICIDAD
- HORARIO
- LUGAR
- COORDINACIÓN
- REGLAS O CÓDIGO DE CONDUCTA

ASÍ MISMO ES CONVENIENTE OBSERVAR LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR EN COMITÉS.

DE CONTROL DE CALIDAD, LO QUE INSIDE EN UNA FALTA DE CONSISTENCIA - EN LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO.

SI NO EXISTEN PROCEDIMIENTOS DE CONTROL POR MÉTODOS ESTADÍSTICOS,- NO ES POSIBLE PREVENIR DEFICIENCIAS EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO O - ASEGURAR AL CONSUMIDOR UN NIVEL DE CALIDAD CONSISTENTE Y ACORDE A SUS NECESIDADES, SIN EMBARGO, EL TRATAR DE CONTROLAR POR ESTOS MEDIOS LAS CARACTERÍSTICAS Y PRODUCTOS DE TODOS TIPOS HARÍAN IMPRÁCTICO EL SISTEMA.

POR ELLO SE HACE NECESARIO DEFINIR O ESTABLECER NIVELES DE CONTROL PARA CADA TIPO DE PRODUCTOS O GRUPOS DE PRODUCTOS , EL GRADO ÓPTIMO DE CONTROL QUE PERMITA SATISFACER LAS NECESIDADES DEL MERCADO - AL COSTO MÁS ECONÓMICO, DE TAL SUERTE QUE CADA EMPRESA DEBE DEFI - NIR LOS GRUPOS DE PRODUCTOS EN FUNCIÓN DEL RIGOR DE LAS ESPECIFICACIONES A QUE ESTÉN SOMETIDOS LOS PRODUCTOS. YA QUE POR PONER - UN EJEMPLO TENGAMOS UNA PIEZA "X" CON UNA TOLERANCIA DE ±5MM EN DETERMINADA DIMENSIÓN Y EL PROCESO EN QUE SE ELABORA TIENE UNA HABILIDAD DE ±0.5MM AQUÍ UNA VEZ AJUSTADO EL PROCESO EL GRADO DE CON - TROL ES MÍNIMO.

EN CAMBIO SUPONGAMOS QUE SE TIENE UNA PIEZA "Y" CON UNA TOLERANCIA DE ±0.5MM EN DETERMINADA DIMENSIÓN Y EL PROCESO EN QUE SE ELABORA TIENE UNA HABILIDAD DE ±0.4MM RESULTA OBVIÓ QUE AQUÍ EL GRADO DE - CONTROL QUE SE REQUIERE ES MAYOR.

O BIEN PODRIA HABER OTROS CRITERIOS QUE INFLUYAN EN LA DECISIÓN - DEL GRADO DE CONTROL DE UN PRODUCTO, COMO PUEDEN SER; RIESGOS PO - TENCIALES, IMPORTANCIA PARA EL CLIENTE, ETC. ENTONCES SE PUEDEN - ESTABLECER POR EJEMPLO: 3 GRUPOS DE PRODUCTOS A SABER:

A) CON EXIGENCIAS O REQUISITOS QUE FACILMENTE CUBREN O BIEN QUE LAS CONSECUENCIAS SI FALLARAN SEAN CON MUY POCA IMPORTANCIA.

B) CON REQUISITOS QUE REPRESENTAN CIERTA DIFICULTAD PARA SER - CUMPLIDOS O CUYAS CONSECUENCIAS SI FALLARAN SERIAN IMPORTANTES PARA LA EMPRESA.

C) CON REQUISITOS QUE TIENEN UN ALTO GRADO DE DIFICULTAD PARA - SER CUBIERTOS O QUE LAS CONSECUENCIAS DE INCUMPLIMIENTO SE - RIAN FATALES PARA LA EMPRESA Y SUS CLIENTES.

DONDE:

1.- INSPECCIÓN DE MATERIA PRIMA Y CONSERVACIÓN DE REGISTROS.

2.- INSPECCIÓN DURANTE LA MANUFACTURA POR OPERARIOS Y PRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE REGISTROS.

3.- INSPECCIÓN POR CONTROL DE CALIDAD DURANTE EL PROCESO Y CONSERVACIÓN DE REGISTROS.

4.- INSPECCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO Y CONSERVACIÓN DE REGISTROS.

5.- CONTROL FINAL DEL PRODUCTO PARA HACER POSIBLE UN RASTREO DEL PRODUCTO DESDE QUE ESTÉ EN PODER DEL CLIENTE HASTA SU ORIGEN.

6.- PROCEDIMIENTOS DE CONTROL ESPECIALES O REQUERIDOS POR CLIENTES.

EN TODOS LOS CASOS DEBERÁ HABER AUDITORIAS DE CALIDAD PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO.

EN CUANTO A LA CLASIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CADA PRODUCTO SE ESTABLECE UNA CLASIFICACIÓN QUE PUEDE SER LA TRADICIONAL DE: CRÍTICAS, MAYORES Y MENORES Y SE PROCEDE DE MANERA ANÁLOGA, PARA CADA PRODUCTO.

3ER. PASO

PLAN DE CONTROL EN MANUFACTURA:

UNA DE LAS FASES EN EL PROCESO DE IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO (C.E.P.), ES EL DESARROLLO DE UN PLAN DE CONTROL. EL PLAN DE CONTROL SUMARIZA EL CONJUNTO DE POLÍTICAS, PROCEDIMIENTOS, PRÁCTICAS, ETC. NECESARIOS PARA GARANTIZAR QUE DURANTE EL PROCESO PRODUCTIVO SE REALICEN LAS ACTIVIDADES NECESARIAS PARA CONTROLAR EFECTIVAMENTE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS MANUFACTURADOS.

PERO CABE RECORDAR QUE EL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO ES SÓLO UNA PARTE DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y POR LO TANTO DICHAS POLÍTICAS, PROCEDIMIENTOS, MÉTODOS, ETC. DEBERÁN ESTAR CONTENIDOS EN EL MANUAL DE CONTROL DE LA CALIDAD, PARA LO CUAL A CONTINUACIÓN DAREMOS UNA GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD, FRUTO DE LA EXPERIENCIA TENIDA EN LA IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE CALIDAD, PERO QUE REQUIERE DE ADECUACIONES PARA CADA EMPRESA EN PARTICULAR.

EL MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD

ANTES DE ENTRAR DE LLENO AL MUNUAL DE CONTROL DE CALIDAD, ES CONVENIENTE ACLARAR EL CONCEPTO DE MANUAL.

EL CONCEPTO DE LO QUE ES UN MANUAL, ES DE SUYO EMPÍRICO, VARIABLE Y FÁCIL DE COMPRENDER: SIGNIFICA UN FOLLETO, LIBRO ,- CARPETA, ETC., EN LOS QUE DE UNA MANERA FÁCIL DE MANEJAR (MANUABLE) SE CONCENTRAN EN FORMA SISTEMÁTICA, UNA SERIE DE ELEMENTOS ADMINISTRATIVOS PARA UN FÍN CONCRETO: ORIENTAR Y UNI - FORMAR LA CONDUCTA QUE SE PRESENTA ENTRE CADA GRUPO HUMANO - EN LA EMPRESA.

EXISTEN MUY DIVERSOS TIPOS DE MANUALES; MENCIONAREMOS SÓLO - ALGUNOS DE LOS PRINCIPALES:

MANUAL DE OBJETIVOS Y POLÍTICAS:

COMO SU NOMBRE LO INDICA, REUNE UN GRUPO DE OBJETIVOS PROPIOS DE LA EMPRESA, CLASIFICADOS POR DEPARTAMENTOS, CON EXPRESIÓN- DE LAS POLÍTICAS CORRESPONDIENTES A ESOS OBJETIVOS, Y A VECES DE ALGUNAS REGLAS MUY GENERALES QUE AYUDAN A APLICAR ADECUADAMENTE LAS POLÍTICAS.

LOS MANUALES DEPARTAMENTALES:

SON AQUELLOS EN QUE SE RECOGEN LAS POLÍTICAS, REGLAS, PROCEDIMIENTOS, FORMATOS, ETC., APLICABLES EN CADA DEPARTAMENTO DETERMINADO. SON LOS QUE MEJOR MERECEN EL NOMBRE DE ACUERDO AL CONCEPTO ANTERIORMENTE MENCIONADO.

MANUALES DE ORGANIZACIÓN:

SON COMO UNA EXPLICACIÓN, AMPLIACIÓN Y COMENTARIO DE LAS CARTAS DE ORGANIZACIÓN, ADEMÁS SUELEN CONTENER LOS OBJETIVOS GENERALES DE LA EMPRESA, LOS DEL DEPARTAMENTO QUE SE TRATE TAMBIÉN LAS POLÍTICAS Y ALGUNAS NORMAS MUY GENERALES, TANTO DE LA EMPRESA COMO DEL DEPARTAMENTO, Y LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS PROCEDIMIENTOS Y TRÁMITES MAS IMPORTANTES Y USUALES DENTRO DEL DEPARTAMENTO, A BASE DE GRÁFICAS DE PROCESO Y GRÁFICAS O DIAGRAMAS DE FLUJO.

LOS MANUALES DEL EMPLEADO O DE BIENVENIDA:

SUELEN RECOGER TODO LO QUE INTERESA CONOCER AL EMPLEADO EN GENERAL, SOBRE TODO AL INGRESAR A LA EMPRESA.

MANUALES DE OPERACION:

SON AQUELLOS EN QUE SE DESCRIBE EN FORMA DETALLADA LA FORMA CONVENIENTE DE OPERAR MAQUINARIA Y EQUIPO, GENERALMENTE, ETC.

CONTENIDO DEL MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD:

EL MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD COMO CUALQUIER OTRO DE LA EMPRESA DEBE SER ELABORADO DE ACUERDO A LAS NECESIDADES Y EXIGENCIAS ESPECÍFICAS DE CADA EMPRESA, POR LO TANTO, SU CONTENIDO PODRÁ VARIAR DE UNA EMPRESA A OTRA.

UN MANUAL COMPLETO DE CONTROL DE CALIDAD Y GENERALMENTE ACEPTADO EN LA INDUSTRIA CONTENDRÁ LOS SIGUIENTES CAPÍTULOS:

I. INTRODUCCIÓN
II. POLÍTICAS GENERALES Y DEPARTAMENTALES
III. OBJETIVOS.
IV. PLAN DE ESTRUCTURA BÁSICA
V. ORGANIZACIÓN
V.1 CARTA DE ORGANIZACIÓN
V.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES
V.3 CUADRO DE INTERRELACIONES
VI. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN Y CONTROL
VI.1 EN PROVEEDOR
VI.2 RECIBO
VI.3 PROCESO
VI.4 PRODUCTO TERMINADO.
VII. MÉTODOS DE PRUEBA Y ANÁLISIS
VIII. PLANES DE MUESTREO
IX. INSTRUCTIVOS DE FORMAS Y REPORTES
X. CONSERVACIÓN DE REGISTROS
XI. AUDITORIAS DE SISTEMAS Y DE PRODUCTO.

RECOMENDACIONES PARA LA ELABORACION DEL MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD

AL ELABORAR UN MANUAL PRETENDEMOS:

UNIFORMIZAR Y CONTROLAR LAS RUTINAS DE TRABAJO.

ENSEÑAR LAS RUTINAS DE TRABAJO A LOS NUEVOS EMPLEADOS.

UNIFORMIZAR CRITERIOS PARA LA TOMA DE DECISIONES.

PROPORCIONAR A LOS USUARIOS DEL MANUAL INDICACIONES DE QUE HACER Y CÓMO HACERLO ADEMÁS DE PARA QUE HACERLO.

FACILITAR LA SUPERVISIÓN DEL TRABAJO.

OPTIMIZAR LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS.

CONTAR CON UNA HERRAMIENTA ÚTIL PARA HACER BIEN LAS COSAS A LA PRIMERA VEZ.

ANTERIORMENTE, LA ELABORACIÓN DEL MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD SE DEJABA EN MANOS DE DEPARTAMENTOS CASI EN SU TOTALIDAD SIN EMBARGO, LOS RESULTADOS QUE SE OBTENIAN ERAN MUY POBRES EN LA MAYORIA DE LAS EMPRESAS QUE ASÍ LO HACIAN POR FALTA DE ENTENDIMIENTO Y COLABORACIÓN DE LAS DEMÁS ÁREAS DE LA EMPRESA, AL SER IMPLEMENTADO, PUES NINGUNA ÁREA O DEPARTAMENTO SE SENTIA INVOLUCRADO Y POR LO TANTO NO SENTIAN RESPONSABILIDAD ALGUNA POR LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

LA EXPERIENCIA NOS HA DEMOSTRADO QUE PARA ELABORAR UN MANUAL DE CALIDAD, ACORDE A LAS NECESIDADES DE LA EMPRESA, DEBE HABER EN PRIMER LUGAR UN CONVENCIMIENTO GENERAL DE SUS BENEFICIOS, ASÍ COMO LA DISPOSICIÓN DE COLABORACIÓN ACTIVA DE LAS DIFERENTES ÁREAS QUE INTERVIENEN EN SU ELABORACIÓN Y APLICACIÓN.

ES DECIR, LA ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE CALIDAD YA NO DEPENDE ÚNICAMENTE DEL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD, PUÉS EN ÉL SE RECOGERÁN LAS POLÍTICAS, OBJETIVOS, MÉTODOS, PROCEDIMIENTOS Y EN GENERAL LAS ACTIVIDADES DE LAS DIFERENTES ÁREAS QUE HARÁN POSIBLE LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS Y SERVICIOS SATISFACTORIOS PARA EL MERCADO Y PARA LA EMPRESA AL NIVEL MAS ECONÓMICO.

EXISTEN DIVERSAS FORMAS PARA ELABORAR UN MANUAL DE CALIDAD, - UNA DE ELLAS Y QUE EN LA PRÁCTICA NOS HA MOSTRADO QUE ES ÚTIL PARA TAL EFECTO, ES LA SIGUIENTE:

1) INTEGRAR UN COMITÉ O GRUPO DE TRABAJO ENCARGADO DE LA ELABORACIÓN DEL MANUAL, INTEGRADO GENERALMENTE POR REPRESENTANTES DE LAS ÁREAS DE:
   - CONTROL DE CALIDAD
   - INGENIERÍA
   - MANUFACTURA
   - ABASTECIMIENTOS
   - VENTAS.

   RECOMENDÁNDOSE QUE SEAN PERSONAS CON AUTORIDAD PARA TOMAR DECISIONES, Y COORDINADAS O DIRIGIDAS POR UN MIEMBRO DEL - GRUPO, NORMALMENTE POR EL DE CONTROL DE CALIDAD.

2) UNA VEZ INTEGRADO EL GRUPO DE TRABAJO, ES CONVENIENTE FIJAR LAS POLÍTICAS Y NORMAS QUE REGIRÁN AL GRUPO DURANTE - SUS ACTIVIDADES.

   TAMBIÉN ES NECESARIO ELABORAR UN PLAN DE TRABAJO INDICANDO: ACTIVIDADES, RESPONSABLES Y FECHAS DE CUMPLIMIENTO, - FUNCIÓN DE LOS TEMAS QUE SERÁN ABORDADOS EN EL MANUAL.

3) RECOPILACIÓN DE DATOS.

EN ÉSTA ETAPA SE BUSCA APROVECHAR LOS LOGROS OBTENIDOS, - AVANCES REALIZADOS Y ANTECEDENTES RELATIVOS A LA CALIDAD, ASÍ COMO REALIZAR LAS INVESTIGACIONES NECESARIAS PARA LA ELABORACIÓN O DESARROLLO DE LOS TEMAS A TRATAR EN EL MA - NUAL, PARA ESTE EFECTO SE PODRÁN REALIZAR:

- ENTREVISTAS AL PERSONAL CORRESPONDIENTE
- OBSERVACIONES DIRECTAS A LAS ACTIVIDADES
- INVESTIGACIÓN DE TEXTOS ESPECIALIZADOS.
- INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS Y EXPERIENCIAS COM PERSONAL DE OTRAS EMPRESAS.
- ETC.

4) REDACCIÓN DE LOS CAPÍTULOS DEL MANUAL EN BASE A LOS DATOS E INFORMACIÓN RECABADA, UTILIZANDO SIEMPRE QUE SEA POSIBLE, DIBUJOS, ESQUEMAS, DIAGRAMAS, ETC.

5) UNA VEZ ELABORADO EL MANUAL, ES CONVENIENTE SOMETERLO A - CONSIDERACIÓN DE LAS DEMÁS ÁREAS DE LA EMPRESA CON OBJETO DE RECIBIR RETROALIMENTACIÓN Y REALIZAR LAS MODIFICACIONES EN CASO NEECESARIO.

6) PRESENTACIÓN DEL MANUAL DE CALIDAD A LA GERENCIA GENERAL PARA SU APROBACIÓN Y AUTORIZACIÓN.

7) MOTIVACIÓN, CAPACITACIÓN Y ADIESTRAMIENTO DEL PERSONAL - QUE UTILIZARÁ DE MANERA DIRECTA EL MANUAL, ASÍ COMO DE - LAS ÁREAS QUE SE VERÁN INVOLUCRADAS EN LAS ACTIVIDADES - AHÍ INDICADAS.

8) IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD, EN BASE A UN PROGRAMA PARA TAL EFECTO.

MANTENIMIENTO Y ACTUALIZACION

UN MANUAL ES ÓPTIMO EN DETERMINADO MOMENTO, O BAJO CIERTAS CIRCUNSTANCIAS, PERO SE HACE MENOS ADECUADO A MEDIDA QUE - CAMBIAN: LA ORGANIZACIÓN, LAS CONDICIONES, LOS PROCESO, LA TECNOLOGÍA, ETC., ES POR ELLO QUE SE HACE NECESARIO REVI - SAR Y ACTUALIZAR CONSTANTEMENTE LOS MANUALES, A MEDIDA QUE SE VAYAN DANDO LOS CAMBIOS, PUES ES MUY COMÚN QUE SE ELABO RE UN MANUAL, SE APLIQUE Y NUNCA MAS SE VUELVA A REVISAR Y ACTUALIZAR, EN ESTAS CONDICIONES DE HACE OBSOLETO MUY RÁPI DAMENTE.

POR ELLO ES NECESARIO QUE:

- SE PREVEA EN LOS FORMATOS DEL MANUAL, LA POSIBLILIDAD DE REALIZACIÓN DE FUTUROS CAMBIOS.
- EL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD SE RESPONSABILICE DE EFECTUAR LOS CAMBIOS EN SU OPORTUNIDAD Y DE DARLOS A CONOCER A LAS DEMÁS ÁREAS.
- SE DESARROLLE EL HÁBITO DE UTILIZAR EL MANUAL COMO HERRA MIENTA DE TRABAJO.

EXISTA UN MECANISMO QUE PERMITA UNA COMUNICACIÓN ABIERTA EN TRE CONTROL DE CALIDAD Y LAS DEMÁS ÁREAS PARA RECIBIR Y EMI TIR SUGERENCIAS Y CAMBIOS EN LAS OPERACIONES.

4) ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

LOS ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE MANUFACTURA, SON UNA SERIE DE ESTUDIOS REALIZADOS POR LAS ÁREAS DE INGENIERÍA, MANUFACTURA Y CALIDAD PARA EVALUAR QUE EL DISEÑO PROPUESTO PUEDA SER MANUFACTURADO, PROBADO, EMPACADO Y EMBARCADO DE ACUERDO A NIVELES DE CALIDAD ACEPTABLES, UN DESEÑO FACTIBLE DEBE PERMITIR EL CUMPLIMIENTO CON LOS VOLUMENES DE PRODUCCIÓN Y ENTREGAS OPORTUNAS, SIENDO CONSISTENTE CON LA HABILIDAD DE CUMPLIR CON LOS REQUERIMIENTOS DE INGENIERÍA, CALIDAD, CONFIABILIDAD, COSTO, ETC.

EN EL CASO DE PRODUCTOS YA EXISTENTES Y EN LOS CUALES SE DESEA APLICAR TÉCNIAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD, EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD CONSISTIRÁ EN ESTUDIOS REALIZADOS POR LAS ÁREAS ANTES CITADAS, QUE CONDUZCAN A CONCLUIR EN QUE CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO ES POSIBLE Y CONVENIENTE SU APLICACIÓN DEBIDO A QUE EL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD YA SEA POR VARIABLES O POR ATRIBUTOS, ES UNA EXCELENTE HERRAMIENTA.

PERO HAY QUE TENER EN CUENTA QUE HAY CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS QUE POR SU NATURALEZA O POR SU GRADO DE IMPORTANCÍA NO REQUIEREN DE UN ESTRICTO CONTROL.

UN BUEN ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD COMIENZA CON UN ENTENDIMIENTO DEL DISEÑO Y DE LA INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LA CALIDAD, - SEGUIDO POR UNA EVALUACIÓN DE PROBLEMAS POTENCIALES QUE PUDIERAN OCURRIR DURANTE LA MANUFACTURA DEL PRODUCTO. PARA HACER UN ANÁLISIS MÁS DETALLADO DE LAS CONDICIONES QUE PUDIERAN APARECER ES CONVENIENTE REVISAR LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

A) - DE DISEÑO
- DIBUJOS DE INGENIERÍA
- ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES
- CAUSAS DE FALLAS POTENCIALES EFECTOS Y SOLUCIONES POSIBLES.

B) - DE MANUFACTURA
- DIAGRAMA DE FLUJO
- PLAN DE CONTROL DE PISO
- ESTUDIOS DE HABILIDAD DEL PROCESO

C) - INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LA CALIDAD
- INDICADORES DE CALIDAD INTERNOS
- REPORTES DE QUEJAS Y DEVOLUCIONES.

5) CAPACITACIÓN EN EL USO DEL SISTEMA.

AL HABLAR DE LA CAPACITACIÓN EN EL USO DEL SISTEMA ES CONVENIENTE RECORDAR QUE EL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO ES SOLO UNA HERRAMIENTA QUE RESULTA EFECTIVA, CUANDO ESTÁ INSERTA EN UN SISTEMA DE CALIDAD QUE VA MAS ALLÁ DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA MEJORAR UN PROCESO, ES DECIR, DE UN SISTEMA DE CALIDAD TOTAL EN EL QUE MAS QUE CAPACITAR A TODO EL PERSONAL DE LA EMPRESA ÉSTA SE ENCUENTRA EN UN PROCESO DE EDUCACIÓN PARA LA CALIDAD, EN EL CUAL SE HA DESARROLLADO UNA INTANGIBLE PERO NECESARIA CONCIENCIA DE CALIDAD, SE TRABAJA EN UN ESTILO PARTICIPATIVO DE ADMINISTRACIÓN Y SE TIENEN CLARAS LA FILOSOFÍA Y POLÍTICAS DE CALIDAD, ENTONCES LA CAPACITACIÓN EN EL USO DEL SISTEMA CONSISTIRÁ EN QUE CADA NIVEL DE LA ORGANIZACIÓN Y EN CADA POSICIÓN SE TENGA LA CLARIDAD Y COMPROMISO QUE LE CORRESPONDE EN EL C.E.P. Y QUE ES PARTICULAR EN CADA EMPRESA, PERO EN TÉRMINOS GENERALES A TRAVÉS DE LA CAPACITACIÓN EN EL SISTEMA PARTICULAR DE LA EMPRESA, SE DEBERÁ LOGRAR QUE LOS QUE TIENEN RELACIÓN DIRECTA CON EL PRODUCTO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE LA ORGANIZACIÓN SE CAPACITEN EN:

NIVEL GERENCIA.- EN UNA COMPRENSIÓN AMPLIA DE LOS OBJETIVOS Y ÁREAS DE APLICACIÓN EN SU EMPRESA DEL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO, ASÍ COMO DE -

SU PARTICIPACIÓN REQUERIDA EN ÉSTE, Y UN CONOCIMIENTO GENÉRICO DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS USADAS.

NIVEL JEFATURA Y SUPERVISIÓN.- AQUÍ SE REQUIERE UNA CAPACITACIÓN DE LOS PRINCIPIOS EN QUE SE BASAN LAS DIFERENTES HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS, ASÍ COMO LA COMPRENSIÓN DE CÓMO OPERAN, DE CÓMO INTERPRETAR SUS RESULTADOS Y CÓMO DECIDIR QUE TÉCNICAS UTILIZAR EN CUALQUIER CASO PARTICULAR.

TAMBIÉN REQUIEREN CONOCER CLARAMENTE CUÁL ES SU PAPEL EN EL SISTEMA C.E.P.

NIVEL OPEERARIO.- EN ESTE NIVEL SE REQUIERE CAPACITAR AL PERSONAL EN EL USO DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS ESTADÍSTICAS FUNDAMENTALES (POR EJEM. GRÁFICAS DE CONTROL, DIAGRAMA DE PARETO, ETC.) SOBRE LA BASE DE REGLAS PRÁCTICAS.

SE RECOMIENDA QUE ESTA CAPACITACIÓN ESPECÍFICA EN EL USO DEL SISTEMA DEL C.E.P. SE VAYA HACIENDO CONFORME LAS DIFERENTES ÁREAS O SECCIONES DE LA EMPRESA VAYAN A EMPEZAR A APLICAR EL C.E.P. CON EL OBJETO DE QUE VEAN UNA APLICACIÓN PRÁCTICA TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE DE LOS MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS APRENDIDOS.

6) ARRANQUE EN ÁREA PILOTO.

EL INICIO DE UN SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO - NO ES FÁCIL DEBIDO A QUE TENEMOS QUE CAMBIAR IMPORTANTEMENTE NUESTRA FORMA DE PENSAR Y HASTA DE HABLAR, YA QUE POR EJEM.; CUANDO SE PREGUNTA CÓMO VÁ EL TRABAJO RESPONDEMOS "MAS O MENOS" O "BIEN" O "AHÍ PASANDOLO", AL ENTRAR A UN SISTEMA DE - C.E.P. EMPEZAMOS A UTILIZAR EXACTITUD Y PRECISIÓN NÚMÉRICA - EN NUESTRO LENGUAJE, ESTO POR CITAR SOLO UN ASPECTO, OTRO ES EL DE LOS REGISTROS QUE HAY QUE LLEVAR Y QUE NO ESTAMOS ACOSTUMBRADOS, OTRO ES EL DE LA CONFIABILIDAD DE LOS DATOS, EN - FIN MIL Y UN DETALLES QUE HAY QUE CUIDAR, ES POR ELLO QUE UN SISTEMA DE C.E.P. NO SE PUEDE INICIAR NI EN TODA LA PLANTA NI EN TODOS LOS PROCESOS, SE HACE NECESARIO ELEGIR UN ÁREA O - SECCIÓN QUE POR LAS BUENAS RELACIONES QUE HAYA ENTRE SUPERVISORES Y COLABORADORES, O DE POCOS CONFLICTOS O DE BUENA DISPOSICIÓN DE LA GENTE O DE POCAS CARACTERÍSTICAS A CONTROLAR, REPRESENTA UN ÁREA CON BUENAS POSIBILIDADES PARA INTRODUCIR EL SISTEMA, Y QUE NOS PERMITA HACER LOS AJUSTES CONVENIENTES HASTA LOGRAR UN ÉXITO EN EL CONTROL DE ESA ÁREA, ES ENTON - CES CUANDO EN FORMA PAULATINA Y PROGRAMADA PODRÁ DARSE EL - PASO 7 EN LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA QUE ES LA GENERALIZACIÓN DEL MISMO CON EL RESPECTIVO MANTENIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN.

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

CURSOS ABIERTOS
CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD V

M U E S T R E O :
METODOLOGIA Y METODOS BASICOS

EXPOSITOR: RUBEN TELLEZ SANCHEZ

JUNIO
1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

ETAPAS DE SOLUCION DE PROBLEMS
APROVECHAMIENTO DE OPORTUNIDADES

OBSERVACION	*PROBLEMA / OPORTUNIDAD*
MEDICION	*REALIDAD (HECHOS)*
PROCESAMIENTO	*DATOS*
ANALISIS	*INFORMACION*
CREATIVIDAD	*ALTERNATIVAS*
EVALUACION / PLANEACION	*DECISION*
EJECUCION	*ACCION*
	RESULTADOS

ESTADISTICA

TEORIA Y METODOS DE:

1. OBTENER
2. DESCRIBIR
3. ANALIZAR
4. INTERPRETAR INFORMACION PARA
5. DECIDIR
6. OPTIMIZAR RECURSOS APOYANDOSE EN
7. TEORIA DE PROBABILIDAD

- ESTADISTICA DEMOGRAFICA (1)
- ESTADISTICA DESCRIPTIVA (2)
* TEORIA DE PROBABILIDAD (7)
- INFERENCIA ESTADISTICA
  - MUESTREO (1)-(7)
  - ESTIMACION DE PARAMETROS (3)-(4)
    - . PUNTUAL
    - . POR INTERVALOS DE CONFIANZA
  - PRUEBA DE HIPOTESIS (5)
    - . PARAMETRICA
    - . NO PARAMETRICA
  - REGRESION Y CORRELACION (1)-(7)
  - DISEÑO DE EXPERIMENTOS (1)-(7)
  - SERIES DE TIEMPO (1)-(7)
  - ECONOMETRIA (1)-(7)
  - ANALISIS FACTORIAL
  - ESTADISTICA BAYESIANA

ESQUEMA CONCEPTUAL BASICO

- *1.EXPERIMENTO: PROCESO DE OBSERVACION DE UN FENOMENO O VARIABLE DE INTERES.*
- *2:EXPERIMENTAR: OBSERVAR RESULTADOS POSIBLES DE UN FENOMENO.*
- *3.DATO, OBSERVACION O EVENTO: RESULTADO DE UN EXPERIMENTO.*
- *4.POBLACION O ESPACIO MUESTRAL: CONJUNTO DE RESULTADOS POSIBLES DE UN EXPERIMENTO O COLECCION EXHAUSTIVA DE DATOS QUE SE PUEDEN OBTENER AL REALIZAR UN EXPERIMENTO O CONJUNTO DE ELEMENTOS CON CARACTERISTICAS COMUNES.*
- *5.MUESTRA: SUBCONJUNTO DE UNA POBLACION, ESPACIO MUESTRAL,-- GRUPO DE DATOS O RESULTADOS DE UN EXPERIMENTO.*
- *6.MUESTREO: PROCESO DE ADQUISICION DE UNA MUESTRA.*
- *7.ESTADISTICA: TEORIA Y METODOS DE : OBTENCION; DESCRIPCION; ANALISIS;INTERPRETACION DE INFORMACION DE UNA POBLACION - PARA INFERIR CONCLUSIONES DE ESTA Y TOMAR DESICIONES; APOYANDOSE PARA ESTO EN LA TEORIA DE LA PROBABILIDAD; LA CUAL ES EL ESTUDIO DE LOS MODELOS MATEMATICOS DE LOS FENOMENOS-ALEATORIOS.*

MUESTREO: ES EL PROCESO DE ADQUISICION DE UNA MUESTRA

MUESTREO
- *CON REEMPLAZO.-* CUANDO CADA ELEMENTO OBSERVADO SE REINTEGRA AL LOTE DEL CUAL FUE EXTRAIDO, ANTES DE EXTRAER EL SIGUIENTE.
- *SIN REEMPLAZO.-* CUANDO CADA ELEMENTO OBSERVADO NO SE - REINTEGRA AL LOTE.

POBLACION: COLECCION DE DATOS QUE SE PUEDEN OBTENER AL REALIZAR UNA SECUENCIA EXHAUSTIVA DE EXPERIMENTOS.

POBLACION
- *DISCRETA.-* TIENE UN NUMERO FINITO O UN NUMERO INFINITO NUMERABLE DE DATOS POSIBLES
- *CONTINUA.-* TIENE UN NUMERO INFINITO NO NUMERABLE DE DATOS POSIBLES

EJEMPLOS

1. EXPERIMENTO: LANZAMIENTO DE UNA MONEDA DIEZ VECES

   POBLACION: SUCESION INFINITA NUMERABLE DE "CARAS" Y "CRUCES" (DISCRETA)

   MUESTRA: GRUPO DE 10 OBSERVACIONES

2. EXPERIMENTO: MEDICION DE LA PRECIPITACION PLUVIAL DIARIA EN LA CIUDAD DE MEXICO DURANTE DIEZ AÑOS

   POBLACION: SUCESION INFINITA NO NUMERABLE DE VALORES (CONTINUA)

   MUESTRA: GRUPO DE 3652 OBSERVACIONES (TOMANDO DOS AÑOS BISIESTOS DE 29 DIAS EN FEBRERO)

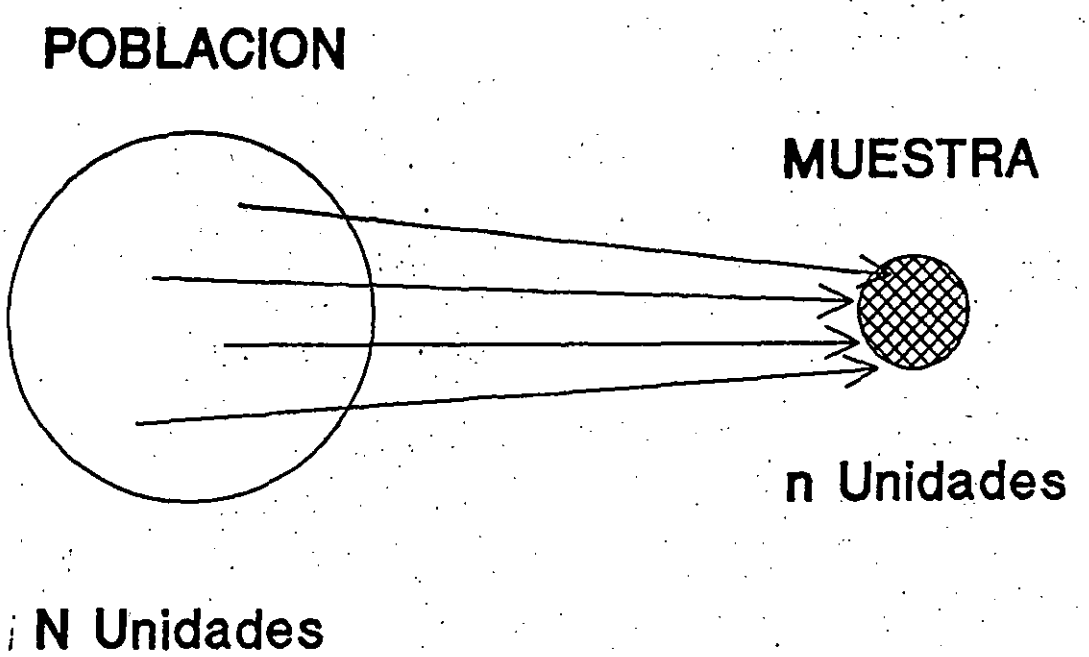
CUALES SON LAS CONSECUENCIAS DE:

- NO RECOLECTAR DATOS
- RECOLECTAR DATOS INADECUADOS

* TOMA DE DECISIONES INCORRECTAS
* ACCIONES TOMADAS SON INEFECTIVAS
* DESPERDICIO DE TIEMPO, RECURSOS Y/O DINERO
* LAS PRIORIDADES NO PUEDEN SER ASIGNADAS EN FORMA APROPIADA

MUESTRA

UNA MUESTRA ES UN CONJUNTO DE ELEMENTOS SELECCIONADOS DE UNA POBLACION.



POR QUE HACER MUESTREO?

* POBLACION DE GRANDES DIMENSIONES
* DISPONIBILIDAD DE TIEMPO
* DISPONIBILIDAD DE RECURSOS (DINERO, PERSONAL, ETC.)
* PRUEBAS DESTRUCTIVAS
* CALIDAD DE LA INFORMACIC

IDEAS BASICAS EN MUESTREO

MÉTODO DE MUESTREO

UN METODO DE MUESTREO ES UN METODO DE SELECCIONAR DE TAL MANERA UNA FRACCION DE LA POBLACION QUE LA MUESTRA SELECCIONADA REPRESENTE A LA POBLACION ENTERA. UN METODO DE MUESTREO, SI VA A PROPORCIONAR UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE LA POBLACION, DEBE SER TAL QUE TODAS LAS CARACTERISTICAS DE LA POBLACION, INCLUYENDO LA DE VARIABILIDAD ENTRE SUS UNIDADES, SE REFLEJEN EN LA MUESTRA TAN APROXIMADAMENTE COMO EL TAMAÑO DE LA MUESTRA LO PERMITA, PARA QUE SE PUEDA FORMAR, A PARTIR DE LA MUESTRA, ESTIMACIONES DIGNAS DE CONFIANZA DE LOS CARACTERES DE LA POBLACION.

ERROR ESTÁNDAR

CUALQUIERA QUE SEA EL METODO DE SELECCION, UNA ESTIMADA POR MUESTRA DIFERIRA INEVITABLEMENTE DE LA QUE SE OBTENDRIA ENUMERANDO, CON IGUAL CUIDADO, A LA POBLACION COMPLETA. ESTA DIFERENCIA ENTRE LA ESTIMADA DE LA MUESTRA Y EL VALOR DE LA POBLACION SE LLAMA EL ERROR DE MUESTREO. UN METODO DE MUESTREO, SI HA DE SER UTIL, DEBE PROPORCIONAR ALGUNA IDEA SOBRE EL ERROR DE MUESTREO EN LA ESTIMACION DE UN PROMEDIO. PARA ESTE PROPOSITO HAY VARIAS MEDIDAS DISPONIBLES. UNA DE ELLAS, QUE PROPORCIONA LA MAGNITUD MEDIA DEL ERROR DE MUESTREO, SE LLAMA EL ERROR ESTANDAR DE LA ESTIMADA Y DA UNA MEDIDA DE LA SEGURIDAD DE LA ESTIMADA DE LA MUESTRA. ES LA MAGNITUD DEL ERROR ESTANDAR LA QUE DETERMINARA SI UNA ESTIMADA POR MUESTREO ES UTIL PARA UN PROPOSITO DADO.

PRINCIPIO DE SELECCIÓN ENTRE MÉTODOS ALTERNATIVOS DE MUESTREO

DEBEN TAMBIEN TOMARSE EN CUENTA LAS CONSIDERACIONES PRACTICAS

EN EL USO DE UN METODO DE MUESTREO.

MAS AUN, UN METODO DE MUESTREO, SI HA DE ACEPTARSE EN LA PRACTICA, DEBE SER SENCILLO, ACOMODARSE A LA EXPERIENCIA ADMINISTRATIVA Y A LAS CONDICIONES LOCALES Y ASEGURAR QUE SE VA A HACER EL USO MAS EFECTIVO DE LOS RECURSOS DISPONIBLES PARA EL QUE MUESTREA. EL PRINCIPIO A SEGUIR EN LA SELECCION DE UN METODO DE MUESTREO ES, EN REALIDAD, EL DE OBTENER EL RESULTADO DESEADO CON LA SEGURIDAD REQUERIDA A COSTO MINIMO, O CON LA MAXIMA SEGURIDAD A COSTO DADO, HACIENDO EL USO MAS EFICAZ DE LOS RECURSOS DISPONIBLES.

MUESTREO PROBABILÍSTICO

PARA LLENAR LOS REQUISITOS ANTERIORES ES NECESARIO QUE EL METODO DE MUESTREO SEA OBJETIVO, BASADO EN LEYES DEL AZAR. EL METODO SE LLAMA DE MUESTREO PROBABILISTICO. EN ESTE METODO LA MUESTRA SE OBTIENE EN SELECCIONES SUCESIVAS DE UNA UNIDAD, CADA UNA CON UNA CONOCIDA PROBABILIDAD DE SELECCION ASIGNADA EN LA PRIMERA SELECCION A CADA UNIDAD DE LA POBLACION. EN CUALQUIER SELECCION SUBSECUENTE, LA PROBABILIDAD DE SELECCIONAR CUALQUIER UNIDAD DE ENTRE LAS UNIDADES DISPONIBLES PARA ESA SELECCION PUEDE SER PROPORCIONAL A LA PROBABILIDAD DE SELECCIONARLA EN LA PRIMERA SELECCION O COMPLETAMENTE INDEPENDIENTE DE ELLA.

LAS SELECCIONES SUCESIVAS DE UNA MUESTRA PROBABILISTICA PUEDEN HACERSE CON O SIN REEMPLAZO DE LAS UNIDADES OBTENIDAS EN LAS SELECCIONES PREVIAS. EL PRIMER PROCEDIMIENTO ES EL DE MUESTREAR CON REEMPLAZO, EL SEGUNDO ES EL PROCEDIMIENTO LLAMADO SIN REEMPLAZO.

LA APLICACION DEL METODO SUPONE QUE LA POBLACION PUEDE SUBDIVIDIRSE EN UNIDADES DISTINTAS E IDENTIFICABLES LLAMADAS UNIDADES DE MUESTREO. ESTAS PUEDEN SER UNIDADES NATURALES, TALES COMO INDIVIDUOS EN UNA POBLACION HUMANA, O TERRENOS EN UNA ESTIMACION DE CULTIVO, O CONJUNTOS NATURALES DE ESAS UNIDADES COMO FAMILIAS O PUEBLOS; O PUEDEN

MUESTREO PROBABILISTICO

TODOS LOS PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO, PARA LOS CUALES HA SIDO DESARROLLADA UNA TEORIA, TIENEN EN COMUN LAS SIGUIENTES PROPIEDADES MATEMATICAS.

1. ES POSIBLE DEFINIR INEQUIVOCAMENTE UN CONJUNTO DE MUESTRAS S_1, S_2, ... S_r, MEDIANTE LA APLICACION DEL PROCEDIMIENTO A UNA POBLACION ESPECIFICA QUE CONDUZCA A LA SELECCION DE ESTAS MUESTRAS. ESTO QUIERE DECIR QUE PODEMOS INDICAR CON PRECISION CUALES UNIDADES DE MUESTREO PERTENECEN A S_1, S_2, Y ASI, SUCESIVAMENTE.
2. A CADA POSIBLE MUESTRA S_i, LE HA SIDO ASIGNADA UNA PROBABILIDAD CONOCIDA DE SELECCION π_i
3. SELECCIONAMOS UNA DE LAS S_i POR UN PROCESO MEDIANTE EL CUAL CADA S_i TIENE UNA PROBABILIDAD π_i DE SER SELECCIONADA
4. EL METODO PARA CALCULAR EL ESTIMADOR DE LA MUESTRA DEBE SER ESTABLECIDO Y DEBE CONDUCIR A UN ESTIMADOR UNICO PARA CUALQUIER MUESTRA ESPECIFICA.

VENTAJAS DEL MUESTREO PROBABILISTICO

- COSTO REDUCIDO
- MAYOR RAPIDEZ
- MAYOR ALCANCE Y FLEXIBILIDAD DE ACUERDO AL TIPO DE INFORMACION A OBTENERSE
- MAYOR EXACTITUD
- ESTIMACION Y CONTROL DEL ERROR
- SON BASE DE ESTIMACIONES INSESGADAS DE LAS CARACTERISTICAS DE LA POBLACION

PRINCIPIO FUNDAMENTAL DEL DISEÑO DE LA MUESTRA

A TODO PROCEDIMIENTO DE MUESTREO Y ESTIMACION SE ASOCIA EL COSTO DE LA ENCUESTA Y LA PRECISION DE LAS ESTIMADAS HECHAS (MEDIDA, DIGAMOS, EN TERMINOS DEL ERROR CUADRATICO MEDIO). SOLO SE CONSIDERAN LOS PROCEDIMIENTOS DE LOS QUE PUEDE HACERSE UNA ESTIMADA OBJETIVA DE LA PRECISION ALCANZADA A PARTIR DE LA MISMA MUESTRA. ADEMAS, LOS PROCEDIMIENTOS DEBEN DE SER PRACTICOS EN EL SENTIDO DE QUE SEA POSIBLE DESARROLLARLOS DE ACUERDO CON LAS ESPECIFICACIONES DESEADAS. DE TODOS LOS PROCEDIMIENTOS DE SELECCION DE LA MUESTRA Y ESTIMACION (LLAMADOS DISEÑO DE LA MUESTRA), SE PREFERIRA EL QUE DE MAYOR PRECISION POR UN COSTO DETERMINADO DE LA ENCUESTA, O EL QUE TENGA EL COSTO MINIMO Y NOS DA EL NIVEL DE PRECISION ESPECIFICADO. ESTE ES EL PRINCIPIO RECTOR DEL DISEÑO DE LA MUESTRA.

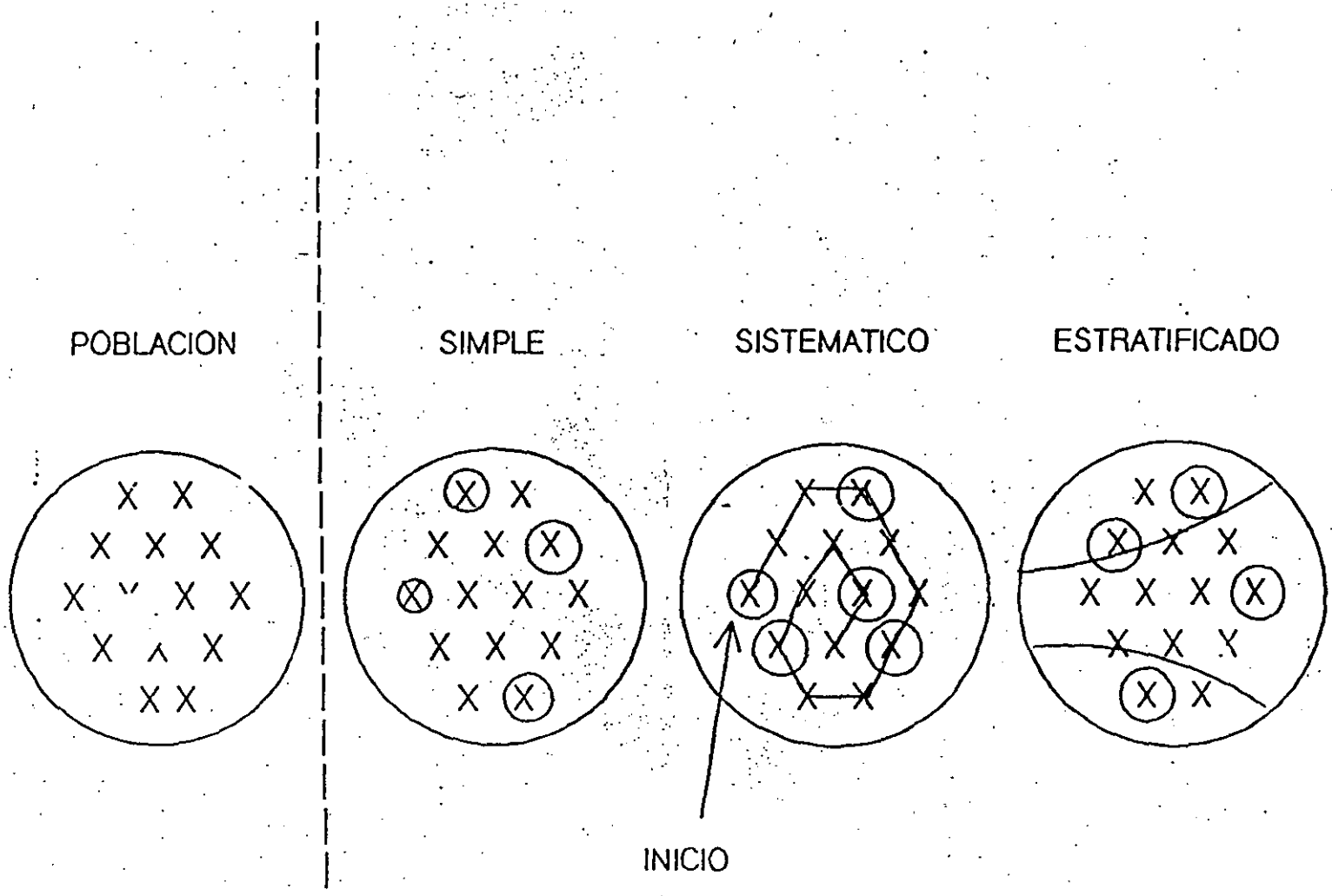
ETAPAS DE UNA ENCUESTA POR MUESTREO

1. PLANEACION
   - . ESPECIFICACION DE FINES: OBJETIVOS Y METAS
   - . DEFINICION DE LA POBLACION A MUESTREAR: POBLACION MUESTREADA=POBLACION OBJETO
   - . ESPECIFICACION DE DATOS A SER COLECTADOS Y DE LA UNIDAD DE MUESTREO
   - . ESPECIFICACION DE REFERENCIA DE TIEMPO Y PERIODO DE REFERENCIA
   - . SELECCION Y ESPECIFICACION DE METODOS DE MEDICION Y METODO DE INSPECCION DE LA POBLACION
   - . DISEÑO Y VALIDACION DE FORMAS DE REGISTRO O CUESTIONARIO (=> REALIZACION DE ENCUESTAS PILOTO)
   - . DETERMINACION DEL MARCO MUESTRAL O ESPECIFICACION DE LA LISTA DE UNIDADES DE MUESTREO
   - . SELECCION DEL METODO MUESTREO
   - . DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA
   - . ORGANIZACION DEL TRABAJO DE CAMPO
2. REALIZACION FISICA DE LA ENCUESTA
3. RESUMEN Y ANALISIS DE DATOS : INSPECCION DE LA INFORMACION CAPTADA
4. ANALISIS DE LA NO RESPUESTA
5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION
6. ANALISIS E INTERPRETACION DE INFORMACION
7. EVALUACION DE LA INVESTIGACION MUESTRAL

METODOS DE MUESTREO

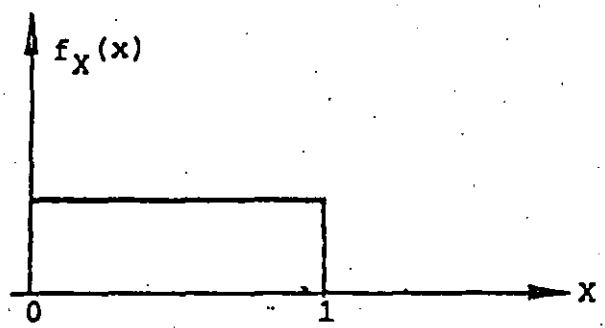
- **PROBABILISTICOS**
  - IRRESTRICTO ALEATORIO: IGUAL PROBABILIDAD DE QUEDAR INCLUIDA EN LA MUESTRA PARA TODOS LOS ELEMENTOS DE LA POBLACION
  - ESTRATIFICADO: COMBINACION DE MUESTREO IRRESTRICTO ALEATORIO EN CADA ESTRATO O SUBGRUPO DE LA POBLACION
  - DE CONGLOMERADOS: MUESTREO ALEATORIO, EN DONDE LAS UNIDADES MUESTRALES SON EN SI MISMAS POBLACIONES O CONGLOMERADOS
  - POLIETAPICO: MUESTREO ALEATORIO RECURSIVO DONDE LAS UNIDADES DE PRIMERA ETAPA CONTIENEN A LAS DE SEGUNDA ETAPA Y ASI SUCESIVAMENTE.
  - MONTECARLO O SIMULADO: MUESTREO ALEATORIO DONDE LA POBLACION REAL SE SUSTITUYE POR UNA QUE LA REPRESENTA: LA FUNCION DE DISTRIBUCION DE LA VARIABLE QUE DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO PROBABILISTICO DE LA POBLACION.
- **DETERMINISTICOS**
  - SISTEMATICO: CAPTACION SISTEMATICA O SECUENCIAL DE LAS UNIDADES MUESTRALES CON RELACION AL TIEMPO O A SU UBICACION EN LA POBLACION
  - DE CUOTAS: EN BASE A LA ESTRUCTURA DE LA POBLACION EN UN PERIODO PASADO SE HACE LA DISTRIBUCION O AFIJACION DE LA MUESTRA EN LAS PARTES DE LA POBLACION.
  - DE TRAZOS O INTENCIONADO: DE REGISTROS DE LA POBLACION (DIRECTORIOS, NOMINAS, ETC.) SE SELECCIONA EN FORMA ARBITRARIA PARA CONSTRUIR LA MUESTRA PARTES DE LA POBLACION
  - CAOTICO: DE MANERA SUBJETIVA O ARBITRARIA SE SELECCIONA LA MUESTRA; VALIDO UNICAMENTE PARA POBLACIONES CON UN NIVEL DE HOMOGENIDAD ELEVADA.

TIPOS DE MUESTREO



MUESTRA ALEATORIA: ES UNA MUESTRA OBTENIDA DE TAL MANERA QUE *TODOS* LOS ELEMENTOS DE LA POBLACION TIENEN LA *MISMA* PROBABILIDAD DE SER OBSERVADOS Y, ADEMAS, LA OBSERVACION DE UN ELEMENTO *NO AFECTA* LA PROBABILIDAD DE OBSERVAR CUALQUIER OTRO, ES DECIR, SI SON INDEPENDIENTES.

TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS: ES UNA TABLA QUE CONTIENE NUMEROS QUE CONSTITUYEN UNA MUESTRA ALEATORIA OBTENIDA DE UNA DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES UNIFORME, QUE GENERALMENTE CORRESPONDE A UNA VARIABLE ALEATORIA QUE PUEDE ASUMIR VALORES ENTRE 0 Y 1, MULTIPLICADOS POR 10^r, EN DONDE r ES EL NUMERO DE DIGITOS QUE SE DESEA TENGAN LOS NUMEROS.



LAS TABLAS QUE SE USEN PARA OBTENER UNA MUESTRA ALEATORIA DEBEN CONTENER NUMEROS CON MAYOR NUMERO DE DIGITOS QUE LOS QUE TIENE EL TOTAL DE ELEMENTOS DE LA POBLACION QUE SE VA A MUESTREAR. POR EJEMPLO, SI SE VA A OBTENER UNA MUESTRA ALEATORIA DE UN LOTE DE LENTES PARA MICROSCOPIO QUE TIENE 10,000 ELEMENTOS, LA TABLA QUE SE USE DEBERA TENER NUMEROS ALEATORIOS CON 5 O MAS DIGITOS.

METODO DE MUESTREO ALEATORIO

1. SE ENUMERAN LOS ELEMENTOS DE LA POBLACION.
2. SE FIJA EL CRITERIO DE SELECCION DE LOS NUMEROS ALEATORIOS (POR EJEMPLO, SE DEFINE QUE RENGLONES Y QUE COLUMNAS SE VAN A LEER).
3. SE INDICA QUE DIGITOS SE VAN A ELIMINAR EN CASO DE QUE LOS NUMEROS DE LA TABLA TENGAN MAS DIGITOS QUE LOS NECESARIOS
4. SE LEEN LOS NUMEROS, DE ACUERDO CON LO FIJADO EN LOS PUNTOS 2 Y 3, Y SE EXTRAEN DEL LOTE LOS ELEMENTOS QUE TIENEN LOS NUMEROS LEIDOS. ESTOS CONSTITUYEN LA MUESTRA FISICA CON LA CUAL REALIZAR LOS EXPERIMENTOS. LAS OBSERVACIONES CONSTITUIRAN LA MUESTRA ALEATORIA DESEADA.

NOTA: TODOS LOS NUMEROS QUE SE REPITAN SE CONSIDERAN SOLO UNA VEZ. TAMBIEN SE ELIMINAN LOS NUMEROS MAYORES DEL TAMAÑO DEL LOTE.

EJEMPLO

SE TIENE UN LOTE DE 1,000 TRANSISTORES NUMERADOS DEL UNO AL MIL, CUYA CALIDAD SE VA A VERIFICAR ESTADISTICAMENTE, PARA LO CUAL SE DECIDE TOMAR UNA MUESTRA DE 40 ELEMENTOS Y MEDIR SU AMPLIFICACION, USANDO LA TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS ANEXA, CON EL CRITERIO DE TOMAR TODOS LOS RENGLONES IMPARES ELIMINANDO EL ULTIMO DIGITO. LA MUESTRA FISICA SERIAN LOS TRANSISTORES CORRESPONDIENTES A LOS NUMEROS 0415, 0006, 0394, 0998, 0530, 0394, 0160, ETC.

TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS

Renglón \ Columna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	16408	81899	04153	53381	79401	21438	83035	92350	36693	31238	59649
2	18629	81953	05520	91962	04739	13092	37662	94822	94730	06496	35090
3	73115	47498	47498	87637	99016	00060	88824	71013	18735	20286	23153
4	57491	16703	23167	49323	45021	33132	12544	41035	80780	45393	44812
5	30405	03946	23792	14422	15059	45799	22716	19792	09983	74353	68668
6	16631	35006	85900	32388	52390	52390	16815	69298	38732	38480	73817
7	96773	20206	42559	78985	05300	22164	24369	54224	35083	19687	11052
8	38935	64202	14349	82674	66523	44133	00697	35552	35970	19124	63318
9	31624	76384	17403	03941	44167	64486	64758	75366	76554	01601	12614
10	78919	19474	23632	27889	47914	02584	37680	20801	72152	39339	34806

REFERENCIAS

1. Fisher, R. A. y Yates, F., "Statistical tables", Ed. Oliver and Boyd Ltd, Londres

2. Owen, B., "Handbook of statistical tables", Addisson-Wesley Co., 1962.

EL MUESTREO ALEATORIO IMPLICA QUE CADA UNO DE ESTOS POSIBLES CONGLOMERADOS TENGA UNA PROBABILIDAD IGUAL, A SABER,

$$\frac{1}{\binom{N}{n}} \quad \text{CON} \quad \frac{N!}{(N-n)!n!}$$

DE SER SELECCIONADO COMO MUESTRA.

LA PALABRA "ALEATORIO" SE REFIERE AL METODO DE SELECCIONAR UNA MUESTRA MAS BIEN QUE A LA MUESTRA PARTICULAR ESCOGIDA. CUALQUIER MUESTRA POSIBLE PUEDE SER UNA MUESTRA IRRESTRICTA ALEATORIA, POR MUY POCO REPRESENTATIVA QUE PUEDA APARECER, CON TAL DE QUE HAYA SIDO OBTENIDA SIGUIENDO LA REGLA DE DAR UNA PROBABILIDAD IGUAL A CADA UNA DE LAS MUESTRAS POSIBLES.

PROCEDIMIENTO DE SELECCIONAR UNA MUESTRA ALEATORIA

EL PROCEDIMIENTO ES EN LA SIGUIENTE FORMA: (A) IDENTIFICAR N UNIDADES EN LA POBLACION CON LOS NUMEROS DEL 1 AL N, O LO QUE ES LA MISMA COSA, PREPARAR UNA LISTA DE UNIDADES EN LA POBLACION Y NUMERARLAS SERIADAMENTE: (B) SELECCIONAR DE MANERA SISTEMATICA NUMEROS *DIFERENTES* DE LA TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS, Y (C) TOMAR PARA LA MUESTRA LAS n UNIDADES CUYOS NUMEROS CORRESPONDEN A AQUELLOS OBTENIDOS DE LA TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS.

UNA MANERA USADA COMUNMENTE PARA EVITAR EL RECHAZO DE TANTOS NUMEROS ES DIVIDIR UN NUMERO ALEATORIO ENTRE N Y TOMAR EL RESIDUO COMO EQUIVALENTE AL NUMERO SERIADO CORRESPONDIENTE ENTRE 1 Y N-1, CORRESPONDIENDO EL RESIDUO CERO AL N .

MÉTODOS NO ALEATORIOS DE MUESTREO

LOS METODOS DE MUESTREO QUE NO ESTAN BASADOS EN LAS LEYES DE

PROBABILIDAD, SINO QUE EL JUICIO PERSONAL DEL ENUMERADOR DETERMINA CUALES UNIDADES DEBEN SER INCLUIDAS EN LA MUESTRA, SE LLAMAN METODOS NO ALEATORIOS O INTENCIONALES. SI QUEREMOS TENER ESTIMADAS INSESGADAS DEL CARACTER DE LA POBLACION CUYA EXACTITUD PUEDA SER CALCULADA DE LAS MISMAS MUESTRAS, SOLAMENTE DEBERA USARSE EL MUESTREO PROBABILISTICO.

ERRORES NO DE MUESTREO

LA EXACTITUD DE UN RESULTADO SE AFECTA NO SOLO POR LOS ERRORES DE MUESTREO QUE SURGEN DE LA VARIACION POR AZAR EN LA SELECCION DE LA MUESTRA, SINO TAMBIEN POR: A) FALTA DE PRECISION AL REPORTAR OBSERVACIONES; B) SELECCION INCOMPLETA O DEFECTUOSA DE UNA MUESTRA ALEATORIA, Y C) METODOS DEFECTUOSOS DE ESTIMACION. ESTOS ERRORES, PARTICULARMENTE AQUELLOS DE A) Y B), SE AGRUPAN USUALMENTE BAJO EL ENCABEZADO DE "ERRORES NO DE MUESTREO".

GENERACION DE NÚMEROS ALEATORIOS

COMO SE MENCIONO EN LA SECCION 5.1, EN LOS PROCESOS DE SIMULACION SE UTILIZAN FRECUENTEMENTE NUMEROS ALEATORIOS. ESTOS NUMEROS O VALORES DE VARIABLES ALEATORIAS CON DISTINTAS FUNCIONES DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD. EN ESTA PARTE SE CONSIDERAN LAS FORMAS DE OBTENER DICHOS NUMEROS ALEATORIOS.

MÉTODOS MANUALES

LA MANERA MAS SENCILLA, Y LA PRIMERA EN QUE SE PIENSA CUANDO SE TRATA DE GENERAR NUMEROS ALEATORIOS, ES MEDIANTE EL EMPLEO DE ALGUN DISPOSITIVO MECANICO (POR EJEMPLO, UN DADO O UNA MONEDA).

DISPOSITIVOS USADOS COMUNMENTE PARA GENERAR NUMEROS ALEATORIOS POR METODOS MANUALES SON: LOS DADOS, LAS MONEDAS Y COMBINACIONES DE ESTAS, O SEA CONJUNTOS DE DADOS Y DE MONEDAS. EXISTEN TAMBIEN DADOS ESPECIALES CON 10 CARAS PARA GENERAR DIRECTAMENTE NUMEROS DECIMALES.

LOS METODOS MANUALES DE GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS, TIENEN LA VENTAJA DE SER FACILMENTE COMPRENDIDOS EN FORMA INTUITIVA Y GENERAN NUMEROS ALEATORIOS Y SECUENCIAS DE ESTOS DE BUENA CALIDAD. SIN EMBARGO, SON SUMAMENTE LENTOS Y LABORIOSOS Y NO PUEDEN REPETIRSE SECUENCIAS DE NUMEROS EN CASO DE QUE SE NECESITEN.

TABLAS DE NÚMEROS ALEATORIOS

EXISTE UN GRAN NUMERO DE PUBLICACIONES DE *TABLAS DE NUMEROS*, ENTRE LAS MAS FAMOSAS SE CUENTA: RAND CORPORATION. A MILLION RANDOM DIGITS WITH 100 000 NORMAL DEVIATES.

CASI TODOS LOS LIBROS DE PROBABILIDAD CUENTAN CON ESTAS TABLAS.

EL UTILIZAR TABLAS DE NUMEROS ALEATORIOS PERMITE REPETIR UNA SECUENCIA ALEATORIA TANTAS VECES COMO SEA NECESARIO.

MÉTODOS DE COMPUTACIÓN ANALÓGICA

ESTOS METODOS SON, EN ESENCIA, SIMILARES A LOS METODOS MANUALES. POR LO TANTO, TIENEN COMO ESTOS LA DESVENTAJA DE QUE NO SE PUEDE REPRODUCIR SECUENCIAS CUANDO ES NECESARIO.

UNO DE LOS METODOS UTILIZADOS PARA GENERAR NUMEROS CON UNA COMPUTADORA ANALOGICA, CONSISTE EN INTEGRAR UN RUIDO (COMO LA ESTATICA DEL RADIO) DURANTE UN CIERTO PERIODO DE TIEMPO Y CONSIDERAR EL VALOR DE LA INTEGRAL COMO NUMERO ALEATORIO.

MÉTODOS DE COMPUTACIÓN DIGITAL

ESTOS METODOS SON LOS MAS COMUNMENTE UTILIZADOS EN LA SIMULACION. EN PARTICULAR SE VERAN AQUELLOS METODOS DE COMPUTACION DIGITAL EN LOS QUE LAS SECUENCIAS DE NUMEROS SE GENERAN MEDIANTE RELACIONES DE RECURRENCIA.

UNA *RELACION DE RECURRENCIA* ES AQUELLA QUE PERMITE OBTENER CUALQUIER NUMERO DE UNA SUCESION A PARTIR DEL NUMERO ANTERIOR.

LOS METODOS MAS COMUNES PARA GENERAR NUMEROS ALEATORIOS EN UNA COMPUTADORA DIGITAL SON METODOS RECURRENTES, ENTRE ESTOS, LOS MAS CONOCIDOS Y EXITOSOS SON LOS *METODOS CONGRUENCIALES*, QUE SON LOS QUE SE CONSIDERAN A CONTINUACION.

PRIMERAMENTE SE ELIGEN CUATRO NUMEROS O PARAMETROS DE LA FUNCION DE RECURRENCIA CONGRUENCIAL:

x_o	VALOR INICIAL	$x_o \geq o$
a	EL MULTIPLICADOR	$a \geq o$
c	EL INCREMENTO	$c \geq o$
m	EL MODULO	$m > x_o$ $m > a$ $m > o$

Tabla
Estimadores Aplicables a Muestreo Aleatorio Simple

Parámetro	*Estimador del Parámetro*	*Variancia del estimador*	*Estimador de la Variancia*	*Intervalos de confianza**
Media	$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i$	$V(\bar{y}) = (1-f) \frac{S^2}{n}$	$\hat{V}(\bar{y}) = (1-f) \frac{s^2}{n}$	$\bar{y} \mp t(\hat{V}(\bar{y}))^{1/2}$
Total	$N\bar{y} = \frac{N}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i$	$V(N\bar{y}) = (1-f) \frac{N^2 S^2}{n}$	$\hat{V}(N\bar{y}) = (1-f) \frac{N^2 s^2}{n}$	$N\bar{y} \mp t(\hat{V}(N\bar{y}))^{1/2}$
Porcentaje	$p = \frac{a}{n} 100$ $\hat{A} = N \frac{a}{n}$	$V(p) = \frac{NPQ\ (1-f)}{(N-1)\ n}$ $V(\hat{A}) = \frac{N^3 PQ}{N-1} \frac{(1-f)}{n}$	$\hat{V}(p) = \frac{N-n}{(n-1)N}\ pq$ $\hat{V}(A) = \frac{N(N-n)}{n-1}\ pq$	$p \mp t(\hat{V}(p))^{1/2}$ $\hat{A} \mp t(\hat{V}(\hat{A}))^{1/2}$
Razones	$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i}$	$V(\hat{R}) = \frac{1-f}{n\bar{X}^2} \frac{\sum_{i=1}^{N} (y_i - Rx_i)^2}{N-1}$	$\hat{V}(\hat{R}) = \frac{1-f}{n\bar{X}^2} \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{R}x_i)^2}{n-1}$ Nota: Cuando se desconoce $\bar{X}$ puede ser usado $\bar{x}$ en su lugar.	$\hat{R} \mp t(\hat{V}(\hat{R}))^{1/2}$

* Para obtener intervalos de confianza del 95% use t = 2.

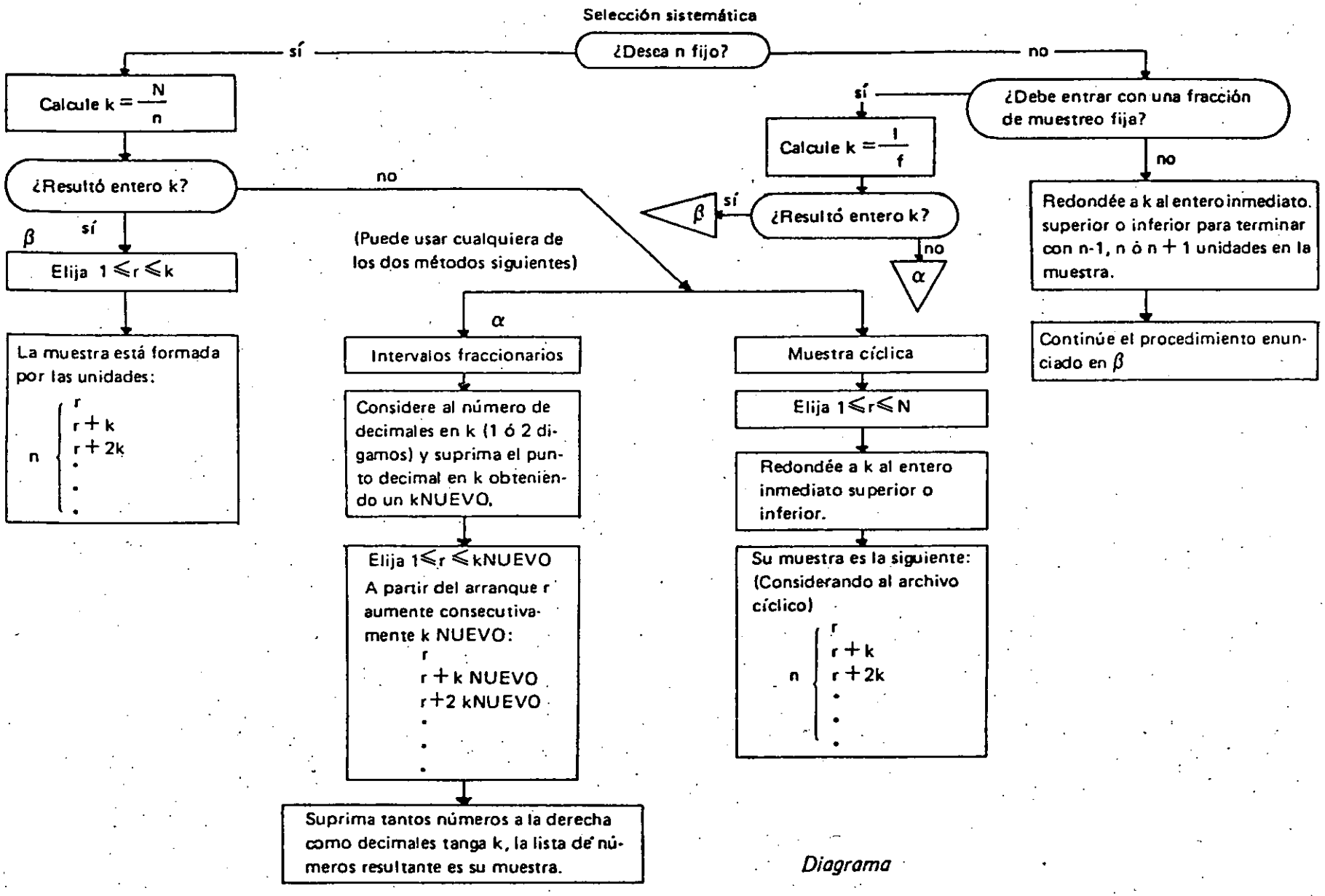
TABLA
Fórmulas para el cálculo de varianzas estimadas (m. a. s.)

Parámetro	*Estimador*	*Se requiere*
Media	$\frac{1-f}{n} \frac{1}{n-1} \left(\sum^{n} y_i^2 - \frac{(\sum^{n} y_i)^2}{n}\right)$	*i)* La suma de cuadradros de cada observación. *ii)* La suma de las observaciones elevada al cuadrado.
Total	$\frac{N^2(1-f)}{n} \frac{1}{n-1} \left(\sum^{n} y_i^2 - \frac{(\sum^{n} y_i)^2}{n}\right)$	Misma información que para la media.
Razón	$\frac{1-f}{n\bar{X}^2} \frac{1}{n-1} \left(\sum^{n} y_i^2 - 2\hat{R}\sum^{n} y_i x_i + \hat{R}^2 \sum x_i^2\right)$ Donde $\hat{R} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}}$	*i)* La suma de cuadrados de cada observación de la variable en el numerador. *ii)* La suma de cuadrados de cada observación de la variable en el denominador. *iii)* La suma de productos mixtos de las observaciones de una variable por la otra.
Proporción	$\frac{a}{n}$	*i)* El número total de unidades muestrales con la característica de interés.

Tabla

Estimadores aplicables a muestreo estratificado, con afijación proporcional y muestreo aleatorio simple en cada estrato.

	ESTRATO		*POBLACION*	
Media	$\bar{y}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} y_{hi}$	$\hat{V}(\bar{y}_h) = (1 - f_h)\frac{s_h^2}{n_h}$	$\bar{y}_{est} = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^{L} \sum_{i=1}^{n_h} y_{hi}$	$\hat{V}(\bar{y}_{est}) = \frac{1-f}{nN} \sum_{h=1}^{L} N_h s_h^2$
Total	$N_h\bar{y}_h = \frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} y_{hi}$	$\hat{V}(N_h\bar{y}_h) = N(N\text{-}n)\frac{s_h^2}{n_h}$	$N\bar{y}_{est} = \frac{N}{n} \sum_{h=1}^{L} \sum_{i=1}^{n_h} y_{hi}$	$\hat{V}(N\bar{y}_{est}) = \frac{N(1-f)}{n} \sum_{h=1}^{L} N_h s_h^2$
Porcentaje	$p_h = \frac{a_h}{n_h} 100$	$\hat{V}(p_h) = \frac{N_h - n_h}{N_h(n_h - 1)} p_h q_h$	$p_{est} = \left[\frac{1}{n} \sum_{h=1}^{L} a_h\right] 100$	$\hat{V}(p_{est}) = \frac{1-f}{N} \sum_{h=1}^{L} \frac{N_h^2}{nN_h - N} p_h q_h$


Selección sistemática
¿Desea n fijo?
sí
no
Calcule k = N/n
¿Resultó entero k?
no
β
sí
Elija 1 ≤ r ≤ k
La muestra está formada por las unidades:
n { r, r + k, r + 2k, . . .
(Puede usar cualquiera de los dos métodos siguientes)
α
Intervalos fraccionarios
Considere al número de decimales en k (1 ó 2 digamos) y suprima el punto decimal en k obteniendo un kNUEVO.
Elija 1 ≤ r ≤ kNUEVO
A partir del arranque r aumente consecutivamente k NUEVO:
r
r + k NUEVO
r + 2 kNUEVO
Suprima tantos números a la derecha como decimales tanga k, la lista de números resultante es su muestra.
Muestra cíclica
Elija 1 ≤ r ≤ N
Redondée a k al entero inmediato superior o inferior.
Su muestra es la siguiente: (Considerando al archivo cíclico)
n { r, r + k, r + 2k, . . .
¿Debe entrar con una fracción de muestreo fija?
sí
Calcule k = 1/f
¿Resultó entero k?
sí
β
no
α
no
Redondée a k al entero inmediato. superior o inferior para terminar con n-1, n ó n + 1 unidades en la muestra.
Continúe el procedimiento enunciado en β

Diagrama

MUESTREO POR CONGLOMERADOS

N: Número de Conglomerados
n: Tamaño de Muestra de conglomerados
M_i: Tamaño de Conglomerado i
$M = \sum_{i=1}^{N} M_i$ Total de elementos en toda la población

Estimador del Valor Medio por Conglomerado:

$$\hat{\bar{y}} = \bar{y} = \frac{1}{n}\sum^{n} y_i = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{M_i} y_{ij}$$

Estimador del Valor Total en conglomerados y elementos:

$$\hat{y} = N\bar{y} = \frac{N}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

Estimador de la Media por Elemento:

$$\hat{\bar{\bar{y}}} = \bar{\bar{y}} = \frac{\hat{y}}{M} = \frac{1}{M}\frac{1}{n}\sum^{n} y_i$$

Varianzas Estimadas de estos estimadores:

$$\hat{V}(\bar{y}) = \frac{1-f}{n}\frac{\sum^{n}(y_i-\bar{y})^2}{n-1}, \quad \hat{V}(N\bar{y}) = \frac{N^2(1-f)}{n}\frac{\sum^{n}(y_i-\bar{y})^2}{n-1}, \quad \hat{V}(\bar{\bar{y}}) = \frac{1-f}{nM^2}\frac{\sum(y_i-\bar{y})^2}{n-1}$$

Estimador de Razón para Total Poblacional:

$$\hat{y}_R = \frac{\sum^{n} y_i}{\sum^{n} M_i} M$$

con $\hat{V}(\hat{y}_R) = \frac{N^2(1-f)}{n}\frac{\sum^{n}(y_i - \bar{\bar{y}}_R M_i)^2}{n-1}$

Estimador de Razón para la Media Poblacional:

$$\hat{\bar{\bar{y}}}_R = \bar{\bar{y}}_R = \frac{\hat{y}_R}{M} = \frac{\sum^{n} y_i}{\sum^{n} M_i}$$

con $\hat{V}(\hat{\bar{\bar{y}}}_R) = \frac{1-f}{nM^2}\frac{\sum^{n}(y_i - \bar{y}_R M_i)^2}{n-1}$

Estimador de Razón de Porcentaje:

$$\hat{P}_R = P_r = \frac{\sum^{n} a_i}{\sum^{n} M_i} 100$$

con $\hat{V}(P_R) = \frac{1-f}{nM^2}\frac{\sum^{n} a_i^2 - 2P_R\sum^{n} a_i M_i + P_R^2\sum^{n} M_i^2}{n-1}$

EJEMPLO

Compañía con 10000 empleados en 600 oficinas. Se elige muestra de 20 oficinas y se identifica el número de hijos menores de cuatro años por empleado:

O	E	H	O	E	H
1	15	30	11	20	30
2	18	54	12	30	30
3	12	12	13	22	42
4	15	15	14	15	30
5	10	10	15	20	40
6	20	80	16	18	24
7	15	30	17	18	45
8	16	32	18	20	40
9	18	54	19	25	25
10	18	36	20	25	75

$\sum^{20} M_i = 368$, $\sum^{20} y_i = \sum \sum y_{ij} = 734$, $\sum y_i^2 = 33\,336$

$\sum M_i y_i = 14\,241$, $\sum M_i^2 = 7186$

ESTIMADORES INSESGADOS

- $\bar{\bar{y}} = \frac{600}{20(10000)} 734 = 2.202$ niños/empleado
  con error estándar de 0.25 niños/empleado
- $\bar{y} = 734/20 = 36.7$ niños/oficina
- $\hat{y} = N\bar{y} = 600(36.7) = 22\,020$ niños
  con error estándar de 2 462 niños

ESTIMADORES DE RAZON

- $\bar{\bar{y}}_R = 734/368 = 1.99$ niños/empleado
  con error estandar de 0.22 niños/empleado
- $\hat{y}_R = 1.99(10000) = 19\,900$ niños
  con error estándar de 2200 niños

MUESTREO BIETAPICO

M_i : Tamaño del i-ésimo conglomerado primario

$M = \sum^{N} M_i$: Total de elementos de conglomerados primarios

N : conglomerados de primera etapa

n : tamaño de muestra de conglomerados de primera etapa

m_i : tamaño de submuestra en i-ésima unidad primaria

y_{ij} : valor de característica en j-ésimo elemento de conglomerado i

$y_i = \sum^{m_i} y_{ij}$; $\bar{y}_i = y_i / m_i$: Total y medias muestrales

- VALOR DE MEDIA POR UNIDAD PRIMARIA O CONGLOMERADO:

$$\bar{y} = \sum^{N} \sum^{M_i} y_{ij} / N = \sum^{N} y_i / N$$

- VALOR DE LA MEDIA POR ELEMENTO:

$$\bar{\bar{y}} = \sum^{N} \sum^{M_i} y_{ij} / \sum^{N} M_i = \sum^{N} y_i / \sum^{N} M_i = \sum^{N} y_i / N$$

- VALOR DEL TOTAL POBLACIONAL:

$$y = \sum^{N} \sum^{M_i} y_{ij} = \sum^{N} y_i$$

- ESTIMADORES INSESGADOS DE LA MEDIA POR ELEMENTO Y DEL TOTAL:

$$\hat{\bar{\bar{y}}} = \bar{\bar{y}} = \frac{1}{n\bar{M}} = \sum^{n} M_i \bar{y}_i \quad , \quad \hat{y} = M\bar{\bar{y}}$$

con varianzas estimadas:

$$\hat{V}(\bar{\bar{y}}) = \frac{1-f_1}{n\bar{M}^2} S_1^2 + \frac{1}{nN\bar{M}^2} \sum^{n} M_i^2 (1-f_{2i}) \frac{S_{2i}^2}{m_i} \quad , \quad \hat{V}(\hat{y}) = M^2 \hat{V}(\bar{\bar{y}})$$

$$f_1 = n/N \; , \; f_{2i} = m_i/N_i \; , \; S_1^2 = \frac{\sum^{n} (M_i \bar{y}_i - \bar{M}\bar{\bar{y}})^2}{n-1} \; , \; S_{2i}^2 = \frac{\sum^{m_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{m_i - 1}$$

- ESTIMADORES DE RAZON DE LA MEDIA POR ELEMENTO Y DEL TOTAL:

$$\hat{\bar{\bar{y}}} = \bar{\bar{y}}_R = \sum^{n} M_i \bar{y}_i / \sum^{n} M_i \quad , \quad \hat{y}_R = \bar{\bar{y}}_R \sum^{N} M_i = \bar{\bar{y}}_R \cdot M$$

con varianzas estimadas:

$$\hat{V}(\bar{\bar{y}}_R) = \frac{1-f_1}{n\bar{M}^2} S_1^2 + \frac{1}{nN\bar{M}^2} \sum^{n} M_i^2 (1-f_{2i}) \frac{S_{2i}^2}{m_i} \quad , \quad \hat{V}(\hat{y}_R) = (\sum^{N} M_i)^2 \hat{V}(\bar{\bar{y}}_R)$$

con $S_1^2 = \sum^{n} M_i^2 (\bar{y}_i - \bar{\bar{y}}_R)^2 / (n-1)$, $S_{2i}^2 = \sum^{m_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 / (m_i - 1)$

- ESTIMADOR ESTRATIFICADO DEL VALOR MEDIO POR ELEMENTO:

$$\hat{\bar{\bar{y}}}_{est} = \sum^{L} M_h \bar{\bar{y}}_h / \sum^{L} M_h$$

con varianza estimada: $\hat{V}(\bar{\bar{y}}_{est}) = \sum_h \left[\frac{M_h}{\sum^{L} M_h} \right]^2 \hat{V}(\bar{\bar{y}}_h)$

E J E M P L O S

1. En una entidad, existen 9000 comercios, concentrados en 20 zonas de la capital y 10 poblaciones cercanas. Se elige aleatoriamente 6 de ellas y usando listados de los comercios de estas zonas, se elige aleatoriamente el 5% de estos comercios listados. Los datos son:

i	1	2	3	4	5	6
M_i	400	200	650	300	100	350
m_i	20	10	33	15	5	18
y_i	480	90	785	114	23	137
$M_i\bar{y}_i$	9600	1800	15462	2280	460	2663
f_{2i}	.05	.05	.051	.05	.05	.051
$M_i^2(1-f_{2i})$	152000	38000	400952	85500	9500	116252
s_{2i}^2	512	36	1309	62	3	77
$(\bar{y}_i-\bar{y}_R)^2$	61.93	50.83	58.52	72.76	132.94	72.59

ESTIMADORES INSESGADOS:

- $\bar{\bar{y}} = \left(\frac{1}{nM}\right)\sum^{n} M_i\bar{y}_i = \frac{30}{6(9000)}(32\,265) = 17.92$ empleados/comercio

con $\hat{V}(\bar{\bar{y}}) = \frac{1-6/30}{6(300)^2}(34\,693\,997) + \frac{21\,031\,830}{6(30)(300)^2} = 52.68$, $EE(\bar{\bar{y}}) = 7.26$

$\bar{\bar{y}} \pm 2\,EE(\bar{\bar{y}})$; $17.92 \pm 2(7.26) \Rightarrow \quad 3.4 < \bar{\bar{y}} < 32.44$

ESTIMADORES DE RAZON:

- $\bar{\bar{y}}_R = \frac{\sum^{n} M_i\bar{y}_i}{\sum^{n} M_i} = \frac{32\,265}{2\,000} = 16.13$ empleados/comercio

con $\hat{V}(\bar{\bar{y}}_R) = \frac{1-6/30}{6(300)}(10\,696\,389) + 1.29 = 17.14$, $EE(\bar{\bar{y}}) = 4.14$

$\bar{\bar{y}} \pm 2EE(\bar{\bar{y}})$; $16.13 \pm 2(4.14) \Rightarrow \quad 7.85 < \bar{\bar{y}} < 24.41$

2. De diez listas de agricultores, se eligen tres listas al azar para a su vez muestrear aleatoriamente la centésima parte de cada una de estas tres listas:

$\bar{M} = \sum^{N} M_i / N = \sum^{10} M_i / 10 = 14\,278 / 10 = 1428$

$\bar{\bar{y}} = \frac{1}{n\bar{M}}\sum M_i\bar{y}_i = \frac{22\,100}{3(1428)} = 5.16$ h/a , $EE(\bar{\bar{y}}) = 1.51 \Rightarrow [2.14, 8.18]$

$\bar{\bar{y}}_R = \frac{\sum M_i\bar{y}_i}{\sum M_i} = \frac{22\,100}{3400} = 6.5$ h/a, $EE(\bar{\bar{y}}_R) = 0.364 \Rightarrow [5.77, 7.23]$

Tabla

Conglomerado primario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Suma
No. de agricultores por unidad primaria M_i	78	1000	400	2200	700	1400	500	2000	3000	3000	14278
Unidades primarias en la muestra		*	*					*			

de cada 100 unidades secundarias. Las observaciones correspondientes y otros cálculos necesarios aparecen en la tabla 8.3.

a) Usando el estimador insesgado de la expresión 8.1 tenemos:

$$\bar{\bar{y}} = \frac{1}{n\bar{M}} \sum_{i=1}^{i=n} M_i\bar{y}_i = \frac{22\,100}{3(1\,428)} = \frac{22\,100}{4\,284}$$

$$= 5.16 \text{ hijos por agricultor}$$

5.16 es el número medio estimado de hijos por agricultor. Para la estimación de su variancia, según la expresión 8.2 tenemos:

$$s_1^2 = \frac{\sum^{i=3} (M_i\bar{y}_i - \bar{M}\bar{\bar{y}})^2}{n-1} = \frac{1}{3-1}(39\,046\,672) = 19\,523\,336$$

$$\sum_{i=1}^{i=3} M_i^2(1-f_{2i})\frac{s_{2i}^2}{m_i} = 2\,771\,208$$

Por lo cual $\hat{V}(\bar{\bar{y}})$ vale:

$$\hat{V}(\bar{\bar{y}}) = \frac{1-\frac{3}{10}}{3(1\,428)^2}(19\,523\,336) + \frac{2\,771\,208}{3(10)(1\,428)^2}$$

$$= 2.23 + 0.0453 = 2.28$$

Tabla

Primaria	*1*	*2*	*3*	
No. de agricultores por unidad primaria en la muestra M_i	1 000	400	2 000	$\sum_{i=1}^{i=3} M_i = 3\,400$
Fracción de muestreo en las secundarias f_{2i}	0.01	0.01	0.01	
No. de agricultores submuestreados m_i	10	4	20	
No. de hijos por agricultor en la submuestra y_{ij}	6,2,11,8, 6,7,6,5, 8,10.	9,9,10, 4.	1,3,3,1,9,14, 7,10,4,5,7,7, 6,5,6,8,4,6,7,7.	
No. de hijos en la muestra por unidad primaria $y_i = \sum_{j=1}^{j=m_i} y_{ij}$	69	32	120	
No. medio estimado de hijos por unidad primaria en la muestra $\bar{y}_i = \frac{y_i}{m_i}$	6.9	8	6	
No. total estimado de hijos por unidad primaria en la muestra $M_i\bar{y}_i$	6 900	3 200	12 000	$\sum_{i=1}^{i=3} M_i\bar{y}_i = 22\,100$
$(1-f_{2i})$	0.99	0.99	0.99	
$M_i^2(1-f_{2i})$	990 000	158 400	3 960 000	
s_{2i}^2	6.54	7.33	9.26	
$(\bar{y}_i - \bar{\bar{y}}_R)^2$	0.16	2.25	0.25	

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

CURSOS ABIERTOS
CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO DE CALIDAD

INTRODUCCION GENERAL

INTRODUCCION A CARTAS DE CONTROL

PROMINISTRACION DE LA CALIDAD

EXPOSITOR: RUBEN TELLEZ SANCHEZ

JUNIO
1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

CONSTRUCCION Y EVOLUCION DE LA CALIDAD

100%

ETAPA 7: ORIENTADA AL CONSUMIDOR

Expansión o despliegue de la función de calidad para definir la "voz" del consumidor en términos operacionales.

ETAPA 6: ORIENTADA AL COSTO

Función de pérdida de calidad

ETAPA 5: ORIENTADA A LA SOCIEDAD

Optimización en el diseño de productos y procesos para una función más robusta a mínimo costo

ETAPA 4: HUMANISTICA

Cambiar el pensamiento de todos los empleados a través del entrenamiento y la capacitación

40%

ETAPA 3: ORIENTADA AL SISTEMA

Aseguramiento de la calidad involucrando a toda la empresa: diseño, producción, ventas y servicio

ETAPA 2: ORIENTADA AL PROCESO

Aseguramiento de la calidad durante el producción incluyendo el Control Estadístico del Proceso y aseguramiento de efectividad

ETAPA 1: ORIENTADA AL PRODUCTO

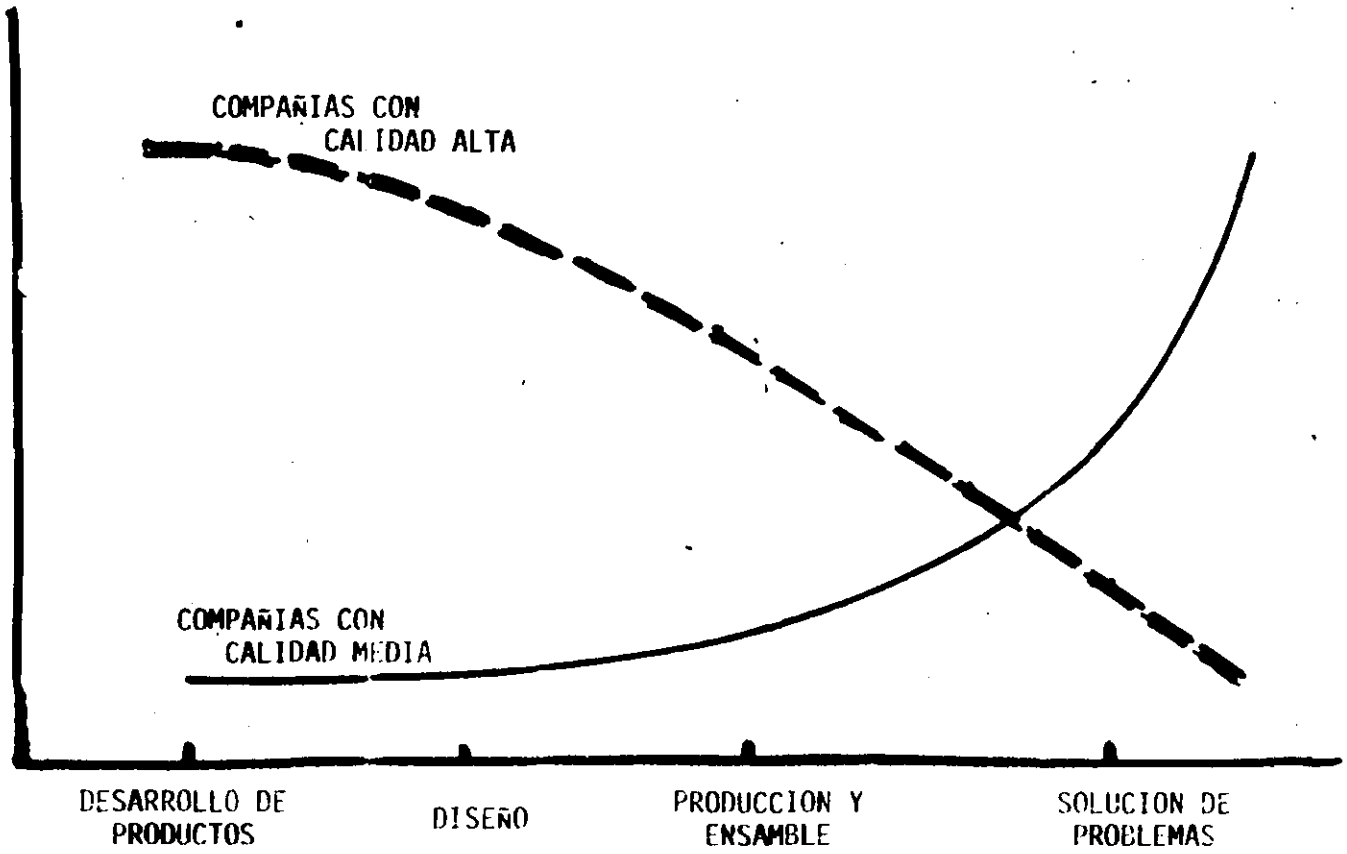
Inspección después de producción, inspección de productos terminados y actividades de solución de problemas

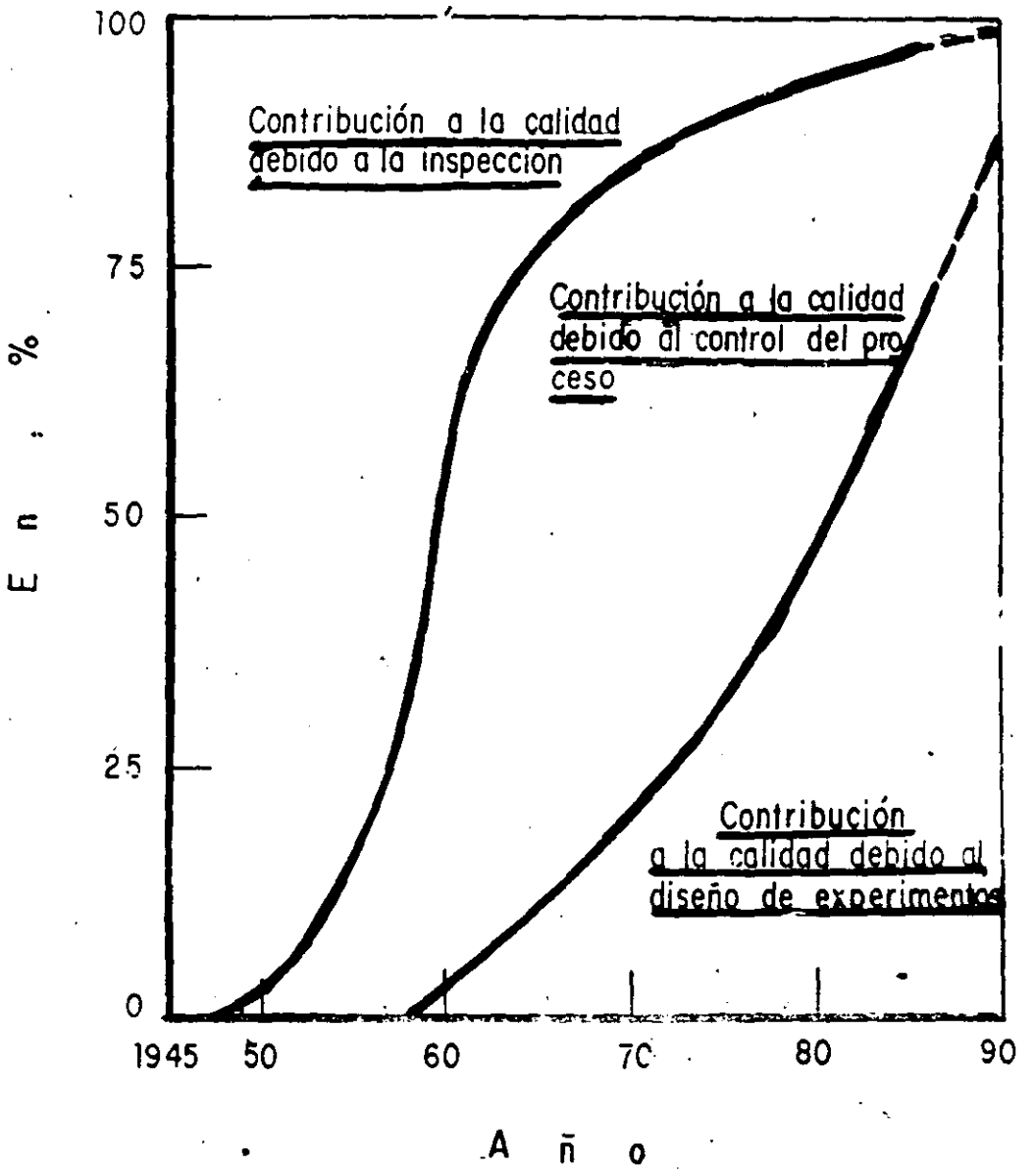
0%

CONTROL DE CALIDAD A LO ANCHO DE LA EMPRESA: Proporcionar productos buenos y de bajo costo, dividiendo los beneficios entre consumidores, trabajadores y accionistas a través del mejoramiento de la calidad de la vida de la gente.

CONTROL TOTAL DE CALIDAD: Sistema para integrar tecnologías de la calidad en los diferentes departamentos de una empresa para alcanzar la satisfacción del cliente.

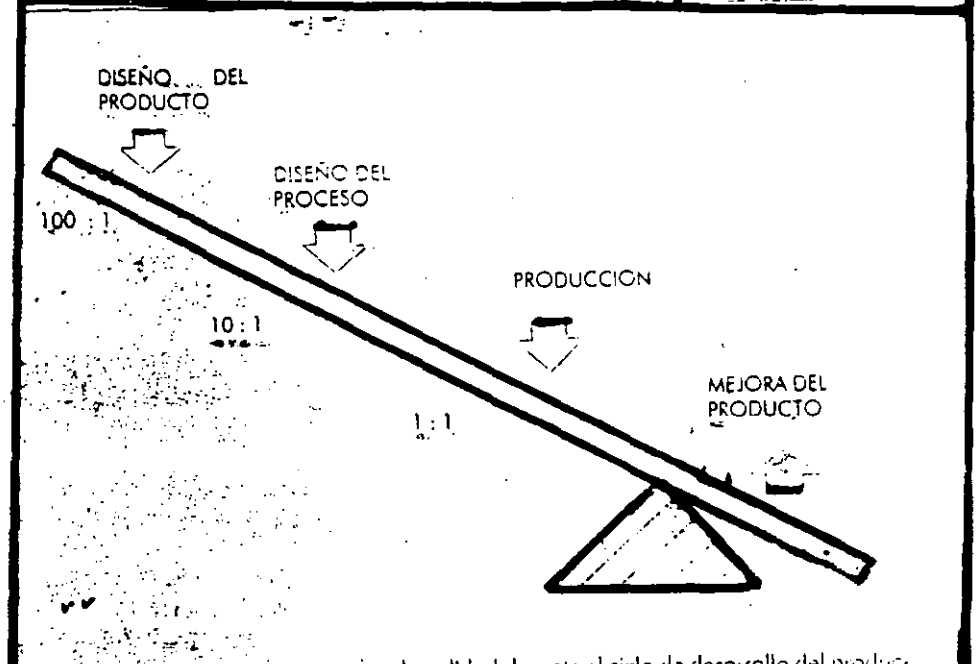
ESFUERZO EN CALIDAD POR ACTIVIDAD





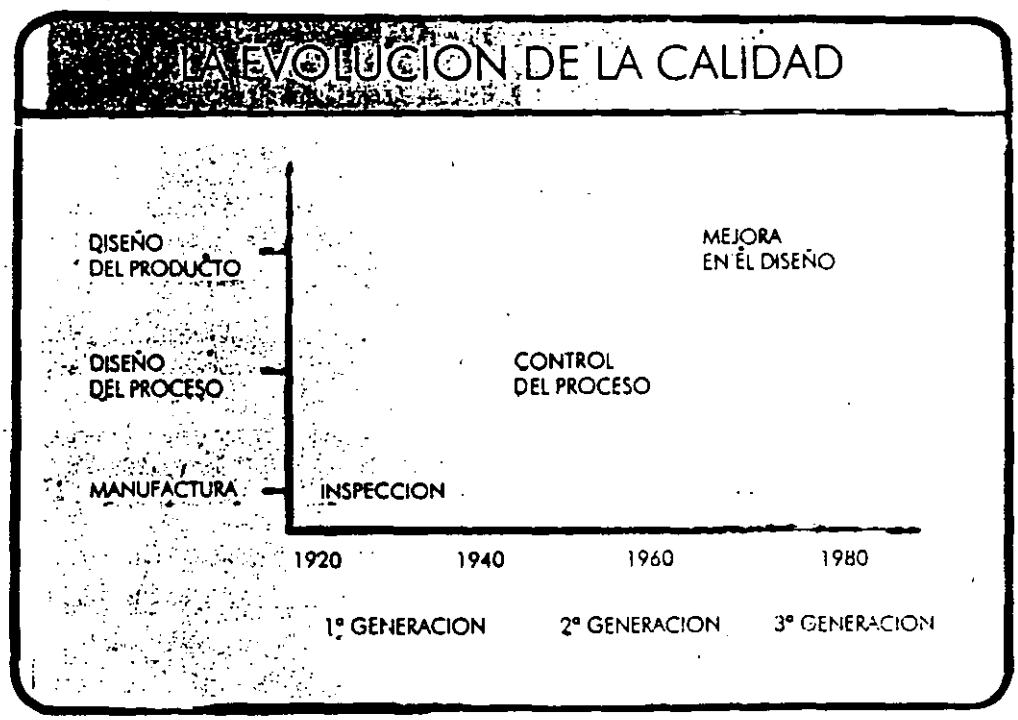
EVOLUCION DE LAS CONTRIBUCIONES A LA CALIDAD

LA PALANCA DE LA CALIDAD



Mientras más pronto se intervenga en la calidad durante el ciclo de desarrollo del producto, mayor será la retribución en términos de esfuerzo y costo.

LA EVOLUCION DE LA CALIDAD



ALTA DIRECCION

- COMPROMISO (1)
- ORGANIZACION (14)

SENTIDO DE CONTROL

- NO AL ERROR, A LA INSPECCION,
  A INSUMOS SOLO POR PRECIO,
  A GHETTOS DEPARTAMENTALES (2, 3, 4, 9)
- MEJORA CONTINUA DE LOS SISTEMAS (5)

CAMBIOS AL RECURSO HUMANO

- VIGOROSO SISTEMA DE EDUCACION
  - EN EL TRABAJO (6)
  - EN LA ESTADISTICA (13)
- NUEVA SUPERVISION (7)
- LIBERACION DEL MIEDO (8) Y
  ORGULLO DEL TRABAJO (12)
- NO A LA FALSA Y CONTRADICTORIA
  MOTIVACION
  - SLOGANS SIN CAMINOS (10)
  - PRESIONES DE SOLO CANTIDAD (11)

ENSEÑANZAS DE DEMING
Y LOS COMPONENTES DE
LA ADMINISTRACION DE CALIDAD TOTAL

FILOSOFIA

- CONSTANCIA DE PROPOSITO (PUNTO # 1)
- ADOPTAR UNA NUEVA FILOSOFIA (PUNTO # 2)
- ENCONTRAR PROBLEMAS Y MEJORAR EL SISTEMA (PUNTO # 5)
- DEJAR TEMORES (PUNTO # 8)
- ROMPER BARRERAS ENTRE DEPARTAMENTOS (PUNTO # 9)
- REMOVER OBSTACULOS A QUIENES TRABAJAN POR HORA

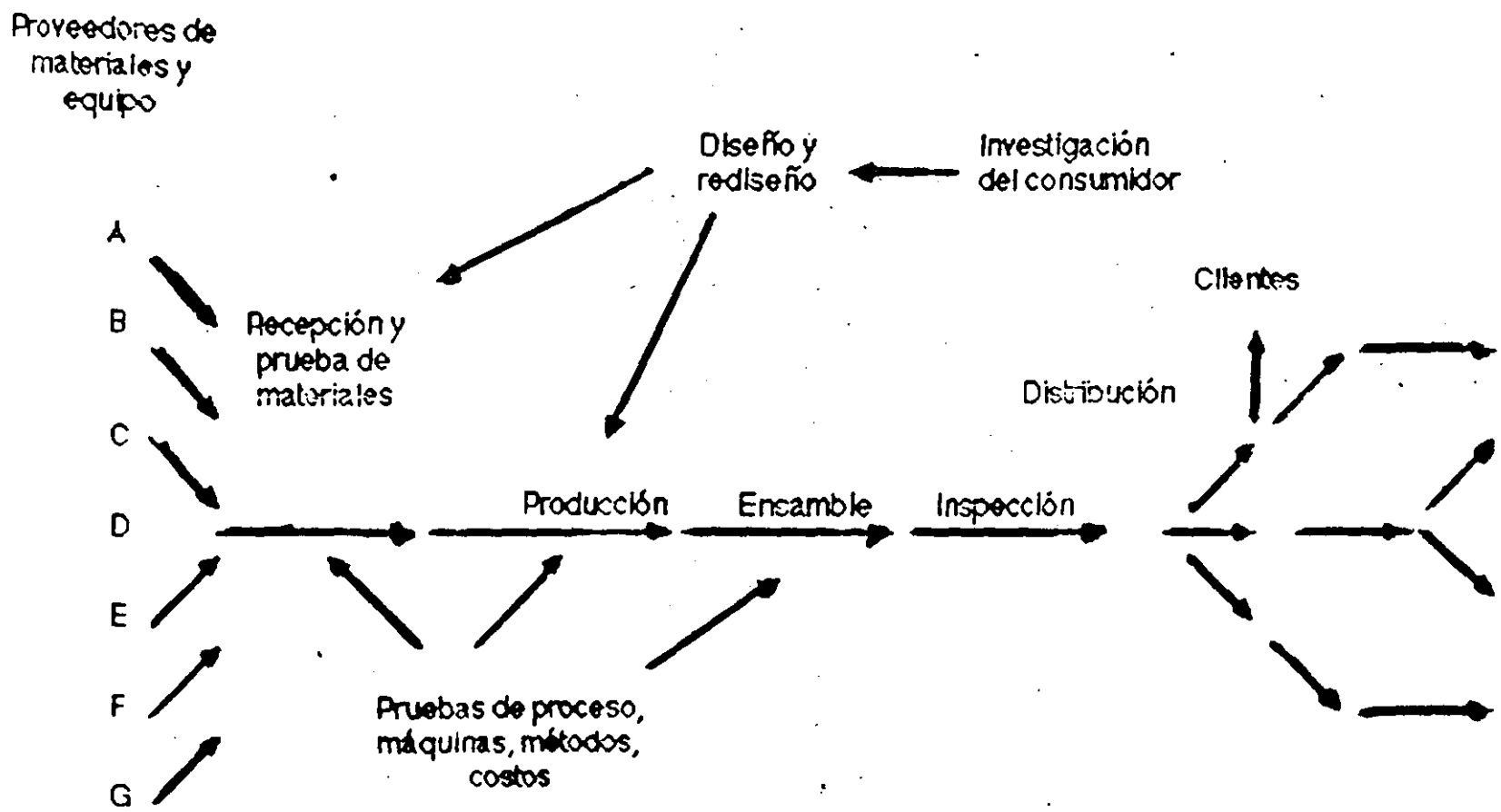
ADMINISTRACION DE POLITICAS Y PROCEDIMIENTOS

- DEJAR DE DEPENDER DE LA INSPECCION MASIVA (PUNTO # 3)
- TERMINAR LA PRACTICA DE COMPRAR A BARATEROS (PUNTO # 4)
- INSTITUIR METODOS MODERNOS DE CAPACITACION EN EL PUESTO (PUNTO # 6)
- INSTITUIR METODOS MODERNOS DE SUPERVISION (PUNTO # 7)
- ELIMINAR GOLES NUMERICOS (PUNTO # 11)
- INSTITUIR PROGRAMAS DE EDUCACION Y RE-ENTRENAMIENTO (PUNTO # 13)
- CREAR SISTEMAS DE ADMINISTRACION PARA HACER LOS PUNTOS 1-13 (PUNTO # 14)

- **HERRAMIENTAS**

- CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO
- COMO SE INDICO EN LOS PARENTESIS, LOS 14 PUNTOS DE DEMING HAN SIDO DIVIDIDOS EN FILOSIFICOS Y EN LOS RELACIONADOS CON LA ADMINISTRACION DE POLITICAS Y PROCEDIMIENTOS

LA PRODUCCION VISTA COMO SISTEMA



EN TODO PROCESO HAY UNA VARIABILIDAD QUE PUEDE SER REDUCIDA PERO NO ELIMINADA.

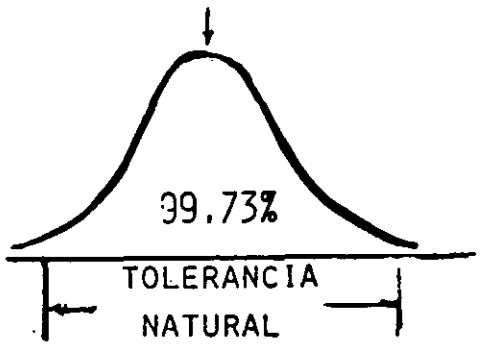
VARIABILIDAD → POR CAUSAS DEL AZAR NATURAL

VARIABILIDAD → POR CAUSAS ASIGNABLES (ANORMAL)

VARIABILIDAD

ANORMAL

NATURAL



HABILIDAD DE PROCESO

Cuatro Situaciones:

1) Proceso dentro de control, cumpliendo en forma segura con las especificaciones.

2) Proceso fuera de control, pero cumpliendo en forma "segura" las especificaciones.

3) Proceso dentro de control, pero sin cumplir con las especificaciones.

4) Proceso fuera de control, sin cumplir con las especificaciones

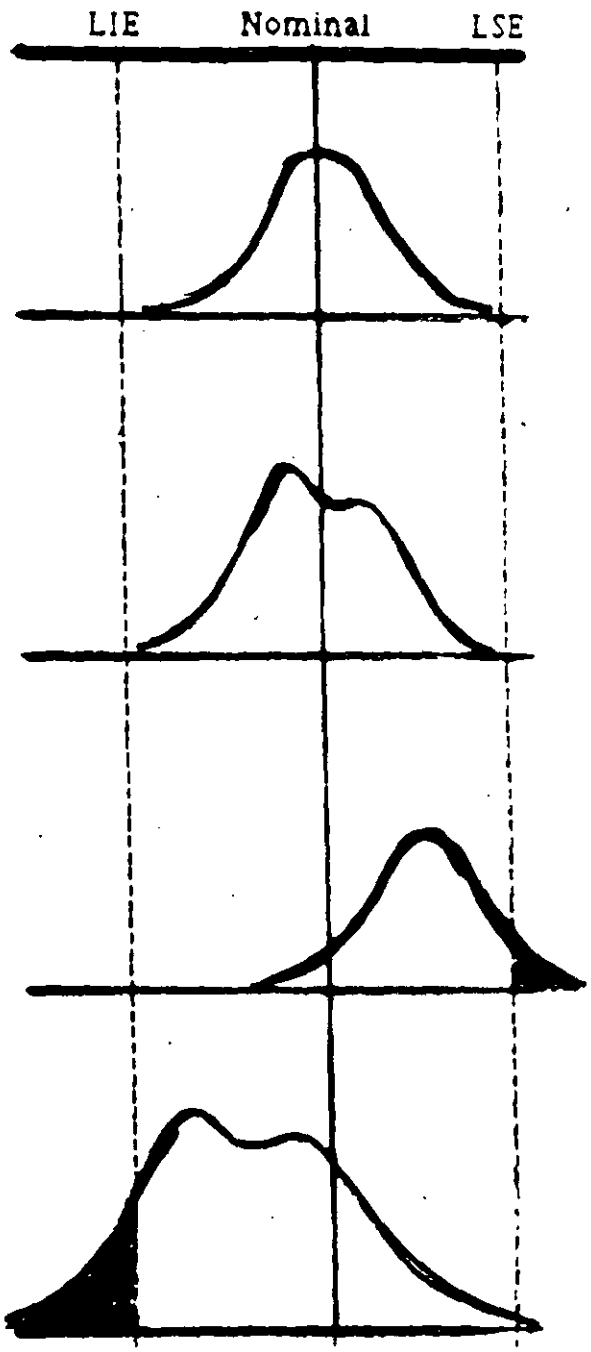
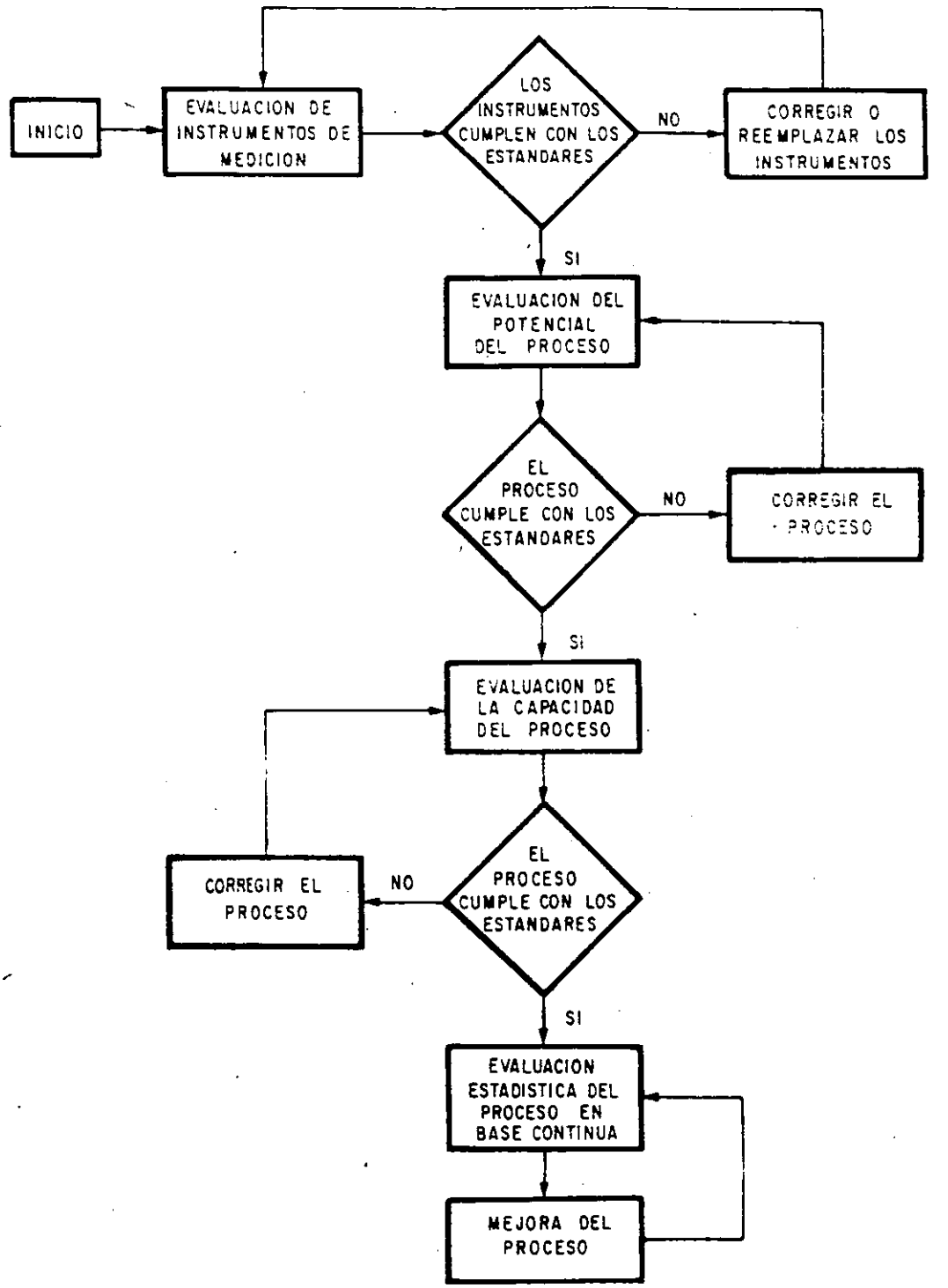
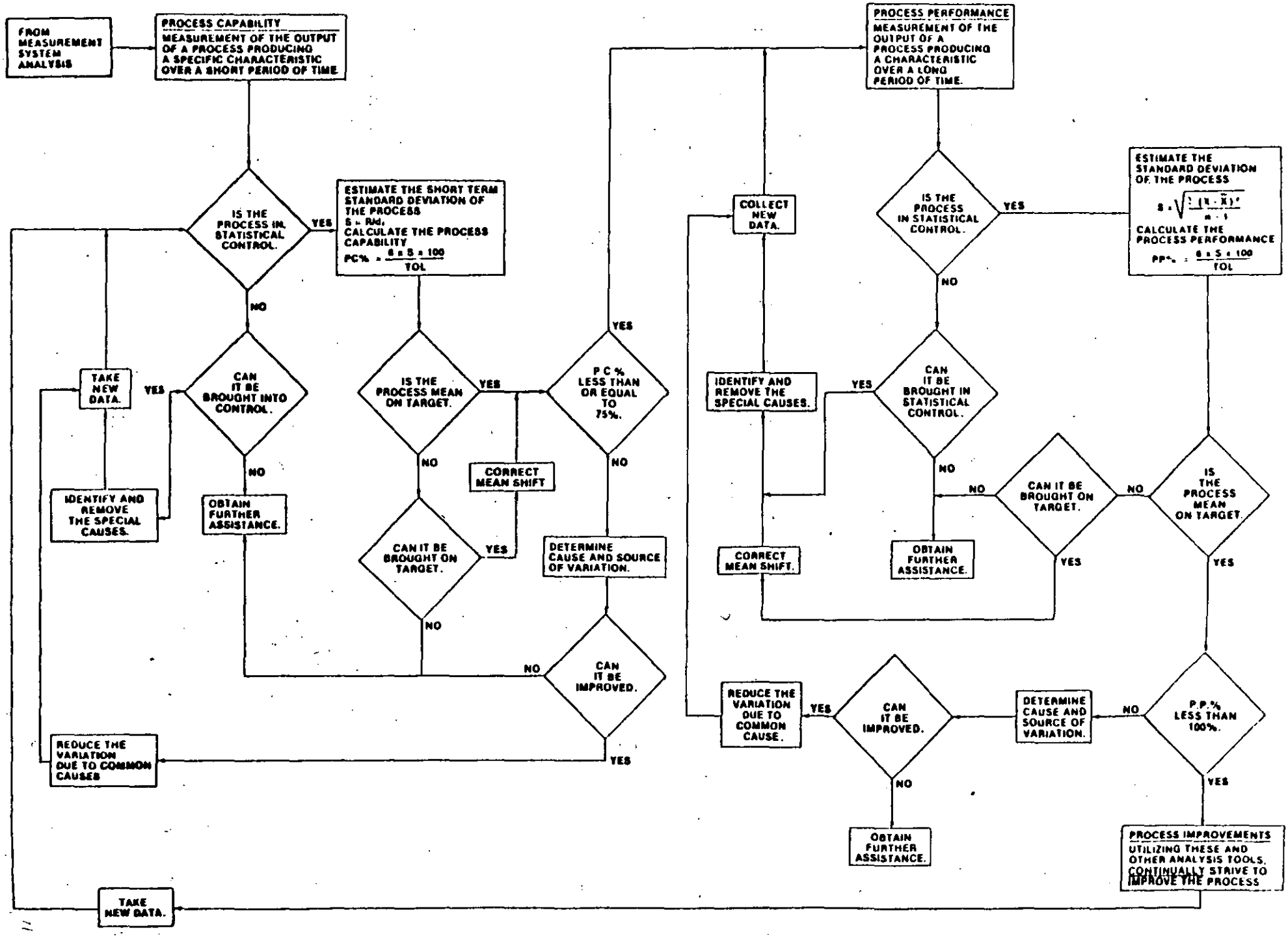


FIGURA REQUERIMIENTOS PARA EL CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO




FROM MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS
PROCESS CAPABILITY
MEASUREMENT OF THE OUTPUT OF A PROCESS PRODUCING A SPECIFIC CHARACTERISTIC OVER A SHORT PERIOD OF TIME
IS THE PROCESS IN STATISTICAL CONTROL.
YES
NO
ESTIMATE THE SHORT TERM STANDARD DEVIATION OF THE PROCESS
S = Rd.
CALCULATE THE PROCESS CAPABILITY
PC% = 6 x S x 100 / TOL
CAN IT BE BROUGHT INTO CONTROL.
TAKE NEW DATA.
IDENTIFY AND REMOVE THE SPECIAL CAUSES.
OBTAIN FURTHER ASSISTANCE.
IS THE PROCESS MEAN ON TARGET.
CORRECT MEAN SHIFT
CAN IT BE BROUGHT ON TARGET.
P C % LESS THAN OR EQUAL TO 75%.
DETERMINE CAUSE AND SOURCE OF VARIATION.
CAN IT BE IMPROVED.
REDUCE THE VARIATION DUE TO COMMON CAUSES
TAKE NEW DATA.
PROCESS PERFORMANCE
MEASUREMENT OF THE OUTPUT OF A PROCESS PRODUCING A CHARACTERISTIC OVER A LONG PERIOD OF TIME.
COLLECT NEW DATA.
IDENTIFY AND REMOVE THE SPECIAL CAUSES.
CORRECT MEAN SHIFT.
REDUCE THE VARIATION DUE TO COMMON CAUSE.
CAN IT BE IMPROVED.
OBTAIN FURTHER ASSISTANCE.
IS THE PROCESS IN STATISTICAL CONTROL.
CAN IT BE BROUGHT IN STATISTICAL CONTROL.
OBTAIN FURTHER ASSISTANCE.
CAN IT BE BROUGHT ON TARGET.
ESTIMATE THE STANDARD DEVIATION OF THE PROCESS
S = √(Σ(X - X̄)² / (n - 1))
CALCULATE THE PROCESS PERFORMANCE
PP% = 6 x S x 100 / TOL
IS THE PROCESS MEAN ON TARGET.
P.P.% LESS THAN 100%.
DETERMINE CAUSE AND SOURCE OF VARIATION.
PROCESS IMPROVEMENTS
UTILIZING THESE AND OTHER ANALYSIS TOOLS, CONTINUALLY STRIVE TO IMPROVE THE PROCESS

CLASES DE DATOS

DATOS CONTINUOS.- SON AQUELLOS QUE PUEDEN TOMAR CUALQUIER VALOR DENTRO DE UN RANGO DADO.
POR EJEMPLO, LONGITUD, TIEMPO, PESO, -- ETC.

DATOS DISCRETOS.- SON AQUELLOS QUE SÓLO PUEDEN TOMAR VALORES ENTEROS DENTRO DE UN RANGO DADO.
POR EJEMPLO, NÚMERO DE DEFECTOS, NÚMERO DE PIEZAS, ETC.

LA TOMA DE DATOS DEBE SER SISTEMATIZADA Y FÁCIL DE REGISTRAR.

POR EJEMPLO, HISTOGRAMAS, GRÁFICAS, ETC.

TIPOS DE DATOS Y GRAFICAS DE CONTROL APLICABLES

TIPO DE DATOS	GRAFICA DE CONTROL USADA
CONTINUOS:	
POR EJEM. %, LONG. PESO	$\bar{X}$ - R
DISCRETOS:	
POR EJEM. NÚMERO DE DEFECTUOSOS.	PN P
NÚMERO DE DEFECTOS - POR MUESTRA.	C
NÚMERO DE DEFECTOS POR UNIDAD.	U

Diagrama de Control	Tipos de Datos	
Diagrama de Control $\bar{X}$ - R	Valor indiscreto	Ejemplo: Medida (1/100 mm) Peso del producto (g). Consumo de energía (kwh).
Diagrama de Control pn Diagrama de Control p	Valor discreto	Ejemplo: Número de unidades defectuosas, Porcentaje, Porcentaje de productos de 2da. clase.
Diagrama de control u	Valor discreto	Ejemplo: Los agujeros para pasadores de planchas de latón de distinta extensión; cuando el tamaño donde existe posibilidad de que aparezcan errores no está unificado, tales como longitud, extensión, volúmen, etc.
Diagrama de control c	Valor discreto	Número de agujeros para pasadores en una extensión igual, número de materias extrañas dentro de un volúmen unificado, cuando el tamaño está unificado: longitud, extensión, volúmen, etc.

Nota:

Para fines de este curso sólo se analizarán los diagramas - "$\bar{X}$" - R " (media - rango).

GRAFICAS $\bar{x}$ Y R

DESCRIBIREMOS DE MANERA BREVE LOS PASOS NECESARIOS - PARA EL USO Y ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL $\bar{x}$ Y R PARA CUALQUIER CARACTERÍSTICA DE CALIDAD (VA - RIABLE) DE UN PRODUCTO.

ALGUNOS OBJETIVOS DE LAS GRÁFICAS $\bar{x}$ Y R SON:

1.- ANALIZAR UN PROCESO PARA:

1.A.- OBTENER INFORMACIÓN PARA ESTABLECER O MODIFICAR ESPECIFICACIONES.

1.B.- OBTENER INFORMACIÓN PARA ESTABLECIMIENTO O CAMBIO DE PROCEDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN.

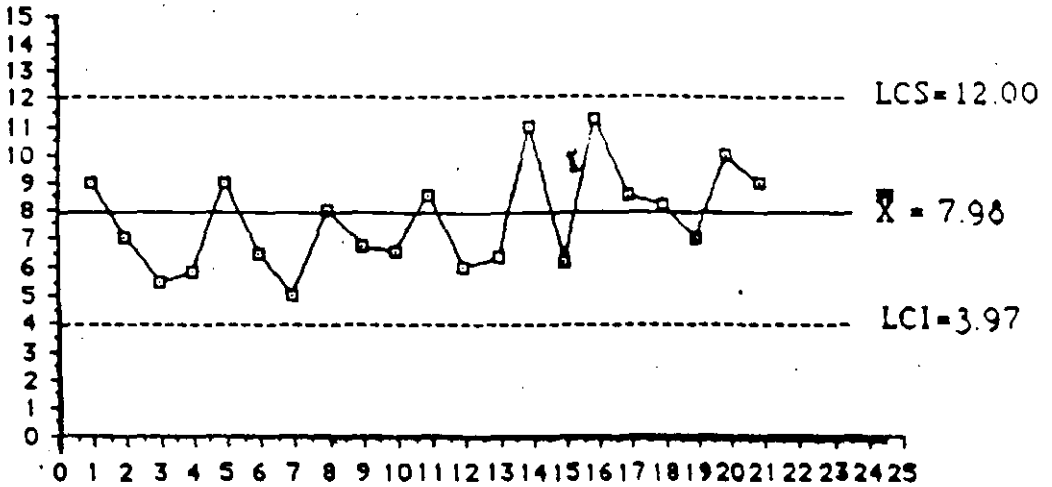
1.C.- PARA ESTABLECER O MODIFICAR PROCEDIMIENTOS DE - INSPECCIÓN.

2.- PROPORCIONAR UNA BASE PARA TOMAR DECISIONES SOBRE BASES REALES DURANTE LA PRODUCCIÓN ACERCA DE CUANDO INVESTIGAR LAS CAUSAS DE VARIACIÓN Y CORREGIRLAS O BIEN DEJAR SÓLO AL PROCESO.

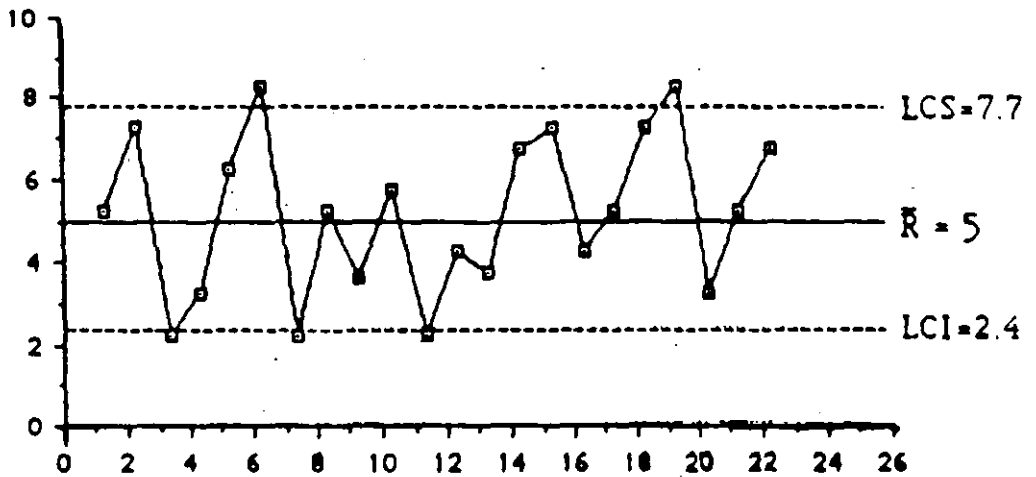
3.- SERVIR DE BASE PARA DECISIONES SOBRE LA ACEPTACIÓN O RECHAZ O DE UN PRODUCTO.

ELEMENTOS DE LAS GRAFICAS DE CONTROL

Promedio ($\bar{X}$)



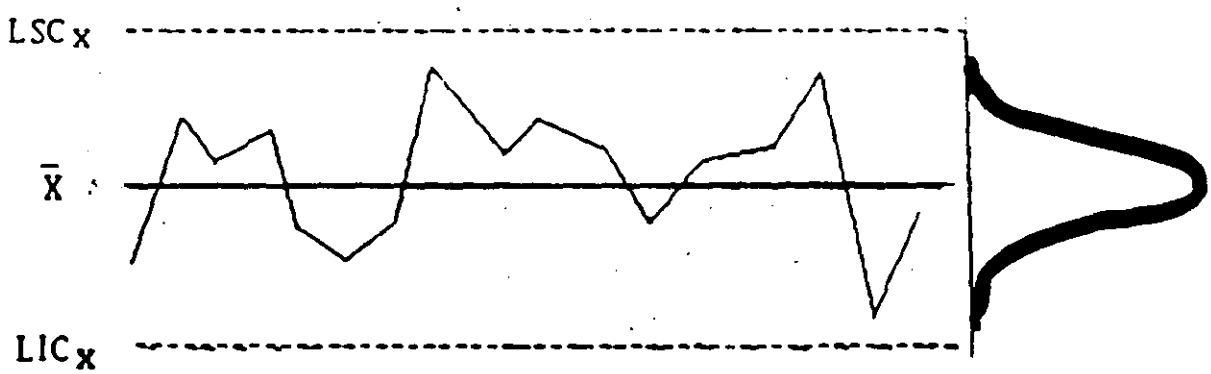
Rango (R)



Una gráfica con sus lineas límite es conocida como Gráfica de Control, y las lineas son llamadas Lineas de Control. Existen tres tipos de lineas de control: el Límite de Control Superior (LCS), la Linea Central ($\bar{X}$ o $\bar{R}$) y el Límite de Control Inferior (LCI).

BASE DE TODA GRAFICA DE CONTROL

Cualquier cantidad que varíe (ya sea una observación X, un promedio $\bar{X}$, una desviación estandar S, ó una fracción defectuosa p) formará una distribución si solo las causas comunes están presentes.



EL CONCEPTO DE VARIABILIDAD

(algunos principios)

- Cuando tenemos una serie de mediciones u observaciones de un determinado proceso, éstas no serán en general idénticas unas a otras.

- Si nada perturba al proceso, estas mediciones fluctuarán o variarán de acuerdo a un patrón "aleatorio" o "natural", manteniéndose dentro de unos límites matemáticos definidos.

- Adicionalmente, un gran número de éstas mediciones tenderán a formar una distribución predecible.

CONTROL DEL PROCESO EN LUGAR DE INSPECCION

- Para incrementar la productividad hay que centrarse en mejorar la calidad del proceso.

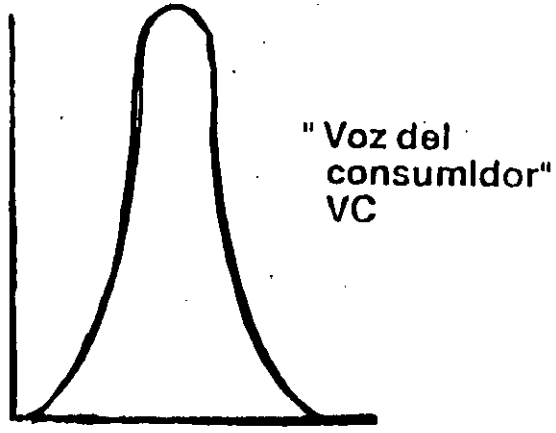
- Uno de los propósitos principales de la mejora de la calidad es la reducción de la variabilidad.

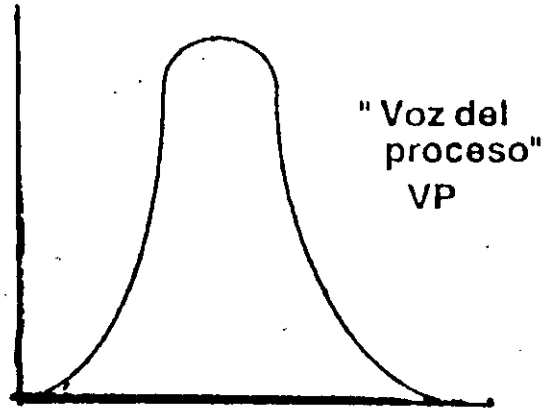
La única guía confiable para determinar las causas de variación y detectar la existencia de causas especiales es el uso de herramientas estadísticas.

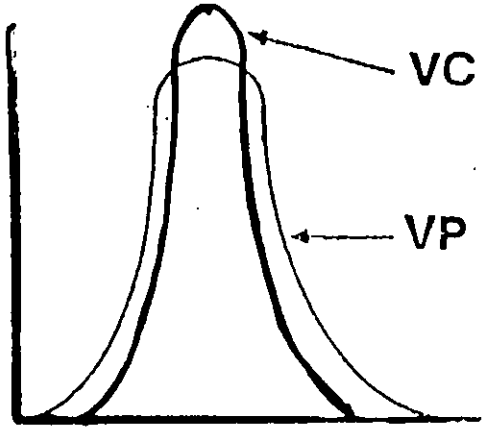
SOMETER UN PROCESO BAJO CONTROL ESTADISTICO TRAE COMO RESULTADO:

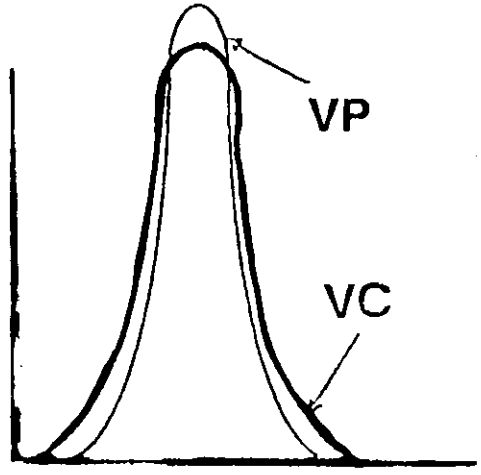
- mejora del proceso
- menores costos de manufactura
- menos inspección
- mejor entendimiento del proceso
- estándares apropiados
- especificaciones realistas
- una medida confiable de la capacidad del equipo, herramientas, materiales, métodos, etc.

CAPACIDAD DEL PROCESO







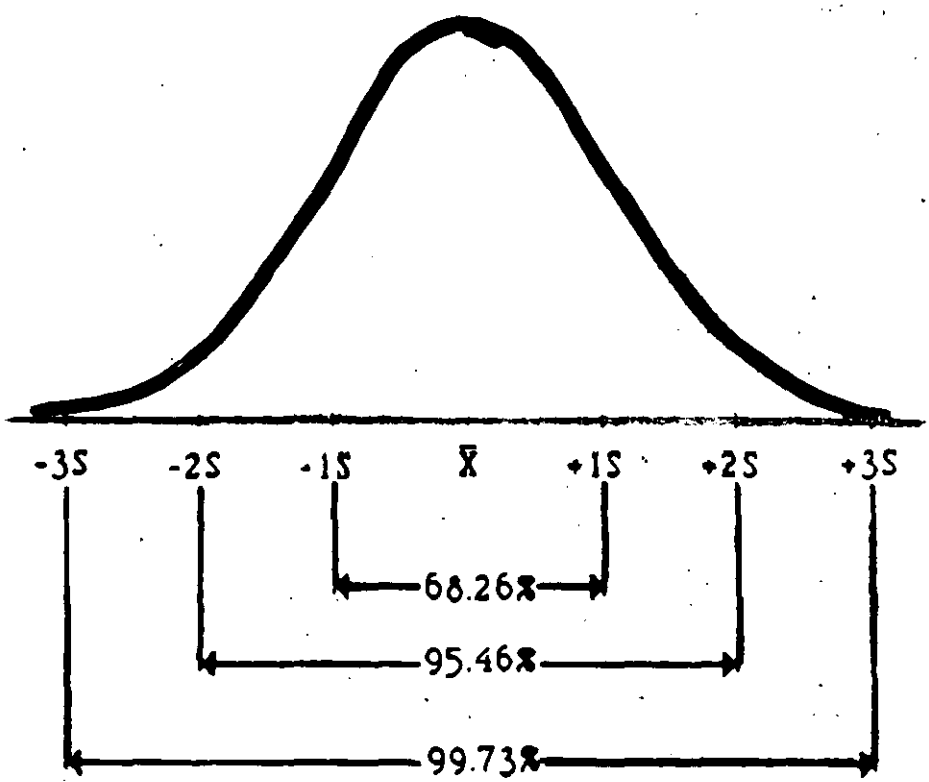


Si el proceso no es capaz:

Si el proceso es capaz:

DISTRIBUCION NORMAL

Propiedad de Simetría:

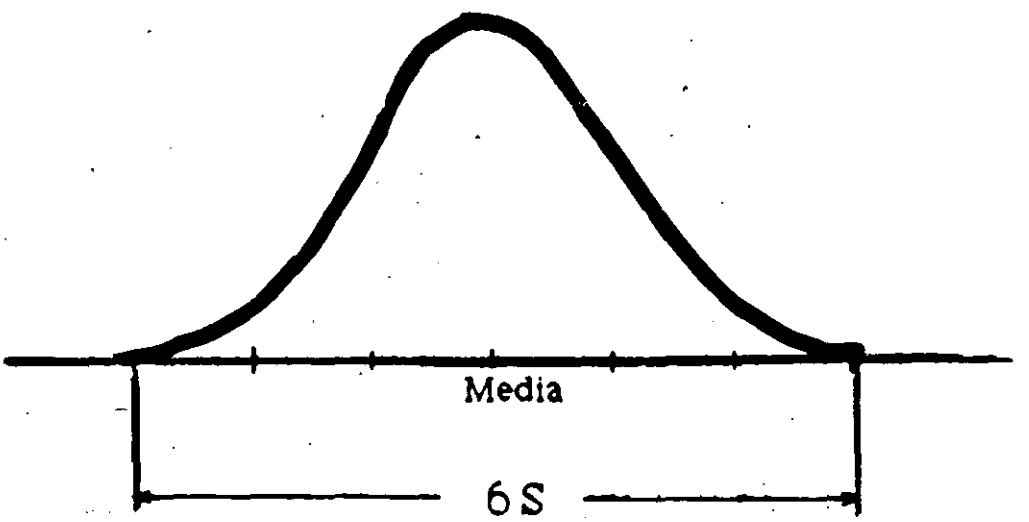


CAPACIDAD DE PROCESO

DEFINICION:

- Se refiere a la habilidad inherente de un proceso para producir productos o partes similares (medida de la uniformidad inherente de un proceso).

- Es la mejor distribución que puede ser sostenida en control estadístico bajo un conjunto de condiciones.

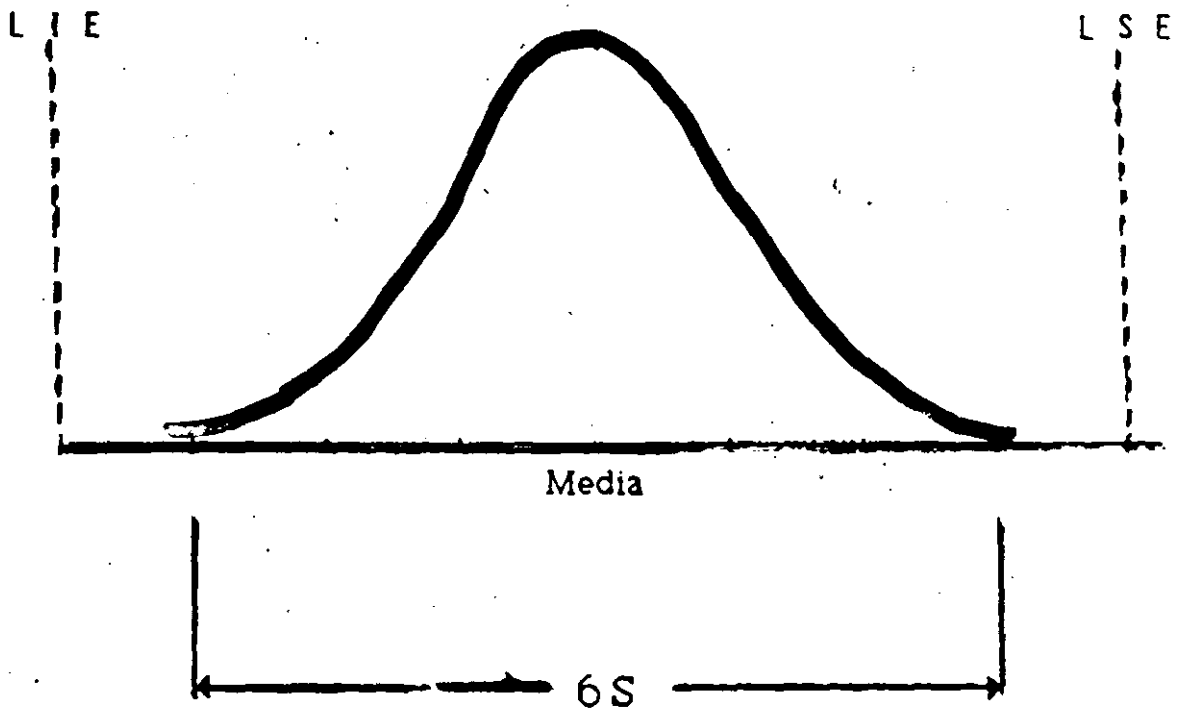


Capacidad del proceso = 6 desviaciones estándar

HABILIDAD DE PROCESO

Definición:

Se refiere a la aptitud de un proceso bajo control estadístico para cumplir con un determinado conjunto de especificaciones. (Relación entre la capacidad del proceso y los límites de especificación).



$$Cp \text{ (Habilidad potencial)} = \frac{\text{Amplitud de especificaciones}}{\text{Amplitud del proceso}}$$

$$\boxed{Cp = \frac{LSE - LIE}{6S}}$$

HABILIDAD DE PROCESO

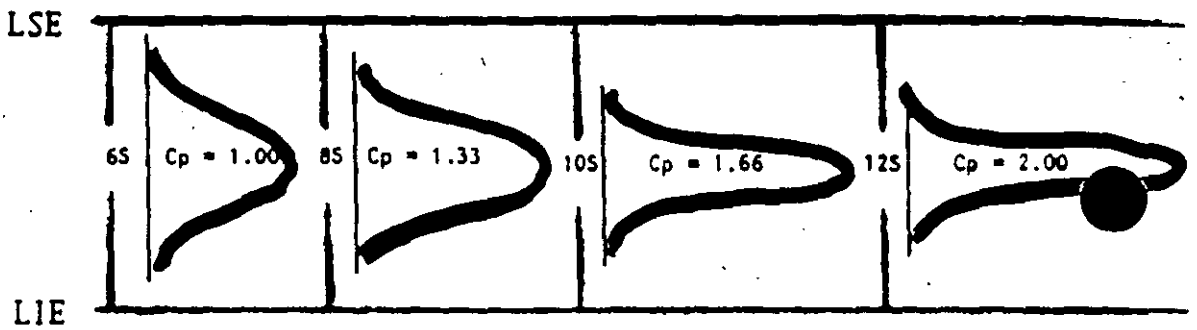
Consideración importante:

Límites de Control $\neq$ Límites de especificación

(en base al comportamiento del proceso)

(los establece el cliente)

INDICES Cp PARA VARIAS AMPLITUDES DE LA DISTRIBUCION DEL PROCESO



% de especificaciones:	100%	75%	60%	50%
rechazos:	0.27%	64 PPM	0.6 PPM	< 0.1 PPM

CSP	Normas de Acción
$1.33 < CSP$	La capacidad de proceso es bastante satisfactoria, pero cuando fuera demasiado grande, deberá revisarse el estándar de fabricación.
$CSP = 1.33$ $1 < CSP < 1.33$	Estado ideal: Aunque el estado es bastante bueno, si CSP se acerca a 1, existen posibilidades de que se produzcan defectos y debe cuidarse el control.
$CSP < 1$	Hay productos fuera del estándar, por lo tanto debe cambiarse la forma de trabajar o revisar todos los productos, etc. Tomar medidas oportunas.

Capacidad de satisfacción del proceso (CSP) y

Normas de Acción.

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.

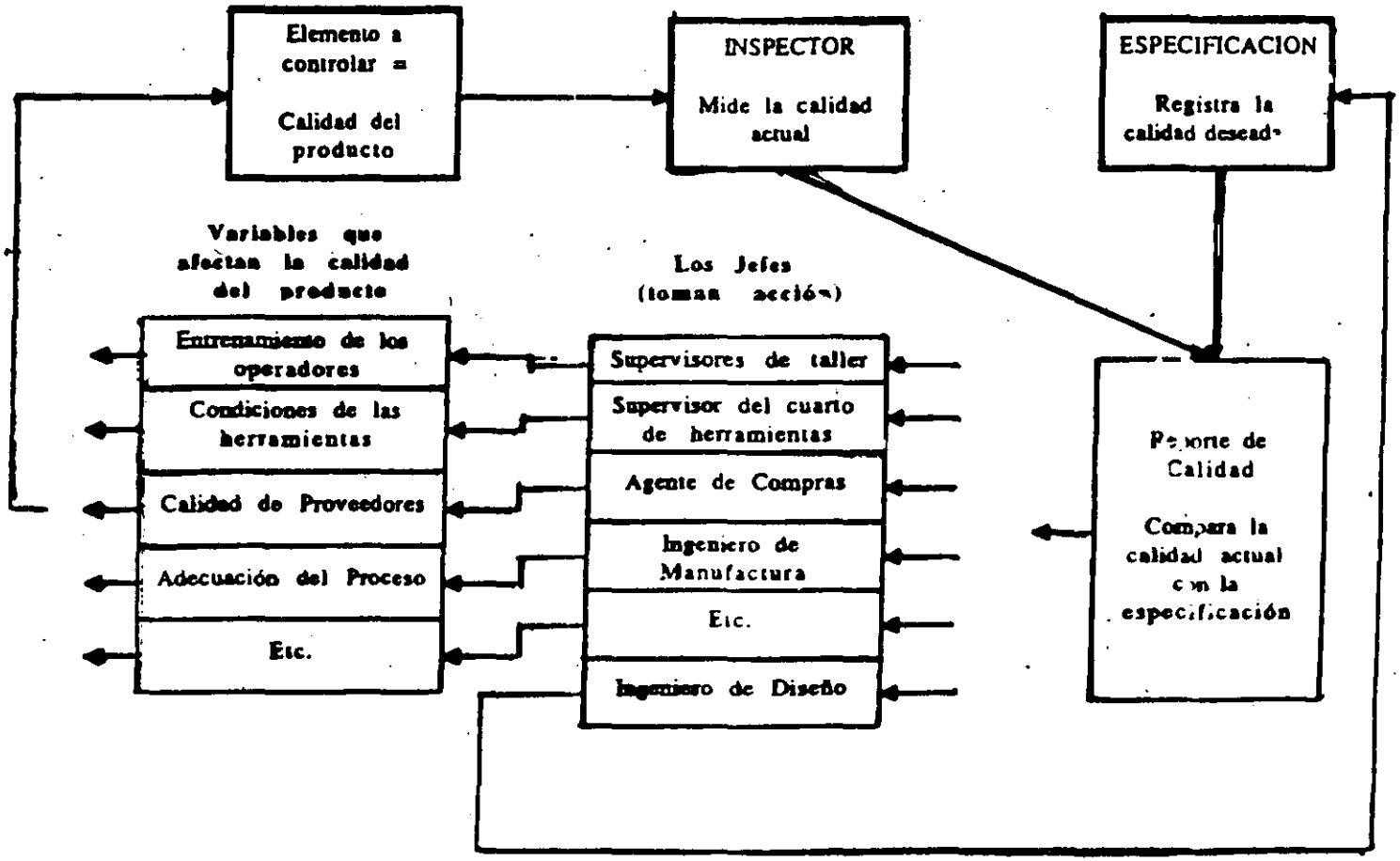
5. Establezca un proceso capaz de satisfacer las metas bajo condiciones de operación.

6. Compruebe la habilidad del proceso.

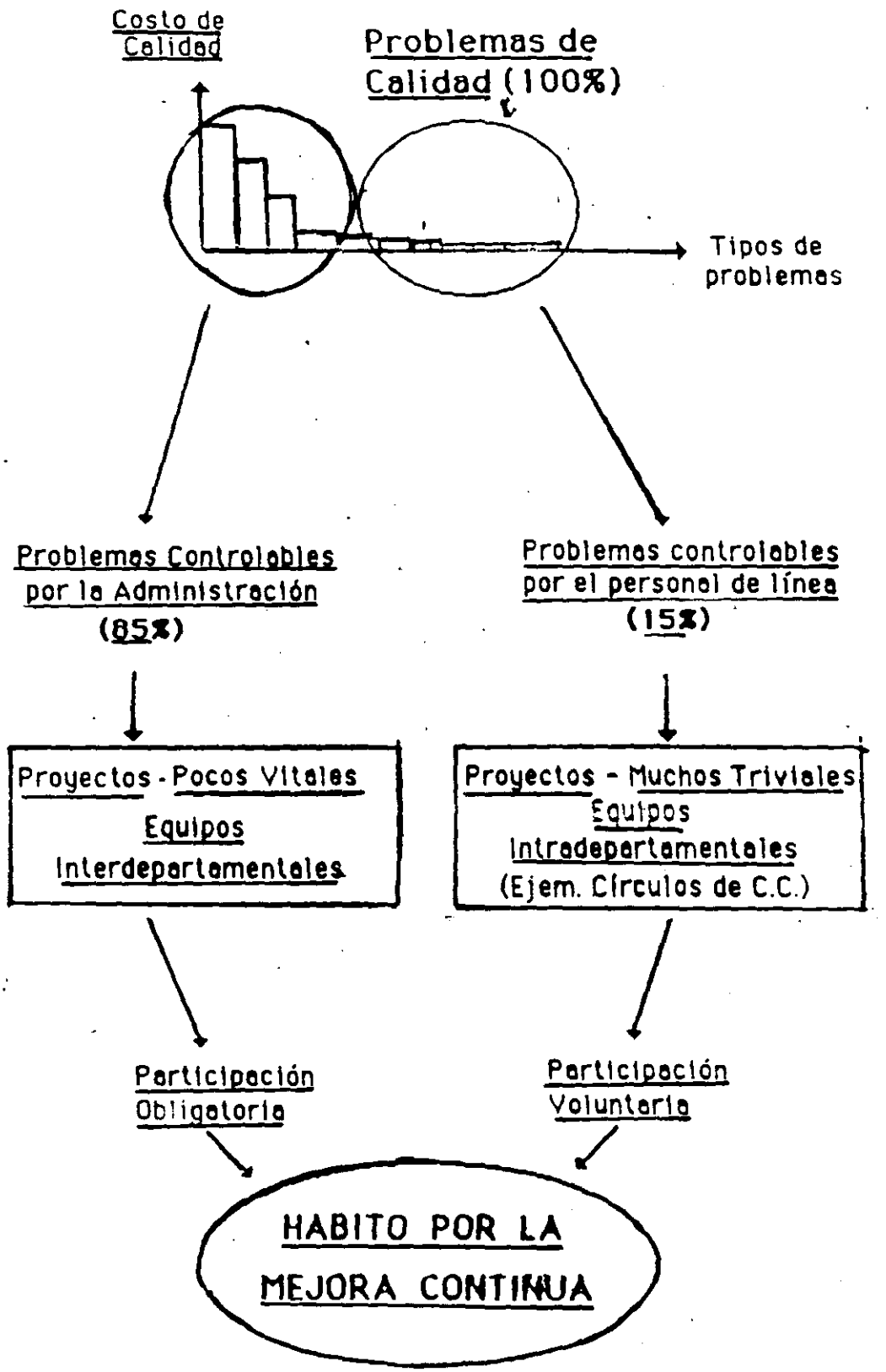
EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD:

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



COMO CREAR EL HABITO POR LA MEJORA CONTINUA



SECUENCIA PARA LLEVAR A CABO UN PROYECTO DE MEJORA

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

VIAJE DEL DIAGNOSTICO

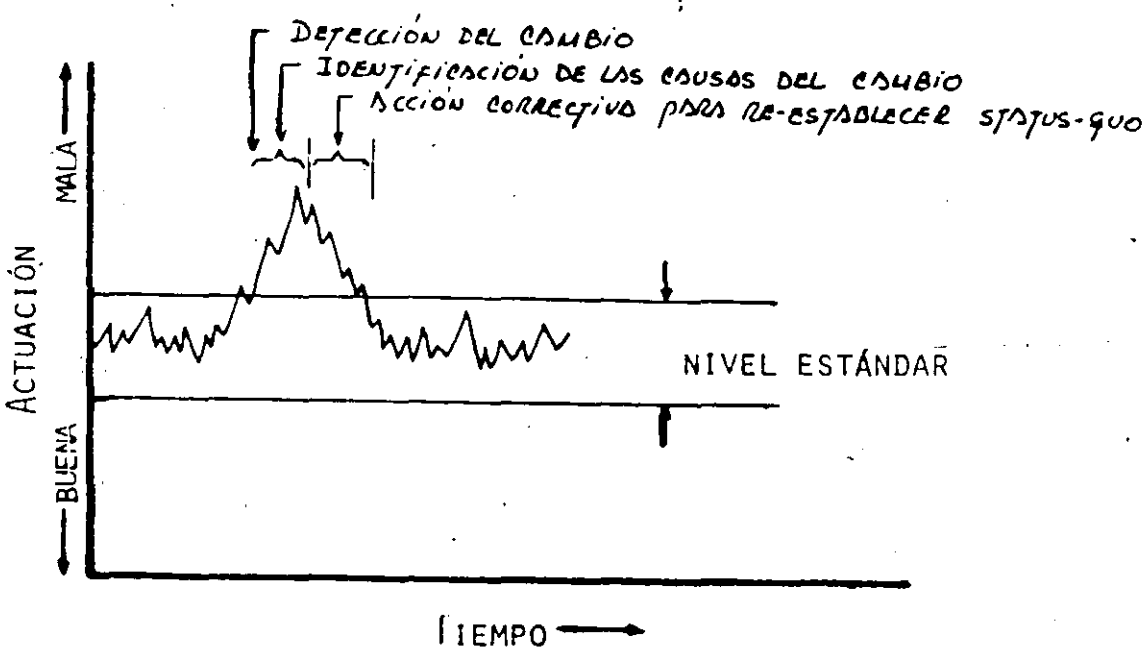
- ENNUMERAR SINTOMAS EN SU ORDEN DE FRECUENCIA.
- APLICAR PRINCIPIO DE PARETO.
- DISEÑO DE UN PLAN PARA RECOLECTAR Y ANALIZAR INFORMACION (USO DE HERRAMIENTAS).
- PRESENTAR RESULTADOS.

VIAJE DEL REMEDIO

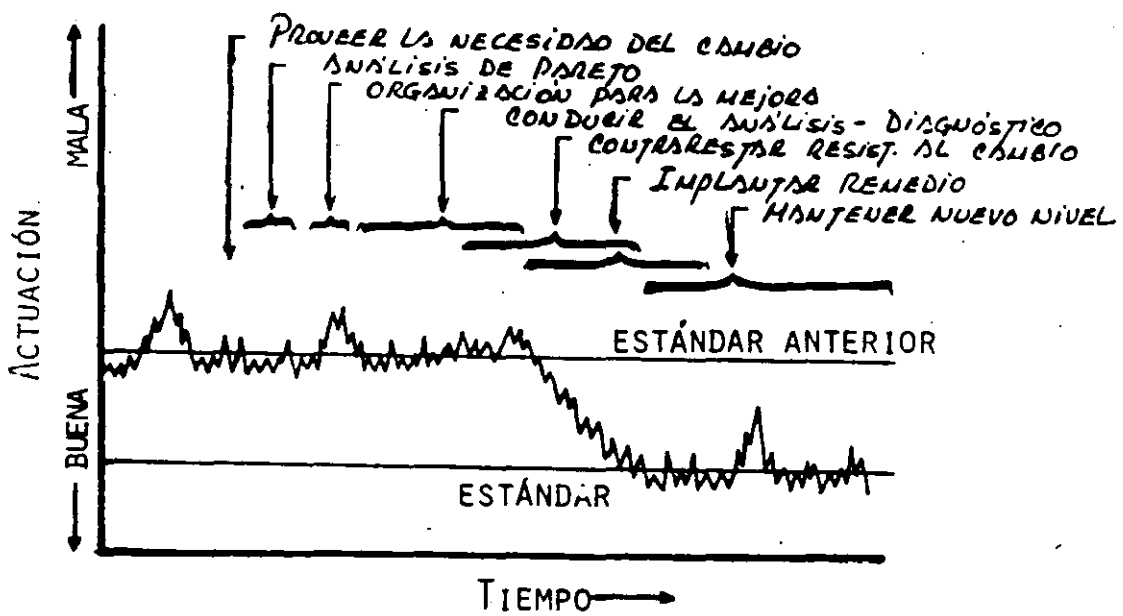
- SELECCION DE ALTERNATIVAS.
- ACCION REPARADORA.
- ENFRENTARSE CON LA RESISTENCIA AL CAMBIO.
- ESTABLECER CONTROLES PARA ASEGURAR LO GANADO.

FIG. INTER-RELACION ENTRE EL EQUIPO DIRECTOR Y EL EQUIPO DE DIAGNOSTICO.

	ACTIVIDADES	EQUIPO DIRECTOR	EQUIPO DE DIAGNÓSTICO
FASE DE LOS SÍNTOMAS A LAS A LAS CAUSAS.	ASIGNAR PRIORIDADES A LOS PROYECTOS.	X	
	SUMARIZAR INFORMACIÓN HISTÓRICA, ANÁLISIS DE PARETO DE LOS SÍNTOMAS.		X
	"TEORIZAR" EN LAS CAUSAS DE LOS SÍNTOMAS.	X	
	COMPROBAR TEORÍAS; OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SOBRE CAPACIDADES; CONCENTRACIONES.		X
	LISTAR LAS TEORÍAS IMPORTANTES; IDENTIFICAR LA INFORMACIÓN EXPERIMENTAL REQUERIDA.	X	
	DISEÑO DE EXPERIMENTOS		X
	APROBACIÓN DEL DISEÑO, PROPORCIONAR AUTORIDAD.	X	
	CONDUCIR EL EXPERIMENTO; OBTENER, ANALIZAR Y PRESENTAR INFORMACIÓN; ESTABLECER LAS VERDADERAS CAUSAS DE LOS DEFECTOS O FALLAS.		X
FASE DE LAS CAUSAS AL REMEDIO	CONSIDERAR Y PROPONER REMEDIOS	X	
	PROBAR EFECTIVIDAD DE LOS REMEDIOS		X
	ACCIONES PARA INSTITUÍR EL REMEDIO; CONTROL EN EL NUEVO NIVEL (POR LOS DEPARTAMENTOS DE LÍNEA).		



GRAF. 2.1 MANTENER EL STATUS-QUO - CONTROL



GRAF. 2.2 MEJORA DE CALIDAD

FUENTE: J.M. JURAN, "MANAGERIAL BREAKTROUGH", McGRAW HILL BOOK CO., 1964, p. 7

ESPIRAL DE PROGRESO DE LA CALIDAD

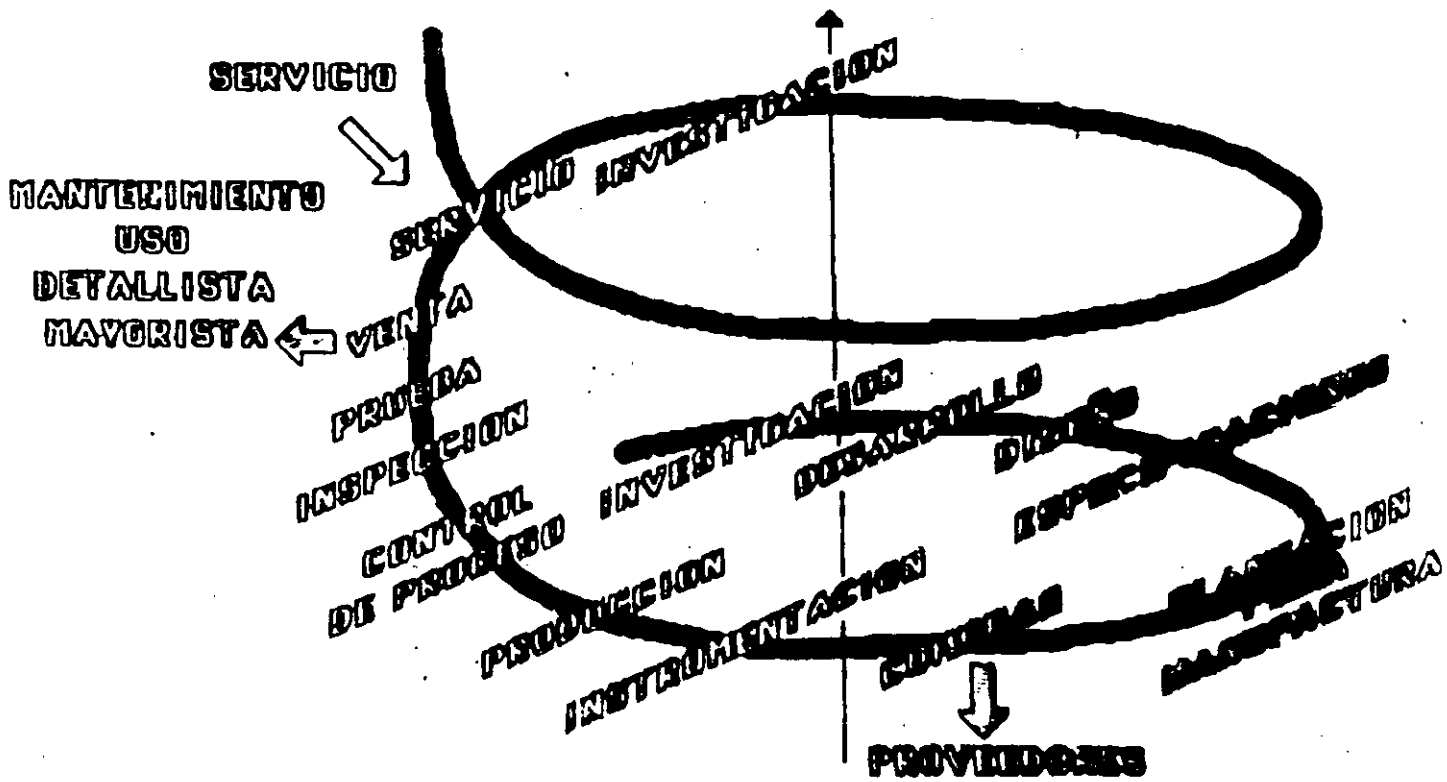


DIAGRAMA DE COMO SE COMBINAN LAS 7HB PARA LA SOLUCION DE PROBLEMAS

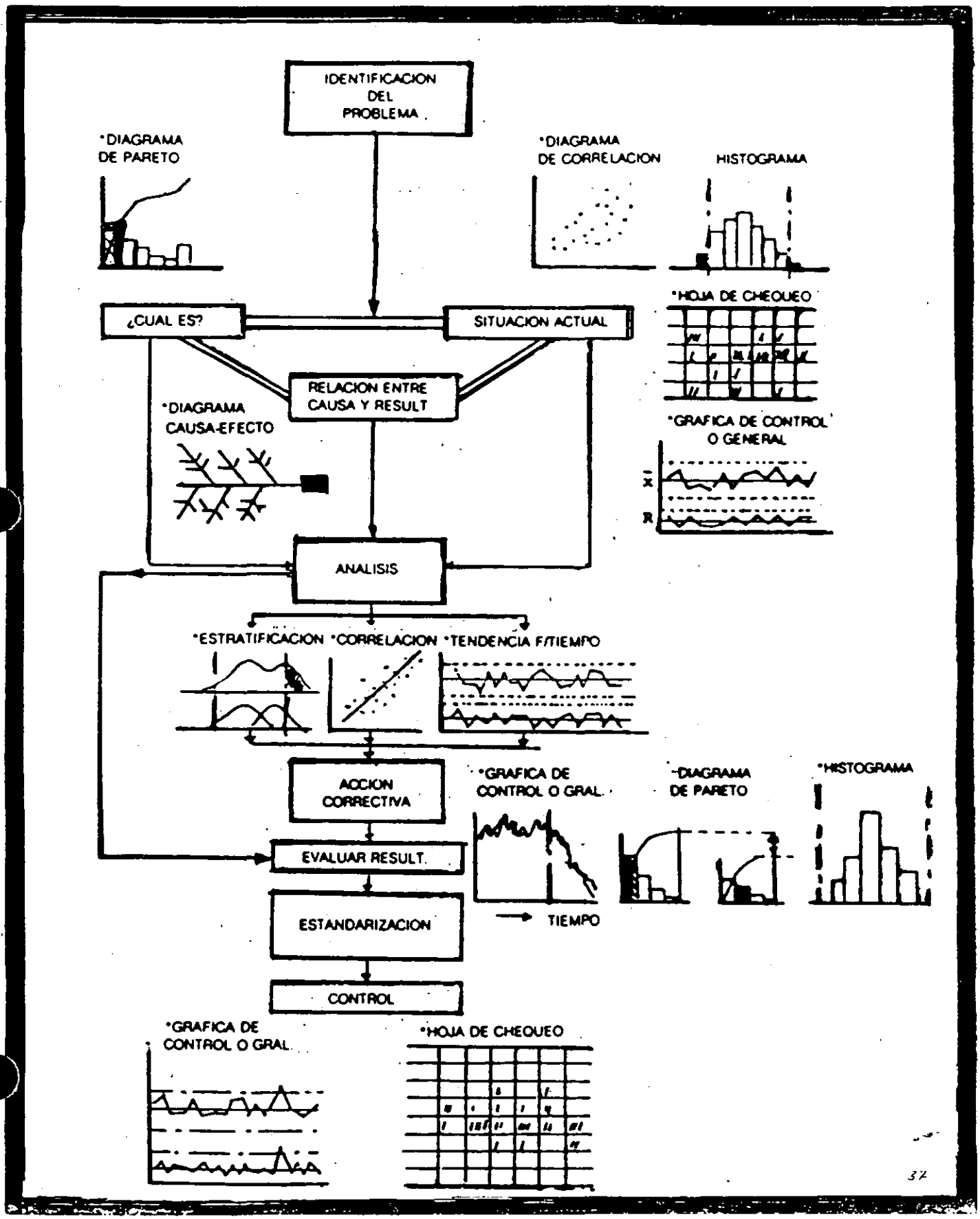
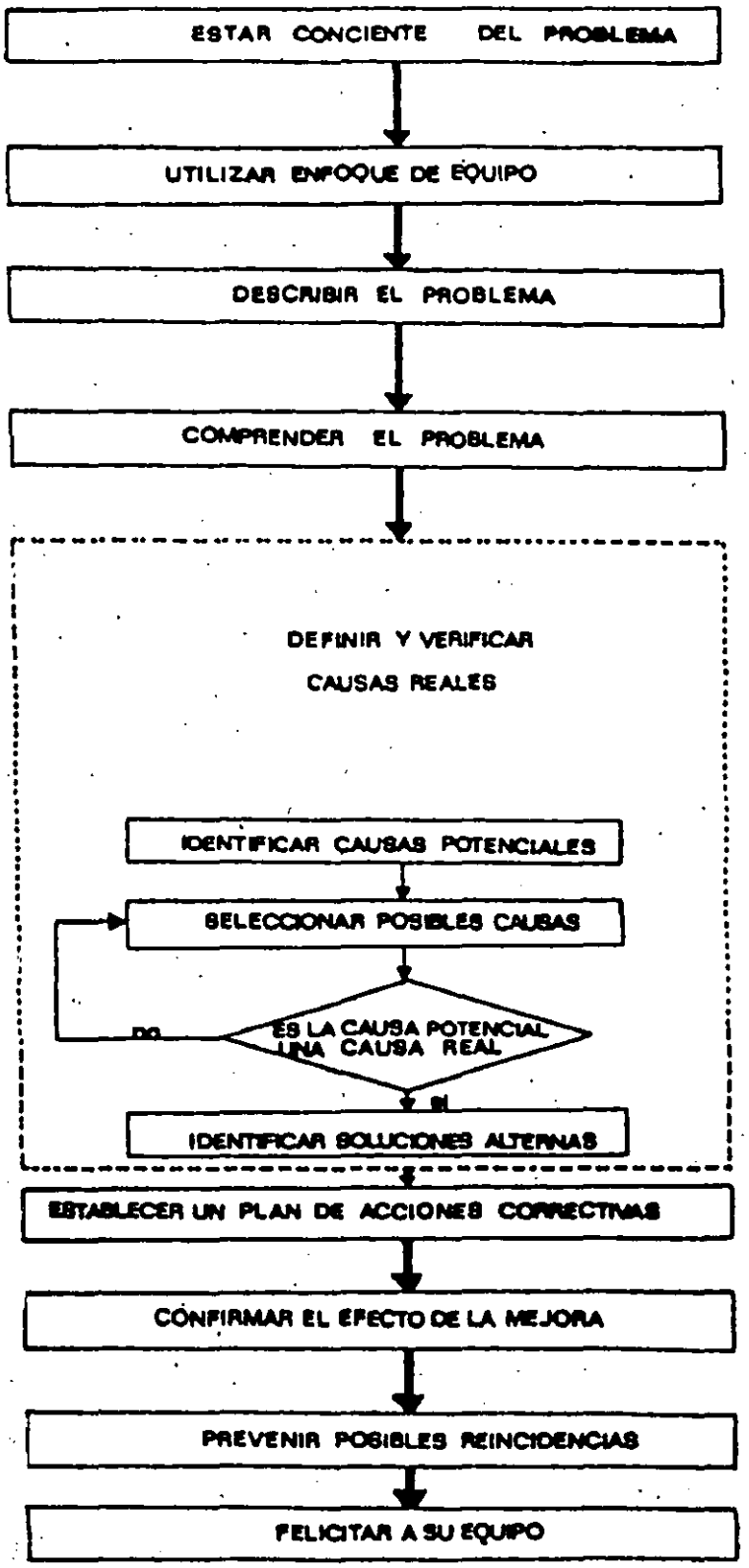
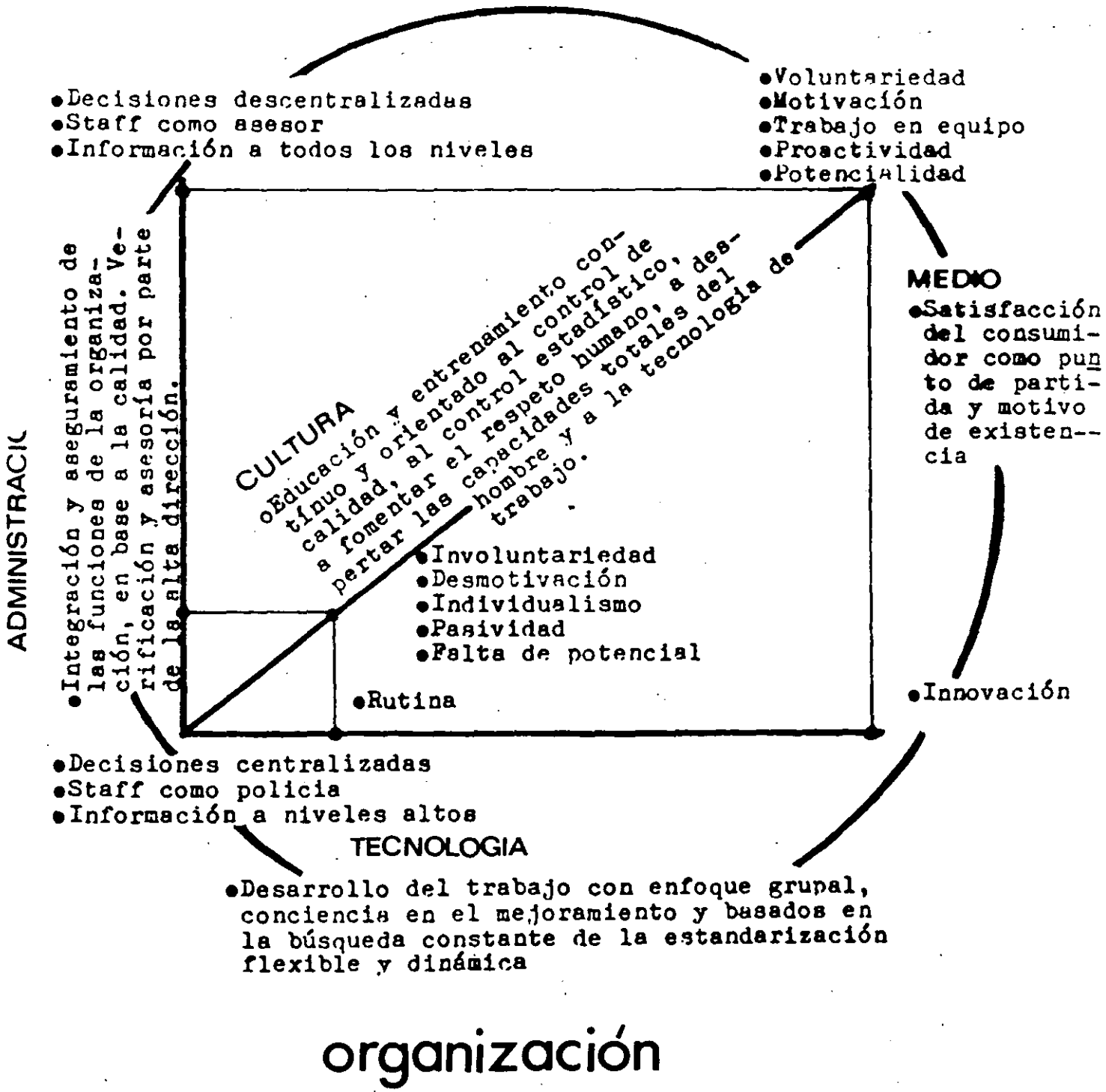


DIAGRAMA DE FLUJO



CONTROL INTEGRAL DE CALIDAD C.I.C



organización

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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

ARMA ESTRATEGICA PARA VENCER

C.E.P.

EXPOSITOR: MARIO MORENO VASQUEZ

JUNIO
1992

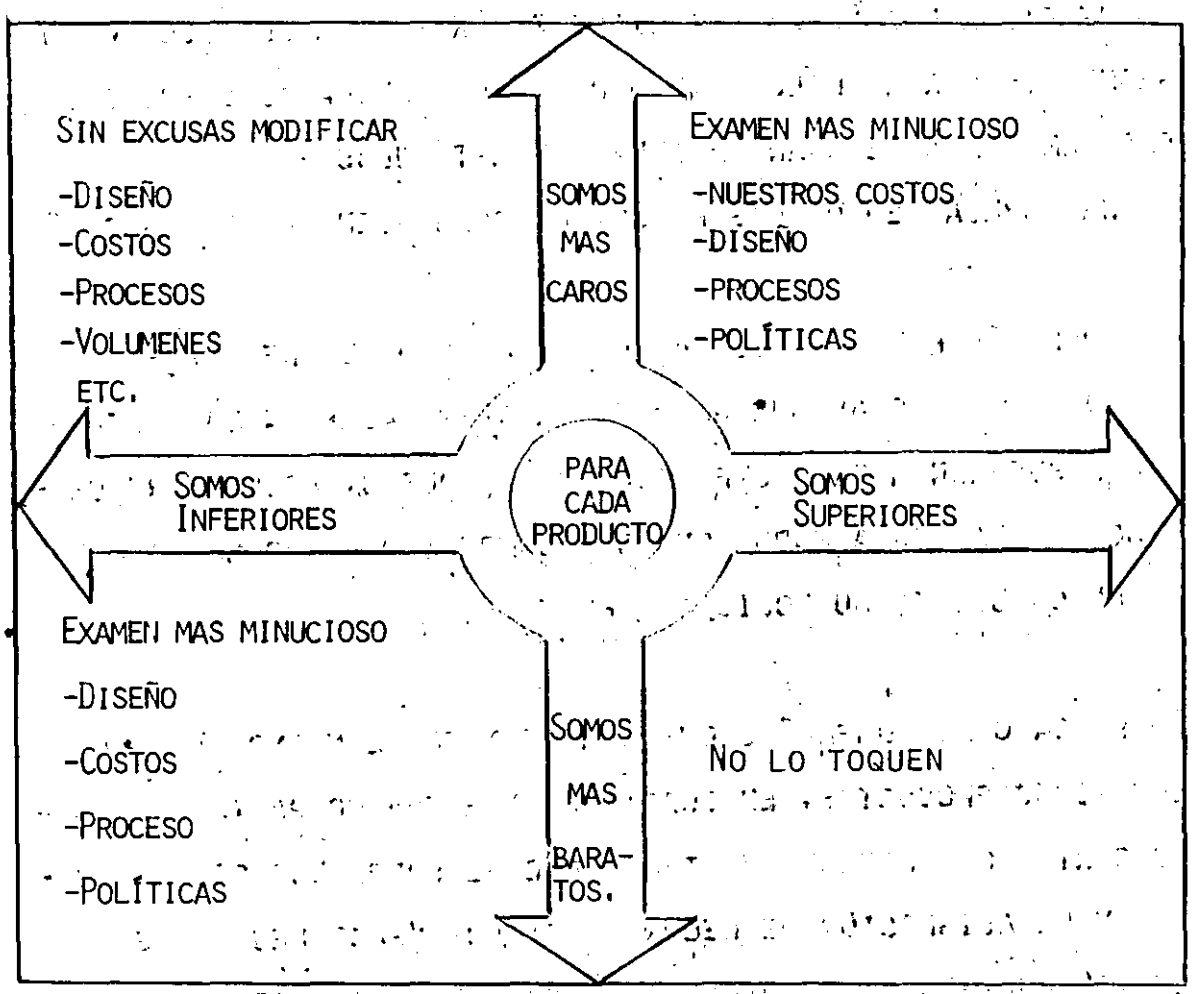
Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

CLIENTES: CONOZCAMOS CLARAMENTE SUS NECESIDADES, EXPECTATIVAS, GUSTOS, HÁBITOS DE COMPRA POR SEGMENTO, DE OTRA MANERA SERÁ IMPOSIBLE DARLE PLENA SATISFACCIÓN.

COMPETENCIA: ANALICEMOS TAN EXHAUSTIVAMENTE COMO SEA POSIBLE A NUESTRA COMPETENCIA.

¿QUÉ HACE UN BOXEADOR EN SU PREPARACIÓN PARA ENFRENTARSE A DETERMINADO CONTRINCANTE?

EN EL CASO DE NUESTRA EMPRESA PODRIAMOS TENER LAS SI - GUIENTES SITUACIONES. POR EJEMPLO:



POR LO TANTO EL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO (C.E.P.) NO ES SOLO UNA MEJORA OPERATIVA, SINO QUE DEBE SER VISTO COMO UNA ESTRATEGIA FUNCIONAL, YA QUE ES UN ARMA QUE USADA CORRECTAMENTE ADEMÁS DE PERMITIR UNA MEJORA INTERNA - NOS AYUDARÁ A TENER ÉXITO EN DETERMINADA INDUSTRIA Y AL SER UNA ESTRATEGIA FUNCIONAL REQUIERE DE UN PROFUNDO CONOCIMIENTO DE CLIENTES COMPETENCIA Y COMPAÑÍA (¿RECUERDA EL TRIÁNGULO ESTRATÉGICO?) MOTIVO POR EL CUAL NO PUEDE - SER ASIGNADO SU DESARROLLO E IMPLANTACIÓN A UN DEPARTAMENTO, SINO A UNA UNIDAD DE PLANEACIÓN ESTRATEGICA, EN - LA QUE SE TENGA UN CONOCIMIENTO Y UNA VISIÓN AMPLIA DEL TRIÁNGULO ESTRATÉGICO Y ADEMAS DE AUTORIDAD QUE LE PERMITA ORIENTAR Y APOYAR LAS ACCIONES DE LA ORGANIZACIÓN.

ESTA UNIDAD DE PLANEACIÓN ESTRATEGICA SERÁ LO QUE HEMOS LLAMADO COMITÉ DE PLANEACIÓN DE CALIDAD.

ESTRATEGIA DE CALIDAD

EJEMPLO

FINALIDAD: SER LA EMPRESA LÍDER EN SATISFACER LAS NECESIDADES DE NUESTROS CLIENTES CON PRODUCTOS Y SERVICIOS QUE SATISFAGAN LAS NECESIDADES DEL USO AL QUE SE LES DESTINE, EN FORMA OPORTUNA Y AL COSTO JUSTO.

OBJETIVO: CUMPLIR CON TODOS LOS REQUISITOS DE CALIDAD EN LAS CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS A SATISFACCIÓN DE NUESTROS CLIENTES DE EQUIPO ORIGINAL O EN 18 MESES COMO MÁXIMO Y LOGRAR NUESTRA FINALIDAD EN TODOS LOS PRODUCTOS Y CARACTERÍSTICAS EN 5 AÑOS A PARTIR DE AHORA.

ACTIVIDADES ESTRATEGICAS.

I.- DESARROLLO DE UN MODELO DE ADMINISTRACIÓN PARTICIPATIVA TENIENDO COMO EJEMPLO CENTRAL LA CALIDAD - PRODUCTIVIDAD PARTICULAR PARA LA EMPRESA, INICIANDO EN EL NIVEL DIRECTIVO.

II. ADOPCIÓN DE UN ENFOQUE DE PREVENCIÓN EN LUGAR DEL TRADICIONAL ENFOQUE DE CORRECCIÓN.

III. DESARROLLO DEL FACTOR HUMANO.

IV. PLAN DE CALIDAD.

V. INVOLUCRAMIENTO A NUESTROS PROVEEDORES.

QUE ESTAMOS HACIENDO

I. DESARROLLO DE UN MODELO DE ADMINISTRACIÓN POR CALIDAD

-FILOSOFÍA DE CALIDAD
POLÍTICA.

-COMPROMISO CON LA CALIDAD EN TODOS NIVELES

-TRABAJO EN EQUIPO DESDE EL CIMITÉ DIRECTIVO HASTA...
CÍRCULOS DE CALIDAD.

-ANÁLISIS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE 10 PASOS.

-INVOLUCRACIÓN DEL PERSONAL DE TODA LA EMPRESA.

II. ADOPCIÓN DE UN ENFOQUE DE PREVENCIÓN, EDUCACIÓN Y

-ENTRENAMIENTO EN C.E.P. EN TODOS LOS NIVELES.

- COMITÉ DE PLANEACIÓN DEL C.E.P.
- PLAN DE IMPLANTACIÓN DEL C.E.P.
- DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS PREPONDERANTES.
- EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LA HABILIDAD DE PROCESOS ACTUALES (Cp_K)

-DESARROLLO DE PLANES Y PROGRAMAS PARA LOGRAR Cp_K=1.00 Ó 1.33 Y MAS ALLÁ, SEGÚN CORRESPONDE.

- SISTEMA DE RASTREO DE DISCREPANCIAS.
- PROGRAMA DE SENSIBILIZACIÓN Y MOTIVACIÓN AL C.E.P.

III. DESARROLLO DEL FACTOR HUMANO.

- POLÍTICAS DE AUTO Y MUTUO DESARROLLO A TRAVÉS DEL TRABAJO GRUPAL.
- DESARROLLO DE AMBIENTE DE CONFIANZA
- MEJORA DEL AMBIENTE FÍSICO.
- POLÍTICAS ORIENTADAS A DISMINUIR LA ROTACIÓN.
- PROGRAMAS DE DESARROLLO A TODOS LOS NIVELES.

IV. PLAN DE CALIDAD.

- PLAN Y PROGRMA DE A. P. C.

V. INVOLUCRAMIENTO DE NUESTROS PROVEEDORES.

- COMUNICACIÓN
- PLANES CONJUNTOS.
- EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO.

EL TRABAJO EN EQUIPO

DEFINICION DE EQUIPO:

ES UN CONJUNTO DE PERSONAS QUE INTERACTUAN EN FORMA ORGANIZADA BUSCANDO UN FIN COMUN, EN UN AMBIENTE DE CONFIANZA Y RESPETO, RIGIENDOSE POR CIERTAS NORMAS QUE SIEMPRE RESPETAN Y HACEN RESPETAR CON LA FIRMEZA Y PRUDENCIA DEL CASO.

PROCESO DE FORMACION DE UN EQUIPO

- BASE MOTIVACIONAL.

- FORMACION DE LA ORGANIZACION O ESTRUCTURA.

- SURGIMIENTO DE NORMAS.

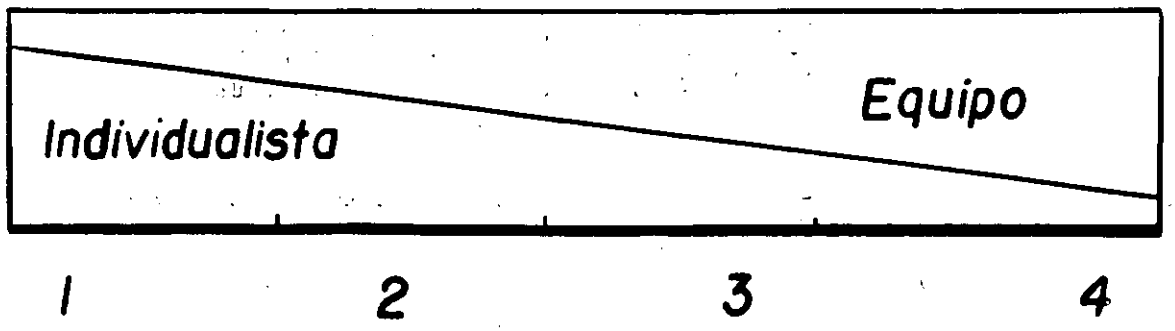
PROCESO DE INTEGRACION DE UN EQUIPO

1 – INDIVIDUALISMO.

2 – FRUSTRACION Y CONFLICTO.

3 – COHESION.

4 – MADUREZ.



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

GUIA DE CONTROL DE CALIDAD

- INTRODUCCION
- IDENTIFICACION Y ANALISIS
- MUESTREO DE INSPECCION

DR. KAORU ISHIKAWA

PALACIO DE MINERIA

JUNIO

1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

Guía de Control de Calidad

Dr. Kaoru Ishikawa

UNIPUB
InfoSource International

Nueva York

Indice

asegurarse de que la empresa B garantiza la calidad de sus piezas, no mediante inspección, sino mediante una mejora en el proceso.

Ejemplo 3

Después de reunir datos sobre la viscosidad de un producto, se obtuvo el histograma dentado de la figura 2.5.

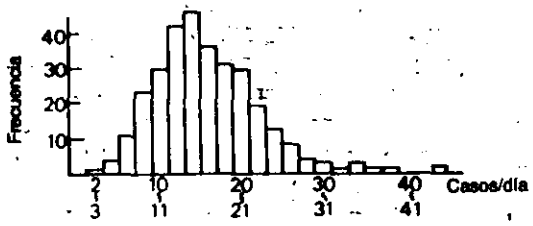


Figura 2.5 Histograma dentado

Debido a la apariencia anormal de este histograma, se verificaron los métodos de medición y se descubrió que, si bien se había regulado el instrumento para que midiera sólo números pares, también había indicado algunos impares. La cantidad de cifras impares resultó entonces muy pequeña comparada con la de cifras pares. (Aparte de este tipo de problemas, hay que prestar mucha atención a lo que se refiere a los intervalos de clase del histograma y los múltiplos enteros de las unidades de medida --es decir, múltiplos de 1, 2, 3 ..., etc.--, porque de lo contrario pueden aparecer histogramas como éste).

Ejemplo 4

Todos los ejemplos dados hasta ahora corresponden a histogramas que presentan datos con valores continuos. Sin embargo, las cifras correspondientes a cantidad de piezas defectuosas, personal ausente, defectos, etc. (que denominamos valores discretos), pueden incorporarse como datos en los histogramas igual que los datos continuos. La figura 2.6 muestra la cantidad de fallas diarias de una máquina en un histograma construido para ayudar en el mantenimiento preventivo. La distribución está sesgada hacia la derecha. A menudo se observará que al considerar este tipo de valores discretos - cantidad de piezas defectuosas, porcentaje de piezas defectuosas, número de accidentes y cantidad de defectos - la distribución de los datos adquiere forma asimétrica. Naturalmente, aun en el caso de datos continuos expresados en cantidades, con datos de rendimiento del 100% y pureza del 100%, las cifras de la distribución a veces se vuelcan hacia la izquierda porque se fija el límite del 100%.

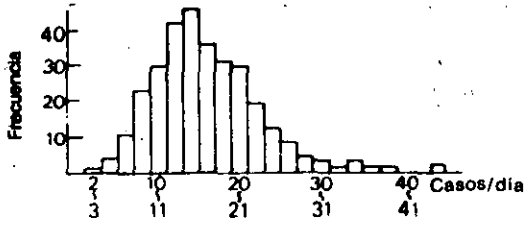


Figura 2.6 Distribución de fallas ocurridas

(2) ¿Qué relación existe con las especificaciones?

¿Qué porcentaje de productos cae fuera de las especificaciones? ¿Los productos las cumplen plenamente? ¿Se encuentra la media exactamente en el centro de los límites de las especificaciones? Comparemos un histograma con las especificaciones. En la figura 2.2, donde aparece el grosor de los bloques de metal, observamos que la media está aproximadamente en el centro de los límites de las especificaciones, pero la dispersión es mayor que la amplitud dada por dichos límites. Será necesario entonces reducir esta dispersión o reexaminar las especificaciones.

Ejemplo 5

La figura 2:7 es un histograma que indica las características de carga de un microinterruptor. Han aparecido muchos microinterruptores defectuosos y del cuadro elaborado surge que más de la mitad de los defectos se debe a las características de carga. Por ese motivo, con la ayuda de un histograma se estudiaron los datos sobre características de carga obtenidos durante el proceso de fabricación. Como se observa claramente, la media se acerca al límite superior de las especificaciones y la dispersión es amplia. Se analizaron estos problemas mediante gráficos de control y diversos métodos estadísticos, y se logró reducir la cantidad de piezas defectuosas. He aquí un buen ejemplo de cómo utilizar un histograma para ver cuál es la situación del proceso de fabricación y ayudar al personal a descubrir los problemas, mejorando así la eficacia del proceso y reduciendo los defectos. Con un índice de eficacia del proceso, se puede determinar si la dispersión es suficientemente pequeña con relación a los límites de las especificaciones.

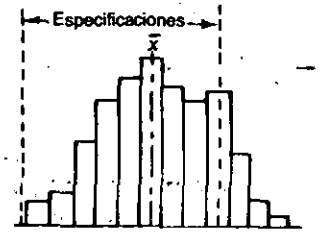


Figura 2.7 Histograma de características de carga

(3) ¿Hay que modificar el histograma?

Cuando se estratifican los datos según materiales, máquinas, turnos, trabajadores, meses, etc., probablemente la distribución difiera en cada caso. Hay situaciones extremas en que la distribución del histograma puede presentar dos picos (distribución bimodal). Cuando existe una distribución bimodal o amplia dispersión, esta distribución incluye con frecuencia dos o más distribuciones que tienen distintos promedios. Ello hace que sea necesario indicarlo con marcas distintivas (por ejemplo, *o* para los materiales suministrados por la empresa A y *x* para los de la empresa B), examinar los factores de estratificación, preparar dos histogramas y comparar las distribuciones. Si no existe diferencia alguna entre estos factores, los datos pueden volcarse en un gráfico.

Ejemplo 6

Una empresa subcontratista tenía a su cargo el procesamiento de paneles de chapas metálicas para un fabricante de artefactos eléctricos; las chapas eran provistas por la empresa principal. Como los productos estampados presentaban numerosas arrugas y grietas, y a menudo su tamaño era incorrecto, se llevaron a cabo pruebas de la dureza de las láminas y se expusieron los resultados en un histograma (figura 2.8).

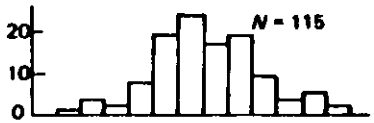


Figura 2.8 Histograma de dureza de chapas metálicas

Puesto que había gran dispersión, se investigó el caso. Se descubrió que la empresa principal había encargado las chapas a dos proveedores, A y B. Se realizaron pruebas por separado de las chapas de ambos proveedores y se obtuvieron los histogramas estratificados de la figura 2.9. Es obvio que existe una diferencia en la dureza de las chapas de los dos proveedores. Cuando se trazan dos gráficos, como en este caso, tales diferencias tienden a hacerse evidentes. Sin embargo, no necesariamente aparcen en la forma de dos picos distintos sobre un mismo histograma. Sólo aparecerían dos picos separados si existiera una gran diferencia entre A y B, caso muy poco habitual. Si no estamos al tanto de la historia completa de los datos, no podemos detectar la estratificación. Si se prevé que surja alguna diferencia, habrá que mantener registrada, por engorroso que sea, la historia de los datos. Ello reviste importancia para mejorar y controlar el proceso de fabricación.

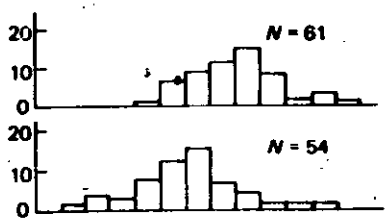


Figura 2.9 Histogramas de dureza del material para empresas A y B

Además de los histogramas ya estudiados, hay otros cuadros importantes. Se recurrió a un histograma para mostrar la distribución de fallas de una máquina como en el ejemplo 4, cuando dos casos se clasifican como uno solo. Pero también es factible contar la cantidad de piezas defectuosas y fallas según su frecuencia y representarlas en un gráfico de barras como el de la figura 2.10.

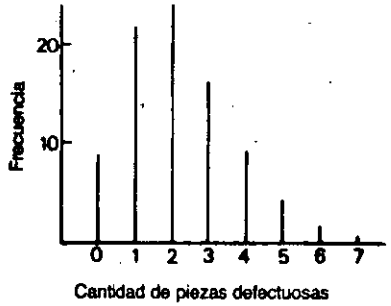


Figura 2.10 Distribución de la aparición de piezas defectuosas (gráfico de barras)

Este gráfico muestra la distribución de la cantidad de piezas defectuosas y, si bien hay otras formas de representarlo, basta tener conocimientos acerca de histogramas y gráficos de barras. Los diagramas de Pareto que muestran la cantidad de piezas defectuosas y de dinero perdido, estratificados según los motivos y condiciones pertinentes, también se pueden considerar como un tipo de histograma. La figura 2.11 es un diagrama de Pareto que se utilizó para concentrar la atención en los problemas que debían superarse para reducir la cantidad de microinterruptores defectuosos (ejemplo 5). En este gráfico, el análisis se concentró en las características de carga (ver el capítulo 5, Diagramas de Pareto).

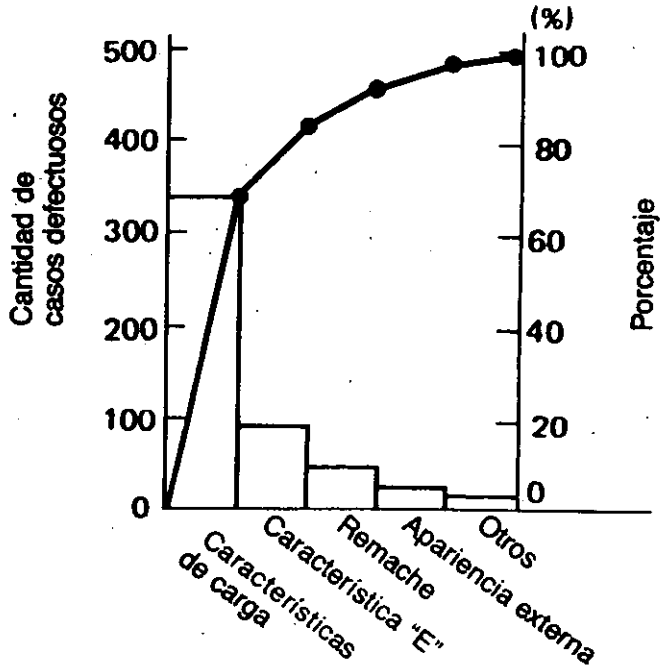


Figura 2.11 Diagrama de Pareto de defectos en microinterruptores

Resulta conveniente construir una tabla de distribución de frecuencias mediante el empleo de una planilla de inspección, sin necesidad de volcar cada dato en las planillas de registro de datos. La figura 2.12 representa una planilla de inspección de eficacia del proceso para la fabricación de televisores. Esta tabla puede adaptarse a sus necesidades. En la distribución de frecuencias, a menudo es difícil notar los cambios ocurridos a lo largo del tiempo, de manera que lo mejor es mantener presente constantemente el factor tiempo al efectuar la verificación o hacer marcas de distinto color para poner de relieve las diferencias en el tiempo.

Si se leen y utilizan los histogramas en la forma indicada --por ejemplo, en informes mensuales--, los problemas se pondrán rápidamente en evidencia y los datos tendrán mucho mayor sentido que el de una simple hilera de cifras. Los histogramas se emplean frecuentemente para diagramar la precisión de las maquinarias o en estudios de eficacia del proceso. También se pueden aprovechar eficazmente los histogramas en nuestras actividades del Círculo de CC para tratar de eliminar la cantidad de piezas defectuosas y mejorar el rendimiento y la calidad de los productos, para analizar la relación entre especificaciones y resultados, para estudiar datos anormales, para examinar las causas que generan modificaciones en el proceso de fabricación mediante una estratificación de materiales, equipo, etc. y, por último, para tratar de aumentar la conciencia de los operarios en materia de control de calidad gracias a las mejoras reales que puedan lograrse en el lugar de trabajo.

Tipo	14 ES	**Característica de calidad**	Característica RF-SG	**Especificación**	8 ± 2,5 db
Inst. de medición		Fecha	(+3MC)	**Tamaño de de la muestra**	100
Observaciones	TV	**Control de muestra en línea de montaje**			

Valor medio de la clase	**Ámbito de clases**		**Valor representativo (*x*)**	*fx*	*fx*²
			–9		
4.85	4.7	XX	–8	–16	128
5.15	5.0	X	–7	– 7	49
5.45	5.3	XXX L.S.	–6	–18	108
5.75	5.6	X	–5	– 5	25
6.05	5.9	XX	–4	– 8	32
6.35	6.2	XXXXXXX	–3	–21	63
6.65	6.5	XXXXXX	–2	–12	24
6.95	6.8	XXXXXXXXXXXXXXXXXXX	–1	–19	19
7.25	7.1	XXXXXXXXXXXXXXXX	0	0	0
7.55	7.4	XXXXXXXXX	1	8	8
7.85	7.7	XXXXXXXXXXXXXXXXX	2	34	68
8.15	8.0	XXXXXX	3	18	54
8.45	8.3	XXXXXX	4	24	96
8.75	8.6	XXX	5	15	75
9.05	8.9	XX	6	12	72
9.35	9.2		7		
9.65	9.5	X	8	8	64
	9.8		9		
Intervalo de clase (*h*) = 0,3		Total *N* = 100		13	865

Media $\bar{x}$

Desviación típica *s*

Código: eficacia cualitativa del proceso

Figura 2.12 Planilla de inspección de eficacia del proceso para la fabricación de televisores

CAPITULO 3

Diagrama de causa y efecto (diagrama CE)

3.1 ¿Por qué hay dispersión de la calidad?

Ya se ha estudiado cómo reunir datos y cómo diseñar histogramas; y hemos visto que, como lo revelan los histogramas, aún existen diferencias entre artículos producidos exactamente de la misma forma. ¿Por qué tiene lugar esta dispersión? En casi la mitad de los casos, la causa radica en:

1) Las materias primas
2) Las máquinas o equipos
3) El método de trabajo

Las materias primas varían ligeramente en su composición según la fuente de suministro, y hay también diferencias de tamaño dentro de los límites admitidos. Pese a que las máquinas pueden estar funcionando aparentemente de la misma forma, es posible que haya una dispersión derivada de diferencias en los ajustes de los ejes o debido a que una máquina trabaja óptimamente sólo parte de la jornada. De manera similar, hay métodos de trabajo aparentemente idénticos que presentan ligeras diferencias.

Por ese motivo, cuando existe una leve dispersión en las materias primas, los equipos y los métodos de trabajo, tales diferencias pueden resultar en una gran dispersión de la calidad del producto en un histograma. Los factores causales de dispersión --materias primas, equipos, método de trabajo, etc.-- dan lugar a una dispersión de la calidad. Esta relación se muestra en la figura 3.1, donde se aprecia claramente la correspondencia entre causa y efecto.

La calidad que queremos mejorar y controlar se representa concretamente mediante cifras de longitud, dureza, porcentaje de piezas defectuosas, etc. Estas pueden denominarse *características de calidad*. La composición química, los diámetros, los trabajadores, etc., posibles causantes de dispersión, pueden denominarse factores.

Para ilustrar en un diagrama la relación existente entre la causa y el efecto, debemos conocer las causas y los efectos en forma concreta. Por lo tanto, efecto=características de calidad y causa=factores. La figura 3.1 es un "diagrama de causa y efecto". Por lo general, en la práctica hay que detallar más los factores a fin de que el gráfico resulte útil.

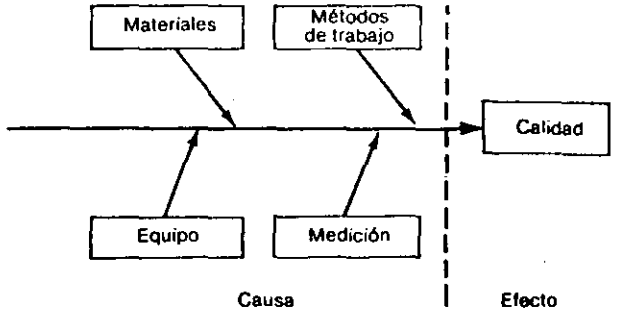


Figura 3.1 Diagrama de causa y efecto

3.2 La construcción de diagramas de causa y efecto (pasos generales)

Es prácticamente imposible enumerar todos los factores vinculados a los problemas de calidad de nuestras fábricas. Un diagrama de causa y efecto es útil para ayudarnos a clasificar las causas de dispersión y organizar las relaciones mutuas. Veamos a grandes rasgos los pasos necesarios para construir un diagrama de causa y efecto. El siguiente ejemplo se basa en el artículo de Tomiko Hashimoto, "Elimination of Volume Rotation Defects Through QC Circle Activities", publicado en la revista *Factory Work and QC No. 33*.

1er. paso. Decidir la característica de calidad (oscilación durante la rotación de la máquina) que se desea mejorar y controlar. En este caso, se ha determinado que la mayoría de los defectos que presentan las piezas producidas en nuestra fábrica se deben a una rotación oscilante. Para eliminarla, es preciso hallar sus causas.

2do. paso. Escribir la característica de calidad a la derecha. Trazar una flecha gruesa de izquierda a derecha (figura 3.2).

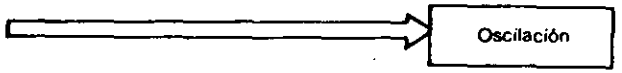


Figura 3.2

3er. paso. Indicar los factores más importantes que pueden causar la oscilación, trazando flechas secundarias en dirección a la principal (ver figura 3.3). Se recomienda

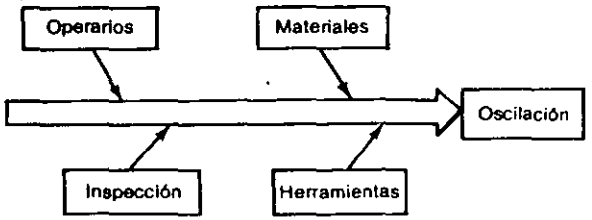


Figura 3.3

reunir los posibles factores causales de dispersión más generales en grupos como materias primas (materiales), equipo (máquinas o herramientas), método de trabajo (operarios) y método de medición (inspección). Cada grupo formará una rama.

4to. paso. Incorporar en cada una de estas ramas los factores detallados que se pueden considerar causas. Estas formarán las ramificaciones menores. En cada una de ellas añadir factores aún más detallados, trazando ramas cada vez más pequeñas (figura 3.4). Si se tienen presentes los siguientes elementos, será imposible no dar con la causa del problema.

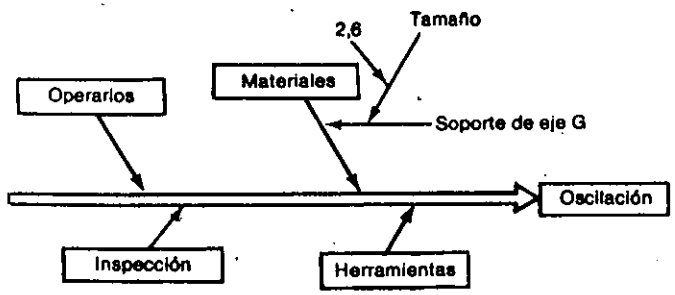


Figura 3.4

1) ¿Por qué hay defectos en el proceso de producción? Debido a la oscilación de la máquina (dispersión). Por lo tanto, la oscilación de la máquina es una característica de calidad.

2) ¿Por qué tiene lugar la oscilación de la máquina (dispersión)? Por la dispersión de los materiales. En el diagrama se consigna "materiales" como una de las ramas.

3) ¿Por qué existe dispersión en los materiales? A causa de la dispersión en el soporte de eje G. El soporte de eje G pasa a ser una ramificación menor de la rama antes dibujada.

4) ¿Por qué se produce dispersión en el soporte de eje G? A raíz de la dispersión en el tamaño del soporte de eje G. El tamaño se convierte en ramificación más pequeña de la anterior.

5) ¿Por qué hay dispersión en el tamaño del soporte de eje G? Debido a la dispersión en el punto de 2.6 mm. El punto de 2.6 mm forma así una derivación de la ramificación precedente.

De este modo, se va ampliando el diagrama de causa y efecto hasta que contenga todas las causas de dispersión. En la figura 3.5 se muestra el diagrama completo.

Nota: Para elaborar un diagrama de causa y efecto, los miembros de su equipo deben intercambiar opiniones con toda franqueza (método de la discusión intensiva, *brainstorming*).

5to. paso. Por último, es preciso verificar que todos los factores que pueden causar dispersión estén incluidos en el diagrama. Si lo están, y si han quedado adecuadamente ilustradas las relaciones entre causas y efectos, el diagrama está completo.

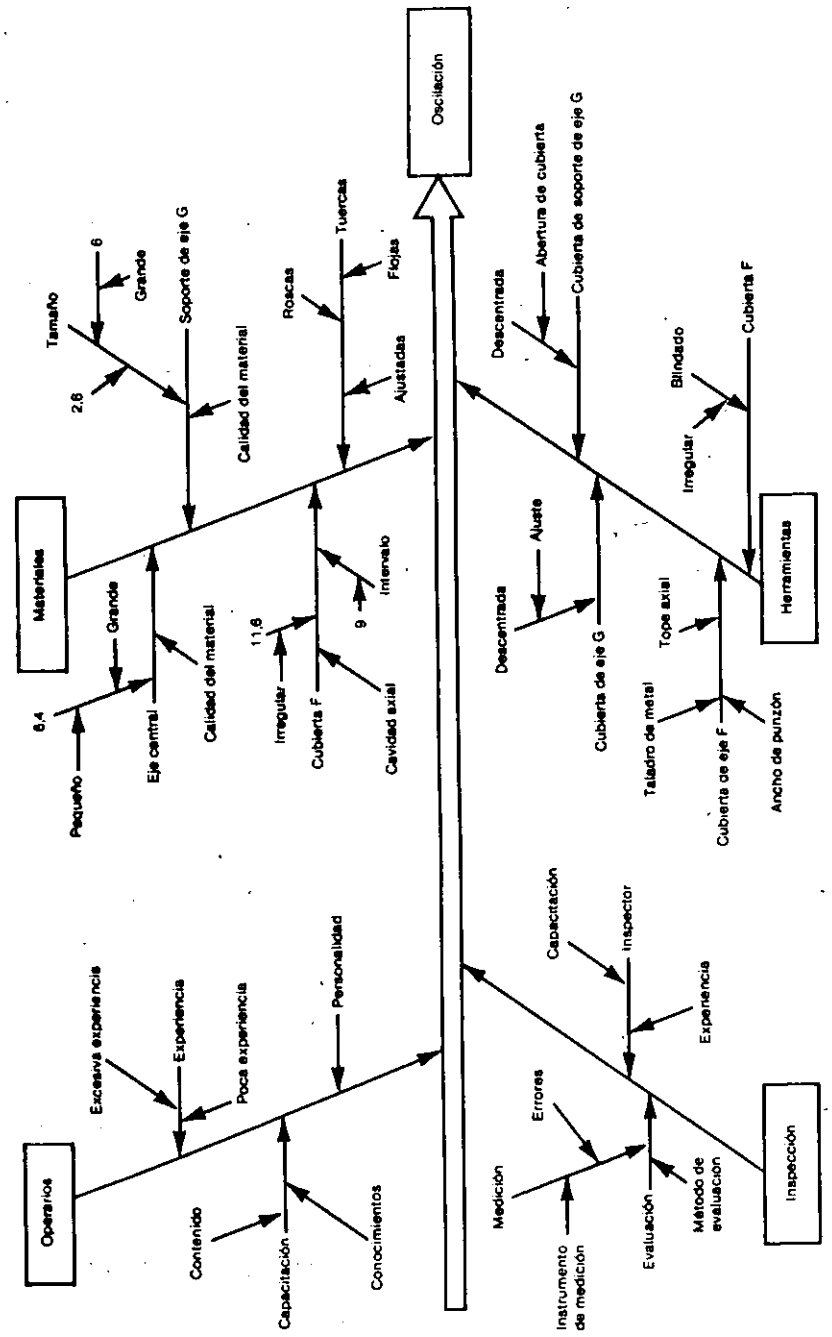


Figura 3.5 Diagrama de causa y efecto para oscilación (análisis de dispersiones)

3.3 Diversos métodos de construcción de diagramas de causa y efecto

En los diagramas de causa y efecto se disponen las posibles causas de dispersión de las características de calidad de forma tal que todas las relaciones se perciban con claridad. Existen diversos métodos para construir diagramas de causa y efecto, que varían según el tipo de organización y disposición que se adopte. Esos métodos pueden dividirse en los tres modelos siguientes:

1) Modelo de análisis de las dipersiones
2) Modelo de clasificación según el proceso de producción
3) Modelo de enumeración de las causas

(1) Modelo de análisis de las dispersiones

El diagrama de causa y efecto que acabamos de estudiar corresponde a este modelo. El secreto para elaborarlo consiste en preguntarse constantemente: ¿por qué ocurre tal dispersión? Hay que tener siempre presente que toda dispersión puede ser rectificada. La ventaja de este modelo es que al desglosar las dispersiones ayuda a organizar y vincular los factores que las causan. El inconveniente radica en que a menudo la forma que adopta depende de quien lo construye y en que a veces no se consignan causas menores.

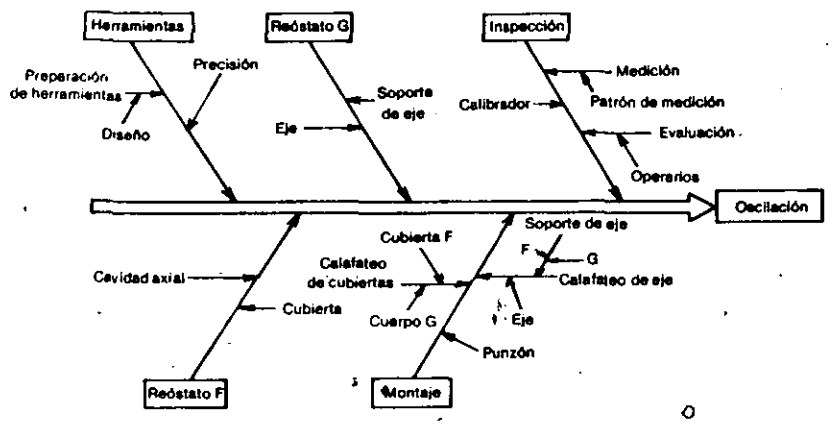


Figura 3.6 Diagrama de causa y efecto para oscilación (clasificación según el proceso)

(2) Modelo de clasificación según el proceso de producción

Con este método, el cuerpo principal del diagrama sigue el proceso de producción y va incorporando todo lo que puede influir sobre la calidad en cada etapa del proceso. El diagrama de causa y efecto de la figura 3.5, si se lo construyera de acuerdo con el modelo de clasificación según el proceso de producción, quedaría como se observa en la figura 3.6. También se puede representar este modelo como un diagrama de la línea de montaje, incorporando las causas. Un ejemplo de ello es la figura 3.7, que muestra cómo puede mellarse el material durante la fabricación de tubos de acero. Se debe recordar que la dispersión ocurre durante el proceso de producción, de manera que es preciso recorrer una a una las etapas del proceso para buscar las

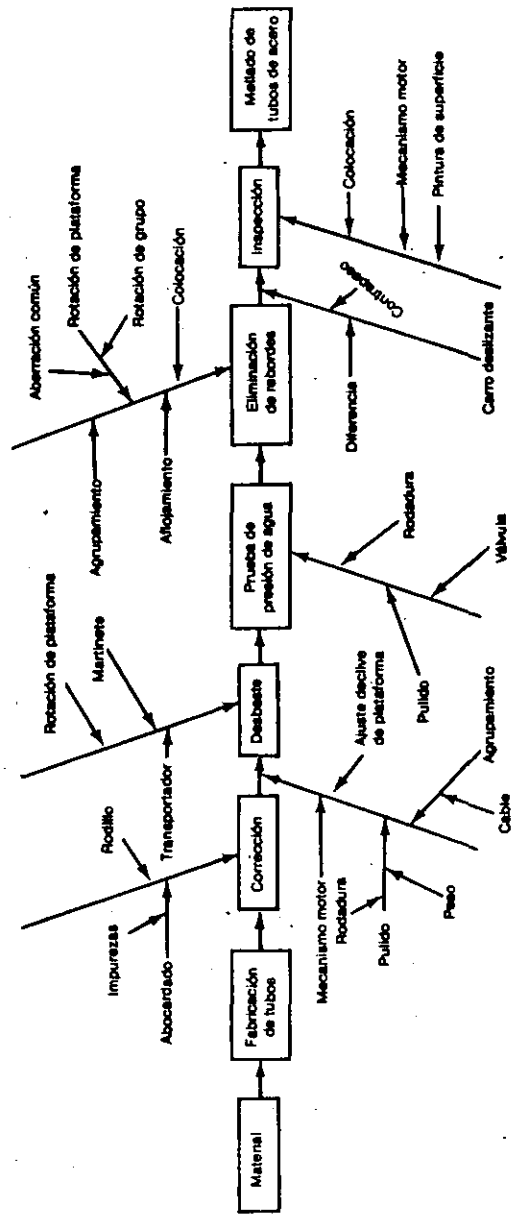


Figura 3.7 Diagrama de causa y efecto para mellado de tubos de acero (clasificación según el proceso)

causas. La ventaja de este modelo es que resulta fácil de construir y entender porque sigue el orden del proceso de producción. El inconveniente es que aparecen causas similares una y otra vez, y que es difícil ilustrar causas debidas a la combinación de más de un factor.

(3) Modelo de enumeración de las causas

En este modelo simplemente se hace una lista de todas las causas posibles. Aquí se necesitan las ideas de todos, y cuando se confecciona la lista de causas es útil usar una pizarra. Las causas han de organizarse en función de la calidad del producto, poniendo de manifiesto la relación entre la causa y el efecto; sobre esta base, puede construirse entonces un diagrama de causa y efecto. Es posible que los diagramas completos se parezcan al de la figura 3.5; pero, al principio, simplemente enumere la mayor cantidad de causas en que Ud. pueda pensar. Tenga presente que no debe limitar sus ideas a los tipos de causas ni al orden que sigue el proceso. Por el contrario, piense con la mayor libertad posible. De esta libertad de pensamiento habrá de surgir la causa real o la sugerencia de medida correctiva. La ventaja de este modelo es que se enumeran todas las causas, con lo que no se omite ninguna que sea importante. Y, al considerar la relación entre la causa y el efecto, el diagrama es muy completo. El inconveniente radica en la dificultad de vincular las causas secundarias con el resultado, lo que complica la construcción del diagrama.

3.4 Cómo utilizar un diagrama de causa y efecto

Los diagramas de causa y efecto se construyen para ilustrar con claridad las diversas causas que afectan la calidad del producto, clasificándolas y vinculándolas entre sí. Un buen diagrama de causa y efecto es por tanto el que se adapta a este objetivo, sin que exista una sola forma determinada. Lo importante es que cumpla su propósito. Hay varias maneras de utilizarlos, pero las principales son las siguientes:

(1) Construir un diagrama de causa y efecto es de por sí educativo

Al elaborar un diagrama de causa y efecto, recabe ideas de la mayor cantidad de gente posible. Pregunte a cada uno: "¿Cuál es la causa de la dispersión?" y "¿Qué relación existe y qué efecto tiene ello sobre la calidad?". Estas consultas dan lugar a que cada uno exponga su experiencia y sus técnicas; y todos los que participen en la construcción del diagrama aprenderán algo nuevo. Incluso los que todavía no saben demasiado acerca de su trabajo pueden aprender mucho con la elaboración de un diagrama de causa y efecto o simplemente estudiando un diagrama completo.

(2) Un diagrama de causa y efecto sirve para guiar la discusión

Una discusión no puede lograr los fines perseguidos si los participantes se apartan del tema. Cuando hay un diagrama de causa y efecto como centro de las discusiones, todos saben de qué se está hablando y hasta dónde se ha avanzado en el tratamiento del problema. Con esto se evita alejarse de la cuestión bajo examen y la repetición de reclamaciones y quejas. Así se llega más rápidamente a la conclusión relativa a las medidas que han de adoptarse. Por eso se puede decir que un diagrama de causa y efecto sirve de guía para deliberaciones.

(3) Buscar diligentemente las causas y consignar los resultados en el diagrama

Toda vez que descubra una característica de calidad inusitada, busque diligentemente el

factor que la provoca. Este es uno de los principios del CC. Si encuentra el factor real, repita los pasos que siguió para hallar la causa sobre el diagrama de causa y efecto.

Si, buscando el factor, el diagrama lo desorienta, o si no puede precisar el factor real, quiere decir que las causas consignadas en el diagrama no son las verdaderas causas de la dispersión. Entonces, reconstruya el diagrama de conformidad con los pasos que efectivamente siguió. Si el verdadero factor no está escrito sobre el diagrama, no deje de escribirlo.

(4) Un diagrama de causa y efecto sirve para reunir datos

Cuando se produce un cambio en la calidad, es importante determinar el porcentaje de defectos, la amplitud de la dispersión, etc. Pero esas cifras sólo muestran lo ocurrido, sin proporcionar ninguna solución. Cuando se verifican cambios de calidad, busque minuciosamente las causas; una vez halladas las verdaderas causas, indíquelas en el diagrama de causa y efecto, como se observa en la figura 3.8. Allí vemos que el 15 de marzo la sección de 6.4 mm del eje central era en realidad más pequeña que el tamaño especificado y causó oscilación. De este modo, podemos percibir la verdadera causa que nos oriente en la adopción de las medidas pertinentes. Este sencillo procedimiento de encerrar en círculos confiere a los datos gran fiabilidad (alta calidad) y eficacia en la práctica fabril.

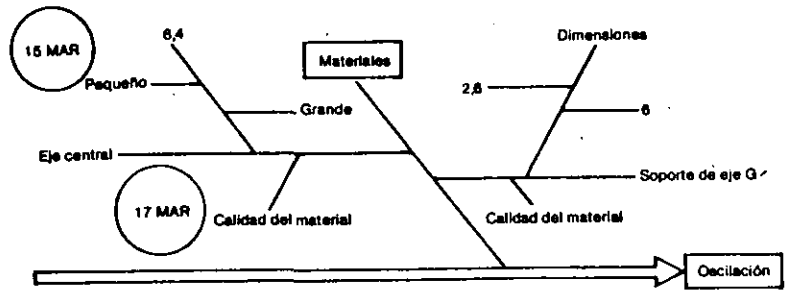


Figura 3.8

(5) Un diagrama de causa y efecto pone de manifiesto el nivel de tecnología

El hecho de que el personal pueda elaborar en detalle un diagrama de causa y efecto revela un conocimiento acabado del proceso de producción. En otras palabras, cuanto más elevado sea el nivel tecnológico de los trabajadores mejor resultará el diagrama de causa y efecto.

Si utiliza las siguientes marcas en sus diagramas de causa y efecto, podrá determinar cuál es el nivel de aptitud de su fábrica.

a. Cuando la relación entre las características de calidad y una causa se puede mostrar cuantitativamente en cifras exactas, recuádrela. En el caso de la oscilación, una diferencia de 5 micrones causó una oscilación del 2%.

descentrada

b. Cuando es difícil expresar en cifras las relaciones entre la característica de calidad y la

causa, pero se sabe con certeza que las relaciones existen, debe subrayarse el factor causal.

ajuste de tuercas

c. Cuando no hay pruebas fehacientes de que cierta causa tiene vinculación real con el problema, no haga ninguna marca. Habrá entonces pocas causas encuadradas o subrayadas. Cuanto mayor sea el número de causas que puedan encuadrarse o subrayarse, más alto será el nivel tecnológico de los trabajadores participantes.

(6) Un diagrama de causa y efecto puede utilizarse para resolver cualquier problema

Aquí hemos examinado el diagrama de causa y efecto en lo tocante a la calidad; pero, puesto que este tipo de diagrama ilustra racionalmente la relación que existe entre la causa y el efecto, es factible utilizarlo en cualquier situación. El diagrama de causa y efecto que aparece en la figura 3.9 fue diseñado para mejorar las relaciones establecidas entre los Círculos de CC de diversas empresas. El diagrama de causa y efecto puede elaborarse así no sólo en lo que se refiere a calidad, sino también con respecto a cuantía, cantidades físicas e incluso seguridad, asistencia al trabajo o cualquier tipo de problema de personal. Nuestra meta es lograr resultados; como hay que tomar medidas para corregir la causa, si sobre un problema desconocemos la relación entre causa y efecto no podemos adoptar medidas para resolverlo. Un diagrama de causa y efecto constituye el modo más claro de poner de manifiesto las causas, a fin de poder actuar con rapidez.

(7) Diagramas de causas y efecto defectuosos

Por lo general, una causa está compuesta por muchos elementos complejos. De ahí que los diagramas de causa y efecto asuman una forma bastante complicada, como el de la figura 3.10. Si el resultado final se asemeja a la figura 3.11, los conocimientos que se tienen del proceso de fabricación son todavía demasiado superficiales. De manera análoga, tampoco puede considerarse bueno un diagrama que enumera sólo cinco o seis causas, aunque su forma sea la correcta.

3.5 Creación y evolución de los diagramas de causa y efecto

El profesor Kaoru Ishikawa, de la Universidad de Tokio, fue el primero en idear un diagrama de causa y efecto cuando, en el verano de 1943, explicaba a un grupo de ingenieros de la acería de Kawasaki la forma de clasificar y vincular entre sí diversos factores. Desde este punto de vista, el diagrama de causa y efecto es un método de CC originado en el Japón. Luego se propagó por toda la industria japonesa y se hizo indispensable para efectuar el control de calidad. El diagrama se difundió ulteriormente a otros países. A veces se lo denomina diagrama de Ishikawa. Como ya señalamos, el diagrama de causa y efecto no sólo se utiliza en cuestiones de CC, sino que puede aplicarse también para la solución de cualquier problema. Es una guía para la acción concreta. Cuanto más se lo utiliza, más eficaz resulta. Y el empleo eficaz de los diagramas de causa y efecto constituye un paso primordial para fomentar las actividades de CC.

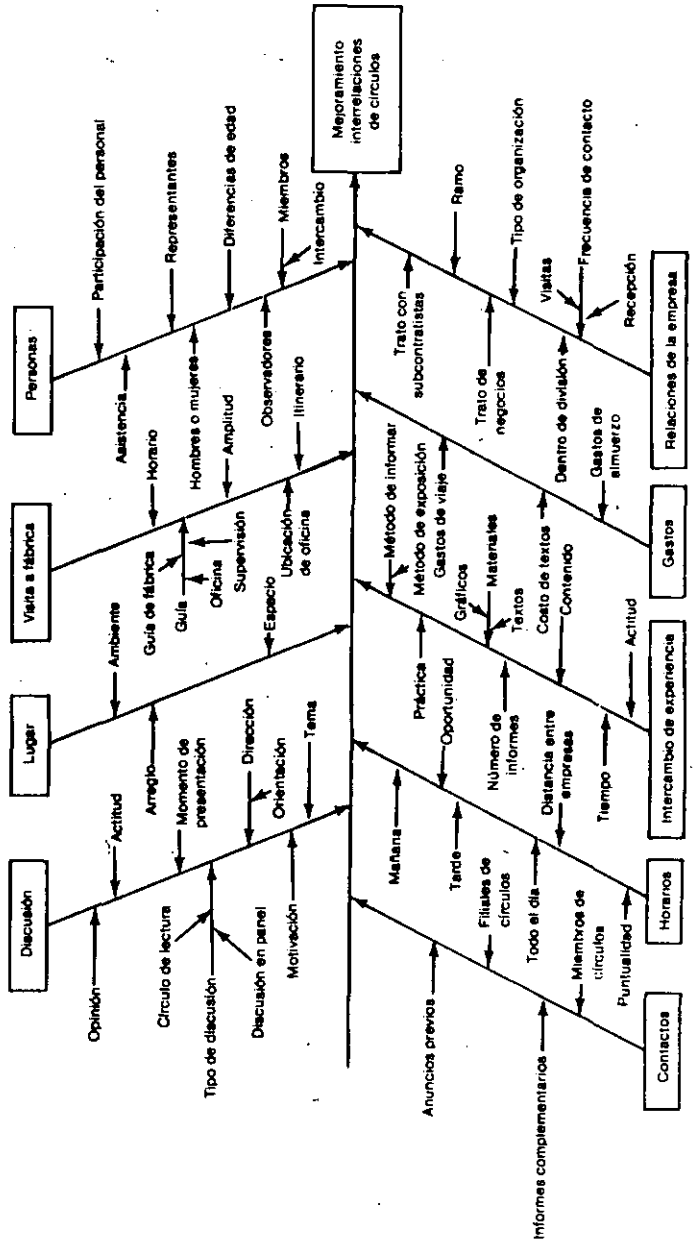


Figura 3.9

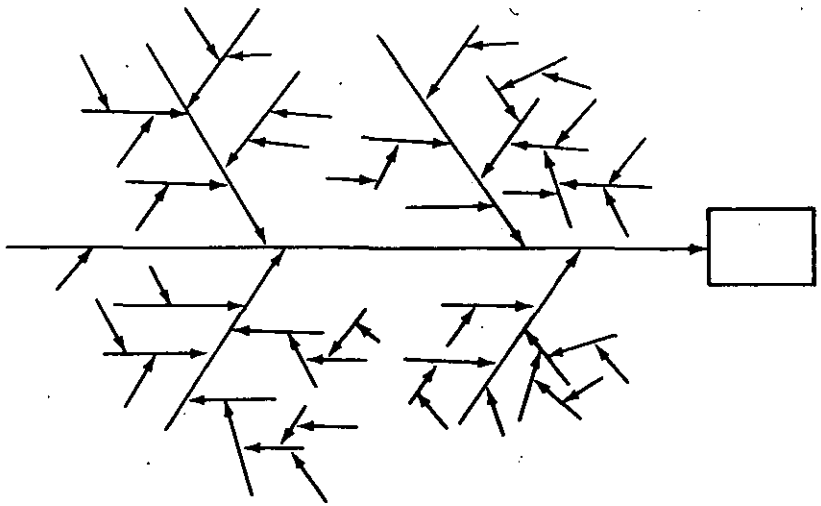


Figura 3.10

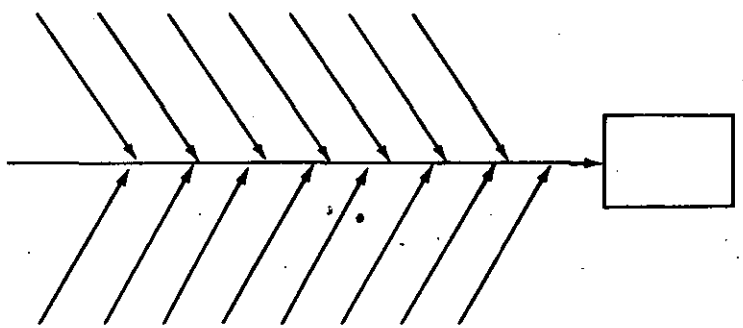


Figura 3.11

CAPITULO 4

Planillas de inspección

4.1 El control de calidad y las planillas de inspección

Se puede afirmar que la base del control estadístico de calidad es la utilización cabal de cada técnica y de los datos obtenidos mediante esas técnicas. De hecho, el término "estadístico" entraña la utilización de datos. Los datos reflejan la realidad y, toda vez que el control depende de los datos, éstos deben ser correctos. Por más esmero que se ponga en el análisis de datos incorrectos, el resultado carecerá de todo sentido. La recolección de datos debe efectuarse de manera cuidadosa y exacta. También debe tenerse perfectamente en claro el propósito de reunir los datos. Si no se procede con la debida atención, es fácil olvidar el propósito de la recolección de datos. Además, suele ocurrir que los datos reunidos para controlar el proceso de producción, aclarar la relación entre una causa y un efecto, determinar la resistencia de los materiales, etc., no se utilizan con el fin que originalmente se perseguía. A veces no se adopta ninguna medida pese a que existe una relación definida entre causa y efecto.

Los datos que carecen de objetivos claros o que son poco dignos de confianza no valen nada. Lo esencial en materia de datos es tener claro el objetivo y que los datos reflejen la realidad. Luego, el próximo problema consiste en facilitar la obtención y el empleo de los datos. Por eso en las fábricas se utilizan muchas planillas de inspección. Las planillas de inspección sirven muchos fines, pero el principal es facilitar la compilación de datos de forma tal que su aprovechamiento sea sencillo y su análisis automático. En este capítulo estudiaremos las diversas planillas de inspección.

4.2 Funciones de las planillas de inspección

Las planillas de inspección de las fábricas sirven para inspeccionar los siguientes aspectos:

1. Distribución del proceso de producción
2. Productos defectuosos
3. Ubicación de defectos
4. Causas de productos defectuosos
5. Verificación de revisiones
6. Otros

4.3 Planilla de inspección para la distribución del proceso de producción

El tamaño, el peso y el diámetro de las piezas se denominan datos continuos. En un proceso que entraña la recolección de tales datos, adquiere importancia la distribución que presentan. Puede recurrirse a un histograma para investigar la distribución de las características del proceso y, sobre esa base, calcular la media y la dispersión y estudiar las modalidades de esta última. Sin embargo, si al preparar un histograma se reúne primero una gran cantidad de datos, para construir luego a partir de ellos una tabla de distribución de frecuencias, se duplican innecesariamente los esfuerzos. Cuando se investiga la distribución de un proceso de producción, los datos individualmente considerados no tienen mayor importancia; por lo general, basta con determinar la forma de la distribución y la relación con los límites de las especificaciones. De ahí que sea más sencillo clasificar los datos a medida que se los recoge. La figura 4.1 es un ejemplo de planilla para distribución de frecuencias donde las cifras están indicadas de antemano; la tarea del recolector de datos se limita entonces a hacer marcas.

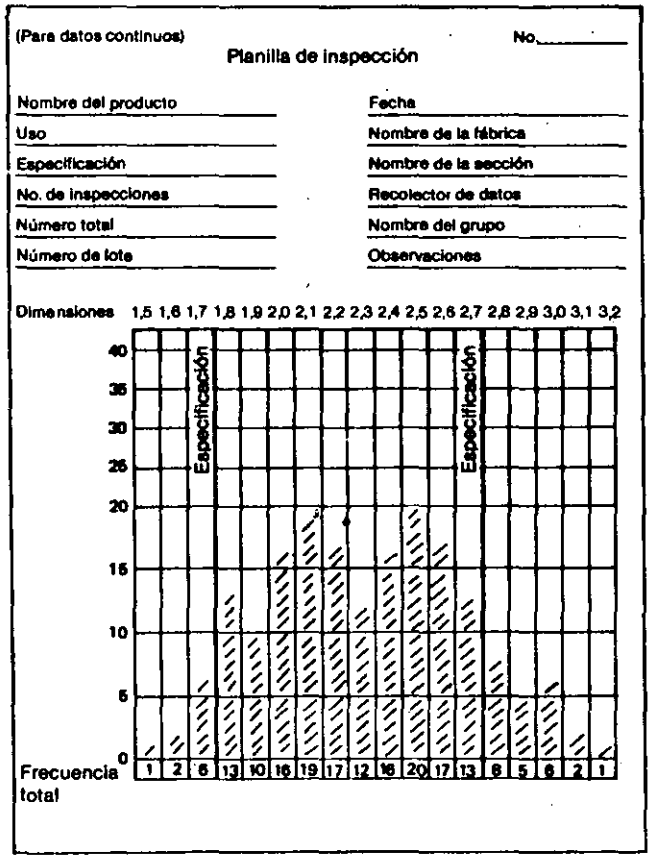


Figura 4.1 Planilla de inspección para la distribución del proceso de producción

De este modo se puede disponer de la distribución de frecuencias en cuanto termina la recolección de datos. Ello resulta mucho más rápido y sencillo que registrar cada valor por separado y construir después la tabla.

El inconveniente de esta planilla es que no muestra los cambios de los valores a lo largo del tiempo. Por eso, cuando se utiliza esta planilla, en el momento de hacer las marcas hay que cerciorarse de que no haya intervalos en el registro de los datos. Y quien recoge los datos debe asegurarse de no olvidar ninguna marca, ya que más tarde resulta casi imposible descubrir errores en la inspección. Cuando hay diferencias entre las máquinas, los materiales o los operarios --es decir, cuando las condiciones que influyen sobre los datos son distintas-- lo mejor es utilizar una planilla de inspección diferente cada vez y cotejarlas ulteriormente. Si se emplea una sola planilla de inspección para consignar datos de diverso origen, también es posible hacer marcas de colores distintos o distintos tipos de marcas. Una vez completada la planilla de inspección, verifique los dos elementos siguientes:

(1) ¿Es la distribución acampanada —tiene un solo pico y forma definida— o presenta dos picos? ¿Muestran los valores un sesgo hacia uno de los lados y aparecen valores aislados?

(2) Examine la relación que existe entre la distribución efectiva y los límites de las especificaciones. ¿Se sitúa el centro de distribución cerca de los límites de las especificaciones? ¿Es la distribución más ancha que las especificaciones? Determine qué porcentaje excede los límites de las especificaciones y qué medidas es preciso adoptar para reducir la cantidad de productos defectuosos.

Si la forma de la distribución no es normal, debe hallarse el motivo y corregirlo.

4.4 Inspección de productos defectuosos

Para reducir la cantidad de productos defectuosos es preciso conocer el tipo de defectos y sus porcentajes. Puesto que cada defecto tiene distintas causas, de nada sirve indicar simplemente el número total de defectos. Es menester hallar la cantidad de defectos provocados por cada causa y adoptar las medidas del caso, comenzando por los lugares donde se han verificado muchos defectos. La figura 4.2 es un ejemplo de planilla de inspección utilizada en una planta de producción de resina. Cada vez que un operario de la línea de prensado señalaba un defecto, se hacía una marca en la columna apropiada. Así, al concluir la jornada, se podía ver de inmediato la cantidad de defectos y en qué rubro habían ocurrido.

Los porcentajes debidos a cada causa no necesariamente resultarán idénticos; en algunos casos serán mayores y en otros menores. Con una planilla de inspección como la de la figura 4.2, se obtendrán datos que permitirán efectuar las correcciones necesarias en el proceso de producción.

Pero esta planilla de inspección, como la de la figura 4.1, tampoco muestra los cambios de los valores a lo largo del tiempo. Por ejemplo, puede haber defectos que ocurran sobre todo por la mañana, o tal vez exista la tendencia a que el primer defecto provoque otros del mismo tipo. Esta tendencia temporal no surge de la planilla completa. Como la información de esta índole reviste suma importancia para mejorar el proceso de producción, quien elabore la planilla de inspección debe tener un conocimiento de métodos estadísticos. Es preciso decidir de antemano qué marca se hará si aparecen dos o más clases de defectos en un solo producto, o si el defecto se debe a dos o más causas. La persona a cargo de la inspección debe ser minuciosa. También es

Planilla de inspección

Producto:

Etapa de fabricación: insp. final

Tipo de defecto: rayado, incompleto, deformado

No. total inspeccionado: 2530

Fecha:
Fábrica:
Sección:
Nombre del inspector:
Lote No.:
Orden No.:

Observaciones: se inspeccionaron todos los artículos

Tipo	Inspección	Sub-total
Rayas en superficie	~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ //	32
Grietas	~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ///	23
Incompleto	~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ///	48
Deformado	////	4
Otros	~~HH~~ ///	8
	Total general	115
Total de rechazos	~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ ~~HH~~ /	86

Figura 4.2 Planilla de inspección de productos defectuosos

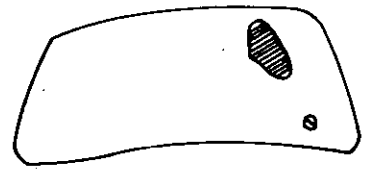
importante examinar varias planillas siguiendo el orden cronológico en que se han completado para determinar qué tendencia presenta la aparición de defectos. Si de pronto el defecto más importante comienza a aparecer con menor frecuencia, se sabrá que las medidas adoptadas han sido eficaces. Si disminuyen los defectos en general, significa que el control global ha mejorado. Si el defecto principal es diferente cada mes pero no se reduce la fracción defectuosa general, el control no resulta plenamente adecuado.

4.5 Planilla de inspección de ubicación de defectos

Con la mayoría de los productos se plantea el problema de la existencia de diversos defectos vinculados a la apariencia externa, como rayas o impurezas. En muchas fábricas se hacen esfuerzos por reducir este tipo de defectos, para lo cual la planilla de inspección de ubicación de defectos resulta sumamente útil. Habitualmente, esta clase de planilla de inspección ha de colocarse en el boceto o dibujo del producto, a fin de poder investigar la ubicación de los defectos. La figura 4.3 muestra una planilla de inspección utilizada para examinar la formación de burbujas en el vidrio laminado para parabrisas de automóvil. Se indicó la ubicación y la forma de las burbujas en la planilla de inspección y se observó que la mayoría aparecía del lado derecho. Una investigación permitió descubrir que la presión durante el laminado no era uniforme: el lado derecho recibía menos presión. Se ajustó la máquina y se eliminó casi por completo la formación de burbujas.

La figura 4.4 es una planilla de inspección para registrar pérdidas de agua en radiadores. Se determinó que la mayoría de las pérdidas se producían en las uniones de los tanques y, después de corregir la composición de la soldadura en la línea de montaje, la aparición de pérdidas disminuyó en un 50%.

Planilla de inspección para investigación de burbujas



Observaciones

Fecha

Tipo de producto

Figura 4.3 Planilla de inspección de ubicación de defectos

Como se ve por los ejemplos anteriores, este tipo de planilla de inspección permite adoptar medidas rápidamente y constituye un instrumento importante para el análisis del proceso. Observe en qué lugar aparece el defecto y considere por qué se concentra allí. Si se examina cuidadosamente el proceso teniendo esto presente, se descubrirá la causa. Al utilizar este tipo de planilla de inspección, dibuje un croquis de las partes del producto y trace secciones para facilitar la estratificación de los defectos. Las líneas divisorias deben trazarse a intervalos regulares (equidistantes).

4.6 Planilla de inspección de causas de productos defectuosos

Las planillas de inspección mencionadas se utilizan para investigar ciertos aspectos de los defectos, como su ubicación. A veces se recurre a otra planilla de inspección para llegar a investigar la causa. En general, cuando se desea investigar las causas de los productos defectuosos, los datos relativos a las causas se vinculan con los datos correspondientes relacionados con los efectos (porcentaje de productos defectuosos, rendimiento, etc.) de manera que quede en claro la relación entre causa y efecto. Estos se analizan ulteriormente mediante el empleo de la estratificación por factores causales o mediante diagramas de dispersión. En casos sencillos, los datos correspondientes pueden utilizarse directamente como aparecen en la planilla de inspección.

La figura 4.5 es un ejemplo de este tipo de planilla de inspección, empleada para registrar perillas de baquelita defectuosas; la aparición de productos defectuosos se indica por separado según cada categoría: operarios, máquinas, fechas y tipos de defectos. Los símbolos utilizados son los siguientes:

No. _____ Montar primero sección A

Jefe de sección

Supervisor

Fecha Mañana Tarde | Nombre del producto | No. producido | No. aceptado | No. rechazado | P %

Operarios A (superior) B (inferior) C (lateral) D (cremallera) Tubo Otros

Informe sobre anormalidad No.

No. de defectos

Marque anormalidades con X

Tanque superior

Panel superior

Admisión de agua

Tapa de salida

Tanque inferior

Panel inferior

Tapa de admisión

Centro

Lámina de desagüe

Observaciones Nota: cuando disponga un rechazo, especifique el motivo en el informe

Figura 4.4 Planilla de inspección para pérdidas de agua de radiadores

Equipo	Operario	Lunes Mañana	Lunes Tarde	Martes Mañana	Martes Tarde	Miércoles Mañana	Miércoles Tarde	Jueves Mañana	Jueves Tarde	Viernes Mañana	Viernes Tarde	Sábado Mañana	Sábado Tarde
Máquina 1	A	00X●	0X	000	0XX	000X XX●	0000 XXX	0000 X●●	0XX	0000	00	0	XX●
	B	0XX●	000X X0	0000 00XX	000X X	0000 00XX ●	0000 00X●	0000 0X	000X ●●	00XX ●	0000 0	00X	000● X0X
Máquina 2	C	00X	0X	00	●	0000 0	0000 00X	00	0●	00△	00□	△0	0□
	D	00X	0X	00	000●	000● △	0000 0X	0●0	00△	00△△ □	0●●	□00X	XX0

Figura 4.5 Planilla de inspección de causas de productos defectuosos

0 : superficie rayada
X : sopladura
Δ : terminación defectuosa
● : forma incorrecta
□ : otros

A simple vista, se advierte que el operario B produjo la mayor cantidad de artículos defectuosos. Se observa también que el miércoles todos los operarios elaboraron numerosos productos defectuosos. Una investigación permitió determinar que el operario B no efectuaba correctamente el cambio de las piezas de metal de su máquina y que los materiales utilizados los miércoles tenían una composición imperfecta, lo cual generaba una mayor tendencia a la producción de artículos defectuosos.

Esta clase de planilla de inspección trata de vincular causa y efecto, lo que a veces la hace un poco compleja. En su lugar, pero con el mismo fin, se puede preparar una planilla de inspección utilizando un diagrama de causa y efecto. En otros términos, diseñe un diagrama de causa y efecto fácil de emplear en la fábrica y, una vez detectado el defecto y averiguada su causa, haga una marca en la flecha correspondiente. Esto le dará un indicio de la causa en que es preciso concentrarse.

4.7 Planilla de inspección para la verificación de revisiones

El propósito de esta planilla de inspección es distinto del de las otras planillas estudiadas hasta ahora, que se orientaban principalmente a las características de calidad, como productos defectuosos y defectos. La figura 4.6 reproduce la planilla de inspección utilizada en una planta de montaje de automóviles.

Esta planilla de inspección se usa en la etapa final del montaje, la "línea de pruebas", destinada a inspeccionar y finalizar todo el trabajo ya efectuado a lo largo del complejo proceso de fabricación de automóviles. Esta etapa del proceso no tiene como objetivo el propio montaje, sino una revisión completa de la calidad acumulada durante las etapas anteriores. Como se observa en la figura 4.6, hay más de 100 rubros para inspeccionar. Esta planilla de inspección se utiliza para asegurarse de que se lleven a cabo sin falta todas las pruebas. Cuando se realizan

Planilla de inspección para líneas de pruebas Fecha: Turno
Inspector

Alineación	1.	Convergencia OK					
	2.	Giro interior OK	Izquierdo OK				
	3.	Tolerancia por distancia entre ruedas					
	4.	Ajuste faros delanteros	Foco D/I	Interruptores D/I			
Frenos	1.	De pie Delantero	OK	Suavidad	Insig.	Diferencia	Insig.
		Trasero	OK	"	Insig.	"	Insig.
	2.	De mano	OK	"	Insig.	"	Insig.
Observaciones							

Arranque	1.	Nivel de aceite	6.	Luz piloto de encendido
	2.	Manómetro de aceite	7.	Termómetro
	3.	Estrangulador	8.	Ajuste en vacío
	4.	Tensión correa ventilador	9.	Botón E
	5.	Mecanismo de arranque	10.	Resistencia para calentamiento
Tablero de luces	1.	Faros delanteros D/I	8.	Luces de frenado D/I
	2.	Luz indicadora faros delant.	9.	Apagador
	3.	Interruptor luces bajas D/I	10.	Luces de giro D/I
	4.	Luces de tablero	11.	Luces de emergencia D/I
	5.	Luces de estacionam. D/I	12.	Indicador luces de giro
	6.	Luces traseras D/I	13.	Luces interiores
	7.	Luz placa matrícula	14.	Interruptor limpiaparabrisas
Bocina	1.	Sonido	2.	Pulsador
Acelerador, freno, embrague	1.	Accionar de pedales A/F/E	5.	Retorno freno de mano
	2.	Presión de pedales A/F/E	6.	Flexibilidad de pedales A/F/E
	3.	Retorno de pedales A/F/E	7.	Juego libre de pedales
	4.	No. de muescas a la vista en palanca de mano		
Prueba de funcionamiento	1.	Vibración a baja o media velocidad	13.	Resistencia de marchas 1-2-3-4 R
	2.	Sincronización del encendido	14.	Cambio de marchas 1-2-3-4 R
	3.	Ruido	15.	Crujido de marchas 1-2-3-4 R
	4.	Ahogado	16.	Ruido de acoplamiento
	5.	Acelerado	17.	Ruido de embrague
	6.	Ruido bomba agua	18.	Ruido de diferencial, pérdida de velocidad
	7.	Ruido bomba combustible		
	8.	Ruido alternador	19.	Velocímetro
	9.	Embrague	20.	Oscilación ruedas del. D/I, tras. D/I
	10.	Posición de palanca		
	11.	Resistencia del selector	21.	Potencia de frenado D/I
	12.	Retorno de palanca	22.	Pérdidas de tubo de escape; colector; silenciador
Volante	1.	Dureza	5.	Comodidad
	2.	Juego	6.	Posición D/I
	3.	Retorno	7.	Columna
	4.	Crujido		
Chirridos				

Figura 4.6 Planilla de inspección para línea de pruebas de automóviles

PLANILLAS DE INSPECCIÓN

Pérdidas de aceite; gasolina; agua (1: ninguna; 2: mancha; 3: charco; 4: goteo; 5: flujo)	1.	Tornillo cárter ( )	4.	Varilla de medición ( )
	2.	Drenaje cárter ( )	5.	Tapa distribuidor ( )
	3.	Plancha posterior ( )	6.	Filtro aceite ( )
	7.	Tapa bloque ( )	9.	Tapón drenaje ( )
	8.	Sellado ext. ( )	10.	Congelador ( )
	11.	Cubierta columna de dirección ( )		
	12.	Caja del diferencial ( )	14.	Respiradero dif. ( )
	13.	Tapón drenaje dif. ( )	15.	Abertura dif. ( )
	16.	Cilindro maestro frenos ( )		
	17.	Conexión triple de frenos del. y tras. ( )		
	18.	Cilindro líquido frenos del. D/I ( ) tras. D/I ( )		
	19.	Manguera frenos del. D/I ( ) tras. D/I ( )		
	20.	Tanque de gasolina ( )	21.	Conexión mangueras gas. ( )
	22.	Retén sist. refrig. sup/inf ( )	25.	Manguera agua sup/inf ( )
	23.	Desagüe ( )	26.	Bloque cilindros ( )
	24.	Bomba agua ( )		

Fiadores de piezas	1.	Pasador eje del. ajustado D/I
	2.	Pasador amortiguador eje del. ajustado D/I
	3.	Perno en U eje del. ajustado D/I
	4.	Pasador eje tras. ajustado D/I
	5.	Pasador amortiguador eje tras. ajustado D/I
	6.	Perno en U. eje tras. ajustado D/I
	7.	Amortiguador tras. ajustado D/I
	8.	Arbol de cardán ajustado
	9.	Tuercas ruedas ajustadas del. tras. D/I
	10.	Cubierta columna de dir. ajustada
	11.	Junta ajustada D/I
	12.	Tuerca de seguridad de control remoto ajustada
	13.	Manguera frenos del. ajustada D/I
	14.	Tubo frenos ajustado
	15.	Manguera frenos tras. ajustada
	16.	Abrazadera cañería líq. de frenos
	17.	Separación capa de base
	18.	
	19.	
	20.	
	21.	
	22.	
	23.	
	24.	
	25.	
Derrape	1.	Primera prueba OK Insig. ( )
	2.	Segunda prueba OK
Limpia-parabrisas	1.	OK Insig.
	2.	Mecanismo
	3.	Ruido presión velocidad juego libre

Figura 4.6 Planilla de inspección para línea de pruebas de automóviles

inspecciones tan complicadas y largas como ésta, hay una tendencia a repetir la misma prueba dos veces u olvidarse de efectuar algunas pruebas importantes. Para que la inspección sea completa y minuciosa, todas las pruebas por realizar constan de antemano en la planilla y se debe ir marcando cada rubro a medida que se avanza en la revisión. Así se evita el riesgo de omisión y la planilla de inspección queda como registro permanente que, de ser necesario, puede consultarse en el futuro. Cuando hay muchas tareas distintas por efectuar en un momento determinado, este tipo de control ayuda a evitar errores.

La figura 4.7 es una planilla de inspección para mantenimiento de equipo. Para que el equipo se mantenga en funcionamiento eficiente y sin desperfectos es preciso llevar a cabo inspecciones frecuentes. Hay inspecciones o pruebas diarias, semanales, mensuales o a intervalos fijos. La menor distracción puede hacer que se olvide una parte de la revisión o incluso si se realizó o no cierta prueba. En tales casos, una planilla de inspección ayuda a cumplir la tarea con seguridad y a poner de manifiesto si se omitieron pruebas.

En esta clase de planilla de inspección, los rubros por inspeccionar deben enumerarse en el mismo orden en que se realiza la verificación en la práctica.

Inspección de mantenimiento de tanque de aguas cloacales

Area	Lugar	Tamaño motor Fabric. No.	Fecha inspección	Clima	Temp.	Nombre inspector	Jefe	Empleado	Operario	Jefe de grupo
							Sección del equipo			

Inspeccionar	No.	Contenido de inspección	Marca	Observaciones
Disyuntor no fusible	1	¿Apertura y cierre?		
	2	¿Recalienta el tablero?		
Compartimento de hierro: abridor y cerrador	3	¿Contenido receptáculo de paletas?		
	4	¿Fusible adecuado?		
	5	¿Hay obstrucciones de manejo?		
Selector	1	¿Botón a la vista?		
Interruptor de resorte	2	¿Condición durante prueba de movimiento?		
	3	¿Tuerca de cierre floja?		
	4	¿Se unen los puntos de contacto?		
Indicadores	1	¿Condición de flujo eléctrico?		
	2	¿Cuántos amperios?	A	
	3	¿Cuántos voltios?	V	
	4	¿Lámpara piloto rota o quemada?		
Interruptor FL	1	¿Suena el zumbador?		
	2	¿Se mueve el interruptor FL?		
Zumbador	3	¿Ruidos u olores extraños?		
Relevador 3E	4	¿Funciona el relevador 3E? 60%	Sec.	
Interruptor magneto	5	" " 80%	Sec.	
	6	" " 100%	Sec.	
	7	¿Salta el magneto?		
	8	¿Se unen los puntos de contacto?		

Figura 4.7 Planilla de inspección para mantenimiento de equipo

4.8 Otras planillas de inspección

Por supuesto, en las fábricas se utilizan muchos otros tipos de planillas de inspección. En la figura 4.8 vemos una planilla de inspección para llevar a cabo el muestreo de ocupación. El muestreo de ocupación es un método destinado a analizar cómo se utiliza el horario de trabajo. El trabajo total se divide en trabajo principal, trabajo preparatorio, tiempo libre, etc. Luego se examina el porcentaje dedicado a cada categoría mediante la repetición intensiva de observaciones del contenido del trabajo en momentos de la jornada escogidos al azar. En otras palabras, se verifica, en determinados momentos de la jornada, qué cantidad de trabajadores están dedicados al trabajo principal y al trabajo preparatorio o están descansando; repitiendo estas observaciones, se hallan los porcentajes respectivos. La planilla de la figura 4.8 se utiliza para esta clase de inspección.

Planilla de inspección para muestreo de ocupación

Inspector: _____ Propósito de insp. _____ Fecha _____
Método: _____ Clima _____

Rubro	Marcas	Total	%
Procesamiento		463	65%
Planificación		157	22%
Transporte		32	8%
Clasificación		11	4%
Otros		7	1%
Total		670	100%

Figura 4.8 Planilla de inspeccion para muestreo de ocupación

Hemos examinado aquí diversos tipos de planillas de inspección. Pero siempre recuerde el propósito de reunir datos y trate de confeccionar la planilla de inspección que satisfaga adecuadamente sus necesidades de la manera más apropiada y sencilla. No hay duda de que en su establecimiento se reúnen habitualmente numerosos datos. Con todo, vale la pena reexaminar el propósito de esa labor y llevar a cabo estudios para ver si es posible mejorar algunos aspectos a fin de que la recolección de datos resulte más fácil y más eficiente.

CAPITULO 5

Diagramas de Pareto

5.1 ¿Qué es un diagrama de pareto?

Muchos aspectos de la producción fabril requieren mejoras: productos defectuosos, asignación de horarios, reducción de costos, etc. De hecho, cada problema se compone de tantos problemas menores que es difícil saber cómo resolverlos. Y se necesita una base definida para adoptar cualquier decisión.

Tabla 5.1 Registro de productos defectuosos

Fecha Cantidad inspeccionada: $N = 2165$

Rubros de defectos	Cantidad de prod. defect.	% de N	% del total de prod. defect.
Calafateo	198	9.1%	47.6
Ajuste	25	1.2%	6.0
Conexión	103	4.8%	24.7
Par motor inadecuado	18	0.8%	4.3
Separación	72	3.3%	17.3
Total	416	19.2%	99.9

La tabla 5.1 presenta datos sobre productos defectuosos resultantes de cierto proceso. Si bien en el proceso se agrupan los productos defectuosos como provenientes de "operaciones inadecuadas" sin hacer distinciones entre ellos, se los puede dividir en los cinco renglones siguientes: calafateo, ajuste, conexión, par motor inadecuado y separación. Estas categorías de defectos, clasificados por su índole, se denominan rubros de defectos. Con los datos de esta tabla, se ha construido un gráfico de barras (figura 5.1).

En la figura 5.1, el eje vertical izquierdo mide la cantidad de productos defectuosos por cada rubro de defectos y el eje vertical derecho el porcentaje del total de productos defectuosos que representa cada rubro. El eje horizontal indica los rubros de defectos, comenzando por el más frecuente a la izquierda y terminando por el menos frecuente en el extremo derecho; el resto se dispone por orden de magnitud. La curva muestra el total acumulado de productos defectuosos para cada rubro de defectos. Este tipo de gráfico se conoce como diagrama de Pareto.

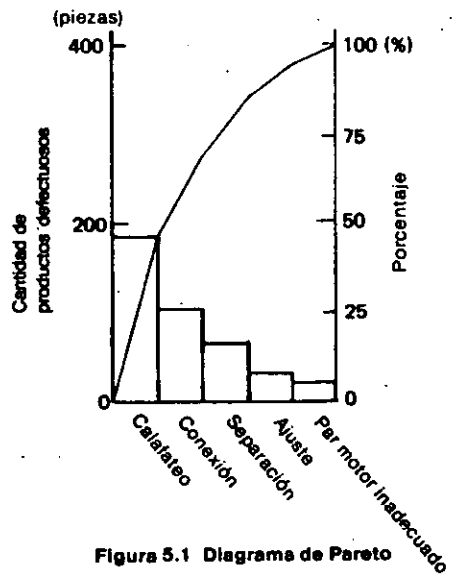


Figura 5.1 Diagrama de Pareto

Un diagrama de Pareto, como el que acabamos de describir, indica qué problema se debe resolver primero al eliminar defectos y mejorar las operaciones. De acuerdo con este gráfico, en primer lugar debemos ocuparnos del calafateo porque lo representa la barra más alta. El rubro que le sigue en importancia es el que corresponde a la siguiente barra: conexión. Aunque esto parezca muy sencillo, los gráficos de barras son sumamente útiles para el control de calidad en las fábricas. Baste señalar que resulta mucho más fácil ver cuáles son los defectos más importantes con un gráfico de barras que con una tabla numérica solamente. Las ventajas de este gráfico se explicarán en la tercera sección de este capítulo.

5.2 Cómo construir un diagrama de Pareto

Quien haya elaborado alguna vez un gráfico de barras podrá construir fácilmente un diagrama de Pareto. No obstante la experiencia que tal vez tenga el lector en la elaboración de gráficos de barras, conviene recordar los siguientes pasos a título de repaso.

Paso 1. Determine con precisión los rubros que empleará en el gráfico. Por ejemplo, los gráficos pueden enumerar los rubros según tipos de productos defectuosos, defectos, grupos de trabajo, artículos, tamaños, averías, etc. (Si sus registros de datos no están clasificados o detallados por categorías, Ud. no podrá construir un diagrama de Pareto. Revise la planilla de inspección para asegurarse de que los datos están divididos en las categorías pertinentes).

Paso 2. Decida el período que va a ilustrar en el gráfico: desde qué momento hasta cuál otro abarcará el gráfico. No existe ningún lapso prescripto de modo que, naturalmente, el período dependerá de la situación. Es preferible que el período tenga amplitud suficiente: una semana, dos semanas (quincenal), un mes, tres meses (trimestral), etc.; pero en ciertas situaciones también puede ser de un día, dos días o cuatro horas. Lo importante es tratar de fijar el mismo período para todos los gráficos relacionados entre sí, con lo que se posibilita la comparación ulterior.

Paso 3. Sume la frecuencia con que se verifica cada rubro en el período fijado. El total de cada rubro quedará indicado por la longitud de la barra.

Paso 4. Trace los ejes horizontal y vertical en papel cudriculado y divida el eje vertical en las unidades apropiadas (como cantidad de productos defectuosos). Para que resulte fácil leer el gráfico, trate de hacer las divisiones de tal manera que cada unidad sea de 0,1, 0,2, 0,5 ó 1, etc., y escriba los números sobre las líneas del papel cuadriculado. Al fijar la posición del 0 o de las decenas, se deben emplear líneas gruesas trazadas a intervalos regulares de 10 en 10 (por ejemplo, si el papel tiene cuadrados de un milímetro, las líneas gruesas se trazarán cada 10 milímetros). No escriba todos los números sobre el eje vertical. Marque alternadamente los cuadrados para valores como 2, 4, 6 ..., u omita algunos y escriba sólo 0, 5, 10, etc. En el extremo superior o al costado del eje vertical indique las unidades utilizadas.

Paso 5. Debajo del eje horizontal anote primero el rubro más importante, luego el siguiente, y así sucesivamente, de forma que el rubro de defectos más frecuente aparezca en el extremo ezquierdo. Cuando, sin embargo, hay muchos rubros de baja frecuencia, se los puede agrupar como "otros" en el extremo derecho (ver figura 5.7).

Paso 6. Dibuje las barras. La altura de la barra corresponderá al valor indicado en el eje vertical. Todas las barras deben tener el mismo ancho y cada una debe estar en contacto con la barra contigua, ya que el área de la barra representa la cantidad de productos defectuosos.

Paso 7. Trace una línea quebrada para indicar sobre el gráfico el total acumulado de cada rubro.

Paso 8. Titule el gráfico y escriba en forma sucinta el origen de los datos en los cuales se basa. Si no hay un título, o si nadie puede decir cuándo se recogieron los datos, en qué condiciones (método de inspección, inspector, recolección anterior o posterior a la modificación, etc.), qué cantidad de piezas se inspeccionaron y cuál es el total de defectos y productos defectuosos, el gráfico no servirá para nada. Cuando se efectúa un control de calidad, el origen de los datos debe ser claro.

5.3 Cómo utilizar un diagrama de Pareto

(1) Un diagrama de Pareto es el primer paso para efectuar mejoras.

Al efectuar mejoras, lo siguiente es importante:

1) Obtener la cooperación de todas las personas implicadas

2) Lograr un resultado considerable

3) Escoger una meta concreta

Si los trabajadores tratan de lograr mejoras en forma individual pero sus esfuerzos carecen de una base definida, un gran despliegue de energía arrojará escasos resultados.

El diagrama de Pareto es muy útil para obtener la cooperación de todos los involucrados porque un simple vistazo permite percibir en qué consiste el problema principal: las dos o tres barras más altas son las que corresponden a la mayor parte de los problemas; las más pequeñas señalan causas menores.

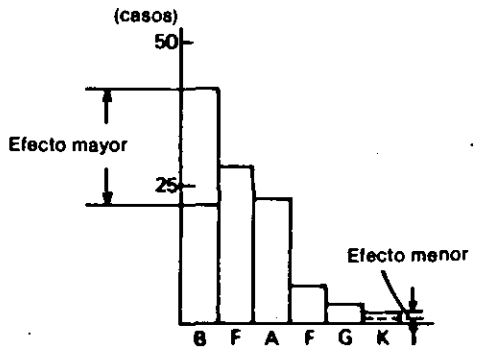


Figura 5.2 Esfuerzos por mejorar y sus efectos

La experiencia nos ha enseñado que es más fácil reducir a la mitad una barra alta que reducir a cero una barra corta. Si podemos reducir la barra más alta de la figura 5.2 —a la cual corresponde la mayoría de los productos defectuosos— habremos realizado un logro considerable. Si reducir a la mitad la barra alta requiere el mismo esfuerzo que hacer lo propio con una barra corta, no hay duda acerca de cuál deberá seleccionarse como objetivo. Reducir a la mitad o a cero los productos defectuosos menores —representados por las barras cortas— exigiría esfuerzos enormes, puesto que es más o menos inevitable que de vez en cuando aparezcan imperfecciones en los productos.

Como debemos conseguir resultados con recursos, mano de obra y tiempo limitados, es menester colaborar en la obtención de mejoras concentrándonos en metas valiosas, es decir, en el rubro o rubros representados por la barra o barras más altas del diagrama de Pareto. La gran ventaja de los diagramas de Pareto es que nos enseñan cuáles son los factores más importantes en los cuales corresponde, por tanto, concentrar la atención. Como se ha visto, el diagrama de Pareto constituye un instrumento indispensable para saber exactamente qué objetivo seleccionar a fin de concentrar en él los esfuerzos de mejora. Por eso podemos decir que un diagrama de Pareto es el primer paso para efectuar mejoras.

(2) Los diagramas de Pareto pueden aplicarse para efectuar mejoras en todos los aspectos.

Hemos mencionado ya que en una fábrica las mejoras no sólo atañen a la calidad; hay también problemas de eficiencia, costo de conservación de materiales y ahorro de energía, seguridad, etc. Cuando se procura una mejora, cualquiera sea el problema, siempre se puede diseñar y aplicar un diagrama de Pareto. Y acabamos de ver que los diagramas de Pareto constituyen el primer paso.

El diagrama que aparece en la figura 5.3 se utilizó para mejorar la eficiencia del trabajo de oficina. El eje horizontal enumera las diversas tareas de los trabajadores de un depósito. El vertical, la cantidad de horas dedicadas a cada tarea. Sobre la base de este gráfico, se fijó como meta de la mejora el rubro recepción y se obtuvieron buenos resultados.

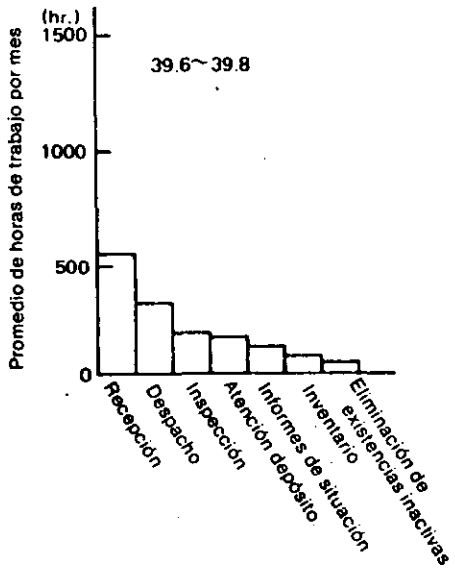


Figura 5.3 Diagrama de Pareto: horas acumuladas, según las tareas realizadas por los empleados de un depósito

En la figura 5.4 vemos un diagrama empleado para mejorar la prevención de averías de una máquina y la planificación del mantenimiento preventivo. El eje horizontal indica los posibles orígenes de los desperfectos. Sobre la base de este gráfico, se determinó como meta de la mejora la línea de presión de aceite y se construyó un diagrama de causa y efecto. Se efectuó la mejora y se consiguieron resultados muy positivos.

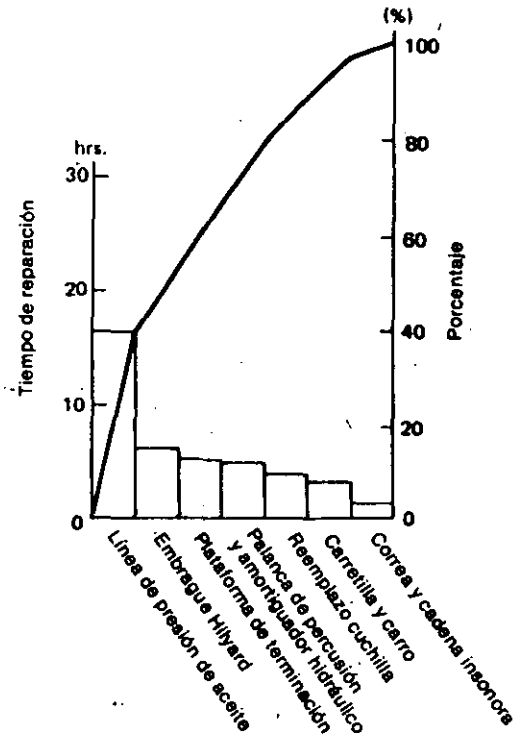


Figura 5.4 Diagrama de Pareto: averías de máquina socavadora

(3) Los diagramas de Pareto muestran si sus esfuerzos de mejora arrojan resultados.

Los diagramas de Pareto pueden utilizarse para confirmar los efectos de la mejora. Si se han adoptado medidas eficaces, lo normal es que cambie el orden de los rubros del eje horizontal. En la figura 5.7 vemos diagramas elaborados antes y después de efectuar mejoras. A base del diagrama de la izquierda, anterior a la mejora, se seleccionó como meta de la mejora el problema de los productos defectuosos debidos a una rotación inadecuada. Se determinaron los rubros por inspeccionar en el proceso con el fin de eliminar los posibles factores causantes de una rotación inadecuada. Se pidió a los operarios a cargo de esas tareas que verificaran los resultados de su trabajo. Así se obtuvo el diagrama de la derecha.

Al comparar los gráficos anterior y posterior a la mejora, observamos que la rotación inadecuada pasó a ocupar el segundo lugar en orden de importancia entre las causas de problemas, dejando el primero a la que antes ocupaba el segundo, o sea el ruido.

Las figuras 5.5 y 5.6 son diagramas de Pareto utilizados para mejorar la seguridad. La figura 5.5 muestra la cantidad de accidentes según la parte del cuerpo lesionada. Además indica que las lesiones más frecuentes se producían en los dedos. Pero como esta información no era de por sí suficiente, se preparó el gráfico de la figura 5.6 para mostrar las causas de las lesiones en los

dedos. Gracias a ese diagrama, se observó que la causa principal de lesión eran los golpes y, en consecuencia, se adoptaron las medidas apropiadas.

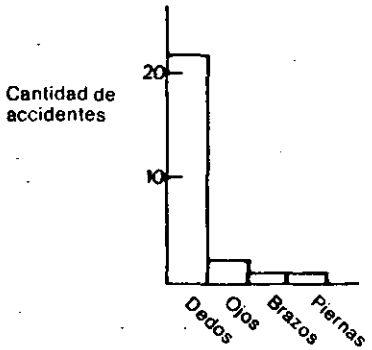


Figura 5.5 Diagrama de Pareto: lesiones

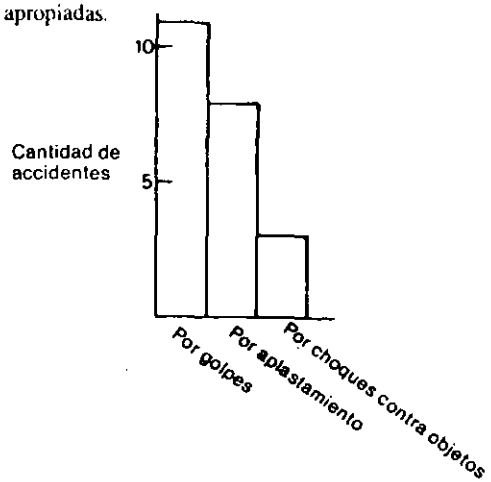


Figura 5.6 Diagrama de Pareto: lesiones en los dedos según causas de accidentes

Nota 1

Si los porcentajes de la figura 5.7 se indican en el eje vertical izquierdo como en la figura 5.8, la barra que representa el ruido en el gráfico posterior a la mejora será más alta que la del gráfico anterior a la mejora, como si hubiera aumentado la cantidad de productos defectuosos debidos al rubro ruido. En una serie de diagramas de Pareto elaborados con los mismos intervalos puede cambiar la longitud de la barra correspondiente a cada rubro. Pero en el gráfico posterior a la mejora parece haber aumentado la cantidad de productos defectuosos debidos al ruido, principalmente porque después de la mejora los debidos al problema de la rotación disminuyeron notablemente. En consecuencia, también disminuyó el total de productos defectuosos, dando lugar a un aumento porcentual de la cantidad de productos defectuosos debidos al ruido. Como de este modo es fácil confundirse, no conviene indicar los porcentajes en el eje vertical izquierdo. La confusión puede evitarse construyendo los gráficos como en la figura 5.7, lo que además permite percibir claramente la disminución total de productos defectuosos.

Nota 2

En general, si se adoptan medidas de mejoramiento que resultan eficaces, se alterará el orden de las barras. Pero si se lleva a cabo un control diario (de mantenimiento) minucioso, ese orden no cambiará y se reducirá gradualmente la longitud de las barras más altas.

Nota 3

Si una serie de diagramas de Pareto elaborados con ciertos intervalos indica grandes cambios de orden, pese a que no se ha procurado efectuar mejoras, quiere decir que el control del trabajo diario en el proceso de que se trata resulta insuficiente.

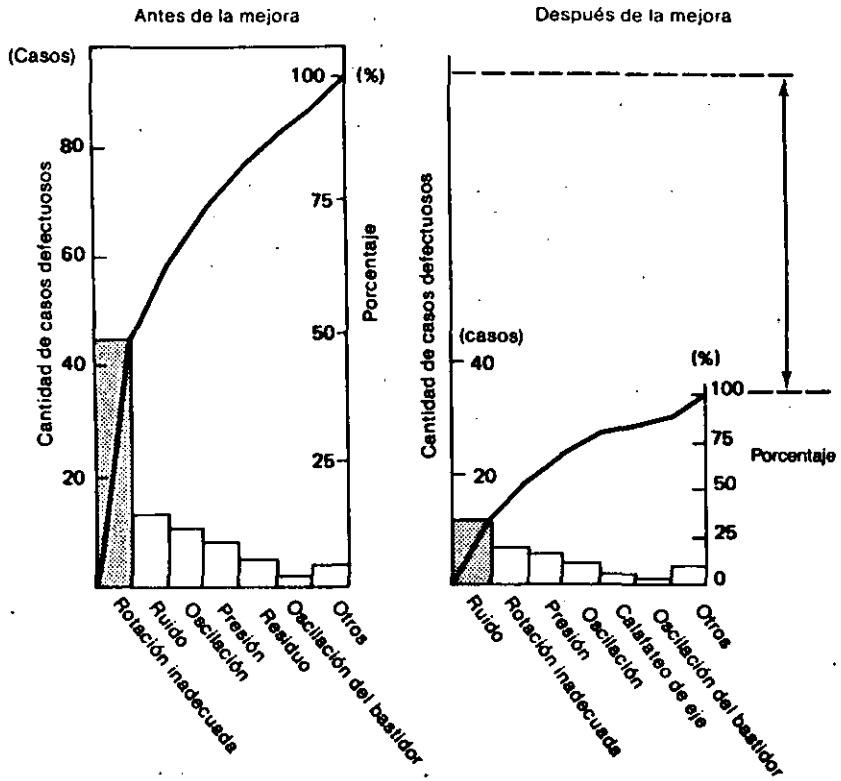


Figura 5.7 Diagrama de Pareto: defectos en el proceso

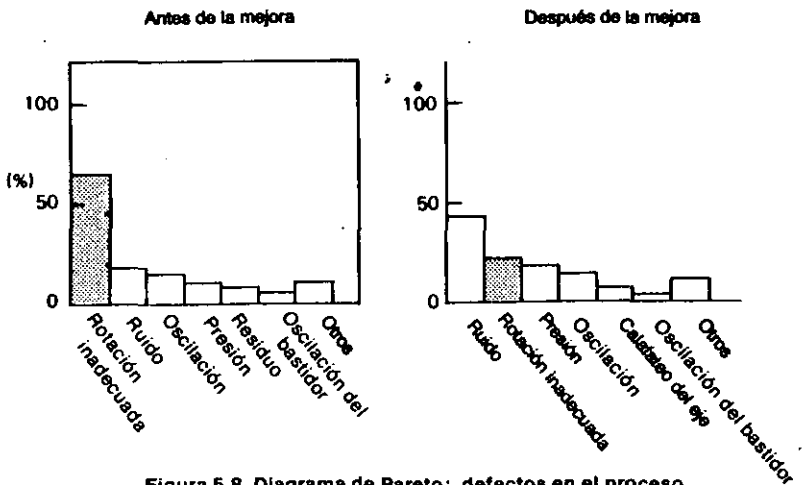


Figura 5.8 Diagrama de Pareto: defectos en el proceso (mal ejemplo)

5.4 Trate de representar cantidades de dinero en el eje vertical

En todos los diagramas de Pareto estudiados hasta ahora, el eje vertical representaba cantidad de casos, tiempo o porcentaje de casos. Ello es aceptable si la cantidad y el porcentaje de casos son proporcionales a sumas monetarias. Pero es habitual que la pérdida en dinero derivada de cada producto defectuoso o defecto varíe según las situaciones. De ser así, trate de expresar el eje vertical en unidades monetarias que correspondan a la cantidad de productos defectuosos o defectos. El gráfico resultará así tanto más útil. Para determinar aproximadamente la cantidad de dinero que se pierde por cada producto defectuoso o defecto, tal vez sea necesario consultar al departamento de contabilidad o de costos. A estos fines bastará una cifra aproximada de pérdida financiera por producto defectuoso. Es recomendable construir un diagrama de Pareto que indique, en lugar de la cantidad o porcentaje de productos defectuosos, los montos de pérdida financiera incurrida. Cabe recordar que a veces una gran cantidad de productos defectuosos no representa una enorme pérdida de dinero, mientras que en otros casos con una pequeña cantidad de productos defectuosos se incurre en grandes pérdidas financieras.

CAPITULO 6

Gráficos

6.1 ¿Qué es un gráfico?

Cuando visitamos las empresas y recorremos sus fábricas, podemos observar que casi todas utilizan gráficos. Con los gráficos a la vista, recibimos diversas explicaciones; pero cabe preguntarse si tales gráficos se aprovechan plenamente como instrumento de dirección. Trate de dar respuesta a los siguientes interrogantes:

1) ¿Cuál es el propósito del gráfico?
2) ¿Cómo se utilizan esos gráficos?
3) ¿Cómo se puede lograr que los gráficos resulten más útiles?

¿ Puede usted responder a estas preguntas? A juzgar por mi experiencia, la mayor parte de la gente no puede hacerlo. Dirán que los gráficos son engorrosos o difíciles, que no los han estudiado todavía en la educación de CC, que emplean métodos estadísticos de más alto nivel, etc. Sin embargo, en realidad, los escolares primarios de cuarto grado conocen ya los principios básicos y los métodos de la construcción de gráficos. Examinemos algunos de los gráficos que estudian los escolares de cuarto grado y veamos cómo se pueden aplicar en nuestro trabajo.

6.2 Diversos gráficos

Consideremos los gráficos de líneas, de barras y circulares. Vamos a comparar los gráficos que se estudian en cuarto grado con los que deben utilizar los capataces de fábrica en su trabajo.

(1) Gráficos de líneas (gráficos de líneas quebradas, gráficos de líneas curvas)

Gráfico de cuarto grado

1 Gráfico de líneas quebradas

a Se está calentando agua. Verifique la temperatura cada cinco minutos e indique los valores en el gráfico.

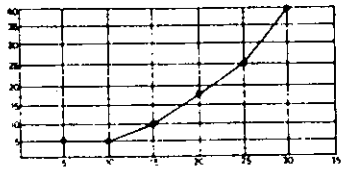


Figura 6.1
Aumento de la temperatura del agua

Gráfico de capataz de fábrica

1 Gráfico de líneas quebradas (gráfico de transición)

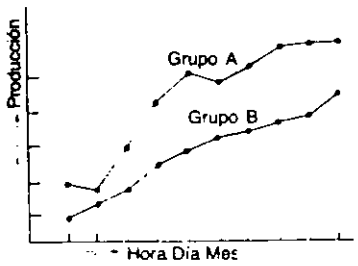
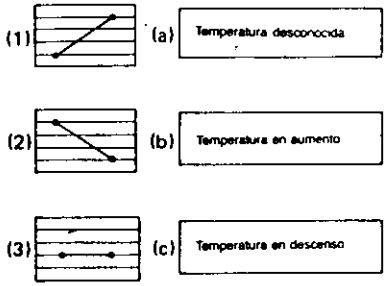


Figura 6.2 Cantidad producida por cada grupo

A partir de la figura 6.1, escriba las temperaturas correspondientes en la tabla siguiente:

Hora (')	Temperatura (°)
5-10	
10-15	
15-20	
20-25	
25-30	

b Una la respuesta correcta con el gráfico de líneas que corresponda en la **Figura 6.4.**



2 Gráfico de líneas curvas
Represente gráficamente la temperatura de cada hora del día.

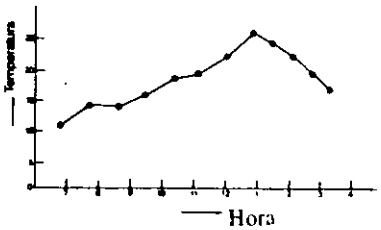


Figura 6.5

Según la figura 6.5, ¿a qué hora se verificó la temperatura más baja y a qué hora la más elevada? ¿Qué diferencia de temperatura hay entre ambas?

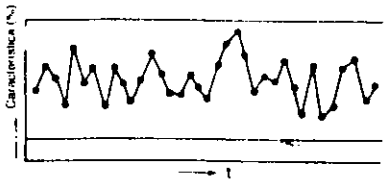


Figura 6.3 Eficiencia de la producción

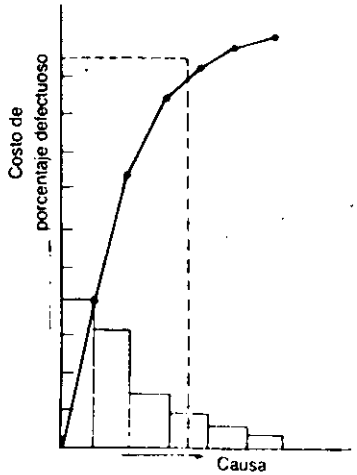


Figura 6.6

Probablemente muchos imaginen algo como lo anterior al escuchar la palabra "gráfico". Hay por lo general un eje horizontal y otro vertical que muestran valores característicos relacionados con ambos ejes, y los puntos que se unen para formar la línea están determinados sobre la base de datos que incluyen ambos valores. Cuando los puntos están unidos por una curva, el gráfico se denomina de líneas curvas; cuando la unión es quebrada, gráfico de líneas quebradas. En los gráficos de control de calidad se consignan la fecha, la hora y el orden, y pueden denominarse gráficos de líneas quebradas especiales.

(2) Gráficos de barras (cuadros con columnas)

Gráfico de cuarto grado

1 Determine cuánta gente trabaja en distintas ocupaciones en la ciudad y construya un gráfico de barras.

a ¿ A cuántas personas representa la primera barra de la figura 6.7?

b ¿ Aproximadamente cuántas personas se dedican a cada ocupación?

Empleados de empresas Agricultores
Empleados de tiendas Otros

c ¿ Qué fracción de los empleados de empresas representa la cantidad de agricultores?

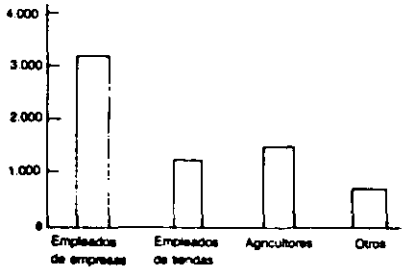


Figura 6.7

2 La figura 6.8 indica la cantidad de ahorros del Sr. T, la Srta. Y y la Srta. H.

a ¿ Cuánto dinero tiene cada uno?

Sr. T .....$
Srta. Y.....$
Srta. H.....$

b ¿ Cuánto más dinero tiene la Srta. Y que el Sr. T?

c ¿ Qué fracción del dinero que posee la Srta. Y representa la cantidad de dinero de la Srta. H?

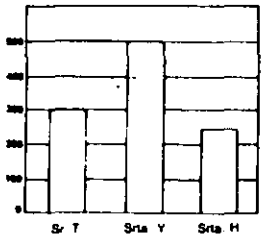


Figura 6.8

Gráfico de capataz de fábrica

Comparando las longitudes relativas de las barras en los gráficos de barras, podemos percibir la relación que existe entre las diversas cantidades representadas. En otras palabras, a diferencia de los gráficos de líneas, los de barras se utilizan cuando los dos valores característicos no se consideran continuos; es decir, hay un valor característico y el otro es su descripción.

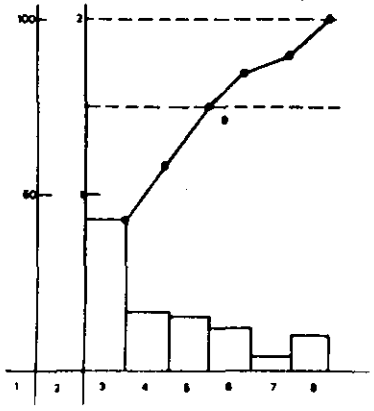


Figura 6.9 Diagrama de Pareto

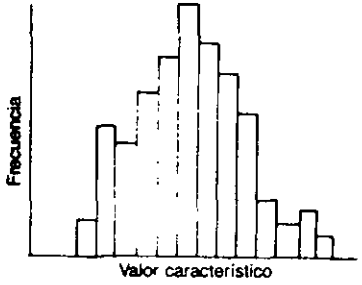


Figura 6.10 Histograma

El tamaño de cada rubro está representado por la longitud o altura de su barra. En control de calidad, la fracción defectuosa, la cantidad de productos defectuosos y la pérdida financiera causada por los productos defectuosos según cada rubro de defectos pueden indicarse en el diagrama de Pareto. También es factible construir los histogramas, no enumerando los rubros de defectos en el eje horizontal, sino dividiendo cada valor característico en clases e indicando luego la frecuencia de cada una de acuerdo con la altura de la barra.

(3) Gráficos circulares (de sectores)

Gráfico de cuarto grado

1 La figura 6.11 muestra la distribución de la utilización de la tierra en cierta ciudad.

Figura 6.11 Utilización de la tierra

a ¿ Qué fracción del total representan los distritos para viviendas?

b ¿ Qué fracción se dedica a tierra de cultivo?

c ¿ Qué fracción es tierra forestal?

Gráfico de capataz de fábrica

1 Gráfico circular

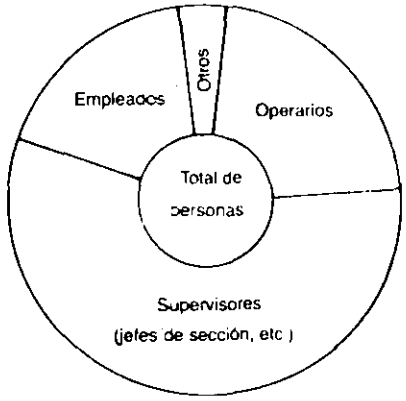


Figura 6.12 Participantes en el Círculo de CC

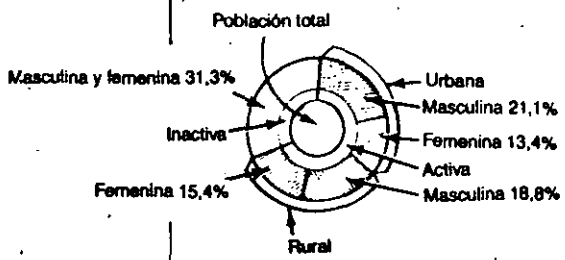


Figura 6.13 Comparación entre población activa y población inactiva

En cuarto grado, los alumnos aprenden a construir gráficos circulares dentro de los límites del sistema decimal; y en quinto, aprenden a construirlos incorporando el concepto de porcentaje mediante el empleo de un transportador.

Los gráficos circulares y de fajas se utilizan para indicar el régimen de operaciones de una fábrica, la cantidad de trabajadores que se dedican a una tarea, la relación entre una parte y el total, la distribución entre componentes, etc. Los gráficos circulares y de fajas muestran las relaciones en porcentajes y grados.

(4) Cómo utilizar e interpretar los gráficos

Hasta ahora hemos considerado los aspectos esenciales de los diversos tipos de gráficos. A continuación figuran los elementos más importantes que es menester tener presente al utilizar e interpretar gráficos.

(1) Las tablas y los gráficos (excepto los gráficos circulares) están compuestos por un eje horizontal y un eje vertical, y hay que tener en cuenta los dos elementos al interpretar un gráfico. Asegúrese de entender lo que ambos representan y qué relación guardan entre sí. Es más fácil interpretar correctamente un gráfico con la ayuda de una regla o escuadra.

(2) Un gráfico de barras muestra en forma muy clara las cantidades y las relaciones que existen entre ellas. Al interpretar o construir un gráfico de barras, tenga presente esta característica. Asegúrese de saber lo que representan los ejes vertical y horizontal y qué unidades de medida se han adoptado. El valor que cada unidad representa varía según el contenido del gráfico. (Las cantidades que aparecen en el gráfico no están representadas por la escala que indica las unidades, sino por la amplitud de los intervalos que hay entre cada marca de la escala.) Cuando en un gráfico de barras hay una barra que cae entre dos unidades, cerciórese de saber qué unidad representa cada marca y qué dimensión tiene cada unidad. Además, cuando se trata de cantidades grandes, como los gráficos sólo muestran valores aproximados, asegúrese de tener presentes las cifras significativas que pueden obtenerse del gráfico.

(3) Los gráficos de líneas son útiles para mostrar cambios en las cantidades, que pueden observarse siguiendo la dirección de la línea. Algunos gráficos incluyen dos (o más) líneas diferentes con el objeto de comparar los cambios producidos, como en el caso de los gráficos de control $\bar{x}$-R. Lo más importante de este tipo de gráficos es la relación entre las dos líneas.

(4) Las tablas y los gráficos indican diversos valores numéricos relacionados con tamaños, cambios, etc. Para que resulten de fácil lectura, los valores se expresan en cifras aproximadas y se omiten informaciones innecesarias. No lo olvide al interpretar o construir gráficos.

Es muy importante saber exactamente por qué construye usted un gráfico, cómo se lo deberá utilizar y cuáles son las características de los distintos tipos de gráficos. Por eso es esencial diseñar y elaborar gráficos que se apliquen a su trabajo basándose en una comprensión acabada de los elementos que revisten importancia para los gráficos.

6.3 Ejemplos del uso de gráficos

A continuación se explicará cómo combinar y utilizar los gráficos tomando como base los ejemplos fundamentales que aparecen en las páginas 48 a 52.

Se pueden emplear diversos tipos de papeles graduados especiales, como el papel de probabilidad binomial, el papel logarítmico, etc. Pero antes de tratar eso, en este capítulo estudiaremos los gráficos de líneas, los gráficos de barras y los gráficos circulares (o gráficos de sectores), que son fundamentales.

(1) Dos gráficos de barras verticales

Las barras de un gráfico de este tipo pueden ser verticales u horizontales, y en ambos casos los ejes se dividen en unidades conforme a las características y la índole de la información que se va a representar. En la figura 6.14 las barras son verticales, pero a veces resultan más convenientes las barras horizontales.

Obsérvese que si la dimensión vertical de un gráfico de barras no es suficientemente larga, el gráfico estará mal equilibrado y será difícil de utilizar.

(2) Gráficos de barras y gráficos de líneas quebradas

Si se combinan un gráfico de barras y un gráfico de líneas quebradas, se obtiene un gráfico como el que aparece en la figura 6.15. Colocando los puntos correspondientes al gráfico de líneas quebradas en el centro de las barras, el gráfico tendrá buen aspecto.

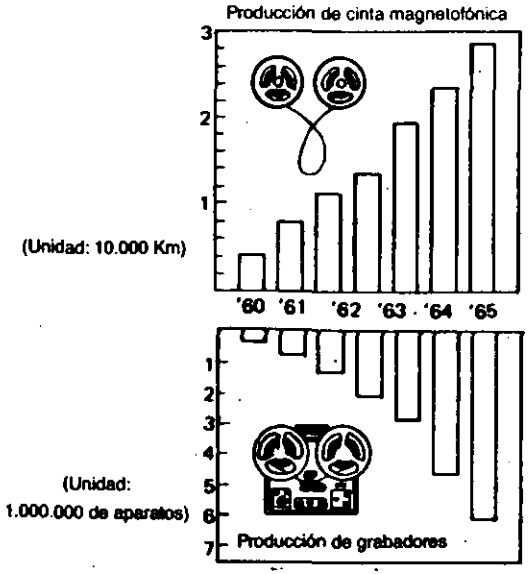


Figura 6.14

Para que se vean claramente los dos gráficos, es importante que la línea que une los puntos representados sea gruesa y negra. Es preciso tener gran cuidado al construir gráficos que, como éste, contienen elementos compatibles.

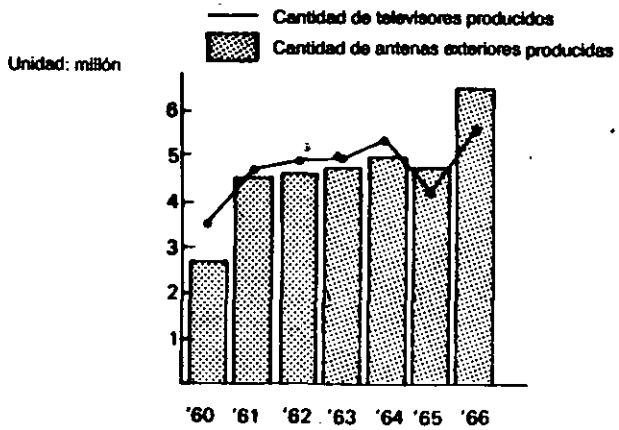


Figura 6.15 Producción de televisores y antenas exteriores

(3) Gráficos de barras compuestas y gráficos de líneas quebradas

Para indicar modificaciones en la composición relativa, o cambios a lo largo de un período, se utilizan gráficos de barras divididas en segmentos o compuestas; para destacar cambios de un período a otro, se puede recurrir a un gráfico de líneas quebradas. A fin de reducir al mínimo la confusión de quien examina un gráfico de barras compuestas, es necesario trazar con precaución el sombreado u otras líneas o puntos con que se distingue cada franja (ver figuras 6.16 y 6.17).

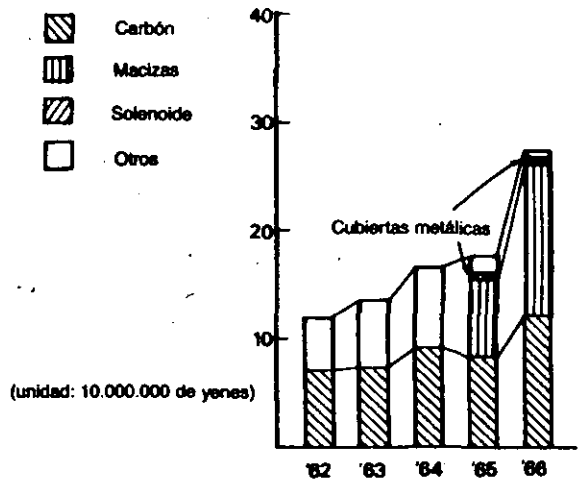


Figura 6.16 Cambios en la producción de resistencias fijas

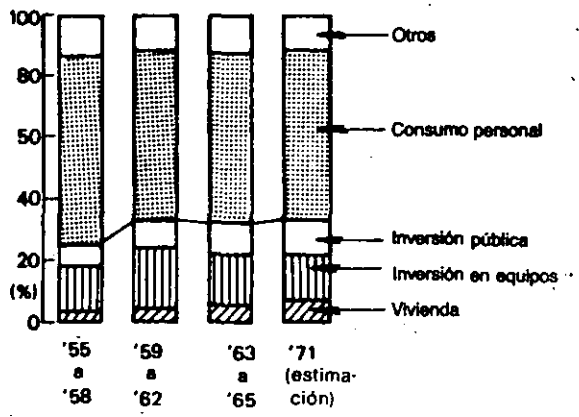


Figura 6.17 Cambios estructurales en el producto nacional bruto

(4) Diagramas circulares (gráficos de sectores)

Es más fácil construir los gráficos de sectores cuando se divide el círculo en 100 centésimos, en lugar de 360 grados. Cuando un gráfico de sectores resulta especialmente complicado, puede trazarse un círculo --o más de uno-- dentro del principal (ver figura 6.18). También hay gráficos en forma de semicírculo y otras variaciones.

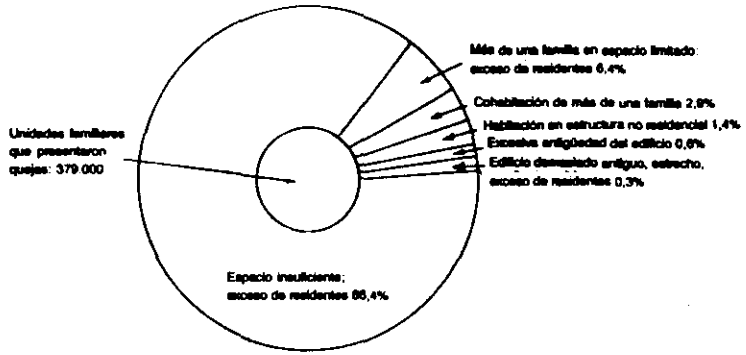


Figura 6.18 Causas de quejas en materia de vivienda (Osaka)

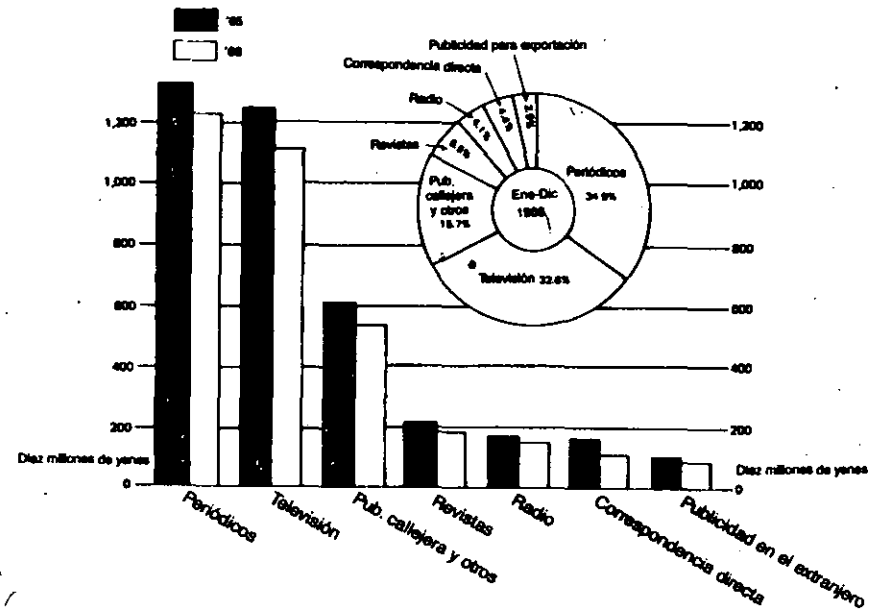


Figura 6.19 Composición de los gastos de publicidad en los diferentes medios informativos

(5) Gráficos de barras y gráficos de sectores

Se puede obtener una interesante combinación de dos gráficos uniendo un gráfico de barras y uno de sectores para mostrar ciertas características (en la parte del gráfico de barras de la figura 6.19, el incremento de los gastos de publicidad en los diferentes medios informativos) y, además, la importancia relativa de cada característica dentro del total (composición relativa, indicada en el gráfico de sectores de la figura 6.19).

(6) Pictogramas

La ventaja de los pictogramas, como los que aparecen en la figura 6.20, es que los símbolos, colocados con intervalos fijos y uniformes, contribuyen desde el punto de vista visual al proceso de comunicación.

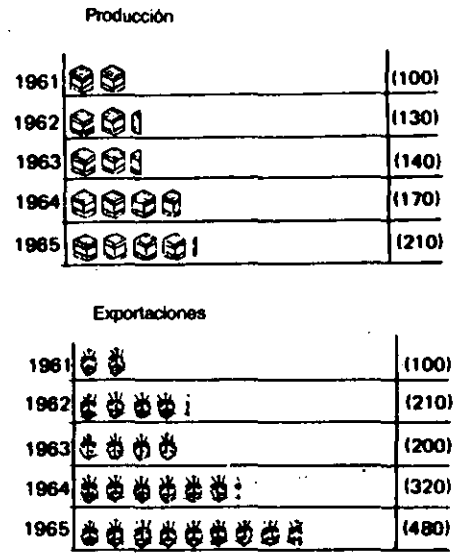


Figura 6.20

Hasta aquí hemos descripto los tipos básicos de gráficos, su empleo y los elementos fundamentales de su construcción, y cabe suponer que cualquier funcionario de su empresa podrá elaborar el gráfico que necesite (para lograr un objetivo concreto) a base de los lineamientos sugeridos. Pero en la construcción de un gráfico es esencial comprender y recordar que no basta que lo entienda quien lo elabora; también debe ser interpretado correctamente por quienes lo examinen. De lo contrario, no tendría sentido construirlo, ya que el objeto de diseñar un gráfico es comprender rápidamente una situación y adoptar las medidas apropiadas.

6.4 De los gráficos a los métodos estadísticos de control

Como ya dijimos, los gráficos se han difundido en nuestra vida diaria en muchos aspectos. Pasemos ahora de los gráficos a métodos estadísticos más avanzados.

Tomando por ejemplo los gráficos de control, debemos recordar los siguientes elementos:

(1) El empleo eficiente de los gráficos resulta esencial. Merced a los gráficos, se ponen en claro las características pasadas y presentes, y es aconsejable emprender la estratificación de los datos en esta etapa (la de los gráficos). Para efectuar un análisis adecuado en esta etapa, es importante utilizar a fondo los diagramas de Pareto, los diagramas de causa y efecto, los histogramas y los gráficos de sectores.

(2) En el pasaje de los cuadros mencionados a los gráficos de control, con fines de análisis del proceso, se recurre a técnicas estadísticas. Para su *tratamiento* estadístico, se trazan líneas de límites en gráficos de control $\bar{x}$-R, o en gráficos de control c, p o pn. En esta etapa, es útil preparar una tabla que pueda leerse de un vistazo a partir de los gráficos de control que indican características estratificadas conexas.

(3) Por último, llegamos a la transición de los gráficos de control elaborados para el análisis del proceso a los gráficos de control destinados al control del proceso. Puesto que ésta constituye una etapa especialmente importante, es menester estudiar en forma acabada y atenta la metodología de los gráficos de control, así como las diversas condiciones impuestas por el proceso de que se trate. En cuanto a la decisión de pasar de los gráficos de control para el análisis del proceso a los gráficos de control para el control del proceso, aconsejamos consultar los capítulos siguientes sobre gráficos de control.

Aquí hemos expuesto muchos elementos, pero sigue siendo recomendable dominar plenamente los conceptos básicos que se aprenden en el cuarto grado de la escuela primaria antes de pasar al estudio de gráficos más avanzados.

CAPITULO 7

Gráficos de control I

7.1 ¿Qué es un gráfico de control?

En el primer capítulo, vimos que es necesario reunir datos. En los siguientes, estudiamos las formas de ordenar los datos mediante histogramas y planillas de inspección, donde se consolidan todos los datos para obtener un panorama general, y mediante los diagramas de Pareto, que indican los sectores que plantean problemas. Esos métodos agrupan los datos para un período determinado y los expresan en forma estática. Sin embargo, en una fábrica también es deseable saber más acerca del tipo de cambios que ocurren durante cierto período, es decir, acerca del aspecto dinámico. **Esto significa que debemos no sólo observar cuáles son los cambios que experimentan los datos a lo largo del tiempo, sino también estudiar el efecto que tienen sobre el proceso los diversos factores que con el correr del tiempo sufren modificaciones. Así, si con el tiempo cambian los materiales, los trabajadores o los métodos de trabajo, o el equipo, tendremos que tomar nota de las consecuencias que esos cambios tienen para la producción.** Un modo de seguir el curso de tales cambios es el empleo de gráficos.

La figura 7.1 es un histograma basado en datos relativos a porciones de resina sintética recogidos cinco veces por día (hemos redondeado los valores para facilitar la comprensión).

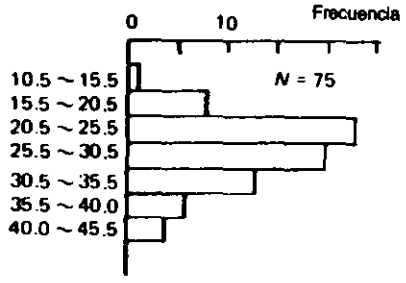


Figura 7.1

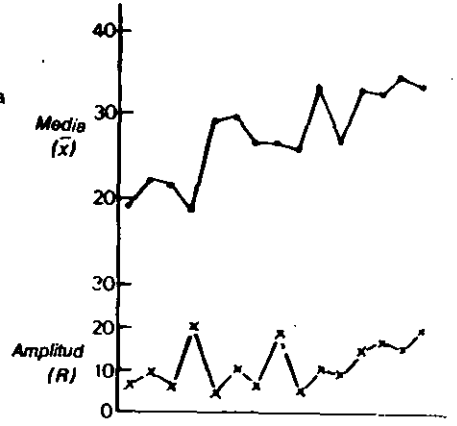


Figura 7.2

Con estos datos se construyó un gráfico (figura 7.2) donde se indican la media ($\bar{x}$) y la amplitud (R) diarias. Se lo trazó como un gráfico de líneas quebradas común (ver página 48). Este gráfico muestra que los valores eran bajos al comienzo, pero con tendencia a aumentar con el paso del tiempo. Tal vez no habríamos percibido ese hecho simplemente examinando el histograma de la figura 7.1. En otras palabras, hemos podido obtener nueva información por observar el movimiento de los datos.

El problema consiste ahora en averiguar si los puntos del gráfico son anormales o no. Por ejemplo, los cuatro primeros puntos de $\bar{x}$ pueden estar en el nivel normal o debajo de él. De este modo, cuando las normas de evaluación no son claras, se corre el riesgo de emitir juicios arbitrarios o acorde con la propia conveniencia, lo cual resta toda significación al gráfico. **Cuando se hacen evaluaciones irracionales de esta índole, es factible "omitir" las medidas necesarias o adoptar medidas inadecuadas por actuar "apresuradamente", lo que genera confusión.** Como resultado, se extraerán conclusiones inapropiadas, disminuyendo así el nivel de calidad y eficiencia.

Por ese motivo, en los gráficos se trazan líneas de límites que representan las normas de evaluación. Esas líneas indicarán la dispersión de los datos sobre bases estadísticas y nos señalarán la aparición de una situación anormal en la producción.

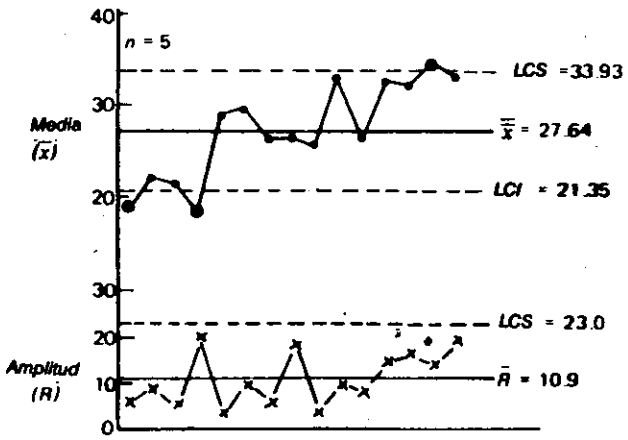


Figura 7.3

Si se trazan líneas de límites en la figura 7.2, se obtiene el gráfico de la figura 7.3. De este modo, podemos ver si existe alguna anomalía y adoptar las medidas apropiadas. Un gráfico o cuadro con líneas de límites se conoce como **gráfico de control**, y las líneas se denominan líneas de control. Hay tres clases de líneas de control: el límite de control superior, la línea central y el límite de control inferior. Se las puede denotar con las letras *LCS*, $\bar{x}$ o $\bar{R}$ y *LCI*, en ese mismo orden.

El propósito de construir un gráfico de control es determinar si cada punto del gráfico es normal o anormal, y así conocer los cambios operados en el proceso del que se han recogido los datos. Cada punto del gráfico debe indicar correctamente de qué proceso se han tomado los datos.

Por ejemplo, **al construir gráficos de control los datos diarios se promedian para obtener un valor medio del día considerado. Cada uno de esos valores pasa entonces a ser un punto del gráfico de control que representa las características de ese día.** O bien, **los datos pueden tomarse por lotes.** En ese caso, los datos deben recogerse de tal modo que el punto represente el lote de que se trata.

Los puntos de un gráfico de control representan divisiones arbitrarias del proceso de fabricación. Los datos desglosados en tales divisiones se denominan subgrupos. En la figura 7.3, las cinco mediciones efectuadas en un día constituyen un subgrupo. En otras palabras, hemos dividido el proceso de producción en unidades de un día; la producción diaria ha quedado representada por puntos de un gráfico de control; y ahora podemos determinar si el proceso se halla o no "bajo control".

La función de un jefe de grupo consiste en estar plenamente al tanto de las características que incumben a su esfera de acción y adoptar las medidas del caso en cuanto detecta una anomalía. Por lo tanto, para que cumpla eficazmente su tarea, reviste suma importancia que construya gráficos de control mediante la constitución de estos subgrupos.

7.2 Tipos de gráficos de control

La forma de un gráfico de control varía según la clase de datos que contiene. Algunos datos resultan de mediciones, como la medición de piezas individuales (en mm) o los rendimientos de un proceso químico (en g). Estos se denominan "valores no discretos" o "datos continuos". Otros datos se basan en el recuento, como la cantidad de artículos defectuosos o la cantidad de defectos. Se los conoce como "valores discretos" o "datos de recuento". Los gráficos de control construidos a base de estas dos categorías de datos serán distintos. La tabla 7.1 indica el tipo de gráfico de control que se debe utilizar en cada caso, según se base en valores no discretos o valores discretos.

Los gráficos de control también pueden clasificarse en dos tipos de acuerdo con su empleo. Como se explicó antes, los gráficos de control dan más información que una simple serie cronológica de datos: indican **cómo cambia a lo largo de un período de tiempo la influencia de diversos factores** (materiales, trabajadores, métodos, etc.). Si hay dos o más factores diferentes que ejercen influencia, debemos estratificar los datos y construir gráficos por separado a fin de poder analizar cada influencia. Si, por ejemplo, se utilizan dos tipos de material, la diferencia en las características de cada uno puede percibirse claramente trazando un gráfico por cada material. En otros términos, podemos examinar la índole de esas influencias estratificando los datos según los factores que intervienen en el proceso, o en algunos casos modificando el método de agrupamiento. Este empleo de los gráficos se denomina "análisis del proceso".

Tabla 7.1 Tipos de datos y gráficos de control

Tipos de datos	Gráfico de control empleado
No discretos Ejemplos: mediciones (1/100 mm) volumen (cc) peso del producto (g) energía consumida (kwh)	$\bar{x}$-R
Discretos Ejemplos: cantidad de productos defectuosos fracción defectuosa proporción de productos de segunda clase	pn p
Ejemplos: cantidad de perforaciones en piezas de chapas metálicas de áreas diferentes; cantidad de partículas extrañas en compuestos farmacéuticos de volumen diferente (cuando el ámbito dentro del cual pueden ocurrir los defectos, como longitud, área, volumen, etc., no está fijado)	u
cantidad de perforaciones en un área especificada; cantidad de partículas extrañas en un volumen especificado (cuando la longitud, el área, el volumen, etc., están fijados)	c

Supongamos que se ha efectuado el análisis del proceso y que se ha llegado a una situación bajo control. Para mantener tal situación, es preciso estandardizar los métodos de trabajo. Un gráfico de control con líneas de límites de control nos permite ver si esa estandardización fue correcta y si se la mantiene. De ser así, todos los puntos que luego aparezcan en el gráfico deberán hallarse dentro de las líneas de límites de control, trazadas a partir de la situación bajo control. Si en el gráfico aparecen puntos que están fuera de esos límites, debe haberse producido algún cambio en la línea de montaje o en la de fabricación. Es menester entonces investigar la causa y adoptar las medidas pertinentes. Este empleo de los gráficos se denomina "control del proceso". La forma de construir los gráficos para el análisis del proceso y para el control del proceso es la misma, pero sus objetivos son distintos. El fin del análisis del proceso es detectar las causas de cualquier dispersión que ocurra en el proceso, separando los gráficos según determinados rubros o modificando los métodos de agrupamiento; el propósito del control del proceso consiste en detectar cualquier anomalía del proceso al ir consignando los datos día a día.

7.3 La construcción de un gráfico de control $\bar{x}$-R

Un gráfico de control $\bar{x}$-R es el que indica tanto la media, $\bar{x}$, como la amplitud, R. Este es el tipo de gráfico de control más común con el empleo de valores no discretos. La parte del gráfico correspondiente a $\bar{x}$ muestra principalmente todo cambio en el valor medio del proceso, en tanto que la relativa a R indica todo cambio en la dispersión del proceso. Este gráfico es especialmente útil porque muestra cambios en la media y en la dispersión al mismo tiempo, por lo que resulta un método muy eficaz para verificar si existen anomalías en el proceso (ver tabla 7.2).

Tabla 7.2 Gráfico de control $\bar{x}$-R

Subgrupo No.	6:00	10:00	14:00	18:00	22:00	$\bar{x}$	R
1	14.0	12.6	13.2	13.1	12.1	13.00	1.9
2	13.2	13.3	12.7	13.4	12.1	12.94	1.3
3	13.5	12.8	13.0	12.8	12.4	12.90	1.1
4	13.9	12.4	13.3	13.1	13.2	13.18	1.5
5	13.0	13.0	12.1	12.2	13.3	12.72	1.2
6	13.7	12.0	12.5	12.4	12.4	12.60	1.7
7	13.9	12.1	12.7	13.4	13.0	13.02	1.8
8	13.4	13.6	13.0	12.4	13.5	13.18	1.2
9	14.4	12.4	12.2	12.4	12.5	12.78	2.2
10	13.3	12.4	12.6	12.9	12.8	12.80	0.9
11	13.3	12.8	13.0	13.0	13.1	13.04	0.5
12	13.6	12.5	13.3	13.5	12.8	13.14	1.1
13	13.4	13.3	12.0	13.0	13.1	12.96	1.4
14	13.9	13.1	13.5	12.6	12.8	13.18	1.3
15	14.2	12.7	12.9	12.9	12.5	13.04	1.7
16	13.6	12.6	12.4	12.5	12.2	12.66	1.4
17	14.0	13.2	12.4	13.0	13.0	13.12	1.6
18	13.1	12.9	13.5	12.3	12.8	12.92	1.2
19	14.6	13.7	13.4	12.2	12.5	13.28	2.4
20	13.9	13.0	13.0	13.2	12.6	13.14	1.3
21	13.3	12.7	12.6	12.8	12.7	12.82	0.7
22	13.9	12.4	12.7	12.4	12.8	12.84	1.5
23	13.2	12.3	12.6	13.1	12.7	12.78	0.9
24	13.2	12.8	12.8	12.3	12.6	12.74	0.9
25	13.3	12.8	12.0	12.3	12.2	12.72	1.1
						$\Sigma\bar{x}$ = 323.50	ΣR=33.8
						$\bar{\bar{x}}$ = 12.940	$\bar{R}$= 1.35

Veamos a continuación los pasos que se siguen para construir el gráfico de control $\bar{x}$-R.

Paso 1. Reúna los datos. Habitualmente se necesitan más de 100 muestras. Estas deben tomarse de datos recientes de un proceso similar al que se utilizará en lo sucesivo.

Paso 2. Divida los datos en subgrupos. Los subgrupos pueden constituirse de acuerdo con el orden de medición o de lote y cada uno debe incluir entre dos y cinco muestras. Los datos han de dividirse en subgrupos de conformidad con las siguientes condiciones:

a. los datos obtenidos bajo las mismas condiciones técnicas deben formar un subgrupo;

b. un subgrupo no debe incluir datos provenientes de lotes diferentes ni de distinta naturaleza.

Por este motivo, habitualmente se dividen los datos en subgrupos según la fecha, la hora, el lote, etc. La cantidad de muestras de un subgrupo determina su tamaño y se denota con la letra n; la cantidad de subgrupos se denota con la letra k.

Paso 3. Registre los datos en una planilla. La planilla de registro de datos debe estar diseñada de forma tal que sea fácil calcular los valores de $\bar{x}$ y R para cada subgrupo. La tabla 7.2 presenta datos sobre el contenido de humedad de un producto textil tomados cinco veces por día. En este caso, $n = 5$ y $k = 25$.

Paso 4. Halle la media, $\bar{x}$. Utilice la fórmula siguiente para cada subgrupo.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \ldots + x_n}{n}$$

Para los datos del subgrupo No. 1 resulta:

$$\bar{x} = \frac{14.0 + 12.6 + 13.2 + 13.1 + 12.1}{5} = \frac{65.0}{5} = 13.00$$

Y para el No. 2:

$$\bar{x} = \frac{13.2 + 13.3 + 12.7 + 13.4 + 12.1}{5} = \frac{64.7}{5} = 12.94$$

Paso 5. Halle la amplitud, R. Utilice la siguiente fórmula para calcular la amplitud R para cada subgrupo:

$$R = x_{(\text{valor mayor})} - x_{(\text{valor menor})}$$

Para los subgrupos No. 1 y No. 2 de la tabla 7.2, R resulta:

$R = 14.0 - 12.1 = 1.9$

$R = 13.4 - 12.1 = 1.3$

Paso 6. Halle la media general, $\bar{\bar{x}}$. Sume los valores de la media $\bar{x}$ de cada subgrupo y divida por la cantidad de subgrupos, k:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 \ldots + \bar{x}_n}{k}$$

Calcule el valor de la media general $\bar{\bar{x}}$ con dos decimales más que el del valor de las mediciones originales. Para los datos de la tabla 7.2 resulta:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{13.0 + 12.94 + 12.90 \ldots + 12.72}{25} = \frac{323.50}{25} = 12.940$$

Paso 7. Calcule el valor medio de la amplitud, $\bar{R}$. Sume la R de todos los subgrupos y divida por la cantidad de subgrupos, k:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 \ldots + R_k}{k}$$

Calcule el valor medio $\bar{R}$ con un decimal más que el de R. Con los datos de la tabla 7.2, $\bar{R}$ resulta:

$$\bar{R} = \frac{1.9 + 1.3 + 1.1 \ldots + 1.1}{25} = \frac{33.8}{25} = 1.35$$

Paso 8. Calcule las líneas de límites de control. Emplee las fórmulas que aparecen a continuación para los gráficos de control $\bar{x}$ y R. Los coeficientes A_2, D_4, D_3, etc., figuran en la tabla 7.3.

Tabla 7.3

n	A_2	D_4	D_3
2	1.880	3.267	No se aplica
3	1.023	2.575	
4	0.729	2.282	
5	0.577	2.115	
6	0.483	2.004	
7	0.419	1.924	0.076

Gráficos de control $\bar{x}$:

Línea central LC $= \bar{\bar{x}}$;

Límite de control superior LCS $= \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$;

Límite de control inferior LCI $= \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$.

Gráficos de control R:

Línea central LC $= \bar{R}$;

Límite de control superior LCS $= D_4\bar{R}$;

Límite de control inferior LCI $= D_3\bar{R}$.

Para los datos de la tabla 7.2, resulta:

Gráfico de control $\bar{x}$, LC $= \bar{\bar{x}} = 12.940$

$$\begin{aligned} \text{LCS} &= \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \\ &= 12.940 + 0.577 \times 1.35 \\ &= 12.940 + 0.779 \\ &= 13.719 \\ \text{LCI} &= \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \\ &= 12.940 - 0.577 \times 1.35 \\ &= 12.161 \end{aligned}$$

Gráfico de control R, LC $= \bar{R} = 1.35$

$$\begin{aligned} \text{LCS} &= D_4\bar{R} \\ &= 2.115 \times 1.35 \\ &= 2.86 \\ \text{LCI} &= D_3\bar{R} \text{ (no hay)} \end{aligned}$$

Paso 9. Construya el gráfico de control. Utilice papel graduado o papel de gráfico de control y fije la escala de tal forma que entre los límites de control superior e inferior haya una separación de 20 a 30 mm. Trace las líneas de control y consigne los valores numéricos. La línea central es una línea llena; las líneas de límites para el análisis del proceso son quebradas, mientras que las líneas de límites para el control del proceso son punteadas.

Paso 10. Marque los puntos de $\bar{x}$ y R para cada subgrupo sobre la misma línea vertical. Marque los valores de $\bar{x}$ y R calculados para cada subgrupo. Para los valores de $\bar{x}$ use un punto (.) y para los valores de R use una cruz (x). Encierre en un círculo todos los puntos que sobrepasen las líneas de límites de control para distinguirlos de los demás. Los puntos y las cruces deben estar separados entre 2 y 5 mm. La figura 7.4 muestra un gráfico de control basado en los datos de la tabla 7.2.

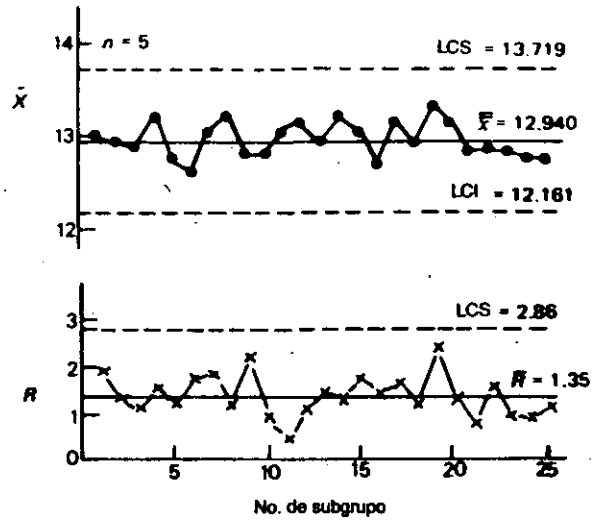


Figura 7.4

Paso 11. Escriba en el gráfico la información necesaria. En el margen izquierdo, escriba $\bar{x}$ y R; y en el extremo superior izquierdo de un gráfico de control $\bar{x}$ indique el valor de n. Indique también la índole de los datos, el período en que fueron reunidos, los instrumentos utilizados, la persona responsable, etc.

CAPITULO 8

Gráficos de control II

8.1 Movimientos de puntos en los gráficos de control $\bar{x}$-R

En el capítulo 7, mostramos cómo se construyen los gráficos de control $\bar{x}$-R, y en los ejercicios prácticos hemos visto que los gráficos de control $\bar{x}$-R sirven para comprender los cambios que tienen lugar en un proceso de producción.

Sin embargo, antes de utilizar en la práctica un gráfico de control es necesario saber lo siguiente:

a la relación entre el cambio en el proceso de producción y el cambio (movimiento de los puntos) en el gráfico de control;

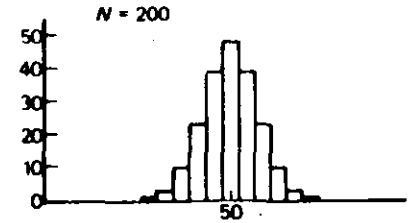
b la relación entre el grado de cambio en el proceso de producción y el grado de cambio (movimiento de los puntos) en el gráfico de control.

Efectuemos algunos experimentos para aprender más acerca de este movimiento de los puntos del gráfico de control.

Experimento 1

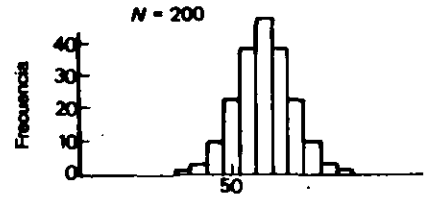
Los datos totales correspondientes a una jornada de producción de cierto artículo sirven de base para confeccionar el histograma de la figura 8.1. Denominémosla "distribución A". Escriba los datos en pequeñas fichas; una vez recogidas todas las fichas, deben presentar la misma distribución que A. Colóquelas en un recipiente grande para poder mezclarlas bien (ver figura 8.4).

El proceso de producción en esta fábrica es estable y la calidad de los productos elaborados en cada jornada está representada por la distribución A. Si la producción continuase de esta manera y midiéramos cinco (n = 5) muestras al azar por día, ¿cómo sería el gráfico de control correspondiente?



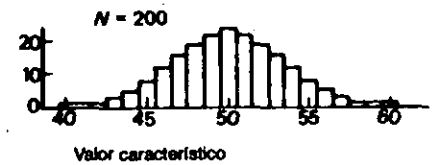
Distribución A

Figura 8.1



Distribución B

Figura 8.2



Distribución C

Figura 8.3

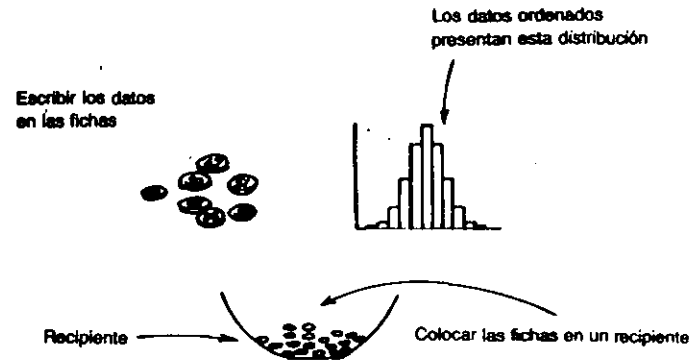
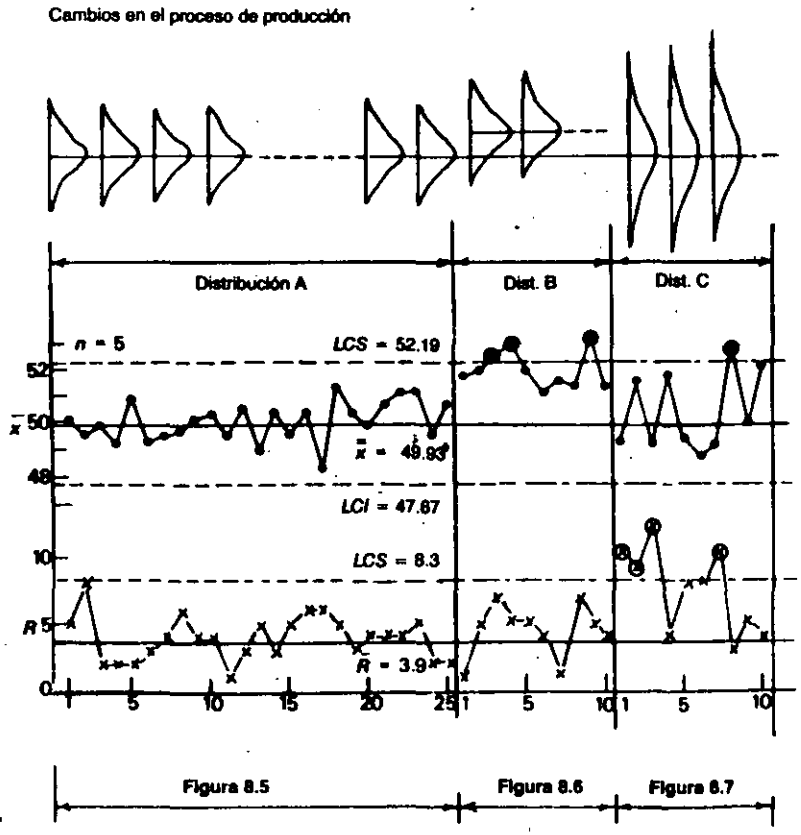


Figura 8.4 Distribución A de las fichas

Cabe suponer que la producción diaria sigue ajustándose a la distribución A de la figura 8.1. Por lo tanto, tome al azar cinco de las fichas A y con los datos escritos en ellas elabore un gráfico de control. Recoja datos para 25 días (subgrupos) tomándolos de las fichas (por ejemplo, 5 unidades × 25 días = 125 unidades) y construya con ellos un gráfico de control $\bar{x}$-R. Obtendrá un gráfico como el de la figura 8.5.

Información obtenida de la figura 8.5

Como surge claramente del gráfico de control, pese a que la producción está controlada, x y R presentan cierta fluctuación. Pero no se sobrepasan los límites de control ni los valores parecen tender a asumir una forma particular.



Si todo se mantiene así, los puntos de los gráficos de control $\bar{x}$-R basados en cinco muestras diarias seguirán formando las mismas curvas que vemos aquí. Aun cuando se extendieran las líneas de límites de control, al trazar los puntos según los datos de las fichas de la distribución A, todos los puntos seguirán dentro de las líneas de control. Tampoco debe producirse una aglomeración de puntos. Cuando el proceso de producción es estable y los puntos del gráfico de control no presentan ninguna anomalía, se dice que existe una *situación bajo control*.

Experimento 2

Si se modifica un factor (como las materias primas, la maquinaria, los métodos de trabajo, los trabajadores, etc.) y en consecuencia se observa una ligera variación en la media de una característica del producto, ¿cómo cambiarán los puntos del gráfico de control? Supongamos que en la distribución A se ha verificado un movimiento "en más", hacia la derecha, como en la figura 8.2. Llamémosla distribución B. Anotamos los datos en pequeñas fichas que, una vez reunidas, deben presentar la misma distribución B. Si la producción sigue realizándose tal como la representa la distribución B, podemos tomar los datos de las fichas de la distribución B para obtener los datos del proceso. Tomemos cinco datos diarios para diez días de las fichas de la distribución B. El gráfico de control $\bar{x}$-R construido sobre esta base resultará como en la figura 8.6. Mantendremos las líneas de límites de control que utilizamos para la distribución A.

Información obtenida de la figura 8.6

Como surge claramente de la figura 8.6, cuando hay un desplazamiento en la media de un proceso de producción (en otros términos, un desplazamiento de la distribución A a la distribución B), es fácil detectar un cambio en el gráfico de control $\bar{x}$. En este caso, no puede observarse ninguna modificación en el gráfico de control R. El cambio en la media del proceso de producción genera modificaciones solamente en el gráfico de control $\bar{x}$ El desplazamiento de la distribución A a la distribución B fue muy pequeño para el proceso de producción, pero en el gráfico de control se advierte una clara diferencia.

Experimento 3

Veamos ahora qué ocurre con los puntos del gráfico de control cuando cambia la dispersión del valor característico del proceso de producción. Mantendremos la media igual que en la distribución A, pero supondremos una dispersión mayor (figura 8.3).

La llamaremos distribución C. Prepare las fichas como en el caso anterior para que, en conjunto, presenten la distribución C. Como en el experimento 2, tome datos para diez días de la distribución C, siendo $n = 5$. Con el mismo gráfico de control, los puntos aparecerán como se indica en la figura 8.7.

Información obtenida de la figura 8.7

Cuando cambia la dispersión del proceso de producción, los puntos del gráfico del control R mostrarán una anomalía. Obsérvese también que los puntos del gráfico de control $\bar{x}$ están más separados entre sí y que algunos sobrepasan los límites de control.

Conclusión

El resultado de los experimentos es que un cambio en la media del proceso de producción da lugar a la aparición de una anomalía en el gráfico de control $\bar{x}$. Cuando la media del proceso de producción sufre un desplazamiento en más, los puntos del gráfico de control $\bar{x}$ también se trasladarán hacia el lado positivo. Aunque la media del proceso de producción varíe muy poco, la reacción de los puntos del gráfico de control ante ese cambio será apreciable.

Segundo, un cambio en la dispersión del proceso de producción, por otra parte, genera anomalías que se observan en los dos gráficos de control, $\bar{x}$ y R. Cuando aumenta la dispersión del proceso de producción, ese incremento también se reflejará en los puntos del gráfico de control R. Además, la separación de los puntos del gráfico de control $\bar{x}$ será mayor y en algunos casos los puntos pueden sobrepasar los límites de control.

Estos resultados pueden resumirse como se indica en la tabla 8.1.

Tabla 8.1

Tipo de gráfico	Cambio en la media del proceso de producción	Cambio en la dispersión
Gráfico de control $\bar{x}$	Indica anomalía	Indica anomalía
Gráfico de control R	—	Indica anomalía

Los experimentos que acabamos de efectuar muestran el movimiento de los puntos de los gráficos de control cuando se verifica un cambio en el proceso de producción. Sin embargo, en la práctica procedemos a la inversa: en base al movimiento de los puntos del gráfico de control, queremos determinar qué cambios han ocurrido en el proceso de producción. De ahí que sea importante repetir varias veces este ejercicio a fin de poder inferir, al observar el movimiento de los puntos de los gráficos de control, qué cambios han tenido lugar en el proceso de producción, como se indica en la parte superior de las figuras 8.5, 8.6 y 8.7.

8.2 Cómo interpretar los gráficos de control

Como señalamos antes, el objeto de construir un gráfico de control es determinar, en base al movimiento de los puntos, qué tipo de cambios han ocurrido en el proceso de producción. Por lo tanto, para utilizar eficazmente el gráfico de control, debemos establecer los criterios de evaluación de lo que consideramos una anomalía. Cuando un proceso de producción se encuentra bajo control, como en la figura 8.5, significa que:

1. Todos los puntos caen dentro de los límites de control, y
2. Los puntos no se agrupan de una forma en particular.

Sabremos, por tanto, que se ha producido una anomalía si

a) Algunos puntos están fuera de los límites de control (lo que incluye puntos sobre las líneas de límites), o

b) Los puntos asumen una forma particular aunque todos estén dentro de los límites de control.

Como la situación es obvia si algunos puntos caen fuera de los límites, concentrémonos en el caso (b) y fijemos normas más detalladas.

Falta de aleatoriedad y su evaluación

A. *Ciclos.* Cuando los puntos se alinean solamente a un lado de la línea central (estrictamente, la mediana), forman lo que se denomina un "ciclo". La cantidad de puntos que lo constituyen se llama "longitud del ciclo" (ver figura 8.8). Al evaluar los ciclos, si hay un ciclo de 7 puntos, concluiremos que existe una anomalía en el proceso. Aun cuando la longitud del ciclo sea menor de 6, si 10 puntos de un total de 11, o 12 de 14, caen de un solo lado, consideramos que hay una anomalía en el proceso de producción. En los gráficos de control $\bar{x}$, la línea central y la mediana prácticamente coinciden; pero en los gráficos de control R o en los gráficos p, pn, c y u el procedimiento correcto consiste en trazar la mediana y luego efectuar la evaluación.

B. *Tendencias.* Si se verifica un ascenso o un descenso continuos en una serie de puntos, diremos que hay una "tendencia" (ver figura 8.9). Al evaluar las tendencias, consideraremos que hay una anomalía si 7 puntos consecutivos ascienden o descienden continuamente. Sin embargo, a menudo ocurre que los puntos sobrepasan los límites de control antes de llegar a 7.

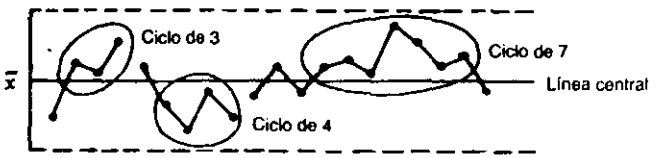


Figura 8.8 Ciclos

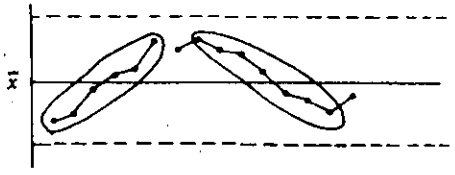


Figura 8.9 Tendencia

C. Periodicidad. Si los puntos presentan la misma pauta de variación (por ejemplo, ascenso o descenso) a lo largo de intervalos iguales, diremos que existe "periodicidad" (ver figura 8.10). Para evaluar la periodicidad, no existen métodos simples como en el caso de los ciclos y las tendencias. El único procedimiento consiste en seguir con atención el movimiento de los puntos y adoptar una decisión técnica.

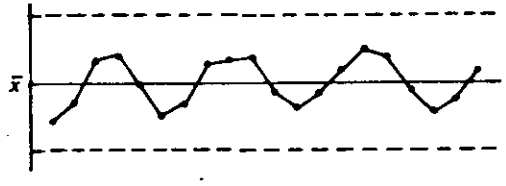


Figura 8.10 Periodicidad

D. Adherencia a la línea de control. Cuando los puntos del gráfico de control rodean de cerca la línea central o la línea del límite de control, hablamos de "adherencia a la línea de control". En tal situación, es frecuente que se hayan mezclado en el subgrupo distintos tipos de datos o datos de factores diferentes. Por ende es necesario cambiar el subagrupamiento, reunir otra vez los datos y trazar de nuevo el gráfico de control. En cuanto a la evaluación, para decidir si existe o no una adherencia a la línea central, trace dos rectas sobre el gráfico de control: una entre la línea central y el LCS, y la otra entre la línea central y el LCI. Si la mayor parte de los puntos cae dentro de estas dos rectas, existe una anomalía (ver figura 8.11). Para determinar si existe adherencia a las líneas de límites de control, a partir de la línea central trace dos rectas a dos tercios de la distancia que separa la línea central de las líneas de control, como en la figura 8.12. Hay una anomalía si 2 de 3 puntos, 3 de 7 o 4 de 10 caen dentro del tercio exterior (ver figura 8.12).

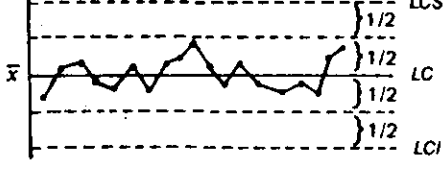


Figura 8.11 Adherencia a la línea de control

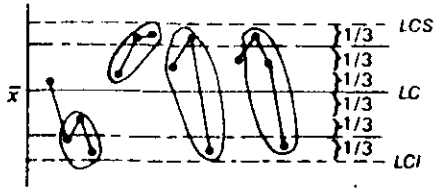


Figura 8.12 Adherencia a las líneas de límites de control

8.3 Cómo construir gráficos de control *p* y *pn*

Un gráfico *p* es el que muestra la fracción defectuosa (*p*) mientras que un gráfico *pn* muestra la cantidad de productos defectuosos (*pn*). En lo fundamental son iguales, salvo que el gráfico *pn* se utiliza cuando el tamaño del subgrupo (*n*) es constante y el gráfico *p* cuando no lo es. Los gráficos *p* y *pn* no se emplean conjuntamente como los gráficos de control $\bar{x}$-*R*. Ello se debe a que los gráficos *p* y *pn* muestran a la vez las características de la media y la dispersión del proceso de producción.

Veamos primero cómo construir un gráfico *p*. Luego, en el caso del gráfico *pn*, se explicará el método para hallar la línea de control.

(1) Gráfico p

Paso 1. Recoja los datos. Obtenga la mayor cantidad posible de datos que indiquen la cantidad inspeccionada (*n*) y la cantidad de productos defectuosos (*pn*). Se necesitarán por lo menos veinte pares (ver tabla 8.2).

Paso 2. Divida los datos en subgrupos. Habitualmente los datos se agrupan por fecha o lotes. El tamaño de cada subgrupo (*n*) debe ser mayor de 50 y la media de los productos defectuosos para cada subgrupo debe situarse entre 3 y 4. La tabla 8.2 muestra la fracción defectuosa en el caso de piezas de máquinas eléctricas agrupadas por lotes.

Tabla 8.2 Fracción defectuosa en piezas de máquinas eléctricas

Subgrupo No.	Tamaño del subgrupo n	Cantidad de defectuosos pn	Porcentaje defectuoso p (%)	LCS (%)	LCI (%)
1	115	15	13.0	18.8	1.8
2	220	18	8.2	16.5	4.1
3	210	23	10.9	16.6	4.0
4	220	22	10.0	16.5	4.1
5	220	18	8.2	16.5	4.1
6	255	15	5.8	16.0	4.6
7	440	44	10.0	14.6	6.0
8	365	47	12.9	15.1	5.5
9	255	13	5.1	16.0	4.6
10	300	33	11.0	15.6	5.0
11	280	42	14.6	15.8	4.8
12	330	46	13.9	15.3	5.3
13	320	38	11.9	16.5	4.1
14	225	29	12.9	16.4	4.2
15	290	26	8.9	15.7	4.9
16	170	17	10.0	17.3	3.3
17	65	5	7.7	21.6	0
18	100	7	7.0	19.4	1.2
19	135	14	10.4	18.2	2.4
20	280	36	12.8	15.8	4.8
21	250	25	10.0	16.1	4.5
22	220	24	10.9	16.5	4.1
23	220	20	9.1	16.5	4.1
24	220	15	6.8	16.5	4.1
25	220	18	8.2	16.5	4.1
Total	5925	610			
Total					

Paso 3. Calcule la fracción defectuosa para cada subgrupo y consígnela en una planilla de registro de datos. Utilice una planilla similar a la de la tabla 8.2. Para hallar la fracción defectuosa, aplique la fórmula siguiente:

$$p = \frac{\text{cantidad de productos defectuosos}}{\text{tamaño del subgrupo (cantidad inspeccionada en el subgrupo)}} = \frac{pn}{n}$$

Para indicarlo en porcentaje, multiplique por 100.

Paso 4. Halle la fracción defectuosa promedio

$$\bar{p} = \frac{\text{Total de productos defectuosos}}{\text{Total inspeccionado}} = \frac{\Sigma pn}{\Sigma n}$$

Según la tabla 8.2, resulta

$$\bar{p} = \frac{\Sigma pn}{\Sigma n} = \frac{610}{5925} = 0.103 \ (= 10.3\%).$$

Paso 5. Calcule los límites de control.

Línea central: LC = $\bar{p}$ = 10,3 (%)

Límite de control superior:

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

$$= 0.103 + \frac{3}{\sqrt{n}} \times 0.304$$

Límite de control inferior:

$$LCI = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$= 0{,}103 - \frac{3}{\sqrt{n}} \times 0.304$$

Recuerde que el valor de los límites de control variará de acuerdo con el tamaño del subgrupo (n). Por lo tanto, en el gráfico de control, las líneas de límites de control presentarán algunas variaciones. Para facilitar el cálculo de los límites de control, hay tablas que dan el valor de $\frac{3}{\sqrt{n}}$ para cada valor de n y el valor de $\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}$ para cada valor de p. (En el Japón, esas tablas pueden obtenerse de la *Japan Industrial Standard Association, JIS Z-9021, Control Chart Methods*, y de la *JUSE, the Nikkagiren Numerical Values Table A*).

Paso 6. Trace las líneas de control y consigne los valores de p. El gráfico de control construido según los datos de la tabla 8.2 resultará como en la figura 8.13.

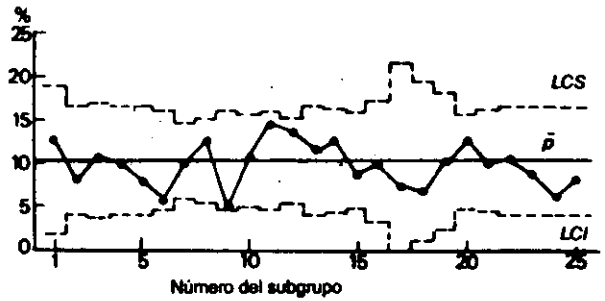


Figura 8.13 Gráfico de control *p*

(2) Gráfico pn

La tabla 8.3 presenta datos sobre piezas defectuosas en un proceso de electroplastia reunidos por lotes. El tamaño del lote se ha fijado en 100 de modo que se pueda construir el gráfico *pn*. Las tablas antes mencionadas se pueden utilizar para hallar los valores de los límites de control ($3\sqrt{\bar{p}n}$ para cada $\bar{p}n$ y $\sqrt{1 - \bar{p}}$ para cada $\bar{p}$).

Tabla 8.3 Defectos de platinado en piezas montadas

Subgrupo No.	Tamaño del subgrupo *n*	Cantidad de piezas defectuosas *pn*	Subgrupo No.	Tamaño del subgrupo *n*	Cantidad de piezas defectuosas *pn*
1	100	1	16	100	5
2	"	6	17	"	4
3	"	5	18	"	1
4	"	5	19	"	6
5	"	4	20	"	15
6	"	3	21	"	12
7	"	2	22	"	6
8	"	2	23	"	3
9	"	4	24	"	4
10	"	6	25	"	3
11	"	2	26	"	3
12	"	1	27	"	2
13	"	3	28	"	5
14	"	1	29	"	7
15	"	4	30	"	4
			Total	3000	129
($\bar{p}$ = 129/3000 = 0.043)			Promedio	100	4.3

Línea central: LC = $\bar{p}n$ = 129/30 = 4,30

Límite de control superior:

$$LCS = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1 - \bar{p})}$$
$$= \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n}\sqrt{1 - \bar{p}}$$
$$= 4.30 + (6.22)(0.98) = 4.30 + 6.09 = 10.39$$

Límite de control inferior:

$$LCI = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1 - \bar{p})}$$
$$= \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n}\sqrt{1 - \bar{p}}$$
$$= 4.30 - 6.09$$ (no se toma en cuenta un valor negativo)

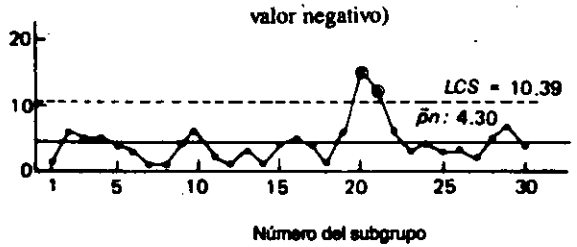


Figura 8.14 Gráfico de control *pn*

La figura 8.14 es el gráfico *pn* construido a partir de los datos de la tabla 8.3.

8.4 Cómo construir gráficos *u* y gráficos *c*

Un gráfico de control *u* se utiliza para considerar la cantidad de productos defectuosos en casos de irregularidades en tejidos o perforaciones en alambre esmaltado, y cuando el área y la longitud del material inspeccionado no son constantes. Un gráfico de control *c* se emplea para considerar la cantidad de defectos que aparecen en muestras unitarias fijas, como la cantidad de conexiones mal soldadas en radios, etc.

Veamos primero los pasos necesarios para construir un gráfico *u*. Luego explicaremos cómo hallar los límites de control para un gráfico *c*.

(1) Gráfico de control u

Paso 1. Recoja los datos. Obtenga la mayor cantidad posible de datos que indiquen la cantidad de unidades *n* y la cantidad de defectos *c*. Supongamos, por ejemplo, que hay una plancha electroplatinada en cobre de 5 m² con ocho perforaciones. Una unidad será 1m², de modo que $n = 5$, y $c = 8$.

Paso 2. Agrupe los datos. Hágalo por lotes, productos o muestras, etc. Establezca el tamaño de los subgrupos de tal manera que u sea mayor de 2 ó 3. La tabla 8.4 presenta datos sobre perforaciones en alambre esmaltado.

Tabla 8.4 Cantidad de perforaciones en alambre esmaltado

Subgrupo No.	Tamaño del subgrupo n	Cantidad de perforaciones c	Cantidad de perforaciones por unidad u	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	LCS $\bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}} \times \frac{1}{\sqrt{n}}$	LCI $\bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}} \times \frac{1}{\sqrt{n}}$
1	1.0	4	4.0	1	8.10	–
2	1.0	5	5.0	1	8.10	–
3	1.0	3	3.0	1	8.10	–
4	1.0	3	3.0	1	8.10	–
5	1.0	5	5.0	1	8.10	–
6	1.3	2	1.5	0.877	7.07	–
7	1.3	5	3.8	0.877	7.07	–
8	1.3	3	2.3	0.877	7.07	–
9	1.3	2	1.5	0.877	7.07	–
10	1.3	1	0.8	0.877	7.07	–
11	1.3	5	3.8	0.877	7.07	–
12	1.3	2	1.5	0.877	7.07	–
13	1.3	4	3.1	0.872	7.07	–
14	1.3	2	1.5	0.877	7.07	–
15	1.2	6	5.0	0.913	7.65	–
16	1.2	4	3.3	0.913	7.65	–
17	1.2	0	0	0.913	7.65	–
18	1.7	8	4.7	0.767	6.90	–
19	1.7	3	1.8	0.767	6.90	–
20	1.7	8	4.7	0.767	6.90	–
Total	$\Sigma n = 25.4$	$\Sigma c = 75$				

Paso 3. Determine la cantidad de defectos por unidad para cada subgrupo y luego calcule u.

Para hallar u aplique la fórmula siguiente:

$$u = \frac{\text{cantidad de defectos por subgrupo } (c)}{\text{cantidad de unidades por subgrupo } (n)} = \frac{c}{n}$$

Para hallar $\bar{u}$ aplique la fórmula siguiente:

$$\bar{u} = \frac{\text{total de defectos para todos los subgrupos}}{\text{total de unidades para todos los subgrupos}} = \frac{\Sigma c}{\Sigma n}$$

Según los datos de la tabla 8.4, $\bar{u}$ resulta:

$$\bar{u} = \frac{75}{25.4} = 2.95$$

Paso 4. Calcule los límites de control.

Línea central: LC $= \bar{u} = 2{,}95$

Límite de control superior: $\text{LCS} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$

$$= 2.95 + \frac{5.15}{\sqrt{n}}$$

Límite de control inferior: $\text{LCI} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$

$$= 2.95 - \frac{5.15}{\sqrt{n}}$$

También aquí los valores de los límites cambian según el valor de n. La tabla antes mencionada (de JIS, JUSE u otras fuentes) suministrará asimismo el valor de $3\sqrt{\bar{u}}$ para cada u y de $\sqrt{1/n}$ para cada n.

Paso 5. Trace las líneas de control y consigne los valores de u. Un gráfico construido a partir de los datos de la tabla 8.4 aparecerá como en la figura 8.15.

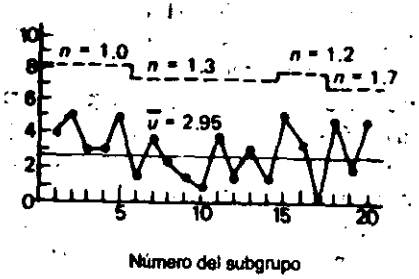


Figura 8.15 Gráfico de control u

(2) Gráfico de control c

La tabla 8.5 presenta datos sobre cantidad de defectos en material tejido. El tamaño de la muestra se ha fijado en 1m, de modo que se pueda construir un gráfico c. Para calcular las líneas de control, se aplica la fórmula siguiente. (También en este caso utilice las tablas para hallar el valor de $3\sqrt{\bar{c}}$ para cada $\bar{c}$.)

1) Un aumento de y depende de los aumentos de x. Si se controla x, naturalmente y estará bajo control.

2) Si aumenta x, y aumentará en cierta medida; pero y parece responder a otras causas además de x.

3) No hay correlación.

4) Un aumento de x provocará una tendencia a la disminución de y.

5) Un aumento de x causará una disminución de y. Por lo tanto, como en el caso 1), x puede ser controlada en lugar de y.

Nota: Las figuras 9.2 y 9.4 deben examinarse de conformidad con las siguientes reglas.

9.5 Prueba de correlación en los diagramas de dispersión

Hemos visto cómo utilizar los diagramas de dispersión para determinar las relaciones entre dos tipos de datos. Pero ¿cómo se puede determinar el grado de correlación cuando ésta existe? Podemos emplear cualquiera de los dos métodos siguientes: uno consiste en calcular el coeficiente de correlación y el otro se basa en el papel de probabilidad binomial (ver capítulo 10). Aquí hemos de referirnos al más práctico de los dos: el denominado método de la mediana para el análisis de correlaciones.

1) Halle la mediana de x ($\tilde{x}$) y la mediana de y ($\tilde{y}$). Trace ambas medianas en el gráfico de dispersión (figura 9.5).

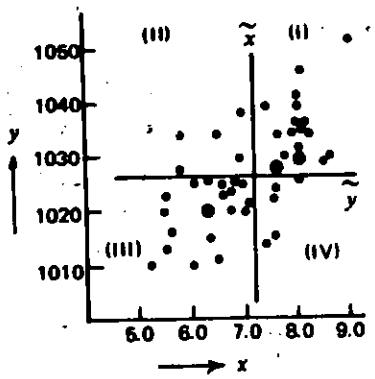


Figura 9.5 Trazado de las medianas

2) Denote con I, II, III y IV los cuatro sectores demarcados por las medianas, a partir del extremo superior derecho y en sentido contrario al de las agujas del reloj. Cuente la cantidad de puntos que hay en cada sector (tabla 9.4).

Tabla 9.4 Puntos en cada sector

Sector	Puntos
(I)	19
(II)	4
(III)	20
(IV)	5
Sobre la línea	2
Total	50

3) Determine la cantidad de puntos de II y IV, y N (cantidad total de datos menos la cantidad de puntos sobre la línea). La cantidad de puntos de II y IV es $4 + 5 = 9$; y $N = 50 - 2 = 48$.

4) Compare la cantidad total de puntos de II y IV con la columna "cantidad límite de puntos" de la tabla 9.5. Si la cantidad de puntos de ambos sectores es menor que el límite, existe correlación.

Tabla 9.5 Tabla de prueba del signo*

N	Cantidad límite de puntos en I + III, II + IV	*N*	Cantidad límite de puntos en I + III, II + IV
20	5	42	14
21	5	44	15
22	5	46	15
23	6	48	16
24	6	50	17
25	7	52	18
26	7	54	19
27	7	56	20
28	8	58	21
29	8	60	21
30	9	62	22
32	9	64	23
34	10	66	24
36	11	68	25
38	12	70	26
40	13		

Nota: Esta tabla se limita a $N = 20 - 70$ a un nivel de significación del 5 por ciento.

*La tabla 9.5 es parte de una Tabla de prueba del signo, que figura completa en el apéndice I.

Cuando N = 48, la cantidad límite de puntos es 16. Como 16 > 9, existe correlación positiva.

9.6 Consideraciones a tener en cuenta en el empleo de diagramas de dispersión

(1) La estratificación es muy importante cuando se utilizan diagramas de dispersión.

Figura 9.6 Estratificación en un diagrama de dispersión

En la figura 9.6 se indica la relación entre la composición de una materia prima (x) y la resistencia de un material (y). En el diagrama de la izquierda simplemente se consignaron los datos disponibles, mientras que en el de la derecha se utilizaron los mismos datos, pero estratificándolos (de acuerdo con el lugar donde se compró la materia prima) antes de consignarlos en el gráfico. Este es un ejemplo de situación en la cual, tomados los datos en conjunto, no parece haber correlación; sin embargo, una vez que se los ha estratificado, la correlación se hace evidente. También puede ocurrir la inversa: aparentemente no existe correlación cuando los datos están estratificados, pero sí la hay cuando se los considera en conjunto. En consecuencia, cuando se construyen diagramas de causa y efecto puede ser necesario estratificar los datos antes de poner a prueba la correlación; en el caso de los diagramas de dispersión, los datos deben representarse en el gráfico con colores o marcas diferentes.

(2) Determinar el ámbito dentro del cual existe correlación

La figura 9.7 es un diagrama de dispersión que indica cómo se ve afectada la característica y del producto al modificar la condición de producción x. Aunque se la observe durante las pruebas experimentales, a veces la correlación puede no aparecer en condiciones de producción reales. Por lo tanto, la aparente ausencia de correlación entre x e y en condiciones de producción reales no debe llevar a la conclusión teórica errónea de que la correlación no existe en condiciones más amplias.

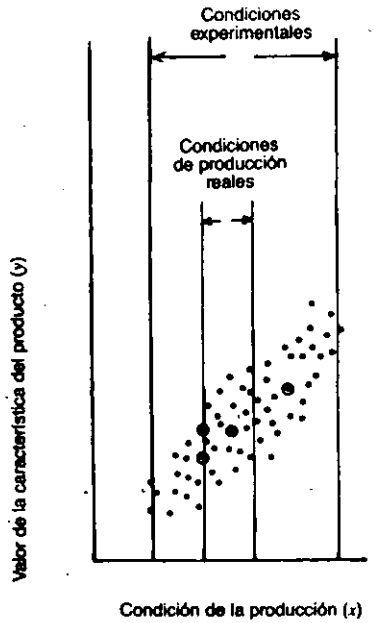


Figura 9.7 Límites del ámbito de la correlación

(3) Picos y depresiones en los diagramas de dispersión

En condiciones de producción reales, es muy raro que en los diagramas de dispersión aparezcan picos y depresiones. Pero cuando los puntos se presentan como en la figura 9.8, de acuerdo con lo que hemos visto en la sección sobre las pruebas de correlación, ésta no debería existir. Sin embargo, en tal caso hay que dividir el diagrama de dispersión en dos sectores mediante la línea A-A'; el sector izquierdo debe tratarse como correlación positiva y el derecho como correlación negativa. (A la inversa, en el diagrama de la derecha.)

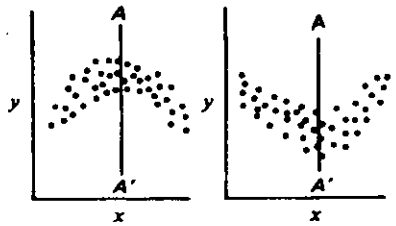


Figura 9.8 Diagramas de dispersión con picos y depresiones

En este capítulo hemos estudiado muchas cosas; pero que el lector pueda captar la relación entre dos elementos gracias a un diagrama de dispersión será de por sí un resultado sumamente útil.

Si desea investigar la relación entre más de dos causas, o causas y efectos, existe también un método de análisis de correlación doble o múltiple, cuya aplicación se ha facilitado merced a los recientes progresos en materia de computadores electrónicos, que simplifican los cálculos.

CAPITULO 10

Papel de probabilidad binomial

10.1 ¿Qué es el papel de probabilidad binomial?

Hemos estudiado ya la recolección de datos, los histogramas, los diagramas de causa y efecto y los gráficos de control. Espero que el lector practique intensamente su empleo. Echemos ahora un vistazo a las actividades de control de calidad.

Al encarar un problema es preciso comprender la situación real. Los diagramas de Pareto, los histogramas, los gráficos de control y otros tipos de gráficos resultarán muy útiles para ello. Luego se deben hallar las causas del problema mediante un diagrama de causa y efecto. Así se pueden analizar los datos relativos a la causa, o analizar el proceso de producción. Para que este análisis se efectúe sin tropiezos, habrá que emplear los métodos estadísticos apropiados.

Por eso vamos a presentar un papel de probabilidad binomial que le permitirá verificar y calcular fácilmente valores discretos, como la cantidad de defectos y la fracción defectuosa, etc.

Dado que se piensa que los métodos estadísticos son difíciles o engorrosos, en el trabajo diario se tiende a evitarlos. Pero, mediante el uso de un simple gráfico, el papel de probabilidad binomial le permitirá verificar o calcular valores discretos casi sin realizar operaciones aritméticas. Es exacto y muy práctico para analizar grandes cantidades de datos. Además, en el caso de datos continuos expresados en forma positiva, negativa u ordinal, el empleo del papel de probabilidad binomial permite también verificar y calcular la correlación.

10.2 Estructura de un papel de probabilidad binomial

Un papel de probabilidad binomial es un gráfico cuyos ejes vertical y horizontal tienen como escala una raíz cuadrada. En otras palabras, es una forma de papel de raíz cuadrada graduado en unidades de x a la distancia $\sqrt{x}$. A continuación se enumeran y explican los términos técnicos.

(1) Base. La base en un papel de probabilidad binomial es la distancia que media entre el origen, 0, y 1.

(2) Puntos efectivamente observados. Toda muestra n puede dividirse en dos características o valores efectivamente observados, como r (productos defectuosos) y $n - r$ (productos buenos). Representados como puntos de un gráfico, esos valores pueden denotarse como $(n - r, r)$ o $(r, n - r)$. Estos puntos se denominan puntos efectivamente observados. Por ejemplo, si encontramos diez unidades defectuosas en una muestra de cien unidades, los puntos efectivamente observados de esa muestra serán (90, 10) o (10, 90). Normalmente, sin embargo, la cantidad de unidades buenas aceptadas se indica en el eje horizontal, de modo que los puntos deben expresarse como (90, 10).

(3) Triángulo de observación efectiva. Cuando el valor de r es muy pequeño comparado con el valor efectivamente observado $n - r$, el punto efectivamente observado solamente no da estabilidad. En tal situación, para mayor seguridad se traza un triángulo rectángulo cuyos vértices son $(n - r, r)$, $(n - r, r + 1)$ y $(n - r + 1, r)$. Este triángulo se denomina triángulo de observación efectiva.

(4) Cuarto de círculo Así se denomina el arco que une los ejes horizontal y vertical a la altura de los puntos (0, 100) y (100, 0) respectivamente.

(5) Secante. Una línea recta que pasa por el origen, 0, se llama secante.

(6) Desviación. La longitud del segmento de recta perpendicular a la secante comprendido entre ésta y el punto efectivamente observado se llama desviación.

(7) Distancia corta, distancia media, distancia larga. Cuando los puntos efectivamente observados se expresan como un trángulo de observación efectiva, las dos líneas que van de los vértices de los ángulos agudos a la secante se denominan, según su longitud, distancia larga y distancia corta. La línea que va de la mitad de la hipotenusa del triángulo de observación efectiva a la secante se denomina distancia media (ver figura 10.1).

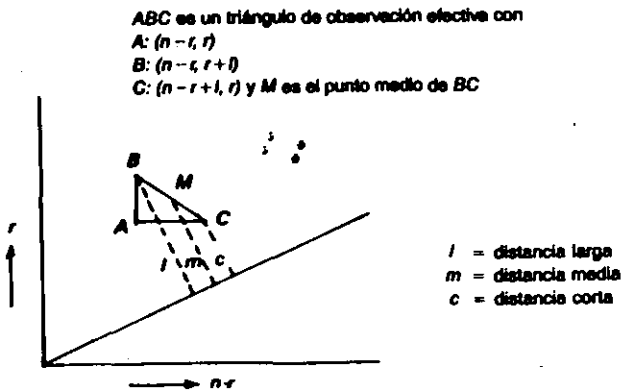


Figura 10.1 Explicación de las distancias

(8) Amplitud. Cuando hay varios puntos efectivamente observados (p_1, q_1), (p_2, q_2), ..., se trazan las secantes $\Sigma p_i : \Sigma q_i$. La distancia total que media entre los puntos más alejados de los lados superior e inferior de las secantes se denomina amplitud.

10.3 La prueba de la fracción defectuosa de la población

En una planta de fabricación de botellas, la fracción defectuosa era del 15%. Se repararon los moldes de metal, que eran viejos, y se tomaron 60 muestras del primer lote posterior a la reparación. Aparecieron seis productos defectuosos. ¿Se puede decir que cambió la fracción defectuosa?

Paso 1. Establezca su hipótesis.

$$H_0 : p' = 0{,}15$$
$$H_1 : p' = 0{,}15$$

Paso 2. Determine el nivel de significación o riesgo, alfa (α)

$$\alpha = 0{,}05$$

Paso 3. Trace la secante al 15% como en la figura 10.2 (por ejemplo, por el punto que divide 85 productos aceptados de 15 defectuosos).

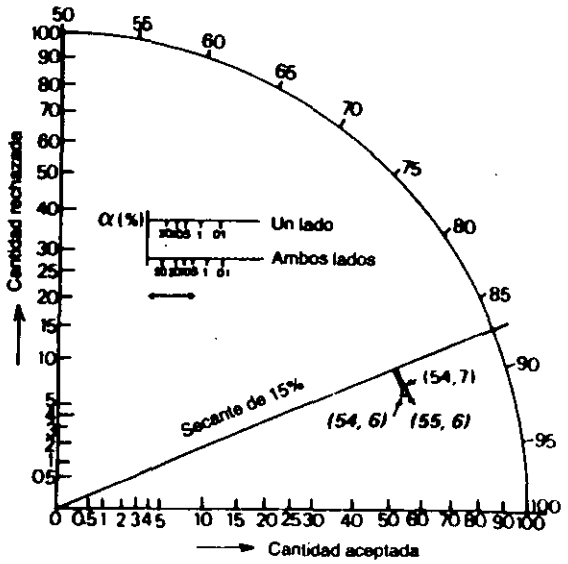


Figura 10.2

Paso 4. Marque en el gráfico, guiándose por los ejes horizontal y vertical, los puntos efectivamente observados (54, 6), o sea la cantidad aceptada y la cantidad rechazada ($n - r$, r).

Paso 5. Construya el triángulo de observación efectiva (54, 6), (55, 6) y (54, 7), es decir, ($n - r$, r), ($n - r + 1$, r) y ($n - r$, $r + 1$).

Paso 6. Mida las distancias perpendiculares entre la secante de 15% y el punto más alejado del triángulo de observación efectiva (55, 6) y entre dicha secante y el punto más cercano (54, 7).

Paso 7. Al comparar estas distancias con la escala del 5% para ambos lados de la secante, vemos que hasta la distancia larga es menor que la longitud correspondiente al 5% de la escala α, lo que nos permite saber que se trata de un caso de hipótesis nula. En otros términos, no se puede decir que ha cambiado la fracción defectuosa.

Nota 1: Que se utilice la escala α para ambos lados de la secante o sólo para uno, depende de la cantidad de información disponible de antemano. Se emplea un solo lado cuando la información es suficiente para indicar la tendencia; si la información no basta, se utilizan ambos lados.

Nota 2: Al efectuar una investigación con la escala α, si se rechaza la hipótesis --es decir, si los puntos están demasiado dispersos-- compare la distancia corta con la distancia en la escala α. Por el contrario, cuando se acepta la hipótesis, utilice la distancia larga. Debe reservarse la decisión, sin embargo, cuando la distancia larga tiene un riesgo o nivel de significación del 5%, o cuando la distancia corta no tiene riesgo o significación. Esto ocurre a menudo cuando la muestra es pequeña. Al reservar la decisión en ese caso, hay que tomar más muestras o efectuar cálculos detallados.*

10.4 Comparación de dos grupos de pares de datos correspondientes

La viscosidad de una emulsión es una de sus características importantes. Como en cierta planta apareció una amplia dispersión en los valores de viscosidad de la emulsión producida, se preparó un diagrama de causa y efecto y se supuso que podría existir una discrepancia entre los dos lotes fabricados cada día. Los resultados obtenidos mediante el procesamiento de los datos acumulados previamente aparecen en la tabla 10.1. ¿Existe una diferencia entre los dos lotes?

Paso 1. Compare el material de los recipientes A y B. Si la viscosidad de la emulsión del recipiente A es mayor que la del recipiente B, se coloca un signo de más; si es menor, un signo de menos.

Paso 2. La suma de los signos de más y de menos de la tabla da por resultado 27 signos positivos y 13 signos negativos.

Paso 3. Construya un triángulo de observación efectiva sobre el papel de probabilidad binomial (utilizando los puntos efectivamente observados 27 y 13) y compare la distancia larga y la distancia corta hasta la secante del 50% con la que separa la escala α para ambos lados y la secante del 50%. Ambas distancias son mayores que la distancia tomada a partir de la escala α del 5% (es decir, el triángulo está fuera de

*Las escalas α aparecen en el Apéndice II.

Tabla 10.1

No	A	B		No	A	B	
1	35.7	24.6	+	21	23.5	32.4	–
2	39.0	26.8	+	22	40.0	22.4	+
3	49.7	31.1	+	23	33.6	34.8	–
4	45.5	26.8	+	24	47.5	31.3	+
5	40.0	26.4	+	25	29.0	40.1	–
6	25.4	24.5	+	26	39.2	24.6	+
7	25.3	37.9	–	27	35.1	49.7	–
8	37.9	33.5	+	28	42.9	32.5	+
9	25.7	22.9	+	29	26.0	40.2	–
10	44.6	31.3	+	30	49.4	32.9	+
11	30.2	35.7	–	31	42.7	38.8	+
12	40.2	26.8	+	32	32.6	33.5	–
13	24.6	38.2	–	33	44.4	40.6	+
14	20.0	30.2	–	34	38.8	31.6	+
15	20.2	29.0	–	35	33.0	31.8	+
16	31.3	28.8	+	36	44.5	20.6	+
17	23.5	25.7	–	37	31.9	27.2	+
18	39.2	28.6	+	38	38.0	21.8	+
19	31.3	30.0	+	39	23.4	39.1	–
20	41.3	27.9	+	40	35.2	26.7	+

la línea que representa la escala α del 5%). Existe entonces riesgo o significación. Podemos decir ahora que existe una diferencia entre la emulsión del recipiente A y la del recipiente B (ver figura 10.3).

Nota 1: En este ejemplo, en el que sólo nos interesan las diferencias entre los valores y, por lo tanto, no utilizamos más que signos positivos y negativos, estamos aplicando el denominado método de prueba del signo. Cuando A y B son iguales, se escribe 0. Habitualmente, los valores 0 se excluyen de las investigaciones ulteriores; pero será más seguro incluirlos entre los valores positivos o negativos, según cuáles sean los menos numerosos.

Nota 2: Como se muestra en la figura 10.3, es conveniente trazar paralelas a ambos lados de la secante, a una distancia del 1% y del 5%, para la escala α. Sin embargo, cuando se utiliza sólo un lado de la secante, basta emplear solamente un lado de la escala α.

Nota 3: Puesto que no se requiere que haya una distribución normal para la prueba del signo, este método se puede aplicar también al estudio de la fracción defectuosa y la dispersión.

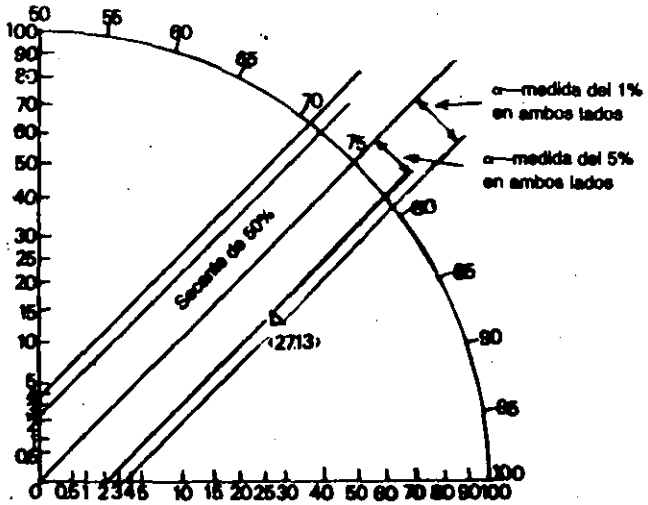


Figura 10.3

10.5 Prueba de la correlación

(1) Con diagramas de dispersión

Supondremos que la suavidad de cierta crema depende en parte de la pureza de la cera que entra en su composición. Se ha pedido a la sección de inspección de la empresa que suministre datos para el análisis y, después de preparar un diagrama de dispersión basado en la suavidad medida en la etapa de fabricación de la crema, hemos construido la figura 10.4. ¿Podemos afirmar que existe una correlación entre la pureza de la cera y la suavidad de la crema? Si hay una correlación significativa, determine el coeficiente de correlación.

Paso 1. Trace las medianas horizontal y vertical sobre el diagrama de dispersión, de manera que haya igual cantidad de puntos en los sectores izquierdo y derecho, e igual cantidad de puntos en los sectores superior e inferior.

Paso 2. Denote los cuatro sectores con I, II, III y IV como en la figura 10.4. Cuente la cantidad de puntos que hay en cada sector. El resultado es: $n_1 = 27$; $n_2 = 13$; $n_3 = 27$; $n_4 = 13$.

Paso 3. Determine n_+ y n_-. El resultado es: $n_+ = n_1 + n_3 = 54$; $n_- = n_2 + n_4 = 26$.

Paso 4. Sobre un papel de probabilidad binomial, represente (n_+, n_-), o sea (54, 26), y construya un triángulo de observación efectiva. Compare las distancias larga y corta con la distancia entre la secante del 50% y la escala α para ambos lados. Vemos así que existe significación, puesto que las distancias larga y corta sobrepasan la escala α del 1%. Se puede concluir entonces que existe una relación entre la pureza de la cera y la suavidad de la crema (ver figura 10.5).

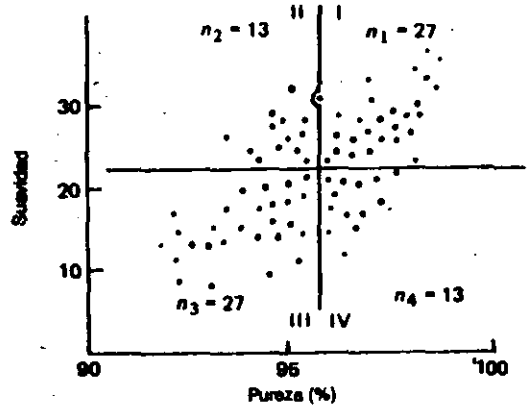


Figura 10.4

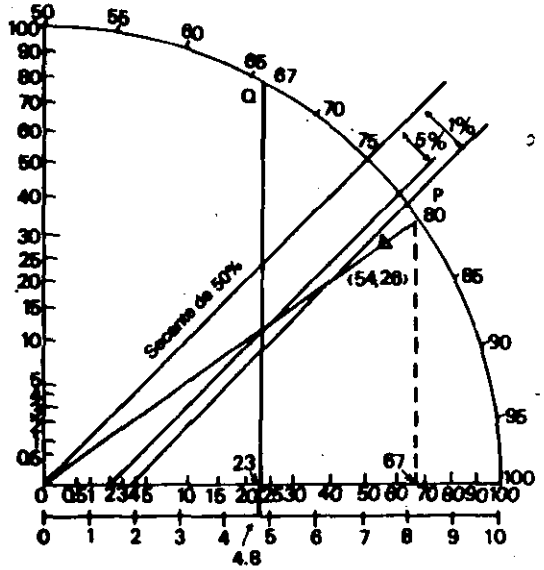


Figura 10.5

Paso 5. Trace una secante que pase por el origen y el punto efectivamente observado (54, 26) y llegue hasta el cuarto de círculo. El punto donde la secante corta el cuarto de círculo se denotará con la letra P.

Paso 6. El punto P corresponde al valor 67 del eje horizontal. Este mismo valor, 67, sobre la escala radial del cuatro de círculo, se denominará punto Q.

Paso 7. A partir del punto Q se traza una vertical que corta la escala centimetrada bajo el eje horizontal en el punto de 4,8 cm. La proporción es de 10 veces el coeficiente de correlación r. Por lo tanto, $r = 0{,}48$, en tanto que el valor estimado de la relación de contribución queda determinado por el punto donde la perpendicular corta el eje horizontal; en este caso, es 23%.

Nota: Al efectuar la prueba de correlación mediante un papel de probabilidad binomial, para que posteriormente resulte más sencillo determinar el coeficiente de correlación, represente en el eje horizontal el mayor de $n_1 + n_3$ y $n_2 + n_4$. Si $n_1 + n_3$ es mayor que $n_2 + n_4$, la correlación es positiva; si es menor, la correlación es negativa.

(2) Con gráficos de control y otros gráficos

Al analizar el proceso de producción, cuando se han elaborado dos gráficos donde se representan los pares de datos relativos a dos características del producto, podemos expresar estadísticamente esos gráficos para determinar la correlación. Para ello hay dos métodos: uno se basa en la relación entre los puntos y una mediana, y el otro utiliza la dirección de la línea que une dos puntos consecutivos. El primer método emplea los valores absolutos de los datos; el segundo es más detallado e independiente de toda influencia del primero.

En cuanto al primer método, es decir para determinar la correlación en base a si los puntos están encima de la mediana o debajo de ella, el procedimiento es el siguiente. Primero, se trazan medianas en ambos gráficos; los valores que caen por encima de las medianas se indican con signos positivos y los que están debajo con signos negativos. Cuando hay pares de datos con los mismos signos, esa relación se denota con un signo positivo; cuando tienen signos diferentes, esa relación se indica con un signo negativo. Luego se suman por separado los signos positivos y negativos. La interpretación de los resultados es similar a la que se hace con un diagrama de dispersión. Si hay más signos positivos que negativos, hay correlación positiva. Cuando hay más signos negativos que positivos, hay correlación negativa.

En el segundo método, tomando cada uno de los dos gráficos, si la línea que une un punto o valor representado en el gráfico con el siguiente asciende, ello debe indicarse con un signo positivo; si la línea desciende, ello se denota con un signo negativo. Si el nivel no cambia, se debe colocar un cero. Si hay pares de líneas con el mismo signo, ello se indica con un signo positivo; si el signo es diferente, se utiliza un signo negativo. Cuando hay ceros, se debe escribir "0". Para determinar la correlación, se examinan luego los resultados de la misma forma como se hace con el primer método. Pero en este caso, no es necesario trazar una mediana.

Nota 1: El primer método para determinar la correlación se asemeja al uso de diagramas de dispersión.

Nota 2: Al poner a prueba la correlación mediante el empleo de gráficos de control u otros gráficos, este método puede aplicarse aunque los ejes x e y no representen una distribución normal. También se lo puede utilizar para investigar las causas de la fracción defectuosa y la dispersión. Este método es igualmente fácil de utilizar a nivel de planta.

Nota 3: Al investigar la correlación mediante un papel de probabilidad binomial, el hecho de contar con relativamente pocos puntos va en detrimento de la exactitud; se debe disponer, por tanto, de 50 puntos o valores de datos por lo menos.

10.6 Tablas de contingencia 2 × 2

Los resultados de la última inspección mensual de los despachos de botellas de vidrio recibidos por las empresas A y B aparecen en la tabla 10.2. ¿Existe una disparidad en las tasas de aceptación?

Tabla 10.2

	Lotes aceptados	Lotes rechazados	Total
Empresa A	86	2	88
Empresa B	44	8	52
Total	130	10	140

Paso 1. Construya los triángulos de observación efectiva (86, 2) y (44, 8).

Paso 2. Trace una secante de 130:10.

Paso 3. Determine la amplitud. Al comparar con la longitud de $N = 2$ de la escala R (5%), vemos que las distancias son mayores que la distancia correspondiente a la escala R. Por lo tanto, hay una diferencia en las tasas de aceptación de las empresas A y B (ver figura 10.6).

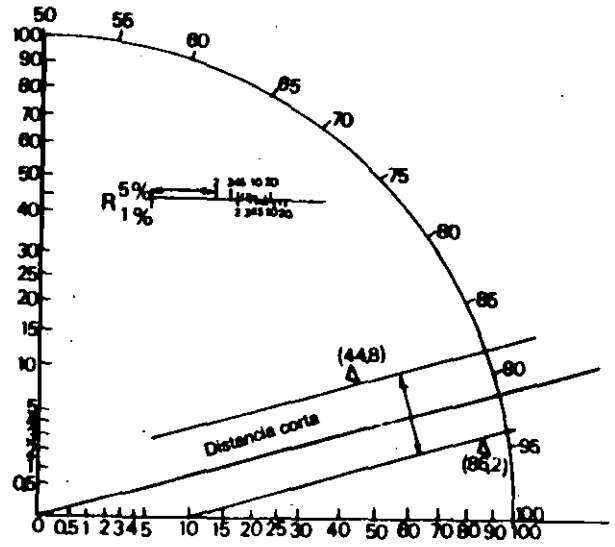


Figura 10.6

10.7 Tablas de contingencia de 2 × m

En la figura 10.7 se representan los datos relativos a la importante característica de la dureza de un lápiz labial que este año ha aparecido en tres nuevos matices (No. 501, No. 502, No. 503). ¿Puede afirmarse que la dureza varía según el matiz del lápiz labial?

Figura 10.7

Paso 1. Trace en el gráfico (figura 10.7) una línea horizontal que divida los puntos aproximadamente en números iguales. Cuente los puntos correspondientes a cada producto que hay encima y debajo de la línea y prepare una tabla de contingencia de 2 × 3 (tabla 10.3)

Tabla 10.3

	No 501	No 502	No 503	Total
Encima	7	7	16	30
Debajo	17	8	5	30
Total	24	15	21	60

Paso 2. Sobre un papel de probabilidad binomial construya los triángulos de observación efectiva: para el No. 501 (7, 17); para el No. 502 (7, 8); para el No. 503 (16, 5).

Paso 3. Trace una secante de 30:30.

Paso 4. Determine la distancia a que se hallan los puntos más alejados por encima y por debajo de la secante. En este caso, son los puntos efectivamente observados (7, 18), correspondiente al No. 501, sobre la secante, y (17, 5), correspondiente al No. 503, debajo de la secante.

Paso 5. Al comparar esta amplitud con N -- 3 de la escala *R* (5%), vemos que incluso la distancia corta es mayor que *R*. Podemos afirmar entonces que la dureza varía según el matiz del lápiz labial (ver figura 10.8).

Nota 1: Si resulta difícil utilizar el papel de probabilidad binomial porque las cifras de los datos son muy grandes, divídalas por 10 y emplee para la comprobación la escala centimetrada $1/\sqrt{10}$. Es decir, mida la amplitud de la longitud obtenida de los datos multipicada por 1/10 con la escala centimetrada y luego obtenga la longitud efectiva con las cifras mediante la escala $1/\sqrt{10}$ trazada debajo.

Nota 2: Al efectuar la prueba con el método anterior, no es necesario construir los triángulos de observación efectiva. Los valores efectivamente observados son suficientes.

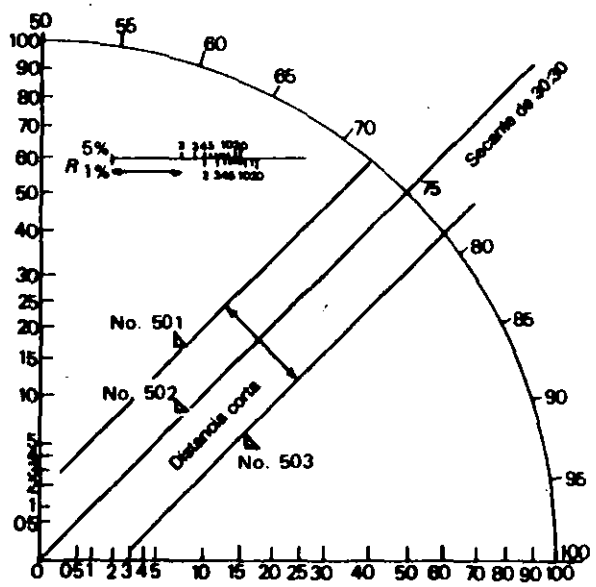


Figura 10.8

Para el uso de un papel de probabilidad binomial en métodos estadísticos, hemos presentado el que se denomina método simple. Además de este método, pueden aplicarse muchas otras técnicas. Pero el método simple es de por sí muy útil para la determinación estadística de la fracción defectuosa, la cantidad de productos defectuosos y otros problemas a nivel de planta. Se considera conveniente comenzar con este método simple de utilización de un papel de probabilidad binomial antes de ensayar técnicas más avanzadas en el nivel de producción real. El método mencionado ha de resultar más eficiente aún si se estratifican los datos según las diversas máquinas, equipos de trabajadores, operarios individuales, materias primas, jornadas o períodos de producción o procesamiento, etc. Cabe esperar, por tanto, un aprovechamiento pleno del método, puesto que puede dar a los usuarios la posibilidad de adquirir un considerable caudal de información acerca de su trabajo.

Pero una advertencia es pertinente: si la cantidad de datos es pequeña, las diferencias no se manifestarán claramente, y será riesgoso llegar a la conclusión de que no hay significación. En tal caso, es menester obtener más datos o adoptar un método más preciso.

CAPITULO 11

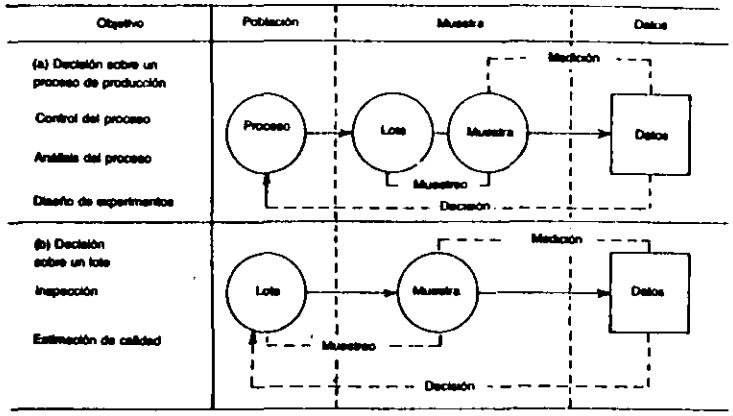
Muestreo

11.1 ¿Qué es el muestreo?

En las fábricas se adoptan muchas medidas basadas en datos. Es imprescindible contar con datos antes de adoptar cualquier decisión relativa al control de calidad. Por ejemplo, se necesitan datos para controlar la temperatura, la presión, la velocidad y el tiempo a fin de mantener las normas de funcionamiento del equipo. Los datos son igualmente necesarios para controlar los valores característicos de materiales y productos, como el tamaño, el peso, la intensidad y las substancias. Por último, incluso la eficiencia, el rendimiento, la fracción defectuosa y el costo pueden denominarse datos. Esos datos indican en qué situación se halla la elaboración de un producto, no la calidad del lote.

En la mayoría de los casos, los datos se obtienen mediante muestreo. Como, naturalmente, es imposible examinar cada producto, se toma una muestra y se hace una estimación para la totalidad del lote. La Norma Industrial del Japón Z 8101, "Glosario de términos empleados en control de calidad", define "muestra" como "lo que se extrae de una población con ciertos fines".

Consideremos la figura 11.1. Tomamos muestras de lotes de productos terminados para saber cuál es la naturaleza de la totalidad de cada lote, y extraemos muestras de la *línea de producción* para determinar las condiciones existentes en la línea, o con el objeto de considerar el método de elaboración futuro, y para obtener datos con el fin de adoptar decisiones. De ahí que se denomine *población* al grupo sobre el cual prevemos tomar decisiones utilizando como base una muestra o unos datos. La parte (a) de la figura 11.1 —caso de adopción de decisiones relativas a un proceso de producción—indica que la población sería un proceso o actividad de fabricación que se realiza en ciertas condiciones fijas. Puesto que se supone que los productos que salen de ese proceso de fabricación son infinitos, los denominamos *población infinita*. Esto se aplica al ca[illegible] que el objeto de los datos es el control y el análisis del proceso.



(Adaptado de Japanese Industrial Standard JIS Z 8101, "Glossary of Terms Used in Quality Control")

Figura 11.1 Relación entre población, muestra y datos

En la parte (b) de la figura 11.1 se trata de adoptar una decisión relativa a un lote; puesto que el lote es siempre finito —100 toneladas de carbón o 50 docenas de lápices—, se lo denomina *población finita*. Este es el objeto de la inspección y evaluación de la calidad. En consecuencia, el propósito de reunir datos a partir de las muestras extraídas de una población determinada es adquirir un conocimiento adecuado de la población y adoptar así las medidas apropiadas.

11.2 Razonamiento estadístico y muestreo

Los datos reunidos no son todos iguales. Siempre contienen dispersión, puesto que en un proceso de fabricación hay infinitas causas de dispersión, y algunas no se pueden eliminar aunque las condiciones de producción estén bajo control. Existe dispersión entre los lotes, entre los productos de un mismo lote y, en algunos casos, hasta en un mismo producto.

Debido a su dispersión, los lotes o procesos presentan una *distribución de frecuencias*. Hay varios métodos para medir esta distribución de frecuencias. Pero si se pueden hallar *la media* (el valor que determina la posición de la frecuencia) y la magnitud que indica la dispersión (*varianza o desviación típica*), generalmente es posible determinar la característica de la distribución.

Puesto que las poblaciones presentan esta distribución de frecuencias, es preciso asegurarse de llevar a cabo un estricto *muestreo aleatorio*. En otras palabras, no hay que elegir o tomar las piezas buenas o las malas solamente; no se deben extraer muestras de una sola porción del lote. Las muestras deben ser verdaderamente representativas del lote.

Para evaluar un lote determinado, es necesario calcular su distribución de frecuencias; es decir, la media y la dispersión de la distribución de frecuencias. Pero como por razones económicas y técnicas resulta difícil medir todo el lote, se toman muestras de una parte, se las mide y se estiman la media y la dispersión del lote. Es decir que, al referir[illegible] muestreo,

debemos considerar cuestiones económicas, técnicas y estadísticas.

Las condiciones que debe cumplir el muestreo son:

1. Corrección
2. Confiabilidad
3. Rapidez
4. Economía

Es menester recordar que los valores de los datos que obtenemos de las muestras difieren de los del lote; si existe alguna posibilidad de confundirlos, será necesario proceder cuidadosamente y denotarlos como se indica en la tabla 11.1.

Tabla 11.1 Población, muestras y datos

	Población	Muestra
Media	Media de la población μ	Media muestral $\bar{x}$
Varianza	Varianza de la población σ^2	Varianza muestral s^2
Desviación típica	Desviación típica de la población σ	Desviación típica muestral s

11.3 Muestreo aleatorio

(1) Las condiciones para muestreo aleatorio

La mayoría de la gente cree que una muestra debe ser la mejor o la peor del grupo. Pero como se recogen muestras para investigar la población, es necesario desterrar esa idea. El muestreo aleatorio es uno de los medios que permiten superarla.

Muestreo aleatorio implica "realizar el muestreo de tal manera que cada unidad de una población tenga la misma posibilidad de ser incluida en la muestra con igual probabilidad que las demás, cualquiera sea su apariencia o su posición, o sea que todas las partes de la población deben estar sujetas a la posibilidad de que se las tome como muestra". Pero proceder de este modo para sacar muestras aleatorias de una población es difícil y engorroso, y a veces hasta imposible. Por ejemplo, seleccionar muestras aleatorias de un depósito repleto de bultos embalados resultaría difícil y caro a la vez. Hacer un muestreo aleatorio de 100.000 toneladas de mineral en bruto es imposible. Por lo tanto, en esos casos se toman las muestras de las correas transportadoras o de lotes en tránsito durante el proceso de fabricación.

(2) El método del muestreo aleatorio

a) Muestreo aleatorio simple

Este método consiste simplemente en tomar muestras al azar de una población determinada. Se lo emplea a falta de un conocimiento preliminar de carácter técnico o estadístico. Empero, si

el muestreo ha de ser efectuado por el fabricante, es mejor aprovechar conocimientos previos para el muestreo y, por tanto, resulta preferible utilizar otros métodos de muestreo.

Ejemplo 1: Muestreo aleatorio (método empleado para sacar 10 piezas de un total de 50 productos mediante una tabla de números al azar).

Una tabla de números al azar está formada por columnas de números sin ningún orden que aparecen con la misma probabilidad de 0 a 9.*

Paso 1. Elegir la página. Se hace rodar un dado y se toma la página correspondiente al número que sale (si sale 6, página 6, etc.).

Paso 2. Decidir dónde comenzar. Con los ojos cerrados, se toca con un lápiz la tabla de números al azar. Se utilizarán los números correspondientes a las dos cifras señaladas por el lápiz (si los números son 01 ~ 50, no se plantea ningún problema; de lo contrario, se resta 50 para que el intervalo sea 1 ~ 50). Luego se escoge la línea con el mismo procedimiento. Supongamos que el lápiz señaló la línea 84; 84 menos 50 es 34. Se comienza entonces en la línea 34 y la columna 9.

Paso 3. En este caso, hay 50 productos; por lo tanto, entre 1 y 100 se seleccionarán los primeros 10 que estén comprendidos en el intervalo 1 ~ 50. En la página 2, línea 34, columna 9, aparecen estos números:

13, 20, 02, 44, ~~95~~, ~~94~~, ~~84~~, ~~86~~, 04,
05, ~~76~~, 01, 32, ~~90~~, ~~78~~, 14, ~~53~~, ~~89~~,
~~74~~, ~~80~~, 41,

En otros terminos, se obtendrá un muestreo aleatorio si se toman como muestras los números:

1, 2, 4, 5, 13, 14, 20, 32, 41, 44

Cuando se utilizan dados, se procede de este modo. Habitualmente, los dados hexagonales numerados de 1 a 6 se emplean para obtener números al azar hasta un máximo de 6. Un dado de 20 caras permite que cada número de 0 a 9 aparezca dos veces. Si se lo hace rodar una vez, se puede obtener una cifra de números al azar; arrojándolo dos veces, o usando un par de dados de distinto color, se pueden obtener dos cifras. Ello resulta útil para el trabajo.

b) Mecanismo generador de números al azar

Hay varios tipos que responden a este método. Entre ellos, el del bolillero o lotería, el de la torreta giratoria y el de la rueda de tómbola.

Ejemplo 2: Muestreo sistemático. A menudo es difícil efectuar un muestreo aleatorio simple de una población. En tales casos, es necesario extraer muestras a intervalos fijos, lo que se denomina *muestreo sistemático*. El método del muestreo sistemático consiste en lo siguiente. Supongamos que se deben sacar 5 muestras de un total de 150 productos. Se numeran los productos y se extraen muestras a intervalos fijos. El cociente de muestreo es 1/30, de modo que se toma un número de 1 a 30 de la tabla de números al azar. Si el número escogido es 05, se le suman 30; luego 60 (2 × 30), y así sucesivamente:

05; 5 + 30 = 35; 65; 95; 125

Se deben tomar como muestras los productos que tienen asignados esos números.

* Los números al azar que se mencionan en el texto están tomados de tablas conformes a la JIS Z 9021, registradas como propiedad intelectual por Nippo.. Kagaku Gijutso Remmei, 10-11 Sendagaya 5-chome, Shibuya-ku, Tokio

11.4 Error de muestreo

Si después de efectuado el muestreo se examina todo el lote y se observa que los valores de las muestras son algo diferentes de los valores del lote, se dirá que ha habido un error. Pueden distinguirse dos categorías de tales errores: sesgo y dispersión.

(1) Sesgo

Si se toman como muestras sólo las mejores piezas, o si únicamente se extraen muestras con determinado valor, la *media muestral* será distinta de la *media de la población*. Eso se denomina sesgo (ver figura 11.2). Son causas típicas de sesgo:

1. Tomar sólo las piezas más grandes de mineral de hierro
2. Tomar piezas exclusivamente de uno de los bordes de una capa larga
3. Efectuar el muestreo sólo en la primera etapa de la fundición
4. Efectuar el muestreo sólo en la superficie de un líquido en reposo

Si se utiliza este tipo de métodos de muestreo, la media muestral $\bar{x}$ resultará como se indica en la figura 11.2(a). Por eso es preciso evitarlo.

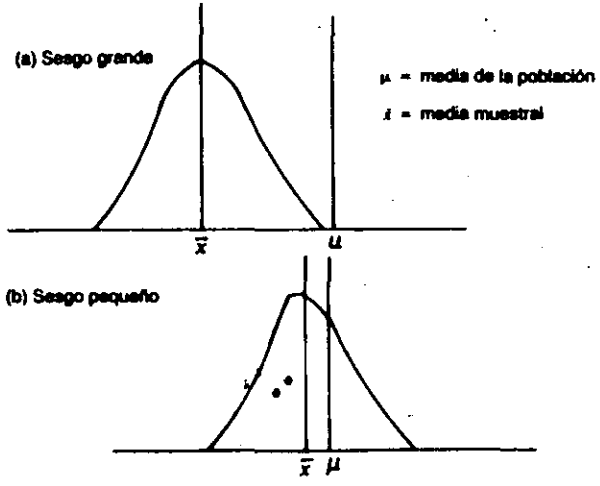


Figura 11.2 Sesgo

(2) Dispersión (precisión)

Los valores de las diversas muestras extraídas de un lote se consignan en un histograma. La desviación típica (s) del histograma indica el grado de precisión.

A menudo se oye hablar de "un error de 1 por ciento", lo que denota falta de conocimientos estadísticos. La precisión debe especificarse en valores numéricos; por ejemplo, una desviación típica del 0,5%, $\bar{R}$ de r=2 es 0,4%. Es necesario experimentar para lograr precisión en el muestreo.

(3) Error de muestreo

El sesgo no controlado, la dispersión, o ambos, y las muestras no controladas causarán lo que se denomina error. Sin embargo, la palabra "error" es ambigua y no especifica si alude al sesgo, a la precisión o a la confiabilidad. Para lograr confiabilidad, es decir, para mantener el control sobre los procesos de muestreo, es necesario:

1. Analizar qué causa el sesgo y cómo conseguir precisión
2. Dar instrucciones para controlar esas causas
3. Asegurarse de que se cumplen las instrucciones (mediante la educación y capacitación del trabajador)
4. Controlar los instrumentos y equipos de medición

11.5 Tipos de muestreo

(1) Muestreo aleatorio

Esto entraña tomar muestras al azar de la totalidad del lote. Véase lo dicho antes y la figura 11.3.

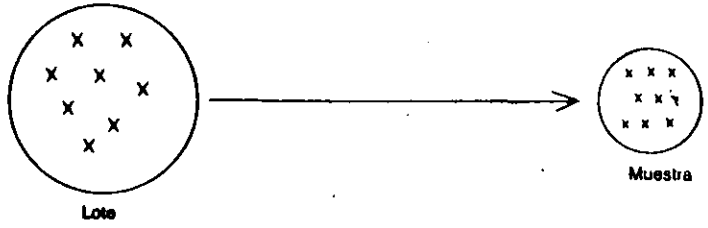


Figura 11.3 Muestreo aleatorio

(2) Muestreo en dos etapas

En la primera etapa, tome unidades primarias de un lote. En la segunda, tome muestras secundarias de las unidades primarias extraídas como muestras. Este es un método de uso común en las fábricas (ver figura 11.4).

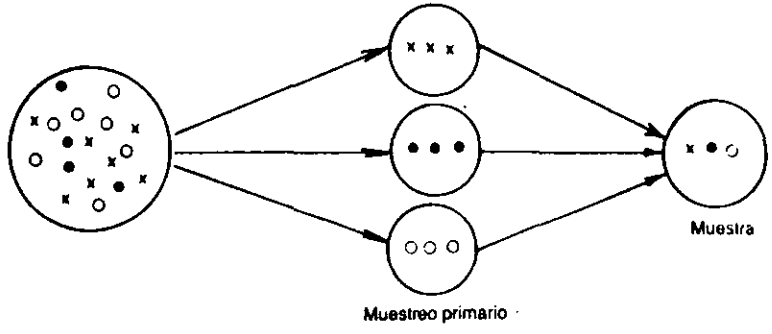


Figura 11.4 Muestreo en dos etapas

(3) Muestreo estratificado

El lote se divide en varios estratos y se toman muestras de cada uno. Sin embargo, las muestras de cada estrato se toman al azar. Cuanto mayor sea la homogeneidad de los estratos, más precisión tendrá el conjunto de muestras (ver figura 11.5).

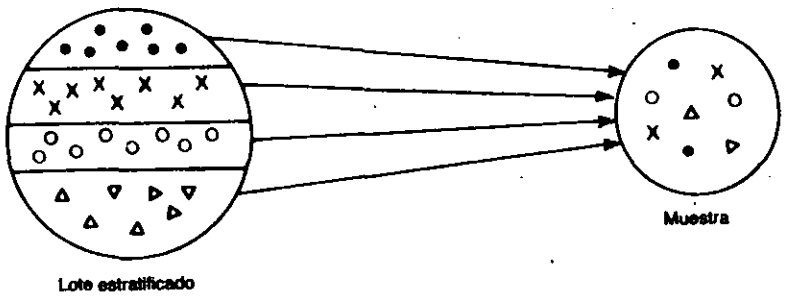


Figura 11.5 Muestreo estratificado

(4) Muestreo por conglomerados

En las fábricas donde se toman muestras de productos, este método (ver figura 11.6) no se utiliza muy a menudo. Si el conglomerado no es correcto, habrá poca precisión o se producirá sesgo. Para formar buenos conglomerados, todas las partes del lote deben estar representadas en iguales proporciones.

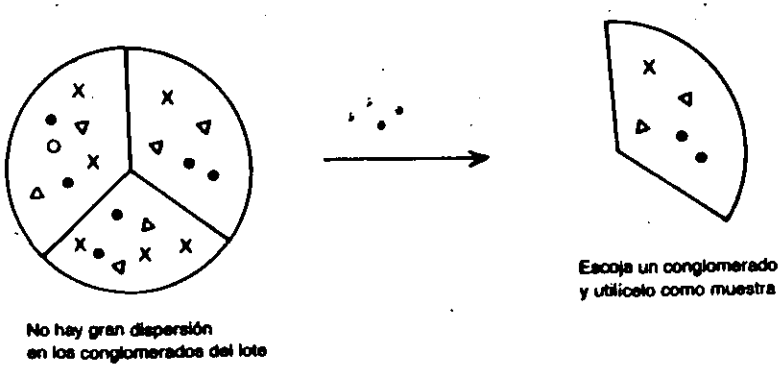


Figura 11.6 Muestreo por conglomerados

(5) Muestreo por selección

Para hallar la media de la totalidad de un lote, en lugar de tomar una muestra representativa del lote, puede extraerse una muestra de una parte en especial y en base a ella se estima el valor del lote. Es muy común proceder así para el control del proceso de fabricación. Por ejemplo, pueden utilizarse los siguientes métodos para obtener muestras seleccionadas (ver figura 11.6):

1. Tomar como muestras hilos, películas o filamentos de un borde de una faja larga
2. Efectuar el muestreo a una hora determinada
3. Tomar como muestra sólo el mineral de una mezcla de mineral y arena

Las muestras seleccionadas son más precisas que las muestras aleatorias simples y el método resulta sencillo y económico, pero siempre hay cierto sesgo con relación a la media de la población.

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%.

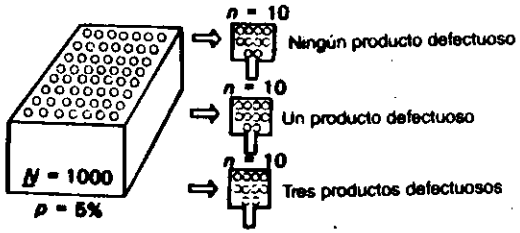


Figura 12.1

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

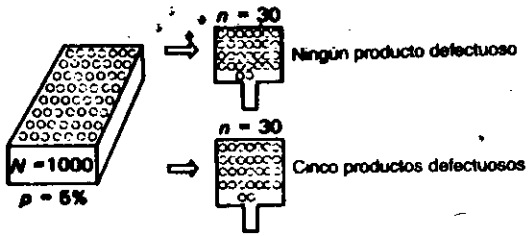


Figura 12.2

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	18
5	19
6	16
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

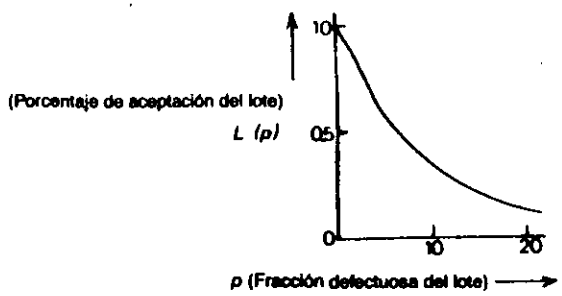


Figura 12.3 Curva CC

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:

> Probabilidad de aceptación = porcentaje de veces sin productos defectuosos entre las muestras + porcentaje de veces con un producto defectuoso entre las muestras + porcentaje de veces con dos productos defectuosos entre las muestras.

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).

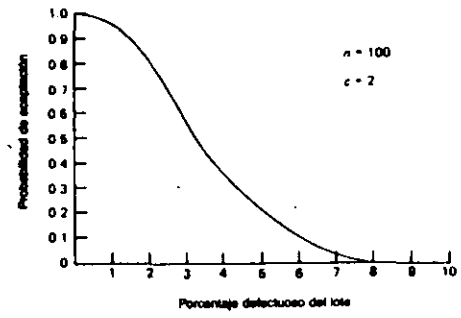


Figura 12.4

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.
α	:	riesgo del productor (porcentaje según el cual se rechazaría un lote con fracción defectuosa p_0).
β	:	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 (α); la segunda, riesgo del consumidor (β). 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)

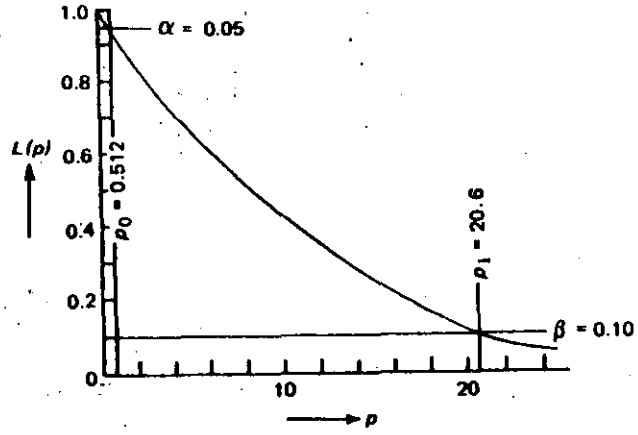


Figura 12.5

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_0 (%) \ p_1 (%)	0.71–0.90	0.91–1.12	1.13–1.40	1.41–1.80	1.81–2.24	2.25–2.80	2.81–3.55	3.56–4.50	4.51–5.60	5.61–7.10	7.11–9.00	9.01–11.2	11.3–14.0	14.1–18.0	18.1–22.4	22.5–28.0	28.1–35.5
0.090–0.112	•	400 1	→	↓	→	↑	60 0	50 0	↓	→	→	↓	→	→	→	→	→
0.113–0.140	•	→	300 1	→	↓	→	→	→	40 0	↓	→	→	↓	→	→	→	→
0.141–0.180	•	500 2	→	250 1	→	↓	→	↑	←	30 0	↓	→	→	↓	→	→	→
0.181–0.224	•	•	400 2	→	200 1	→	↓	→	↑	←	25 0	↓	→	→	↓	→	→
0.225–0.280	•	•	500 3	300 2	→	150 1	→	↓	→	↑	←	20 0	↓	→	→	↓	→
0.281–0.355	•	•	•	400 3	250 2	→	120 1	→	↓	→	↑	→	15 0	↓	→	→	↓
0.356–0.450	•	•	•	500 4	300 3	200 2	→	100 1	→	↓	→	↑	←	15 0	→	→	→
0.451–0.560	•	•	•	•	400 4	250 3	150 2	→	80 1	→	↓	→	↑	←	10 0	↓	→
0.561–0.710	•	•	•	•	500 6	300 4	200 3	120 2	→	60 1	→	↓	→	↑	←	7 0	↓
0.711–0.900	•	•	•	•	•	400 6	250 4	150 3	100 2	→	50 1	→	↓	→	↑	←	5 0
0.901–1.12		•	•	•	•	•	300 6	200 4	120 3	80 2	→	40 1	→	↓	→	↑	←
1.13 –1.40		•	•	•	•	•	500 10	250 6	150 4	100 3	60 2	→	30 1	→	→	→	←
1.41 –1.80			•	•	•	•	•	400 10	200 6	120 4	80 3	50 2	→	25 1	→	↓	→
1.81 –2.24				•	•	•	•	•	300 10	150 6	100 4	60 3	40 2	→	20 1	→	↓
2.25 –2.80					•	•	•	•	•	250 10	120 6	70 4	50 3	30 2	→	15 1	→
2.81 –3.55						•	•	•	•	•	200 10	100 6	60 4	40 3	25 2	→	10 1
3.56 –4.50							•	•	•	•	•	150 10	80 6	50 4	30 3	20 2	→
4.51 –5.60									•	•	•	•	120 10	60 6	40 4	25 3	15 2
5.61 –7.10										•	•	•	•	100 10	50 6	30 4	20 3
7.11 –9.00											•	•	•	•	70 10	40 6	25 4
9.01 –11.2												•	•	•	•	60 10	30 6
p_0 (%) \ p_1 (%)	0.71–0.90	0.91–1.12	1.13–1.40	1.41–1.80	1.81–2.24	2.25–2.80	2.81–3.55	3.56–4.50	4.51–5.60	5.61–7.10	7.11–9.00	9.01–11.2	11.3–14.0	14.1–18.0	18.1–22.4	22.5–28.0	28.1–35.5

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.

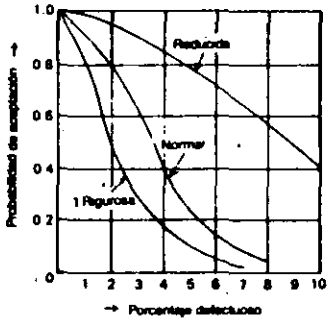


Figura 12.6

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:

Nivel de inspección I: cuando el costo de la inspección es relativamente elevado.
Nivel de inspección II: casos comunes.
Nivel de inspección III: cuando el costo de la inspección es bajo.
Nivel de inspección S-1 a S- 4: cuando el costo de las pruebas destructivas es elevado.

Procedimiento de inspección

Paso 1. Determine el nivel de calidad (fije las normas de inspección efectivas).
Paso 2. Establezca el AQL.
Paso 3. Determine el nivel de inspección.
Paso 4. Determine el método o plan de inspección por muestreo.
Paso 5. Determine la severidad de la inspección.
Paso 6. Determine la composición y tamaño del lote a inspeccionar.
Paso 7. Determine la severidad del método o plan de inspección por muestreo (emplee para ello las tablas apropiadas).
Paso 8. Extraiga muestras.
Paso 9. Inspeccione cada unidad de la muestra.
Paso 10. Determine si se acepta o rechaza el lote inspeccionado.
Paso 11. Adopte medidas sobre el lote posteriores a la inspección (devolución de artículos rechazados, realización de una inspección al 100% para eliminar productos defectuosos, reparación de artículos rechazados, etc).
Paso 12. Registre los resultados de la inspección (puesto que serán necesarios para ajustar la severidad de inspecciones futuras).

Tabla 12.6 Tabla MIL I Letras claves del tamaño de la muestra

Tamaño del lote		Niveles de inspección especiales				Niveles de inspección normales		
		S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2-	8	A	A	A	A	A	A	B
9-	15	A	A	A	A	A	B	C
16-	25	A	A	B	B	B	C	D
26-	50	A	B	B	C	C	D	E
51-	90	B	B	C	C	C	E	F
91-	150	B	B	C	D	D	F	G
151-	280	B	C	D	E	E	G	H
281-	500	B	C	D	E	F	H	J
501-	1,200	C	C	E	F	G	J	K
1,201-	3,200	C	D	E	G	H	K	L
3,201-	10,000	C	D	F	G	J	L	M
10,001-	35,000	C	D	F	H	K	M	N
35,001-	150,000	D	E	G	J	L	N	P
150,001-	500,000	D	E	G	J	M	P	Q
Más de	500,000	L	E	H	K	N	Q	R

Tabla 12.7 Tabla MIL II-A Tabla magistral para inspección normal (muestreo simple)

Letra clave del tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra (n)	Niveles de calidad aceptable, AQL (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	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	↑
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	↑	↑
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	↑	↑	↑
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
K	125	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
L	200	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
M	315	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N	500	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
P	800	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Q	1250	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
R	2000	↑	↑	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

↓ = Emplear el plan de muestreo inmediatamente inferior a la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o superior al del lote, hacer inspección total (al 100%).
↑ = Emplear el plan de muestreo inmediatamente superior a la flecha.
Ac = Número de aceptación
Re = Número de rechazo

Tabla 12.8 Tabla MIL II-B Tabla magistral para inspección rigurosa (muestreo simple)

Letra clave del tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra (n)	Niveles de calidad aceptable, AQL (inspección rigurosa)																																									
		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
A	2																																																					
B	3																													0	1					1	2																		
C	5																											0	1					1	2	2	3																		
D	8																									0	1					1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19	27	28	41	42				
E	13																							0	1			1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19	27	28	41	42						
F	20																					0	1			1	2	2	3	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19												
G	32																			0	1					1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19														
H	50															0	1					1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																
J	80																							2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																		
K	125													0	1					1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																				
L	200											0	1			1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																						
M	315							0	1									2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																								
N	500					0	1							1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																								
P	800							1	2			1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																										
Q	1250			0	1					1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																												
R	2000	0	1					1	2	2	3	3	4	5	6	8	9	12	13	18	19																														
S	3150					1	2																																														

↓ = Emplear el plan de muestreo inmediatamente inferior a la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o superior al del lote, hacer inspección total (al 100%).

↑ = Emplear el plan de muestreo inmediatamente superior a la flecha.

Ac = Número de aceptación

Re = Número de rechazo

Tabla 12.9 Tabla MIL II-C Tabla magistral para inspección reducida (muestreo simple)

Letra clave del tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra (n)	Niveles de calidad aceptable, AQL (inspección reducida) +																																									
		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
A	2																																																					
B	2																											0	1					0	2	1	3	2	5	3	8	5	8	7	10	10	13	14	15	21	22	30	31
C	2																									0	1					0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13	14	17	21	24	30	31
D	3																							0	1					0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13	14	17	21	24				
E	5																			0	1					0	2	0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13	14	17	21	24						
F	8																					0	1			0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13												
G	13																	0	1					0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13														
H	20													0	1					0	2	0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																
J	32															0	1					1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																		
K	50											0	1					0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																				
L	80									0	1					0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																						
M	125							0	1					0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																								
N	200					0	1			0	2	0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																								
P	315			0	1			0	2	1	3	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																										
Q	500	0	1					1	3	1	4	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																												
R	800					0	2	1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13																														

↓ = Emplear el plan de muestreo inmediatamente inferior a la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o superior al del lote, hacer inspección total (al 100%).

↑ = Emplear el plan de muestreo inmediatamente superior a la flecha.

Ac = Número de aceptación

Re = Número de rechazo

\+ Si la cifra es mayor que el número de aceptación pero menor que el de rechazo, aceptar este lote pero pasar a inspección normal en el siguiente.

Tabla 12.10 Tabla MIL VIII Números límites para inspección reducida

Número de unidades muestrales de los 10 últimos lotes	Niveles de calidad aceptable, AQL																									
	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
20–29	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0	2	4	8	14	22	40	68	115	181
30–49	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0	1	3	7	13	22	36	63	105	177	277
50–79	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0	2	3	7	14	25	40	63	110	181	301	
80–129	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0	2	4	7	14	24	42	68	105	181	297		
130–199	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0	2	4	8	13	25	42	72	115	177	301	490		
200–319	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0	2	4	8	14	22	40	68	115	181	277	471			
320–499	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0	1	4	8	14	24	39	68	113	189						
500–799	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0	2	3	7	14	25	40	63	110	181							
800–1249	•	•	•	•	•	•	•	0	0	2	4	7	14	24	42	68	105	181								
1250–1999	•	•	•	•	•	•	0	0	2	4	7	13	24	40	69	110	169									
2000–3149	•	•	•	•	•	0	0	2	4	8	14	22	40	68	115	181										
3150–4999	•	•	•	•	0	0	1	4	8	14	24	38	67	111	186											
5000–7999	•	•	•	0	0	2	3	7	14	25	40	63	110	181												
8000–12499	•	•	0	0	2	4	7	14	24	42	68	105	181													
12500–19999	•	0	0	2	4	7	13	24	40	69	110	169														
20000–31499	0	0	2	4	8	14	22	40	68	115	181															
31500–49999	0	1	4	8	14	24	38	67	111	186																
50.000 o más	2	3	7	14	25	40	63	110	181	301																

*El número de unidades muestrales no es suficiente para una inspección reducida con estos AQL. En este caso, se pueden usar más de 10 lotes para el cálculo, siempre que tales lotes vengan a continuación de los más recientes y hayan sido aceptados en la inspección original con arreglo al plan de inspección normal.

Ajustes de las inspecciones

Si no se realizan ajustes en las inspecciones efectuadas según la norma MIL-STD-105D, no se aprovecharán las ventajas que la norma presenta. Pero esos importantes ajustes no parecen realizarse muy a menudo.

A menos que se disponga específicamente lo contrario, la primera inspección debe ser normal. Sin embargo, si al efectuar una *inspección normal* se rechazan dos de cinco lotes consecutivos durante la primera inspección, pase a una *inspección rigurosa*. Al llevar a cabo inspecciones rigurosas, si cinco lotes consecutivos aprueban la primera inspección, pase a una *inspección normal*. Si los 10 últimos lotes consecutivos resultan aceptados después de una inspección normal, o si la cantidad de productos defectuosos o defectos que presentan las muestras es menor que el límite fijado, pase a una *inspección reducida*.

Al realizar una *inspección reducida*, si hay siquiera un rechazo, o la aceptación requiere pasos especiales, o la producción es irregular, pase a una inspección normal.

Ejemplo: Se emplea la norma MIL-STD-105D para la inspección de aceptación. El AQL es 2,5 (%), el nivel de inspección II y el tamaño del lote 1.000. La inspección por muestreo simple, ¿debe ser normal, rigurosa o reducida?

Respuesta: Inspección normal. En la tabla 12.6, para el tamaño del lote 1.000 y el nivel de inspección II encontramos la letra "J". Luego, en la tabla 12.7, para "J" y un AQL de 2,5 obtenemos los valores $A_c = 5, R_e = 6$ y $n = 80$.

En el caso de una *inspección rigurosa*, observamos la tabla 12.8. En el renglón correspondiente a "J", para un AQL de 2,5 encontramos $A_c = 3, R_e = 4$ y $n = 80$. Si se trata de una *inspección reducida*, consideramos la tabla 12.9 y, de manera análoga, hallamos $A_c = 2, R_e = 5$, y $n = 32$. Sin embargo, se debe recordar aquí que cuando $A_c = 2$, el lote será aceptado aunque contenga tres o cuatro productos defectuosos. Pero se debe pasar a una inspección normal en el lote siguiente. Y si hay más de cinco productos defectuosos con una inspección reducida, se rechaza el lote y se somete el siguiente lote a una inspección normal.

Queda mucho por decir acerca de las inspecciones por muestreo. Aunque las inspecciones por muestreo no son especialmente dificultosas, es factible cometer graves errores si no se tienen en cuenta sus objetivos básicos. Hay que prestar particular atención a tomar conocimientos de las condiciones de la calidad del lote. No lleve a cabo inspecciones de acuerdo con su comodidad. Siempre hay posibilidades de mejora, de modo que no considere perfecta ninguna inspección. Recoja los resultados de sus inspecciones y toda información relativa a la línea de producción de donde provienen los lotes, a fin de efectuar las revisiones que corresponda en las inspecciones futuras. Puesto que hay muchísimos métodos de muestreo, sugerimos al lector profundizar su estudio. Esperamos que, merced a los ejemplos examinados, cuente ahora por lo menos con una idea general de lo que es la inspección por muestreo. Quienes desean ahondar el estudio deben consultar otros libros. Los ejemplos que hemos dado—especialmente la inspección normal por muestreo simple (JIS Z 9002) y también la norma MIL-STD-105D—se escogieron porque en la actualidad su empleo está muy generalizado en el Japón.

12.6 Observaci ı complementarias

Hasta aquí hemos presentado los métodos de inspección por muestreo comúnmente utilizados en el Japón. A continuación se indican las categorías y los métodos:

1 Normal:
Atributos: JIS Z 9002;
Variables: JIS Z 9003;
Variables: JIS Z 9004.

2 Con selección:
Atributos: JIS Z 9006;
Dodge-Romig.

3 Con ajustes:
Atributos: MIL-STD-105D
Variables: MIL-STD-414.

En el siguiente cuadro se presenta el estado real de las inspecciones en las empresas japonesas (información proveniente del Tercer simposio de control de calidad).

(1) Estado real de las inspecciones

	Recepción (compra)	Procesamiento (interm edio)	Final (entrega)	Total
Inspección total	27	46	63	136
JIS Z 9002 (Inspección normal por muestreo simple por atributos)	19	10	18	47
JIS Z 9003 (Inspección por muestreo simple por variables, σ conocida)	25	17	15	57
JIS Z 9004 (Inspección por muestreo simple por variables, σ desconocida)	6	3	4	13
JIS Z 9006 (Inspección por muestreo simple por atributos con selección)	1	12	10	23
JIS Z 9008 (Inspección por muestreo para producción continua por atributos)	1	4	5	10
JIS Z 9009 (Inspección normal por muestreo sucesivo por atributos)	0	2	1	3
JIS Z 9010 (Inspección normal por muestreo sucesivo por variables)	1	0	2	3
JIS Z 9011 (Inspección por muestreo simple con ajustes por atributos)	1	1	1	3
JIS Z 9012 (Inspección por muestreo simple con ajustes por variables)	0	1	0	1
MIL-STD-105A (Inspección por muestreo con ajustes por atributos)	23	1	14	53
MIL-STD-105D (Inspección por muestreo con ajustes por atributos)	9	3	6	28
Dodge-Romig (Inspección por muestreo con selección por atributos)	3	7	6	16
Otras (Inspección por muestreo)	19	18	11	48
Otras (Inspección no por muestreo, como inspección de verificación)	74	41	31	146
Total	224	176	187	587

(2) Aspectos pro. nádicos 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 arribe 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 ~ 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)

$n_1 = 32, \quad Ac = 2, \quad Re = 5$

$n_2 = 32, \quad Ac = 6, \quad Re = 7$

$(n_1 8 + n_2 = 64)$

MIL Table IV-A* (inspección normal muestreo múltiple)

$n_1 = 13, \quad Ac_1 = \quad Re_1 = 4$

$n_2 = 13, \quad Ac_2 = 1, \quad Re_2 = 5$

$n_3 = 13, \quad Ac_3 = 2, \quad Re_3 = 6$

$n_4 = 13, \quad Ac_4 = 3, \quad Re_4 = 7$

$n_5 = 13, \quad Ac_5 = 5, \quad Re_5 = 8$

$n_6 = 13, \quad Ac_6 = 7, \quad Re_6 = 9$

$n_7 = 13, \quad Ac_7 = 9, \quad Re_7 = 10$

$(n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7 = 91)$

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 defectuos ote 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, α, β, 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.

CAPITULO 13

Ejercicios prácticos

13.1 Cómo reunir datos

(1) En un proceso de pulido de lentes, dos operarios tienen a su cargo dos máquinas cada uno. Recientemente ha aumentado el porcentaje defectuoso, de modo que se desea llevar a cabo una investigación. ¿Qué tipo de datos debemos recoger? Establezca una hipótesis apropiada.

Puesto que nada se nos dice acerca de las condiciones existentes en la línea de producción ni sobre el estado de los lentes defectuosos, tendremos que formular una hipótesis apropiada cuando consideremos los puntos básicos. En una situación como la planteada, ello le ayudará a llevar a cabo su tarea sin tropiezos.

De acuerdo con el planteo del problema, el objetivo consiste en determinar la causa del aumento en el porcentaje defectuoso. De ahí que el propósito de reunir datos deberá ser:

i) averiguar qué tipo de productos defectuosos son los más numerosos;

ii) averiguar qué factores son causa de la aparición de productos defectuosos.

El plan debe aclarar estos dos puntos.

(a) Estratificar según la causa

Es importante obtener datos que indiquen los rubros donde aparece la mayor cantidad de defectos. En un proceso de pulido de lentes, los lentes pueden ser demasiado gruesos o demasiado finos, pueden estar rayados o mal terminados, o tener una cubierta deficiente (la superficie del lente puede haber sido dañada por el agua o por un ácido). Hay que recoger datos estratificados para indicar cuál de estos rubros prevalece.

(b) Considerar la causa de los productos defectuosos

Ahora es preciso encontrar la causa de los problemas mencionados, para lo cual debemos trazar un diagrama de causa y efecto. Si bien hay muchas formas de elaborar diagramas de causa y efecto, los elementos principales que se deben recordar son:

materiales utilizados
efecto de las piezas
efecto de las máquinas y herramientas
efecto de los trabajadores y grupo de trabajo
efecto de los métodos de trabajo
efecto de los métodos de medición

Por supuesto, existen muchos rubros detallados que tal vez podrían enumerarse a continuación de cada uno de los elementos principales indicados.

(c) Hallar la causa principal

Se debe escoger el método de recolección de datos de forma tal que se ponga de manifiesto el efecto de la causa principal, entre todas las demás, de la aparición de productos defectuosos. En este caso, hay dos operarios con dos máquinas cada uno, de manera que deben reunirse los datos de una forma en que se pueda estratificar el efecto de los trabajadores y las máquinas. Para facilitar esta tarea, hay que elaborar también una planilla de registro de datos.

(d) Registrar las causas conexas

Se debe dejar constancia de los elementos causales que no se puedan estratificar, como por ejemplo los materiales utilizados, los métodos de trabajo, los métodos de medición, etc. Tome nota de toda característica extraña que presenten.

Habitualmente, los materiales y los métodos de trabajo que se elijan estarán de acuerdo con las normas de las especificaciones. Empero, aun dentro de los límites de las normas, puede experimentarse algún efecto, o puede ocurrir que una norma deje de resultar apropiada. En tal caso, es menester reunir datos sobre condiciones de trabajo y métodos de trabajo que puedan juzgarse importantes. Aunque sea imposible obtener valores concretos en las mediciones, siempre será provechoso utilizar datos sobre superioridad, datos ordinales y datos expresados en grados.

Asimismo se debe dejar constancia del método de medición de los datos. Sobre todo los datos que se recogen mediante pruebas que dependen de la percepción del inspector, como la existencia de rayas o una mala terminación, no sólo pueden entrañar errores considerables sino tornarse cada vez más difíciles de evaluar con el paso del tiempo. No se olvide de dejar constancia del nombre del recolector de datos, sus instrumentos, la fecha de la última inspección de sus instrumentos, etc.

Resumen de lo anterior:

i. estratificar los productos defectuosos por rubro
ii. estratificar por operario y por máquina
iii. registrar factores conexos

Más abajo figura un ejemplo de planilla de registro de datos. Si se cuenta con datos recogidos con anterioridad, un análisis acorde con los lineamientos señalados deberá permitir obtener un gran caudal de información.

> (2) Para obtener datos correctos, hay que considerar varios elementos. Enumere tres o más, e indique las razones.

a) Deje en claro el propósito de la recolección de datos

El propósito por el cual se efectúa la recolección de datos debe ser claro. Los datos no sólo se reúnen para disponer de un registro, sino para contar con una base de acción. Por eso es importante decidir cuál es la meta. Fijada la meta, podremos decidir qué comparaciones habrán de realizarse y qué tipo de datos se necesitan.

Planilla de registro de datos

Inspector					
No. de máquina					
Fecha \ Datos	No. del proceso	Grosor	Rayas	Astillas	Observaciones
Feb. 1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

b) Decida qué método de muestreo utilizará

Una vez determinado el propósito de reunir los datos, el problema siguiente es escoger el método de muestreo. Por ejemplo, si se desea investigar el porcentaje defectuoso diario, habrá que extraer muestras que representen la producción de cada jornada. Si en una jornada no hay casi dispersión, probablemente se puedan obtener muestras de cualquier origen en cualquier momento. Pero si existe dispersión entre los trabajadores en un día, habrá que extraer muestras por separado para cada operario. También es preciso decidir: qué muestras se desean; con qué frecuencia se desean las muestras; el método de muestreo (continuo, a intervalos o aleatorio). Tampoco hay que olvidar la capacitación de quien esté a cargo de la obtención de muestras.

c) Esté atento a los errores de medición

Aunque se escojan correctamente las muestras, no se puede confiar en ningún resultado a menos que la medición misma sea fidedigna. Por eso hay que estar atentos a los errores de

medición, tratando de reducirlos al mínimo. Además de las ligeras diferencias de medición resultantes del empleo de instrumentos distintos, habrá otras discrepancias según quién efectúe las mediciones y qué día se lleven a cabo. Especialmente cuando se trata de pruebas cuyo resultado depende de la percepción del inspector, es imprescindible conocer el grado de error en la medición.

d) Registre claramente el origen de los datos

Los datos se reúnen por diversos motivos, pero siempre hay que asegurarse de dejar en claro el origen de los datos, porque de lo contrario será imposible el análisis ulterior. Si los datos ponen en evidencia una causa, debe aclararse la relación con el efecto, y viceversa. Y, por supuesto, acuérdese siempre de indicar la fecha, los instrumentos, los métodos y el nombre de la persona que reunió los datos.

e) Sea creativo durante la recolección de datos

Aun después de haber decidido el tipo de datos que se necesitan, a menudo se verá que no es fácil obtener esos datos en particular, que no existen los instrumentos adecuados o que resulta difícil expresar los datos en cifras concretas debido a que se efectúan mediciones dependientes exclusivamente de los sentidos. En tales casos, la diligencia en la recolección de datos puede orientarnos hacia la solución. Aproveche no sólo los datos fáciles de estimar, sino también los relativos a superioridad, los expresados en forma ordinal y los expresados en grados.

13.2 Histogramas

> (1) Los datos siguientes representan mediciones de piezas de maquinaria producidas en las líneas A y B. Los límites de tolerancia son 150 ± 0.05 mm. Elabore un histograma e investigue la relación entre las piezas de las líneas A y B y los límites. Las cifras fueron obtenidas restando 150 mm a los valores medidos y multiplicando el resultado por 100.

Línea A						Línea B					
1	3	2	3	5	4	−1	1	−4	−2	−1	0
1	3	3	4	−1	4	−5	2	3	−1	−2	−1
1	2	0	1	2	−1	0	0	2	0	1	−6
2	3	3	3	2	2	−3	0	−3	1	0	−2
0	1	0	5	3	2	0	1	0	−4	−2	2
0	3	3	2	0	5	−1	0	−1	−3	1	−2
−1	4	2	4	−1	0	−1	1	1	0	−1	2
2	1	1	4	1	7	0	−5	−2	−3	3	−6
4	5	5	3	1	4	2	−1	−4	−1	−2	−2
4	3	−2	2	3	6	−4	−1	−3	0	1	−3

a) Cómo realizar el cálculo

Puesto que debemos hallar el peso medio y la desviación típica a base del histograma, para simplificar el cálculo primero construiremos un cuadro.

Tabla 13.4

No. de la clase	Valor representativo de la clase	Frecuencia f_i	u_i	f_iu_i	$f_iu_i^2$
1	375	1	−4	− 4	16
2	378	4	−3	−12	36
3	381	9	−2	−18	36
4	384	29	−1	−29	29
5	387	30	0	(−63)	
6	390	15	1	15	15
7	393	7	2	14	28
8	396	3	3	9	27
9	399	2	4	8	32
Total		100		(46) −17	219

Paso 1. Construya una tabla similar a la 13.4. Los números de las clases están tomados del número de barras del histograma: 1, 2, 3 ... a partir de la izquierda. A cada clase se le asigna un valor representativo. Se ha registrado la frecuencia f_i, que indica la longitud de las barras. El total de las frecuencias es 100 (o sea, la cantidad de muestras).

Paso 2. En la columna u_i, se ha consignado 0 como la media; por encima aparecen −1, −2, etc., y por debajo 1, 2, etc.

Paso 3. Para cada clase se ha multiplicado f_i por u_i, y el resultado consta en la columna f_iu_i. Cuando el valor de u_i es 0, se deja el espacio en blanco (no escriba 0). En este ejemplo, la clase número 1 será:

$$f_i \times u_i = 1 \times (-4) = -4$$

Paso 4. Dentro de la columna f_iu_i, se suman todos los valores (negativos) que están por encima del renglón correspondiente a $u_i = 0$ y se escribe el resultado en ese renglón. La suma es (−63). Por debajo del renglón $u_i = 0$, todos los valores son positivos y suman (46). Escriba ese número en la tabla. Sumando ambos, obtenemos −17 (−63 + 46 = −17).

Paso 5. Para cada clase se multiplica f_iu_i por u_i, y el resultado se consigna en la columna $f_iu_i^2$. Todos estos valores serán positivos o 0. En el caso de la clase número 1, es:

$$f_iu_i \times u_i = (-4) \times (-4) = 16$$

Paso 6. Halle el total de la columna $f_iu_i^2$: 219. Han concluido así los preparativos para determinar la media y la desviación típica. Veamos los pasos que se siguen para calcularlas.

Paso 7. Divida el total de la columna f_iu_i hallado en el paso 4 (−17) por la cantidad total de datos (el total de la columna f_i: N,100). Esto será E_1.

$$E_1 = \frac{-17}{100} = -0.17$$

Paso 8. Halle la media con la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = a + hE_1$$

Aquí a es el valor representativo de la clase u_i: 0, y h es el ancho de la clase. En nuestro ejemplo, a: 387 y h : 3. Por lo tanto,

$$\bar{x} = 387 + 3 \times (-0{,}17) = 386{,}49 \text{ (gm)}$$

Paso 9. Divida el total de la columna f_iu_{i2} hallado en el paso 6 por el número total de datos (219). Esto será E_2:

$$E_2 = \frac{219}{100} = 2.19$$

Paso 10. Determine la desviación típica con la siguiente ecuación:

$$s = h\sqrt{E_2 - (E_1)^2}$$

En este ejemplo:

$$s = 3\sqrt{2.91 - (-0.17)^2} = 4.41 \text{ (gm)}$$

De lo anterior surge que la media del peso de este alimento es 386.49 gramos y que la desviación típica es 4,41 gramos. Esta media se encuentra aproximadamente en el centro del histograma. Asimismo, cinco veces el valor de la desviación típica (5 × 4.41 ≒ 22) se aproxima a la diferencia entre los valores representativos de las clases mayor y menor (399 − 375 = 24). En consecuencia, sabemos que no se han producido grandes errores en el cálculo.

13.3 Diagramas de causa y efecto

(1) La cocción del arroz se asemeja mucho a un proceso de producción fabril. El arroz (materia prima) se lava (tratamiento previo); luego, en una olla (equipo) se lo calienta y se lo somete a un baño de vapor (segundo tratamiento). Elabore un diagrama de causa y efecto que indique los pasos necesarios para cocinar arroz sabroso.

Para considerar este problema, hicimos intervenir a mucha gente. Los diagramas de causa y efecto que elaboraron aparecen en las figuras 13.2, 13.3, 13.4, 13.5 y 13.6.

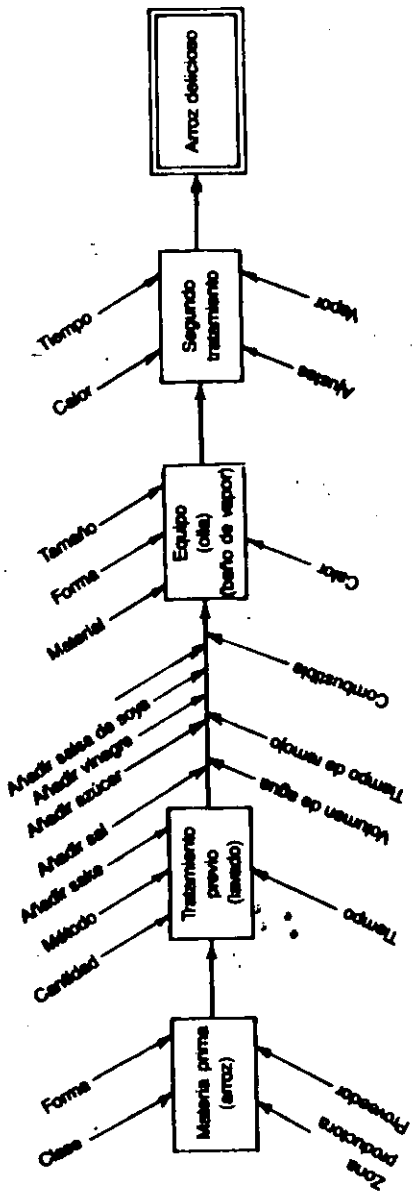


Figura 13.2 Modelo de clasificación según el proceso

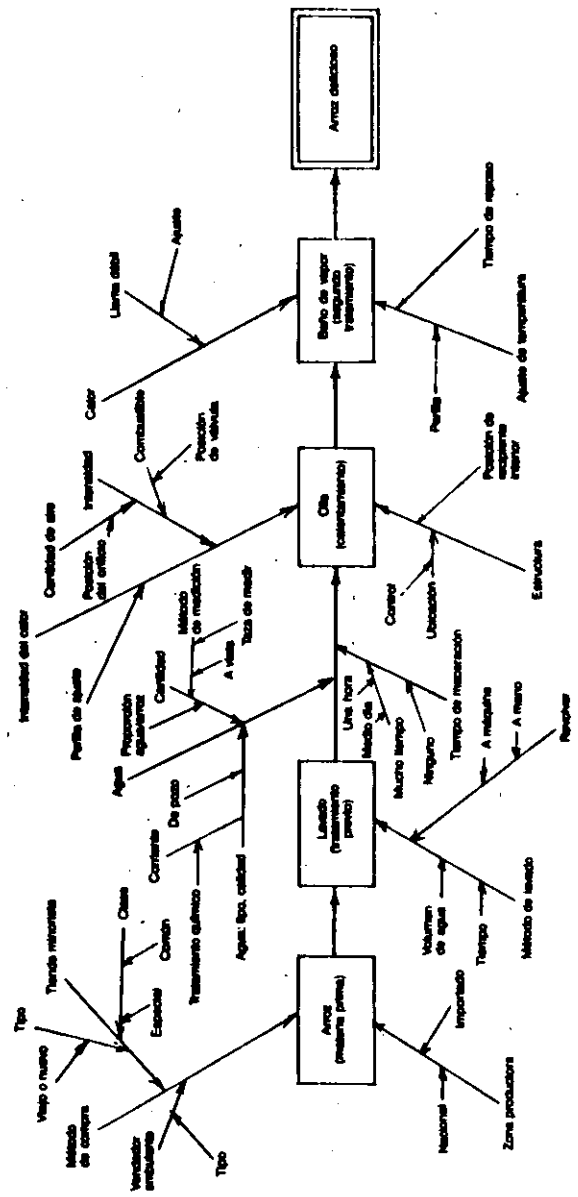


Figura 13.3 Modelo de clasificación según el proceso

b) A continuación, los diagramas de Pareto construidos para las máquinas No. 1 y No. 2 tendrán la forma de la figura 13.12. Se puede suponer que los defectos correspondientes a la máquina No. 1 son de diferente índole que los correspondientes a la máquina No. 2. Los productos de la máquina No. 1 presentan muchas rayas y grietas en la superficie. En particular, las grietas son más numerosas en el caso de la máquina No. 1 que en el de la No. 2. Pero la máquina No. 2 tiene siete defectos que consisten en una forma incorrecta, contra ninguno de la máquina No. 1.

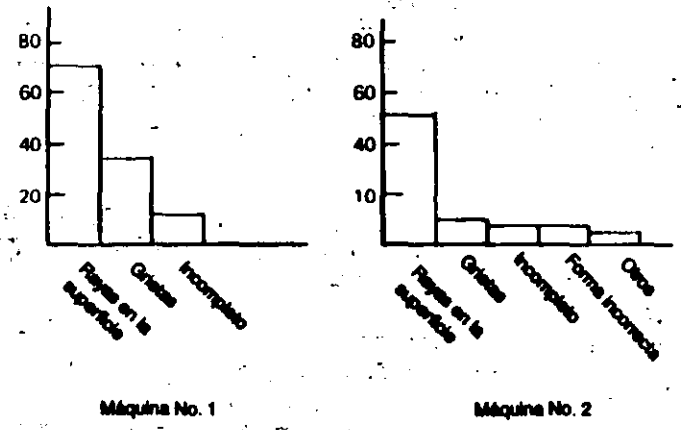


Figura 13.12

c) Además, los diagramas de Pareto correspondientes a cada operario son como los de la figura 13.13. La mayor parte de las rayas en la superficie son imputables al operario B. Como se mencionó en el capítulo 4, ello se debe a que no hacía funcionar adecuadamente su máquina. En base a estos datos solamente, no se puede determinar si las grietas de la máquina No. 1 son atribuibles a la máquina o al operario. Se requerirá un estudio sobre el terreno.

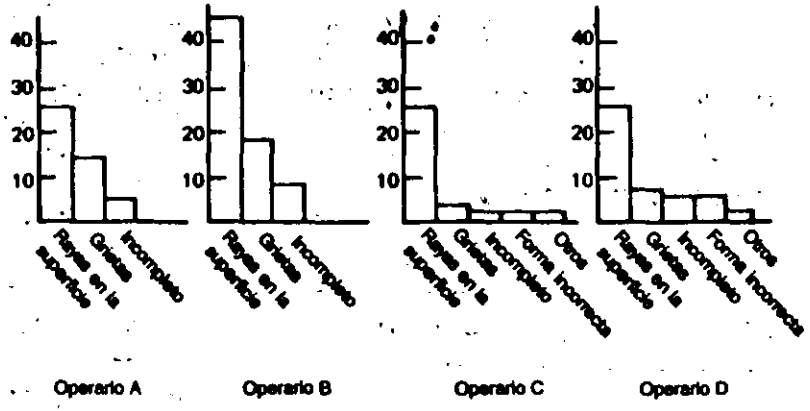


Figura 13.13

d) En la figura 13.4 aparecen los diagramas de Pareto correspondientes a la mañana y a la tarde. Como puede observarse, no difieren mayormente.

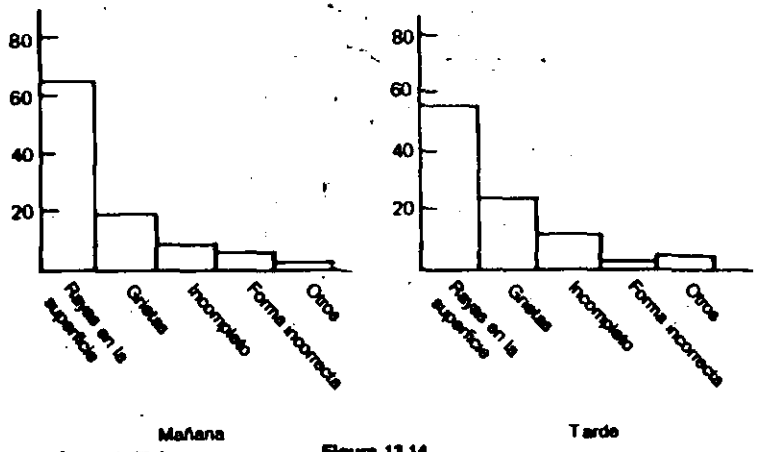


Figura 13.14

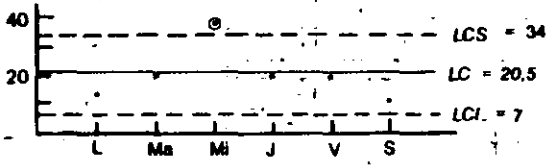


Figura 13.15 Gráfico de control c

e) La figura 13.15 es el gráfico de control de la superficie correspondiente a una semana. El miércoles las rayas sobrepasaron el límite, debido a la existencia de materiales fallados. Pueden extraerse las siguientes conclusiones:

i) El defecto más frecuente son las rayas en la superficie.
- Se analizó la relación entre el manejo inadecuado de la máquina y las rayas en la superficie y se efectuaron correcciones.
- Se determinó que la existencia de materiales fallados tenía influencia sobre la aparición de rayas en la superficie. Se requiere un control más estricto de los materiales.
- Se consignará en un diagrama de causa y efecto el resto de los defectos consistentes en rayas y se estudiarán las razones.

ii) La frecuencia de la aparición de grietas es diferente según se trate de la máquina No. 1 o la No. 2. Con los datos disponibles no se puede determinar si el problema reside en el equipo o en los operarios. Se necesita proseguir el estudio.

iii) La máquina No. 2 es la única que produce defectos que consisten en una forma incorrecta. Esta causa se estudiará más a fondo.

13.5 Diagramas de Pareto

(1) La tabla 13.5 presenta datos sobre productos defectuosos tomados de cierta línea de montaje durante un mes. ¿Con qué rubros debe comenzar la mejora?

Prepare un diagrama de Pareto y decida dónde debe comenzar la mejora. La tabla proporciona la cantidad de productos defectuosos para un mes (cuatro semanas). Para construir un diagrama de Pareto basado en estos datos, primero determine el total de productos defectuosos según cada rubro.

La tabla 13.6 es idéntica a la 13.5, salvo que se han hallado los totales, que se incluyen en la columna de la derecha.

Su diagrama de Pareto debe asemejarse al de la figura 13.16. De allí surge que los rubros "rotación inadecuada" y "roturas en el panel de base" son los primeros que se deben corregir.

(2) Haga cambios en el factor tiempo de los datos y construya los correspondientes diagramas de Pareto. Examine cómo aparecen los productos defectuosos durante este período de un mes y los plazos para reunir los datos.

En el primer ejercicio hemos tratado las correcciones relativas a la rotación inadecuada y las roturas en el panel de base mediante un diagrama de Pareto construido según los datos correspondientes a un mes. Puesto que en este problema se nos proporcionan datos para cuatro semanas, podemos elaborar 4 diagramas (uno para cada semana) o dos diagramas (uno para cada quincena).

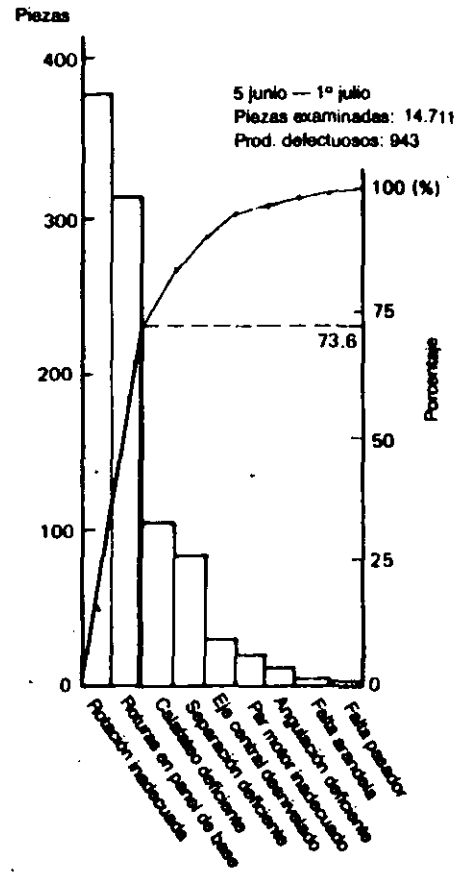


Figura 13.16 Diagrama de Pareto: rechazos en un mes (cuatro semanas)

Tabla 13.5

	Fecha - Junio	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	1º julio
Defectos	Catafaseo deficiente	3		6	14	18	15	2	4	3	3	4	2	3	5	2	6	2	2			1	3	3	4
	Rotación inadecuada	15	18	14	14	19	13	14	16	20	23	19	17	17	13	12	15	15	17	13	19	11	12	18	14
	Par motor inadecuado		3				1	2				5				4	2				1	1	1		
	Separación deficiente	5	1	4	4	1	3	5	8	6	3	3	7	3	7	2	3	1		3	2	6	4		2
	Roturas en panel de base	8	11	7	16	6	9	7	7	13	10	21	26	10	14	9	8	15	8	8	31	19	23	16	12
	Angulación deficiente			1		2				1		1		1	1						2		1		1
	Eje central desnivelado	2	1	4	3				1	1		1		2						3	3	1	4	2	1
	Otros				(Falta pasador) 1										1	(Falta arandela)						(Falta pasador) 1			
	Total	33	34	36	52	46	41	30	36	44	39	54	52	36	41	[illegible]	[illegible]	33	27	27	58	40	48	39	34
	Unidades producidas	615	631	607	621	599	611	610	615	611	608	595	603	620	621	615	613	620	614	628	607	609	622	615	601

Tabla 13.6 Productos defectuosos en línea de montaje

	Fecha - Junio	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	1º julio	Total
Defectos	Catafaseo deficiente	3		6	14	18	15	2	4	3	3	4	2	3	5	2	6	2	2			1	3	3	4	105
	Rotación inadecuada	15	18	14	14	19	13	14	16	20	23	19	17	17	13	12	15	15	17	13	19	11	12	18	14	378
	Par motor inadecuado		3				1	2				5				4	2				1	1	1			20
	Separación deficiente	5	1	4	4	1	3	5	8	6	3	3	7	3	7	2	3	1		3	2	6	4		2	83
	Roturas en panel de base	8	11	7	16	6	9	7	7	13	10	21	26	10	14	9	8	15	8	8	31	19	23	16	12	314
	Angulación deficiente			1		2				1		1		1	1						2		1		1	11
	Eje central desnivelado	2	1	4	3				1	1		1		2						3	3	1	4	2	1	29
	Otros			(Falta pasador)	1										1	(Falta arandela)					(Falta arandela)	1				3
	Total	33	34	36	52	46	41	30	36	44	39	54	52	36	41	29	34	33	27	27	58	40	48	39	34	943
	Unidades producidas	615	631	607	621	599	611	610	615	611	608	595	603	620	621	615	613	620	614	628	607	609	622	615	601	14,711

Para determinar la forma en que aparecen los productos defectuosos en un mes, tendremos que comparar los diagramas. Por lo tanto, fije los plazos en una semana y dos semanas. Si los fijáramos en tres semanas y una semana para el conjunto de datos correspondientes a cuatro semanas, no podríamos comparar los diagramas (ver como referencia el capítulo 5, párrafo 5.2, paso 2).

Tabla 13.7 Primera semana

Defectos	Junio 5	6	7	8	9	10	Total
Calafateo deficiente	3		6	14	18	15	56
Rotación inadecuada	15	18	14	14	19	13	93
Par motor inadecuado		3				1	4
Separación deficiente	5	1	4	4	1	3	18
Roturas en panel de base	8	11	7	16	6	9	57
Angulación deficiente			1		2		3
Eje central desnivelado	2	1	4	3			10
Otros				(Falta pasador)			1
Total	33	34	36	52	46	41	242
Unidades producidas	615	631	607	621	609	611	3684

Tabla 13.8 Segunda semana

Defectos	12	13	14	15	16	17	Total
Calafateo deficiente	2	4	3	3	4	2	18
Rotación inadecuada	14	16	20	23	19	17	109
Par motor inadecuado	2				5		7
Separación deficiente	5	8	6	3	3	7	22
Roturas en panel de base	7	7	13	10	21	26	84
Angulación deficiente			1		1		2
Eje central desnivelado		1	1		1		3
Otros							0
Total	30	36	44	39	54	52	266
Unidades producidas	610	618	611	608	606	603	3642

Tabla 13.9 Tercera semana

Defectos	19	20	21	22	23	24	Total
Calafateo deficiente	3	5	2	6	2	2	20
Rotación inadecuada	17	13	12	15	15	17	89
Par motor inadecuado			4	2			6
Separación deficiente	3	7	2	3	1		16
Roturas en panel de base	10	14	9	8	15	8	64
Angulación deficiente	1		1				2
Eje central desnivelado	2						2
Otros				(Falta pasador)			1
Total	36	41	29	34	33	27	200
Unidades producidas	620	621	615	613	620	614	3703

Tabla 13.10 Cuarta semana

Defectos	26	27	28	29	30	1º julio	Total
Calafateo deficiente		1		3	3	4	11
Rotación inadecuada	13	19	11	12	18	14	87
Par motor inadecuado		1	1	1			3
Separación deficiente	3	2	6	4		2	17
Roturas en panel de base	8	31	19	23	16	12	109
Angulación deficiente		2		1		1	4
Eje central desnivelado	3	3	1	4	2	1	14
Otros				(Falta pasador)			1
Total	27	58	40	48	39	34	246
Unidades producidas	628	607	609	622	615	601	3682

En las tablas 13.7 a 13.10 encontramos los totales semanal y diario de productos defectuosos y las cifras totales de producción. Si sumamos los totales de la primera y la segunda semanas, tendremos la base para construir nuestro primer diagrama de Pareto. Con los totales de la tercera y cuarta semanas, obtendremos el segundo. Esos diagramas aparecen en las figuras 13.17 (A) y 13.17 (B).

En ambos diagramas, las dos causas principales de productos defectuosos ("rotación inadecuada" y "roturas en el panel de base") ocupan la misma posición, con el 73.6% del total. La posición de "calafateo deficiente" y "separación deficiente" ha cambiado; pero si comparamos la primera quincena del mes con la segunda basándonos en esos dos diagramas, vemos que en realidad no existe gran diferencia en la forma en que aparecen los productos defectuosos.

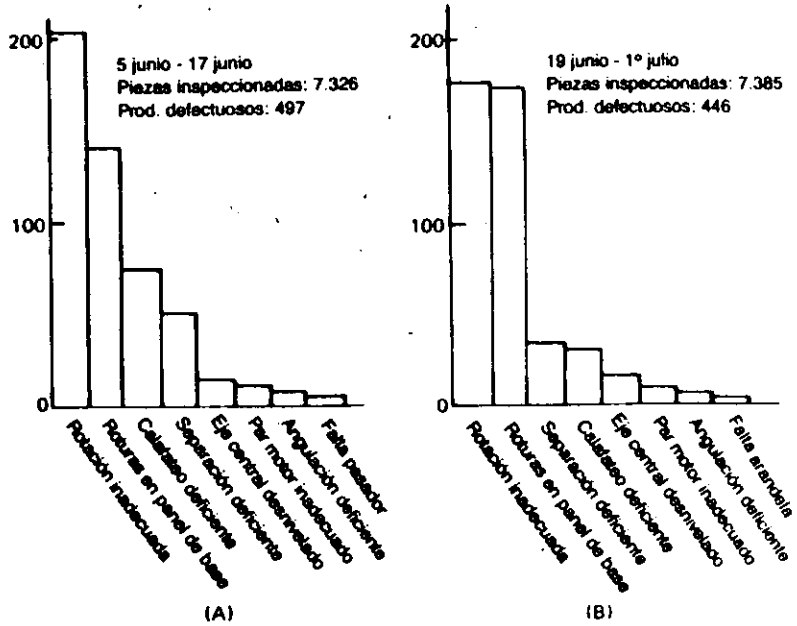


Figura 13.17 Diagramas de Pareto para períodos de dos semanas

Al comparar los dos diagramas, obtenemos los mismos resultados que con la figura 13.16: deben corregirse la rotación inadecuada y las roturas en el panel de base. Los diagramas de Pareto correspondientes a cada semana se muestran en las figuras de 13.18 (A) a 13.18 (D).

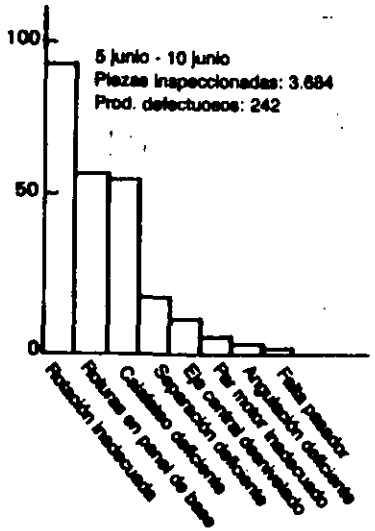


Figura 13.18(A) Primera semana

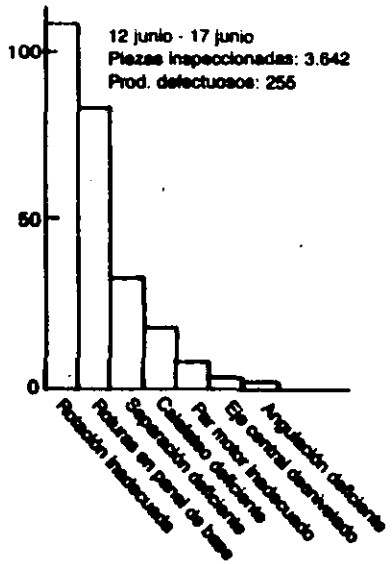


Figura 13.18(B) Segunda semana

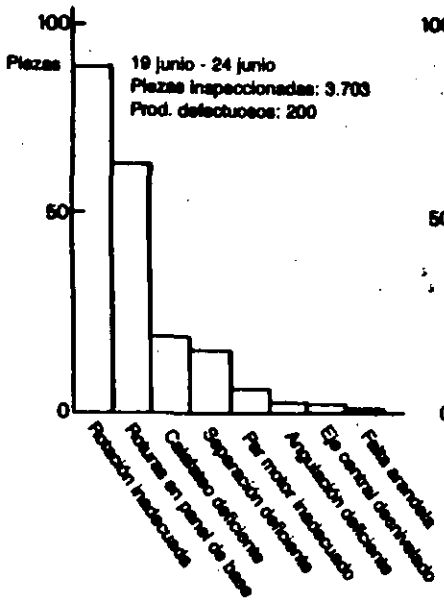


Figura 13.18(C) Tercera semana

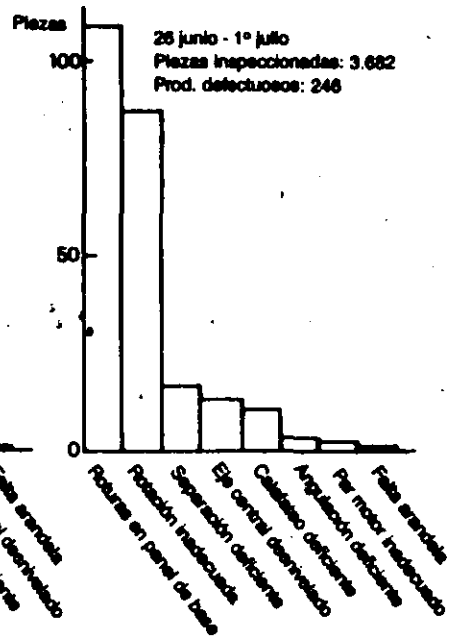
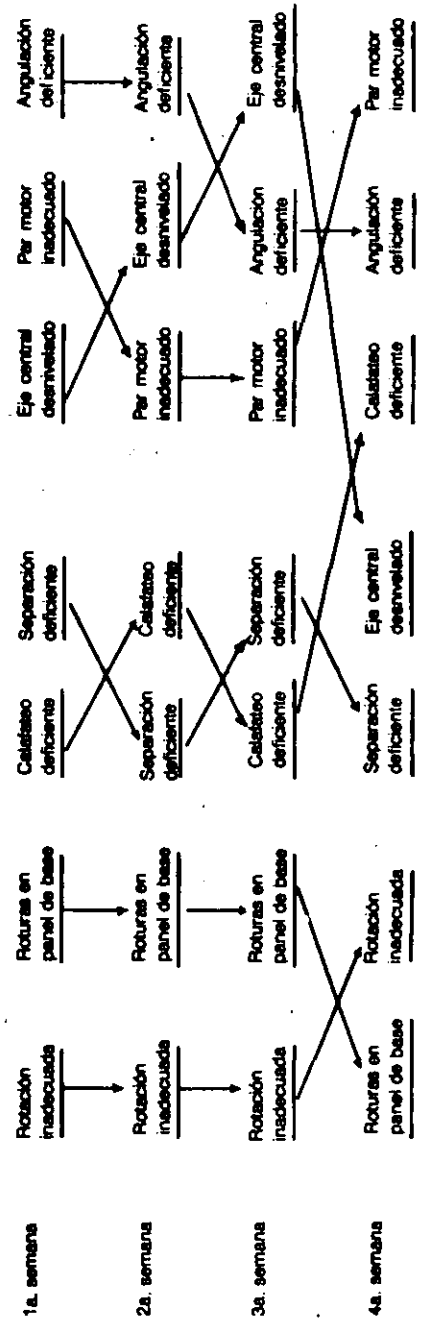


Figura 13.18(D) Cuarta semana

Tabla 13.11 Cambios de orden



Como se observa, en la cuarta semana el rubro "rotación inadecuada", que ocupaba el primer lugar, ha pasado al segundo, y "roturas en el panel de base" ascendió a la primera posición. Con la elaboración de la tabla 13.11, veremos que no fue éste el único cambio de orden ocurrido (cambio que indican las flechas). Cuanto más se cruzan las flechas y cuanto mayor es su longitud, menor es el control de calidad diario en la línea de montaje. Así hemos podido determinar que los cambios experimentados semanalmente, como en esta fábrica, denotan escaso control cotidiano. El diagrama preparado a base de los datos correspondientes a un período de dos semanas (figura 13.17) no ponía totalmente de manifiesto los cambios, que sí resultan muy claros con los gráficos para cada semana. A medida que mejore el control, disminuirá la longitud de las flechas y la cantidad de veces que se cruzan en las tablas semanales.

Este empleo de los diagramas de Pareto revelará si el control es adecuado o no. El lapso más corto de recolección de datos variará según el caso, pero en general se estima que una semana es el mínimo. Con problemas como el planteado, el plazo puede fijarse en tres días; pero entonces puede ocurrir que algunas veces la cantidad de productos defectuosos sea nula. El lapso requerido para la recolección de datos puede establecerse a grandes rasgos de acuerdo con el período dentro del cual aparecen todos los defectos principales.

Nota: En las figuras 13.17 y 13.18, el eje vertical denota cantidad de productos defectuosos. Se procedió así porque la cantidad de piezas inspeccionadas que se comparan en los diagramas es casi la misma. De haber existido una gran diferencia en la cantidad de piezas inspeccionadas, habría sido necesario calcular el porcentaje defectuoso y efectuar la comparación con un diagrama de Pareto cuyo eje vertical estuviera expresado en porcentaje (%).

En el caso de "rotación inadecuada", por ejemplo, vemos que la cantidad de productos defectuosos por semana no es constante: 93, 109, 89 y 87.

También pueden observarse cambios diarios en la cantidad de productos defectuosos debidos a cada rubro de defectos. Si esos cambios se estudian mediante un gráfico de control como el que se explicó en el capítulo 7, la eficacia del control se pone más de manifiesto que con la comparación de diagramas de Pareto.

13.6 Gráficos

Figuran a continuación datos sobre productos defectuosos reunidos durante el proceso de producción en abril en una fábrica de artículos eléctricos (principalmente equipos estereofónicos).

1 A base de estos datos, construya un gráfico de sectores, un gráfico de barras y un diagrama de Pareto para los rubros respectivos y las secciones a cargo.

2 Analice la información extraída de los datos.

Rubro	Cantidad	Sección a cargo
Tubo al vacío	327	Subsidiaria de electrónica A
Lámpara testigo	240	Sección Compras
Transistor	176	Subsidiaria de electrónica B
Tubo neón	105	Sección Compras
Parlante	90	Planta de parlantes
Bobina (A)	61	Planta de bobinas
Interruptor giratorio	21	Planta de piezas de montaje
Control de volumen	15	Fabricante de control de volumen
Resistencia de carbón	14	Planta de resistores
Diodo	14	Subsidiaria de electrónica B
Condensador (C)	12	Sección Compras
Transformador (B)	10	Planta de transformadores
Condensador (D)	9	Sección Compras
Condensador variable	8	Sección Compras
Condensador (A)	50	Planta de condensadores
Condensador (B)	45	Planta de condensadores
Enchufe de audífono	43	Sección Compras
Transformador	36	Planta de bobinas
Bobina (B)	33	Planta de bobinas
Regulador de seis carretes	31	Sección Compras
Bobina	8	Planta de bobinas
Interruptor de vaivén	8	Planta de piezas de montaje
Resistor transistorizado	8	Planta de resistores transistorizados
Transformador (C)	7	Planta de transistores
Interruptor corredizo	6	Planta de piezas de montaje
Circuito impreso	2	Planta de circuitos impresos
Piezas compuestas	1	Planta de cerámica
Otros	23	

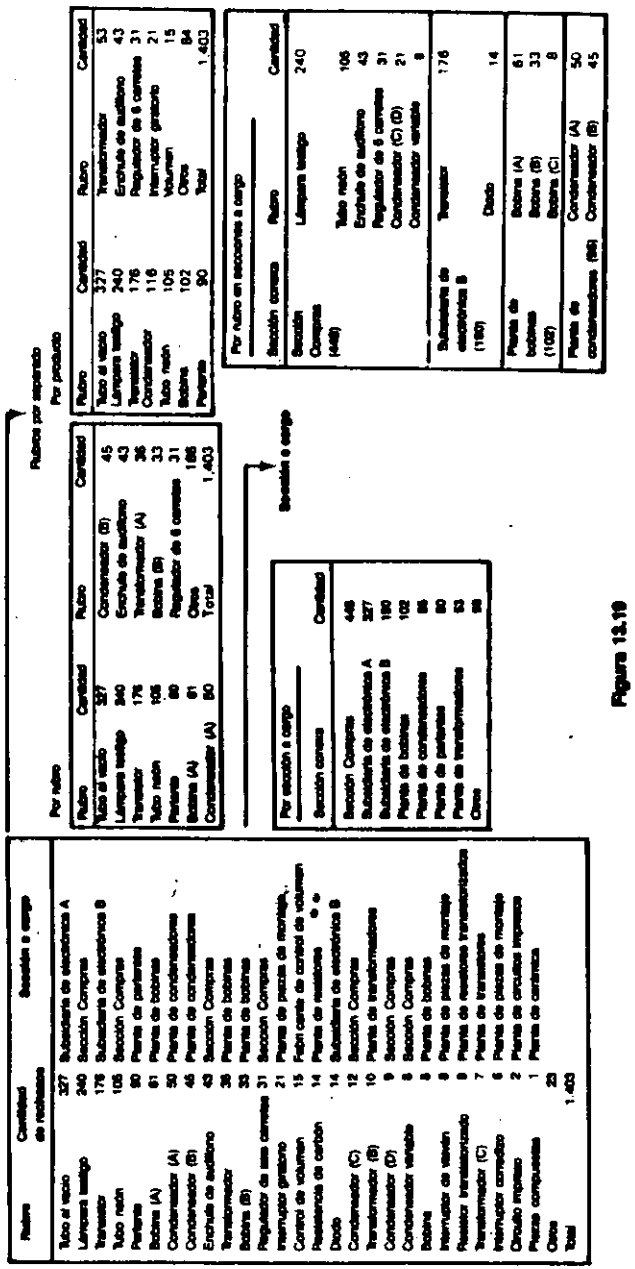


Figura 13.19

Una vez reunidos los datos, se los puede aprovechar en la práctica aclarando el propósito y el método de seleccionar los datos apropiados y vinculándolos con el empleo requerido.

¿Cuál fue el propósito de reunir los datos? Trate, por ejemplo, de relacionar la información con medidas concretas; reorganícela para que resulte de fácil lectura, para informar a sus subordinados, comunicarse con sus superiores para recabar nuevas instrucciones, etc. Veamos, en consecuencia, cuál es el método de utilizar, escribir y observar en lo atinente a los datos.

a) Análisis de los datos (estratificación)

En primer lugar, estratifiquemos los datos por rubro y por sección productora a cargo (ver figura 13.19).

Otro método de análisis consiste en dividir los datos en grupos, como piezas del circuito, piezas de montaje, etc.

Resumen

1. Determine exactamente qué tipos de datos se necesitan y recoja datos en función de su propósito concreto.
2. Estratifique los datos.
3. Todos los datos deben representar la situación real. Elimine los datos falsos.
4. Examine la confiabilidad de los datos.
5. Cuando hay muchos rubros de defectos, verifique con qué detalle se han recogido los datos.

b) Construcción de gráficos de sectores, gráficos de barras y diagramas de Pareto por rubro

i) Construcción de gráficos de sectores

Los gráficos de sectores son más fáciles de leer que los gráficos comunes, pero es difícil distinguir a primera vista las proporciones que guardan entre sí los distintos sectores del diagrama. La forma más sencilla de construir un gráfico de sectores consiste en trazar un círculo y dividir su circunferencia en 100 partes iguales (ver figura 13.20). Una vez que se sabe qué porcentaje del total corresponde a cada rubro, la construcción del gráfico de sectores resulta muy simple.

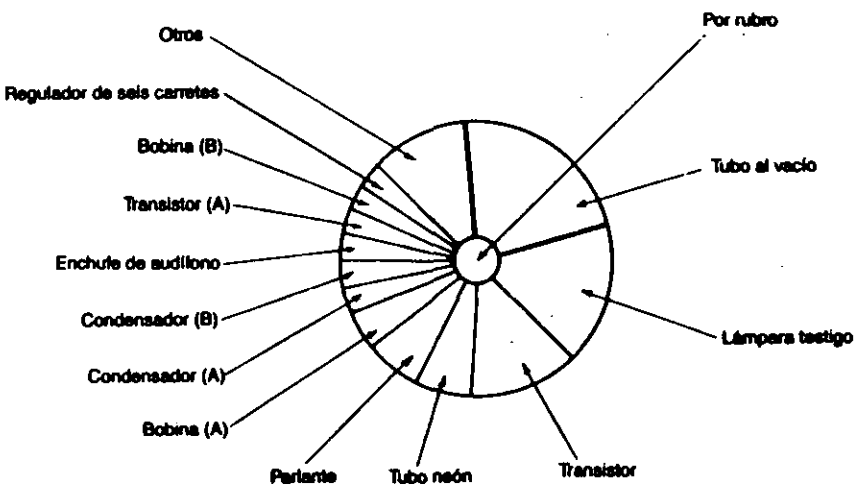


Figura 13.20

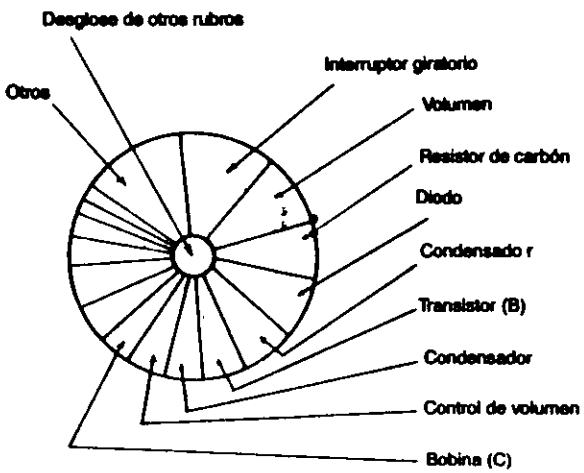


Figura 13.21

El otro método requiere un sencillo cálculo aritmético para expresar cada rubro en grados. En este caso, para trazar el gráfico se recurre a un transportador. Los cálculos son los siguientes:

Tubo al vacío. . . . . $360^\circ \times \frac{327}{1403} = 87^\circ$

Lámpara testigo. . . . . $360^\circ \times \frac{240}{1403} = 61.8^\circ$

Transistor. . . . . $360^\circ \times \frac{176}{1403} = 45^\circ$

Tubo neón. . . . . $360^\circ \times \frac{105}{1403} = 27^\circ$

Parlante. . . . . $360^\circ \times \frac{90}{1403} = 23^\circ$

Bobina (A). . . . . $360^\circ \times \frac{61}{1403} = 15.7^\circ$

Condensador. . . . . $360^\circ \times \frac{50}{1403} = 12.8^\circ$

Condensador (B). . . . . $360^\circ \times \frac{45}{1403} = 11.5^\circ$

Enchufe de audífono. . . . . $360^\circ \times \frac{43}{1403} = 11^\circ$

Transformador (A). . . . . $360^\circ \times \frac{36}{1403} = 9.2^\circ$

Bobina (B). . . . . $360^\circ \times \frac{33}{1403} = 8.5^\circ$

Regulador de 6 carretes. . . . . $360^\circ \times \frac{31}{1403} = 7.9^\circ$

Otros. . . . . $360^\circ \times \frac{166}{1403} = 42.6^\circ$

ii) Construcción del gráfico de barras

En nuestra vida cotidiana utilizamos de manera considerable los gráficos de barras. Se los emplea para comparar valores cuyas variaciones se denotan con la diversa longitud de las barras. Al efectuar las comparaciones, deben tenerse en cuenta las diferencias y proporciones relativas de cada cantidad.

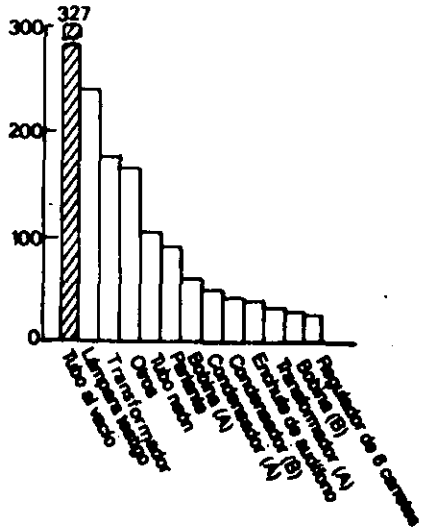


Figura 13.22 Gráfico de barras por rubro

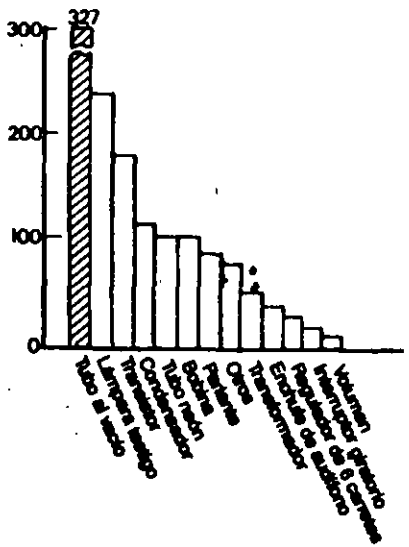


Figura 13.23 Gráfico de barras por producto

iii) Construcción de un diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es también un tipo de gráfico de barras que se usa con frecuencia para ponderar la importancia de los problemas planteados en el ámbito fabril. Aunque por lo general existen muchos rubros o causas de defectos, lo normal es que sólo dos o tres tengan influencia significativa.

Para construir un diagrama de Pareto, determine el porcentaje que cada tipo de producto defectuoso representa dentro del total y trace una barra para cada uno. Indique también en una línea los totales acumulados de los valores correspondientes a cada rubro.

A continuación se incluyen los cálculos para cada rubro:

Tubo al vacío. . . . . $\frac{327}{1403} \times 100\% = 23.2\%$

Lámpara testigo. . . . . $\frac{240}{1403} \times 100\% = 17.1\%$

Transistor. . . . . $\frac{176}{1403} \times 100\% = 12.5\%$

Tubo neón. . . . . $\frac{105}{1403} \times 100\% = 7.5\%$

Enchufe de audífono. . . . . $\frac{43}{1403} \times 100\% = 3.1\%$

Transformador (A). . . . . $\frac{36}{1403} \times 100\% = 2.6\%$

Transformador (B). . . . . $\frac{33}{1403} \times 100\% = 2.4\%$

Parlante. . . . . $\frac{90}{1403} \times 100\% = 6.4\%$

Bobina (A). . . . . $\frac{61}{1403} \times 100\% = 4.4\%$

Condensador. . . . . $\frac{50}{1403} \times 100\% = 3.6\%$

Condensador (B). . . . . $\frac{45}{1403} \times 100\% = 3.6\%$

Regulador de 6 carretes. . . . . $\frac{31}{1403} \times 100\% = 2.2\%$

Otros. . . . . $\frac{166}{1403} \times 100\% = 11.8\%$

Resumen

Se han construido gráficos de sectores, gráficos de barras y diagramas de Pareto para cada rubro de defectos. Como se observa en los gráficos, y también en las estadísticas, las cantidades más elevadas corresponden a tubos al vacío, lámparas testigos y transistores, aunque los valores de ciertos rubros pueden variar según el método de estratificación. Con todo, es menester calcular los totales de los datos de conformidad con las metas que uno persiga, para proporcionar información a los subordinados (mediante un gráfico de sectores o de barras) y para determinar qué camino seguir para efectuar mejoras (mediante un diagrama de Pareto).

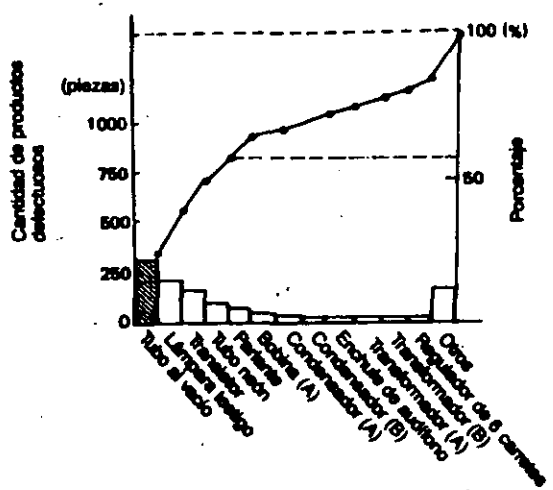


Figura 13.24 Diagrama de Pareto por rubro

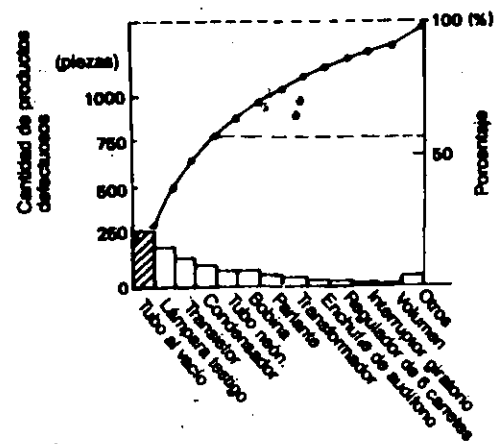


Figura 13.25 Diagrama de Pareto por producto

c) Construcción de gráficos de sectores, gráficos de barras y diagramas de Pareto para cada sección

Trate de construir gráficos como los que aparecen en las figuras 13.26 y 13.27. Para ello se pueden aplicar los mismos métodos utilizados en la construcción de gráficos por rubros.

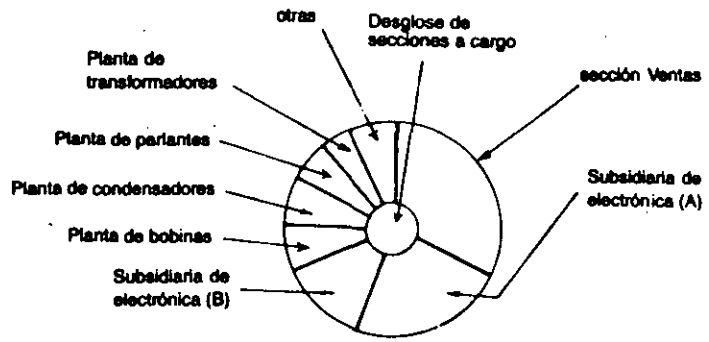


Figura 13.26 Gráfico de sectores

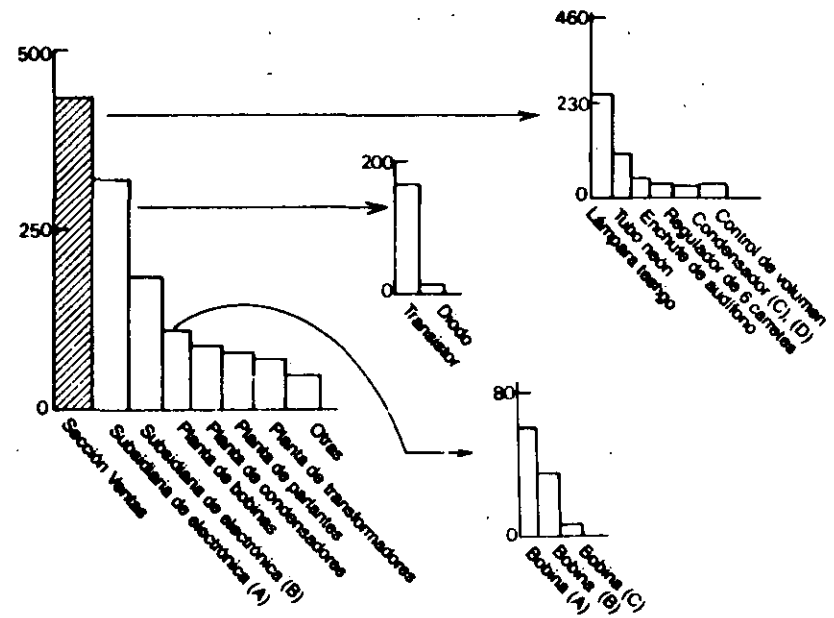


Figura 13.27 Gráfico de barras

Resumen

Se han construido gráficos de sectores, gráficos de barras o diagramas de Pareto para las secciones respectivas y para los rubros; cada uno debe adecuarse a sus metas específicas. En este caso, también hay que estratificar y analizar los rubros que sean numerosos en cada sección.

d) Resumen general

i) Es difícil captar de un vistazo el panorama global en materia de datos. Además, aunque resulta bastante trabajoso, es preciso habituarse a disponer los datos por escrito según las metas deseadas (para suministrar información a los subordinados, para dar cuenta a los superiores o para aplicar los datos como factores de control).

ii) Si se analizan en detalle los rubros responsables de un porcentaje defectuoso relativamente alto, será mucho más fácil alcanzar el objetivo fijado.

iii) Cuando se encuentran numerosos rubros de defectos, halle la forma de determinar en cuáles hay que concentrarse y cómo realizar la estratificación antes de proceder al análisis final de los datos.

iv) Cuando se pueden corregir ciertos rubros de defectos de importancia relativamente escasa con mínimo gasto de recursos y de tiempo, hay que adoptar las medidas pertinentes lo antes posible.

v) Otra forma de evaluar los datos (en relación con un sistema de períodos) consiste en compararlos con los del mes precedente.

vi) Si es posible expresar los datos en cantidades de dinero, será más eficaz indicar sus valores en términos monetarios.

vii) Durante la construcción de un gráfico, es útil tener a mano un lápiz, lapicera o marcador para trazar líneas gruesas que destaquen aspectos específicos.

e) Información recogida

Una vez efectuados los diversos análisis, puede obtenerse la siguiente información.

i) A los tubos al vacío, las lámparas testigos, los transistores y los tubos neón corresponde el 60% del total de productos defectuosos.

ii) Dentro de las secciones a cargo, la sección de compras es responsable del 40% del total de productos defectuosos, de los cuales el 77% corresponde a las lámparas testigos y los tubos neón.

iii) Compare la información del presente mes con la del precedente para ver si se ha hecho alguna mejora.

Según los resultados anteriores, se determinó que los rubros defectuosos predominantes son los tubos al vacío, las lámparas testigos, los transitores y los tubos neón. Concéntrese en estos cuatro rubros como objetivo, disponga qué rubros se tomarán como meta en cada sección, inclusive la suya, y adopte las medidas necesarias para lograr mejoras.

Se previó examinar hasta qué punto se podría realizar un análisis mediante diagramas de sectores y gráficos de barras. Puede parecer muy sencillo recoger un máximo de información a partir de un simple gráfico estadístico, para adoptar luego las medidas apropiadas. Pero ello no se lleva totalmente a cabo en la práctica. Determine a qué nivel se halla su capacidad de análisis.

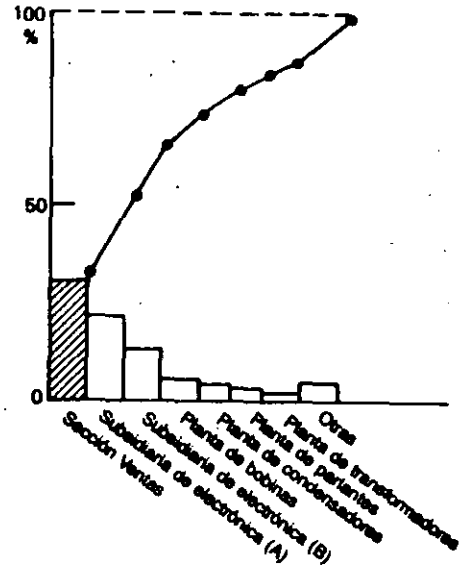


Figura 13.28 Diagrama de Pareto según sección a cargo

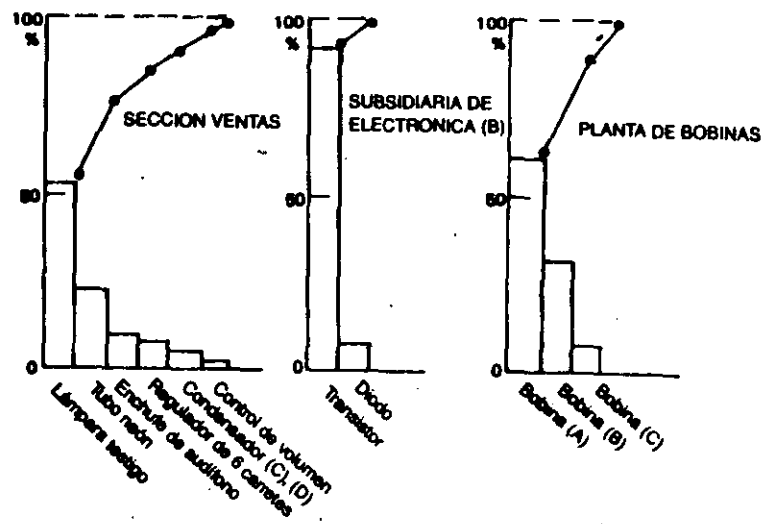


Figura 13.29 Rubros correspondientes a las diferentes secciones

13.7 Gráficos de control I

Este ejercicio trata de una pieza mecánica fabricada mediante un torno. Recientemente han aparecido en las piezas orificios de diámetro incorrecto, y estos defectos han perjudicado el trabajo de montaje. Contamos los datos obtenidos en un muestreo aleatorio diario del diámetro de los orificios de cinco piezas tomadas del proceso de producción.

1 A base de los datos siguientes, los más recientes que se han reunido, construya un gráfico de control.

2 El material utilizado se cambió a fin de septiembre. Construya gráficos de control para los dos materiales y estudie la influencia del material utilizado sobre el diámetro de los orificios. Los datos de la tabla que figura a continuación se han simplificado para facilitar el cálculo.

Fecha	Material	Datos sobre diámetro (unidad: 0,001 mm)					Fecha	Material	Datos sobre diámetro de orificios (unidad: 0,001 mm)				
Sept. 14	F	7	24	24	20	25	Oct. 3	K	37	19	39	21	38
16	"	17	37	28	16	26	4	"	37	46	22	26	25
16	"	12	22	40	36	34	5	"	13	32	35	56	45
17	"	52	35	29	36	24	6	"	9	51	25	37	39
19	"	28	28	34	29	48	7	"	14	27	34	37	52
20	"	39	27	48	32	25	8	"	30	51	34	36	28
21	"	36	21	31	22	28	10	"	54	31	35	29	26
22	"	5	33	15	26	42	11	"	45	21	38	38	31
23	"	50	34	37	27	34	12	"	19	31	27	25	38
24	"	21	17	20	25	16	13	"	25	45	41	36	43
26	"	34	18	29	43	24	14	"	30	24	44	48	38
27	"	18	35	26	23	17	15	"	64	32	32	42	42
28	"	10	28	19	26	21	17	"	8	58	65	33	39
29	"	21	23	35	28	38	18	"	38	37	50	37	33
30	"	27	41	15	22	23	19	"	64	38	47	49	41

El propósito de este ejercicio es estudiar las posibles causas de los defectos de perforación mediate el empleo de un gráfico de control para el análisis del proceso. Como se indicó, primero construya el gráfico de control a partir de los datos totales. Luego elabore un gráfico de control estratificado para los dos materiales. Analice los datos resultantes de ambos gráficos y resúmalos para el examen ulterior.

a) Gráfico de control a partir de los datos totales

Como en este ejercicio se obtienen cinco unidades de datos diariamente, vamos a considerarlos como un subgrupo. En otras palabras, el tamaño del subgrupo es $n = 5$ y la cantidad de subgrupos es $k = 30$. Como ya se han consignado los datos en la planilla de registro pertinente, construya columnas para el valor total de cada subgrupo, medias $\bar{x}$ y amplitud R a la derecha de la planilla de registro de datos y escriba los resultados del cálculo.

Remítase al párrafo 7.3 del capítulo 7 y efectúe los cálculos del siguiente modo:

Paso 1. Obtenga los valores totales para cada subgrupo. Por ejemplo, el grupo inicial para el 14 de septiembre incluye:

$$7 + 24 + 24 + 20 + 25 = 100$$

Sume asimismo los valores siguientes (datos) de cada subgrupo y escríbalos en la planilla de registro (ver tabla 13.2).

Paso 2. Halle la media $\bar{x}$.

Por ejemplo, para el primer subgrupo:

$$\bar{x} = 100/5 = 20.0$$

Proceda igualmente con los demás subgrupos y coloque los resultados en la planilla de registro de datos.

Paso 3. Halle la amplitud R.

Por ejemplo, en el primer subgrupo:

$$R = 25 - 7 = 18$$

Haga lo mismo con los subgrupos siguientes y escriba los resultados en la planilla.

Paso 4. Halle la media general $\bar{\bar{x}}$.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{20.0 + 24.8 + \cdots + 47.8}{30} = \frac{954.2}{30} \approx 31.81$$

Paso 5. Halle el valor medio de la amplitud, $\bar{R}$.

$$\bar{R} = \frac{18 + 21 + \ldots + 26}{30} = \frac{764}{30} \approx 25.5$$

Paso 6. Calcule las líneas de límites de control.

Tabla 13.12 Planilla de registro de datos

Fecha		Material	Diámetro de orificios (unidad: 0,001 mm)					Total	$\bar{x}$	R
Sept.	14	F	7	24	24	20	25	100	20.0	18
	15	"	17	37	28	16	26	124	24.8	21
	16	"	12	22	40	36	34	144	28.8	28
	17	"	52	35	29	36	24	176	35.2	28
	19	"	28	28	34	29	48	167	33.4	20
	20	"	39	27	48	32	25	171	34.2	23
	21	"	36	21	31	22	28	138	27.6	15
	22	"	5	33	15	26	42	121	24.2	37
	23	"	50	34	37	27	34	182	36.4	23
	24	"	21	17	20	25	16	99	19.8	9
	26	"	34	18	29	43	24	148	29.6	25
	27	"	18	35	26	23	17	119	23.8	18
	28	"	10	28	19	26	21	104	20.8	18
	29	"	21	23	35	28	38	145	29.0	17
	30	"	27	41	15	22	23	128	25.6	26
Oct.	3	K	37	19	39	21	38	154	30.8	20
	4	"	37	46	22	26	25	156	21.2	24
	5	"	13	32	35	56	45	181	36.2	43
	6	"	9	51	25	37	39	161	32.2	42
	7	"	14	27	34	37	52	164	32.8	38
	8	"	30	51	34	36	28	179	35.8	23
	10	"	54	31	35	29	25	174	34.8	29
	11	"	45	21	38	38	31	173	34.6	24
	12	"	19	31	27	25	38	140	28.0	19
	13	"	25	45	41	36	43	190	38.0	20
	14	"	30	24	44	48	38	184	36.8	24
	15	"	64	32	32	42	42	212	42.4	32
	17	"	8	58	65	33	39	203	40.6	57
	18	"	38	37	50	37	33	195	39.0	17
	19	"	64	38	47	49	41	239	47.8	26
								Total general	954.2	764

Gráfico de control $\bar{x}$

Línea central $\quad LC = \bar{\bar{x}} = 31.81$

Límite de control superior $LCS = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 31.81 + 0.577 \times 25.5$

$\approx 31.81 + 14.71$

$= 46.52$

Límite de control inferior $LCI = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 31.81 - 0.577 \times 25.5$

$\approx 31.81 - 14.71$

$= 17.10$

Gráfico de control R

Línea central $\quad LC = \bar{R} = 25.5$

Límite de control superior $LCS = D_4\bar{R} = 2.115 \times 25.5 \approx 53.9$

Límite de control inferior $LCI = D_3\bar{R}$ (no hay)

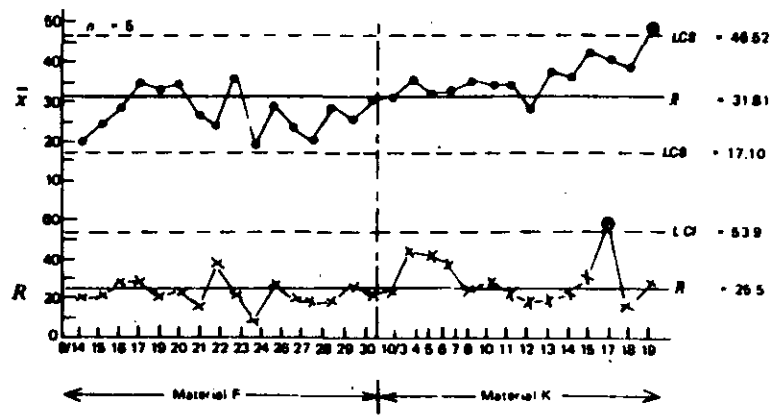


Figura 13.30 Gráfico de control construido con datos totales

Paso 7. Construya un gráfico de control que indique los valores de los datos con puntos y cruces y únalos con líneas.

La distancia que media entre las líneas de límites de control superior e inferior del gráfico de control $\bar{x}$ es $14.71 \times 2 = 29.42$ (1/1000 mm). Si un centímetro del papel graduado equivale a 10.00 (1/1000 mm), la separación entre las líneas de los límites será de unos 3 cm. La distancia entre cero y la línea del límite de control superior del gráfico de control $\bar{R}$ es 53.9 (1/1000 mm). En consecuencia, la separación será de 3 cm. Después de construir el gráfico de control, escriba las fechas en el eje lateral y una los puntos y las cruces de las líneas $\bar{\bar{x}}$ y $\bar{R}$ (ver figura 13.30).

Paso 8. Añada los elementos pertinentes.

Escriba $\bar{x}$ y R a la izquierda del gráfico de control y $n = 5$ en el extremo superior izquierdo. Haga constar también la diferencia entre los materiales de septiembre y octubre.

b) Gráfico de control estratificado por materiales

Sabemos que en septiembre se utilizó el material "F" y en octubre el material "K", de modo que podemos construir un gráfico de control para cada uno. La cantidad de datos estratificados de esta forma será de 75 cada uno, lo que resulta un poco escaso para trazar un gráfico de control. Pero como en este caso el objetivo principal es la comparación, de todos modos vamos a construir el gráfico. Podemos elaborar un gráfico de control para $n = 5$ y $k = 15$. Su construcción es similar a la que explicamos en la sección precedente, lo que no permite simplificar aquí el procedimiento.

i) Gráfico de control para el material "F"

Paso 1. Halle los totales de $\bar{x}$ y R en cada subgrupo (ver tabla 13.12).

Paso 2. Halle la media general, $\bar{\bar{x}}$.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{20.0 + 24.8 + \ldots + 25.6}{15} = \frac{413.2}{15} \approx 27.55$$

Paso 3. Halle el valor medio de la amplitud, $\bar{R}$.

$$\bar{R} = \frac{18 + 21 + \ldots + 26}{15} = \frac{326}{15} \approx 21.7$$

Paso 4. Calcule las líneas de límites de control.

Gráfico de control $\bar{x}$

$LC = \bar{\bar{x}} = 27{,}55$

$LCS = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 27.55 + 0.577 \times 21.7$
$\approx 27.55 + 15.52$
$= 40.07$

$LCI = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 27.55 - 0.577 \times 21.7$
$\approx 27.55 - 12.52$
$= 15.03$

Gráfico de control R

$LC = \bar{R} = 21.7$

$LCS = D_4\bar{R} = 2.115 \times 21.7 \approx 45.9$

LCI (no hay)

Paso 5. Construya el gráfico de control (ver figura 13.31).

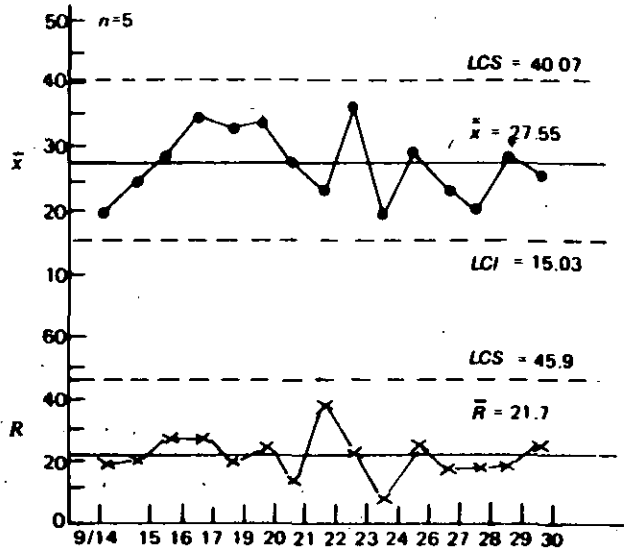


Figura 13.31 Gráfico de control para el material F

ii) Gráfico de control para el material "K"

Paso 1. Halle los totales de $\bar{x}$ y R en cada subgrupo (ver tabla 13.12).

Paso 2. Halle la media general, $\bar{\bar{x}}$.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{30.8 + 31.2 + \ldots + 47.8}{15} = \frac{541.0}{15} = 36.07$$

Paso 3. Halle el valor medio de la amplitud, $\bar{R}$.

$$\bar{R} = \frac{20 + 24 + \ldots + 26}{15} = \frac{438}{15} = 29.2$$

Paso 4. Calcule las líneas de límites de control.

Gráfico de control $\bar{x}$

$LC = \bar{\bar{x}} = 36.07$

$LCS = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 36.07 + 0.577 \times 29.2$
$\approx 36.07 + 16.85$
$= 52.92$

$LCI = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 36.07 - 0.577 + 29.2$
$\approx 36.07 - 16.85$
$= 19.22$

Gráfico de control R

$LC = \bar{R} + 29.2$

$LCS = D_4\bar{R} = 2.115 \times 29.2$

$= 61.8$

LCI (no hay)

Paso 5. Construya el gráfico de control (ver figura 13.32).

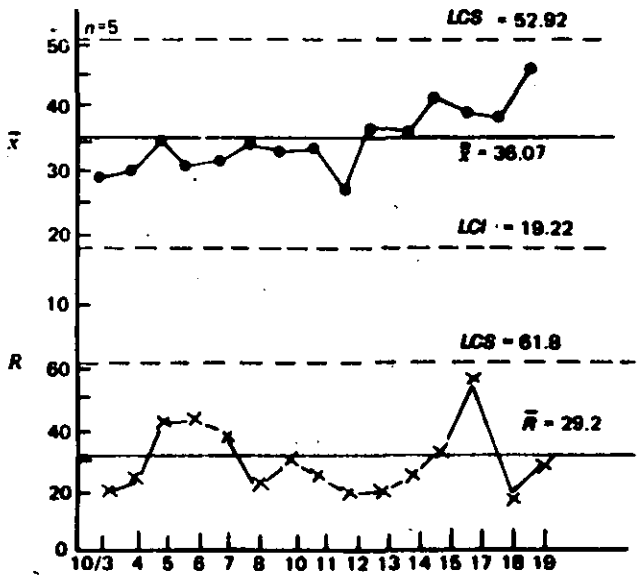


Figura 13.32 Gráfico de control para el material K

e) Estudio

Los gráficos de control de las figuras 13.30, 13.31 y 13.32 proporcionan la siguiente información. Remítase al capítulo 8 para la lectura de un gráfico de control.

i) Gráfico de control construido con datos totales (figura 13.30)

a) Tanto el gráfico de control $\bar{x}$ como el R presentan un punto fuera de los límites. En el gráfico de control $\bar{x}$ encontramos un ciclo de ocho (entre el 24 de septiembre y el 4 de octubre) con una tendencia a aumentar diariamente. Ello indica una anomalía en el proceso de producción.

b) El gráfico de control $\bar{x}$ presenta en septiembre (material F) cuatro puntos de quince por encima de la línea central. Por el contrario, en octubre (material K) hay trece puntos de quince por encima de la línea central. Esto denota una diferencia de medias en el proceso de producción.

En el gráfico de control R se observa la misma tendencia en octubre (material K), pero la discrepancia no es tan grande como en el gráfico de control $\bar{x}$. De acuerdo con estos resultados, es necesario estratificar los datos de septiembre (material F) y los datos de octubre (material K) respectivamente, y elaborar los gráficos de control.

ii) Gráficos de control estratificados (figuras 13.31 y 13.32)

c) Como se observa claramente en las figuras 13.31 y 13.32, en ambos gráficos de control, $\bar{x}$ y R, los valores de $\bar{x}$ y $\bar{R}$ correspondientes a octubre (material K) son más elevados que los de septiembre (material F). En particular, los valores de $\bar{\bar{x}}$ presentan una marcada diferencia en los dos gráficos de control $\bar{x}$.

d) Los gráficos de control muestran una situación casi bien controlada en septiembre (material F) y se considera que el proceso de producción fue normal durante todo el mes.

e) Como en octubre (material K) $\bar{R}$ es elevado, el punto por encima del LCS de la figura 13.30 ahora se halla dentro del límite. De manera similar, como $\bar{x}$ es elevado en comparación con septiembre (material F), el punto por encima del LCS se encuentra ahora dentro del límite. Sin embargo, el valor de $\bar{x}$ para octubre, con un ciclo de nueve puntos seguido por otro de seis, muestra una obvia tendencia a aumentar.

iii) Resumen

a) Existe una diferencia importante entre los datos reunidos en septiembre (material F) y los recogidos en octubre (material K). Octubre (material K) presenta una media más elevada, pero en esta etapa no resulta evidente que la causa radique en el material o en el cambio del mes.

b) El gráfico de control $\bar{x}$ muestra una tendencia creciente diaria en octubre (material K). No se puede determinar si la causa responde a fallas del propio material, a una menor precisión de las herramientas o a las condiciones ambientales. En consecuencia, es preciso llevar a cabo un estudio técnico de esos factores.

13.8 Gráficos de control II

El siguiente experimento se llevó cabo para estudiar los cambios que denotan los puntos de un gráfico de control p.

En primer término, se colocaron 1.000 bolillas en un recipiente: 150 verdes (15%), 200 amarillas (20%) y 70 rojas (7%); el resto, blancas.

a) Se hizo un muestreo aleatorio de 50 bolillas y se contó la cantidad de bolillas verdes que había en la muestra. Se repusieron en el recipiente las 50 bolillas y se repitió la operación 25 veces. Los resultados aparecen en la tabla 13.13. Los resultados de este experimento equivalen a los datos sobre productos defectuosos de un proceso de producción en que la fracción defectuosa media es del 15%.

b) Se tomó una muestra aleatoria de 50 bolillas y en este caso se contaron las bolillas amarillas. Después de repetir la operación 10 veces se obtuvieron los resultados que constan en la tabla 13.14. Aquí los resultados equivalen a datos con una fracción defectuosa media del 20%.

C) Se hizo lo mismo 10 veces para las bolillas rojas. Los datos, que figuran en la tabla 13.15, corresponden ahora a una fracción defectuosa del 7%.

Construya un gráfico de control p con los datos de la tabla 13.13. (El valor de n está dado, de modo que también se puede construir un gráfico de control pn. Pero, en este caso, construya sólo el gráfico p.)

Extienda la línea límite del gráfico que acaba de construir y dibuje puntos para los datos de la fracción defectuosa de las tablas 13.14 y 13.15.

Este gráfico muestra que la fracción defectuosa original, que era del 15%, pasó al 20% y luego al 7%. Examine ahora en que medida los cambios en el proceso de producción se reflejan en modificaciones en el gráfico de control.

Tabla 13.13

Subgrupo No.	Tamaño de la muestra (tamaño del subgrupo)	Cantidad de bolillas verdes (prod. defectuosos)	Subgrupo No.	Tamaño de la muestra (tamaño del subgrupo)	Cantidad de bolillas verdes (prod. defectuosos)
1	50	9	14	50	9
2	"	8	15	"	7
3	"	12	16	"	3
4	"	6	17	"	8
5	"	8	18	"	3
6	"	8	19	"	5
7	"	10	20	"	4
8	"	13	21	"	10
9	"	9	22	"	10
10	"	5	23	"	9
11	"	13	24	"	4
12	"	3	25	"	6
13	"	5			

Tabla 13.14

Subgrupo No.	Tamaño de la muestra (tamaño del subgrupo)	Cantidad de bolillas amarillas (prod. defectuosos)
26	50	9
27	"	14
28	"	12
29	"	7
30	"	10
31	"	6
32	"	17
33	"	11
34	"	12
35	"	8

Tabla 13.15

Subgrupo No.	Tamaño de la muestra (tamaño del subgrupo)	Cantidad de bolillas rojas (prod. defectuosos)
36	50	5
37	"	3
38	"	6
39	"	1
40	"	3
41	"	7
42	"	4
43	"	6
44	"	3
45	"	4

Este ejercicio tiene por objeto determinar cómo se desplazan los puntos de un gráfico p cuando cambia la fracción defectuosa del proceso de producción. Construyamos el gráfico de control según los procedimientos descriptos en el capítulo 8.

a) Pasos a seguir para la normalización

Damos por sentado que en el círculo de CC el lector ha aprendido los siguientes procedimientos para mejorar el control de calidad:

i) Descubrir en qué consiste el problema (diagrama de Pareto con datos sobre causa y efecto)
ii) Descubrir las posibles causas de los problemas (diagrama de causa y efecto)
iii) Ponderar las causas (diagrama de Pareto)
iv) Estudiar las medidas correctivas (aplicar el método JM, etc.)
v) Adoptar medidas (vigilar atentamente el cumplimiento del programa de acción)
vi) Estudiar los resultados (repetir i a v de ser necesario)
vii) Mantener el proceso en situación bajo control (fijación o mejora/supresión de puntos y normas de control)

En nuestro ejercicio, los pasos (i) a (iii) ya se han efectuado y nos hallamos ahora en la etapa (iv), cuando es preciso planear las medidas correctivas. Para el problema planteado, ello significa concretamente: "Disminuyamos el contenido de humedad del producto intermedio reduciendo el contenido de humedad de la materia prima".

No contamos aquí con más espacio que para concentrarnos en el análisis del problema. El hecho de que "se observa un sesgo de +0,4% al medir el contenido de humedad del producto intermedio con el instrumento de medición B", surge naturalmente de los datos de control del propio instrumento de medición, o de un gráfico que indique el porcentaje de contenido de humedad del producto intermedio. Si después de modificarse el gráfico y, se lo compara con el gráfico x, puede obtenerse la información necesaria de la forma descripta en el ejercicio siguiente, relativo al papel de probabilidad binomial. En otras palabras, aunque los datos no se hayan recogido con un fin específico, es factible llevar a cabo el estudio y el análisis mediante los gráficos de control estratificados comunes.

Puesto que estamos considerando el análisis por medio de un diagrama de dispersión (que es relativamente fácil de construir y cuyo contenido puede percibirse de un vistazo), continuemos el estudio con el procedimiento siguiente:

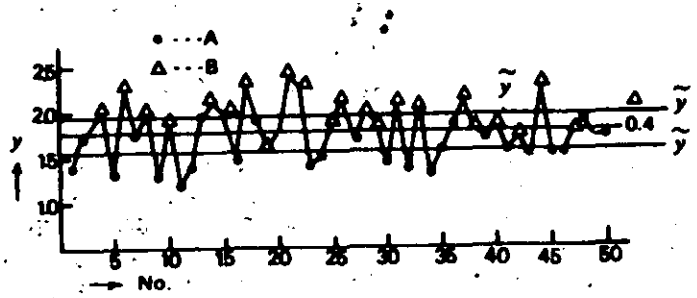


Figura 13.34 Contenido de humedad de un producto intermedio, en porcentajes

Tabla 13.18

	●	Δ	(Total)
Sobre el límite	4	21	25
Bajo el límite	21	4	25
(Total)	25	25	50

Nota: El porcentaje de contenido de humedad puede ser muy distinto según se utilice el instrumento de medición A o el B.

1 Construya un diagrama de dispersión.
2 Estudie el diagrama de dispersión y la estratificación.
3 Construya un diagrama de dispersión con datos corregidos.
4 Lleve a cabo una prueba de significación de la correlación.
5 Halle la relación entre x e y.
6 Obtenga la línea límite de x de manera que se pueda mantener y a un valor inferior al 1.8%.
7 Determine el medio de mantener el valor de x dentro del límite.
8 Adopte medidas de conformidad con el método determinado en el paso 7 precedente.
9 Verifique los resultados.
10 Normalice los resultados.

b) Obtención de x para mantener el valor de y por debajo del 1,8%

Paso 1. Construya un diagrama de dispersión

Marque los datos No. 1 a No. 50 sobre el diagrama utilizando el eje vertical para los valores de x y el horizontal para los de y. Los datos correspondientes a los valores de y obtenidos mediante el instrumento de medición A se indican con círculos negros (●) y los obtenidos con instrumento B, con triángulos (Δ) (figura 13.35).

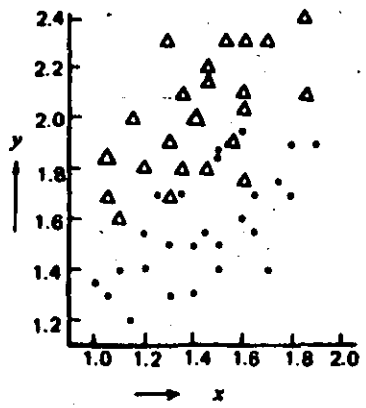


Figura 13.35 Diagrama de dispersión

Paso 2. Estudie el diagrama de dispersión y la estratificación

Considerada la figura 13.35 en su conjunto, no parece haber correlación. Pero sí aparece la correlación cuando se estratifican los datos según los instrumentos de medición A y B.

Paso 3. *Construya un diagrama de dispersión con datos corregidos*

En este ejercicio, los datos de y medidos con el instrumento B produjeron un sesgo de aproximadamente $+0.4\%$. Reduzca en 0.4 la altura de las marcas Δ (reste 0.4 a cada valor de y consignado en el gráfico) y vuelva a representarlas para que aparezcan reordenadas como en la figura 13.36.

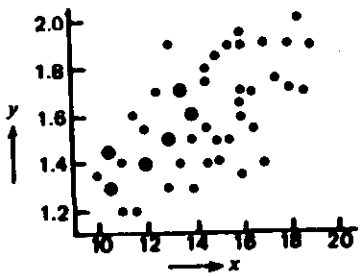


Figura 13.36 Diagrama de dispersión con datos corregidos

Paso 4. *Prueba de significación de la correlación*

La figura 13.36 parece indicar la existencia de correlación. Trace $\tilde{x}$ e $\tilde{y}$ en el diagrama según el procedimiento explicado en el capítulo 9 y cuente los puntos que hay en cada sector (figura 13.37).

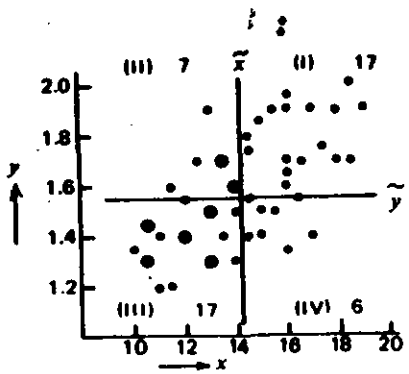


Figura 13.37 Examen de la correlación con el empleo de medianas

En la figura 13.37 encontramos 34 puntos en los sectores I y III, 13 en los sectores II y IV y 3 sobre la mediana. Según la tabla 9.5 del capítulo 9, existe entre ellos una correlación positiva significativa.

Paso 5. *Halle la relación entre x e y*

Una vez determinada la existencia de correlación positiva entre x e y, ¿cómo puede presentarse esta relación? La correlación positiva supone dos formas: cuando los puntos que muestran el grado de correlación están dispersos en uno de los dos diagramas y concentrados en el otro, como se observa en la figura 13.38; y cuando el grado de cambio de y con relación a x, denominado gradiente, es distinto, como vemos en los dos diagramas de la figura 13.39. El primer caso se representa mediante un coeficiente de correlación como el mencionado en el capítulo 9. Por el contrario, el segundo se expresa con una línea de regresión (ecuación de la recta de regresión), que aquí presentamos por primera vez. (Incluso en el segundo hay una diferencia en el coeficiente de correlación, y el gráfico de la izquierda de la figura 13.39 denota una correlación más fuerte que el de la derecha.)

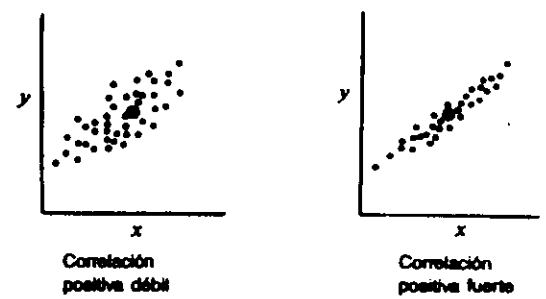


Figura 13.38 Grado de correlación

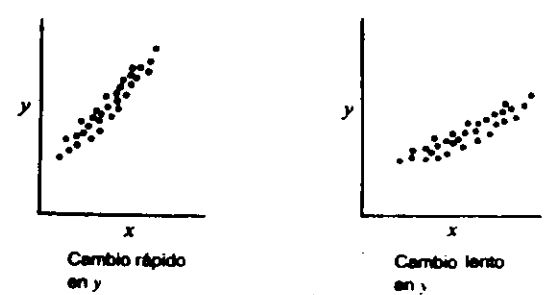


Figura 13.39 Cambios en el valor de y con relación a cambios en el valor de x

Para los puntos situados a la derecha de $\tilde{x}$ en la figura 13.40, obtenga $\tilde{x}_R$ e $\tilde{y}_R$ sobre el gráfico y denote con la letra R el punto de intercepción. Para los puntos situados a la izquierda de $\tilde{x}$, obtenga $\tilde{x}_L$ e $\tilde{y}_L$ y denote con la letra L el punto de intercepción. Una R y L con una recta. RL se denomina línea de regresión y representa la relación entre x e y.

Nota: La línea de regresión que indica la relación entre x e y, puede expresarse como una ecuación de la recta de regresión calculada a partir de los datos.

Paso 6. Obtenga el límite de x con la línea de regresión

Como lo indica la flecha en la figura 13.41, el valor de x que corresponde a $y = 1.8$ será 1.7. En otros términos, para controlar los valores de y de forma que los mantenga por debajo del 1.8%, bastará que el valor de x no sobrepase el 1.7%.

Nota: Como se observa en la figura, aun cuando el valor de x es 1.6, los valores de y están dispersos entre 1.35 y 1.95. Por eso, en la práctica, hay que determinar con mayor precisión el valor límite de x teniendo en cuenta factores tales como la dispersión, la economía y la inspección. Aquí hemos simplificado el tratamiento del límite de x para que la explicación resultara más clara.

Paso 7. Las etapas posteriores al punto 7 del procedimiento general no sólo se utilizan con fines de análisis y mejora mediante diagramas de dispersión, sino también con otros objetivos. No representan de por sí un método, sino un concepto general; de modo que no las describiremos aquí.

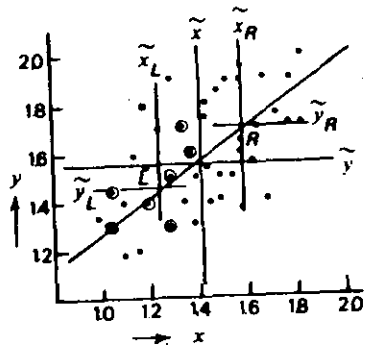


Figura 13.40 Obtención de la línea de regresión

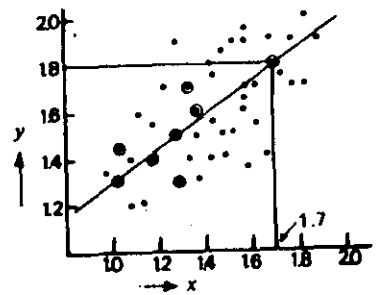


Figura 13.41 Obtención del valor límite de x

13.10 Papel de probabilidad binomial

En la siguiente tabla figuran datos sobre la dureza de tres matices de lápiz labial (Nos. 501, 502 y 503) compilados durante el primer mes de producción.

	Tanda 1				Tanda 2			
No.	Lápiz labial No.	Lote de mat. prima No.	Temp.	Dureza	Lápiz labial No.	Lote de mat. prima No.	Temp.	Dureza
1	501	A	72.8	22.7	501	A	72.5	22.9
2	"	"	73.1	23.3	"	"	72.8	23.2
3	502	"	74.2	24.6	502	"	72.9	24.9
4	"	"	71.5	22.9	"	"	72.4	24.0
5	"	"	73.2	23.5	"	"	72.1	23.4
6	"	"	74.2	23.9	"	"	73.5	24.3
7	503	"	73.4	24.8	503	"	73.8	25.7
8	"	"	72.2	24.9	"	"	72.0	24.2
9	"	"	72.5	24.7	501	"	72.6	22.8
10	501	"	73.4	23.3	502	"	73.7	24.3
11	502	"	74.5	24.6	503	"	72.2	24.8
12	501	"	72.3	23.6	"	"	73.5	24.9
13	503	"	72.4	25.0	"	"	73.8	25.3
14	"	"	73.4	25.5	502	"	74.1	24.4
15	502	"	72.3	23.6	"	B	72.5	24.1
16	503	B	74.1	26.9	503	"	72.2	26.6
17	501	"	71.9	24.9	501	"	72.8	24.9
18	"	"	73.7	26.2	"	"	72.4	24.4
19	"	"	72.5	24.7	502	"	73.9	25.2
20	502	"	72.2	24.6	501	"	74.3	25.3
21	503	"	74.5	27.6	503	"	72.3	25.6
22	"	"	71.9	26.8	501	"	73.1	26.5
23	501	"	73.6	26.2	502	"	72.4	24.9
24	502	"	73.8	25.3	"	"	74.5	26.2
25	503	"	74.3	26.8	501	"	73.6	26.4

Del proceso de producción salen dos tandas (1a. y 2a.) por día. Existe una relación muy directa entre la dureza del lápiz labial y la materia prima. A mitad del mes se pasa del lote A al lote B de la materia prima utilizada. El lote B fue aceptado muy próximo al límite superior de las especificaciones. Por lo tanto, la sección de inspección desea obtener información acerca del desempeño del lote B. Se considera que la temperatura de vertido del lápiz labial tiene influencia sobre su dureza. En este caso, la producción se realizó a una temperatura normalizada de 73°C ± 2°C de acuerdo con las condiciones de procesamiento.

En base a esta información, puede efectuarse un análisis de la eficacia del proceso para determinar un método de control del proceso que se utilizará en los meses siguientes. Lleve a cabo el análisis del proceso con una prueba sencilla mediante un papel de probabilidad binomial.

El ejercicio consiste en efectuar un análisis mediante un método muy sencillo que, estratificando las tandas producidas, los matices de lápiz labial y los lotes de materia prima, puede ayudarnos a determinar si existe entre ellos alguna diferencia y, expresando los datos en un gráfico, si hay una correlación entre la dureza y la temperatura al momento de verter el material. Luego se dispondrán las medidas pertinentes en base a los resultados del análisis y nuestra evaluación técnica.

a) Construcción del gráfico y prueba para la determinación de diferencias entre los factores estratificados

En primer término, debemos decidir qué marcas emplear para los distintos datos a fin de identificar los factores estratificados. Los símbolos que se indican en la tabla 13.17 son los que se han empleado para elaborar el gráfico de la figura 13.42. Trace en el gráfico una línea horizontal (mediana) para dividir los puntos en cantidades aproximadamente iguales. Lo habitual es contar luego los puntos correspondientes a los factores estratificados que quedan encima y debajo de la mediana. Pero en este caso se decidió, como primera medida, examinar la influencia de lotes de materia prima cuya anormalidad es conocida. En otras palabras, cuente los puntos que están encima y debajo de la mediana en lo que respecta a los lotes A y B (tabla 13.18). Elabore una tabla de contingencia de 2 × 2 como se muestra en la figura 13.43. Al efectuar la prueba de la tabla de contingencia por medio de la amplitud R, como en la figura 13.43, se verá que tiene un elevado nivel de significación, puesto que la distancia corta es mayor que la longitud de uno por ciento de la escala R para $N = 2$.

Tabla 13.17

No.	501	502	503
Tanda 1	○	□	△
Tanda 2	●	■	▲

Con las condiciones: AQL = 1,2(%), N = 3700, nivel de inspección II e inspección por muestreo simple, el procedimiento es el siguiente:

Paso 1. Halle la letra clave del tamaño de la muestra correspondiente en la columna de nivel de inspección normal II, para N = 3700, en la MIL Table I (tabla 12.6, pág. 124). La letra clave es L.

Paso 2. El número de aceptación Ac, el número de rechazo Re y el tamaño de la muestra n pueden hallarse en la MIL Table II-A (tabla 12.7, pág. 125), guiándose por la columna del AQL correspondiente y el renglón L, para una inspección normal con un plan de muestreo simple. Como 1.2(%) no aparece en las columnas de los AQL, utilice la columna AQL = 1.5(%). De allí, n = 200, Ac = 7, Re = 8.

Paso 3. Halle el tamaño de la muestra n, el número de aceptación Ac y el número de rechazo Re en la MIL Table II-B (tabla 12.8), en el caso de inspección rigurosa con un plan de muestreo simple, de la misma forma como en los pasos 1 y 2. Se obtienen así: n = 200, Ac = 5 y Re = 6.

Paso 4. Halle n, Ac y Re en la MIL Table II-C (tabla 12.9, pág. 127), en el caso de inspección reducida con un plan de muestreo simple, de la misma forma como en los pasos 1 y 2. Se obtienen así: n = 80, Ac = 3 y Re = 6.

Los valores obtenidos figuran ordenados en la tabla 13.22.

Tabla 13.22

	Inspección normal	Inspección rigurosa	Inspección reducida
Tamaño de la muestra, n	200	200	80
Cantidad aceptada, A_c	7	5	3
Cantidad rechazada, Re	8	6	6

(3) Suponiendo que N = 1000, p_0 = 2.5% y p_1 = 10% (α = 0.05 y β = 0.10), determine planes de inspección por muestreo (n, c); cuando se efectúa una inspección por muestreo equivalente de conformidad con la MIL-STD-105D, ¿cuál es el AQL? Sugerencia: Obtenga n y c en la tabla de inpección normal por muestreo simple por atributos. Cuando N = 1000 y el nivel de inspección es II, compare n con Ac, Re de las tablas de inspección por muestreo simple MIL-STD-105D para hallar el AQL. Enumere algunas conclusiones resultantes de estas comparaciones.

Con las condiciones: N = 1000, p_0 = 2.5(%), p_1 = 10(%), α = 0.05 y β = 0.10, halle primero el tamaño de la muestra n y el número de aceptación c en la tabla 12.4. Las columnas que satisfacen esas condiciones indican n = 70 y c = 4.

Luego, para el nivel de inspección II y N = 1000, en la tabla 12.6 hallamos la letra clave del tamaño de la muestra: J.

En la tabla 12.7 encontramos que n = 80 cuando la letra clave es J. Además, las columnas de los AQL nos proporcionan los siguientes valores de Ac y Re:

AQL 1.0(%) Ac = 2, Re = 3
AQL 1.5(%) Ac = 3, Re = 4
AQL 2.5(%) Ac = 5, Re = 6

En lugar de efectuar cálculos complicados, vamos a comparar las conclusiones a que llegamos con las tablas 12.4, 12.6 y 12.7. Hemos determinado que el valor del AQL más próximo a p_0 = 2.5(%) (tabla 12.7) está dentro de la gama 1.5 – 2.5(%) (tabla 12.7, después de consultar la tabla 12.6). Sin embargo, si bien los valores representantivos del AQL son 1.5(%) y 2.5(%), este último parece el más apropiado. En otros términos, el número de aceptación de la fracción defectuosa es casi idéntico.

Apéndice 1: Tabla de la prueba del signo

(1) Deficición

Supongamos una muestra compuesta de mediciones, cada una de las cuales tiene un signo positivo o un signo negativo. La tabla de la prueba del signo es la que se utiliza para determinar si esta muestra fue extraída de una población que tiene igual cantidad de valores positivos y negativos.

(2) Características

Sea n el tamaño de la muestra y r la cantidad de ocurrencias de cualquiera de los dos signos; en consecuencia, la distribución de r será la distribución binomial con una probabilidad de la población de 0.5, siempre que la muestra haya sido tomada al azar.

Puesto que la distribución es simétrica, puede emplearse n-r en lugar de r.

En otras palabras, con esto obtenemos los límites superior e inferior de r en una muestra de poblaciones que tienen una fracción defectuosa del 50% al nivel especificado de significación (o riesgo) de ambos lados.

(3) Composición de la tabla

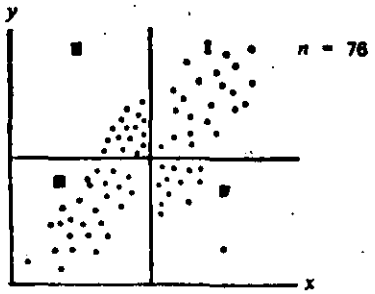
La columna de la izquierda indica el tamaño de la muestra n, y Pr denota el nivel de significación en relación con los límites superior e inferior. La cantidad de ocurrencias de r de cualquiera de los dos signos aparece en los espacios correspondientes.

Cuando n es mayor que 90, utilice $[(n-1)/2 - k\sqrt{n+1}]$ como aproximación de r, donde [] es la notación de Gauss que indica el número entero inmediatamente inferior al contenido de [], y k es 1.2879, 0.9800, 0.0627 y 0.0123 para los niveles de significación de 1%, 5%, 95% y 99% respectivamente.

(4) Ejemplos

(a) Si $n = 60$ y la cantidad de signos positivos o negativos es 19 o menos, o 41 o más, es significativa a un riesgo del 1%, pero no lo es cuando ambos se hallan entre 20 y 40.

(b) Prueba de significación de la correlación



En el diagrama de dispersión, trace medianas paralelas a los ejes y y x. Los puntos dispersos caen dentro de uno de los cuatro sectores. Asigne signo positivo a los puntos de los sectores I y III y signo negativo a los de los sectores II y IV. La cantidad de puntos de los cuatro sectores, cuando $n = 76$ es:

I + III	22 + 26 = 48
II + IV	16 + 12 = 28
n	76

(Si n, cantidad total de puntos, es impar, se trazan las medianas sobre el punto central.) Si no existe correlación, la tasa de ocurrencia de (I + III) y (II + IV) debe ser 50% cada una. En el renglón correspondiente a $n = 76$ y la columna correspondiente al 5% de la tabla, aparecen el límite superior de 48 y el límite inferior de 28, que son iguales a I + III = 48 y II + IV = 28. Se puede afirmar entonces que existe correlación. Además, puesto que (I + III) > (II + IV), la correlación es positiva.

Tabla de la prueba del signo

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

Apéndice II: escalas α y R para papeles de probabilidad binomial

Escala α

Para elaborar las escalas α y R, tenemos que determinar primero la escala α (desviación típica de la población). 5 mm corresponderán a 1σ en papel de probabilidad binomial, de modo que la escala α se gradúa con 1σ cada 5 mm. Cuando se elige el factor de graduación 1/10, 1σ equivale a $5/\sqrt{10} = 1.58$ mm.

Escala α

La escala α puede obtenerse de la tabla 1. Cuando se elige el factor de graduación 1/10, cada valor debe multiplicarse por $1/\sqrt{10}$.

Tabla 1 Escala α y escala $1/\sqrt{10}\,\alpha$

Probabilidad		Longitud de la escala		
Ambos lados	Un lado	0	Escala α (cm)	$1/\sqrt{10}$ − α (cm)
0.25	0.50	0.67	0.34	0.11
0.10	0.20	1.28	0.64	0.20
0.05	0.10	1.64	0.82	0.26
0.025	0.05	1.96	0.98	0.31
0.010	0.02	2.33	1.16	0.37
0.005	0.01	2.58	1.29	0.41
0.001	0.002	3.09	1.54	0.49
0.0005	0.001	3.29	1.64	0.52

Escala R

Sea R la amplitud de una muestra de tamaño n extraída de una población normal cuya varianza es σ^2. Halle el valor c, tal que la probabilidad de que R sea mayor que $c\sigma$ sea 0.05 ó 0.01. Este valor c se multiplica por 5 mm, equivalentes a 1σ en el papel de probabilidad binomial, para obtener la escala R. En la tabla 2 aparecen los valores de R correspondientes a diversos tamaños de las muestras y distintas probabilidades.

Tabla 2 Escala R

	Probabilidad 0,05		Probabilidad 0,01	
Tamaño de la muestra	σ	Escala R (cm)	σ	Escala R cm)
2	2.77	1.38	3.64	1.82
3	3.31	1.66	4.12	2.06
4	3.63	1.82	4.40	2.20
5	3.86	1.93	4.60	2.30
6	4.03	2.02	4.76	2.38
7	4.17	2.08	4.88	2.44
8	4.29	2.14	4.99	2.50
9	4.39	2.20	5.08	2.54
10	4.47	2.24	5.16	2.58
15	4.80	2.40	5.45	2.72
20	5.01	2.50	5.65	2.82

Bibliografía

1. American Military Standards
2. ASTM Manual on Quality Control of Materials, 1951
3. Burr, Irving W., Engineering Statistics and Quality Control, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1953
4. Columbia University, Statistical Research Group, Selected Techniques of Statistical Analysis, McGraw-Hill, 1947
5. Duncan, A.J., Industrial Quality Control, 1950
6. Ferrel, E.B., Industrial Quality Control, 1953
7. Juran, J.M., Quality Control Handbook, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York
8. Merrington, M. and Thompson, C.M., Biometrika, 1943
9. Mosteller, F., Tukey, J.W., Binomial Probability Paper, Codex Book Co., Inc., Norwood, Mass., 1946
10. Pearson, E.S. and Hartley, H.O., Biometrika Tables for Statisticians, Vol. I., Cambridge University Press, 1954
11. Thompson, C.M., Biometrika, 1941–2
12. Tukey, J.W., ASQC Conference Papers, 1951
13. Welch, B.L., Biometrika, 1954

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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

CONTROL CONTINUA DEL PROCESO

Y

MEJORAS A LA HABILIDAD DEL PROCESO

FORD MOTOR CO.

JUNIO
1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

CONTROL CONTINUO DEL PROCESO Y MEJORAS A LA HABILIDAD DEL PROCESO

TABLA DE CONTENIDO

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

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 involucrárseles 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. Unicamente 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

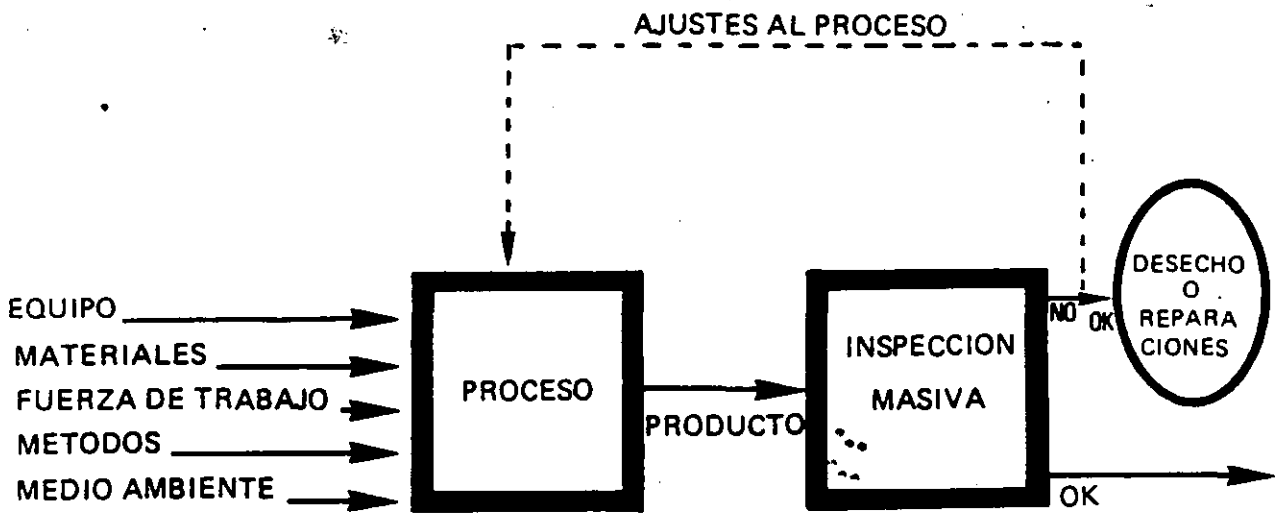
Comenzaremos este módulo con el análisis del significado de la **calidad** en sí misma. Tradicionalmente, el término calidad en Ford Motor Company ha significado **cumplir con las especificaciones.** Esto implica que la responsabilidad por la calidad ha sido asociada, generalmente, con las áreas de Ingeniería, 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:



DETECCION

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.

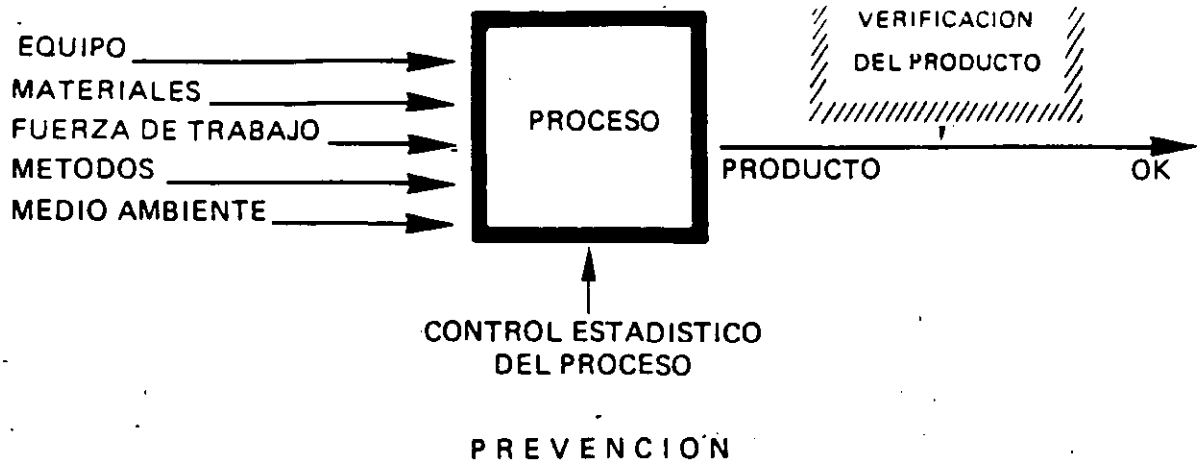
Otro aspecto del sistema de detección de defectos es el que involucra la relación de Ford co sus proveedores. Implica un mayor énfasis en el precio que en la calidad y otros aspectos de. servicio del proveedor. En este sentido, el rol tradicional se centra en disponer de una muestra inicial, hacer seguimiento 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 de 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 adecuén 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.

2.4. 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 una análisis más detallado, ya que pueden implicar el cambio de un proceso de ma-

nufactura o el cambio de un proveedor que no está surtiéndonos el material que satisface la 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:

- 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. Estados 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 $\overline{X}$–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 $\overline{X}$–R.

Las gráficas de control por variables son particularmente útiles por varias razones:

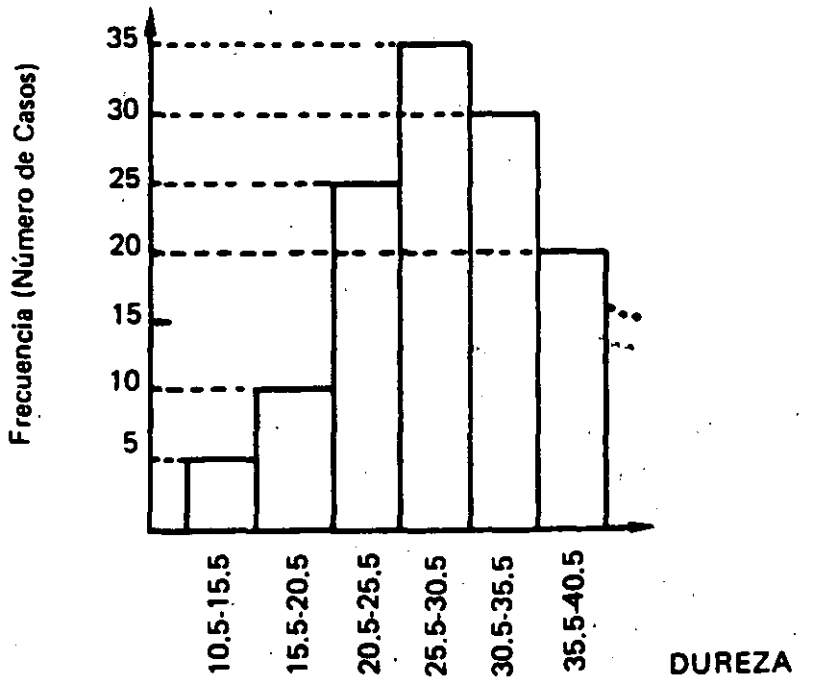
1. La mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles, por lo que su aplicación potencial es amplia.

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:



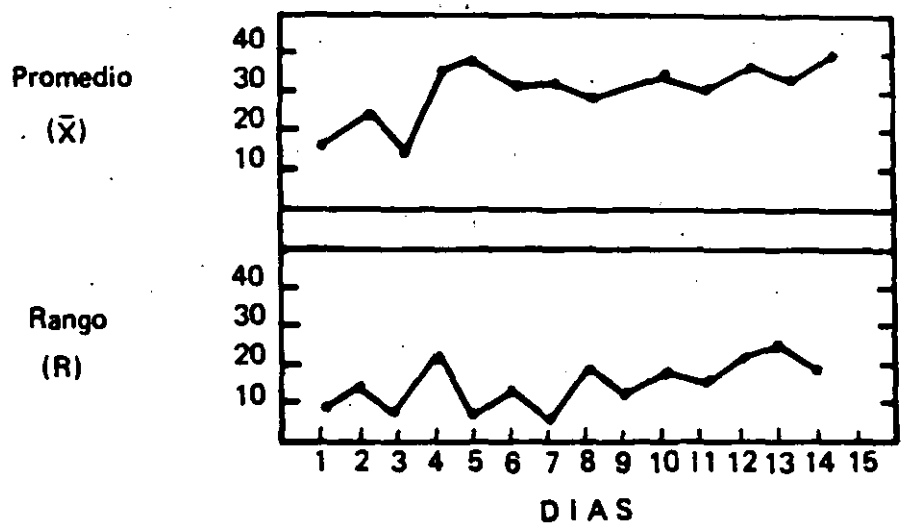
3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

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.

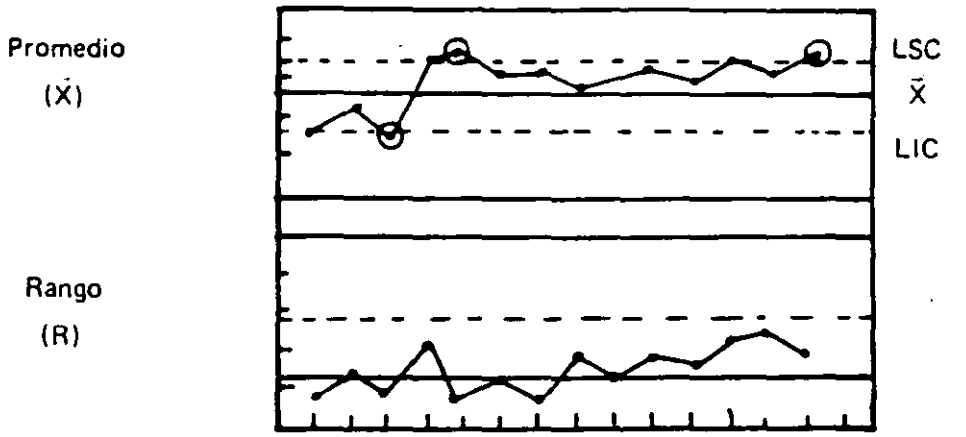
Tomando como base los mismos datos anteriores, construyamos una gráfica indicando el valor diario promedio ($\bar{X}$) de la dureza y el rango diario (R) (el rango es la diferencia entre el máximo y mínimo valor obtenido en un período de tiempo en particular; en este caso, la diferencia diaria).



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, fuímos 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
$\bar{\bar{X}}$-$\bar{R}$ — 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

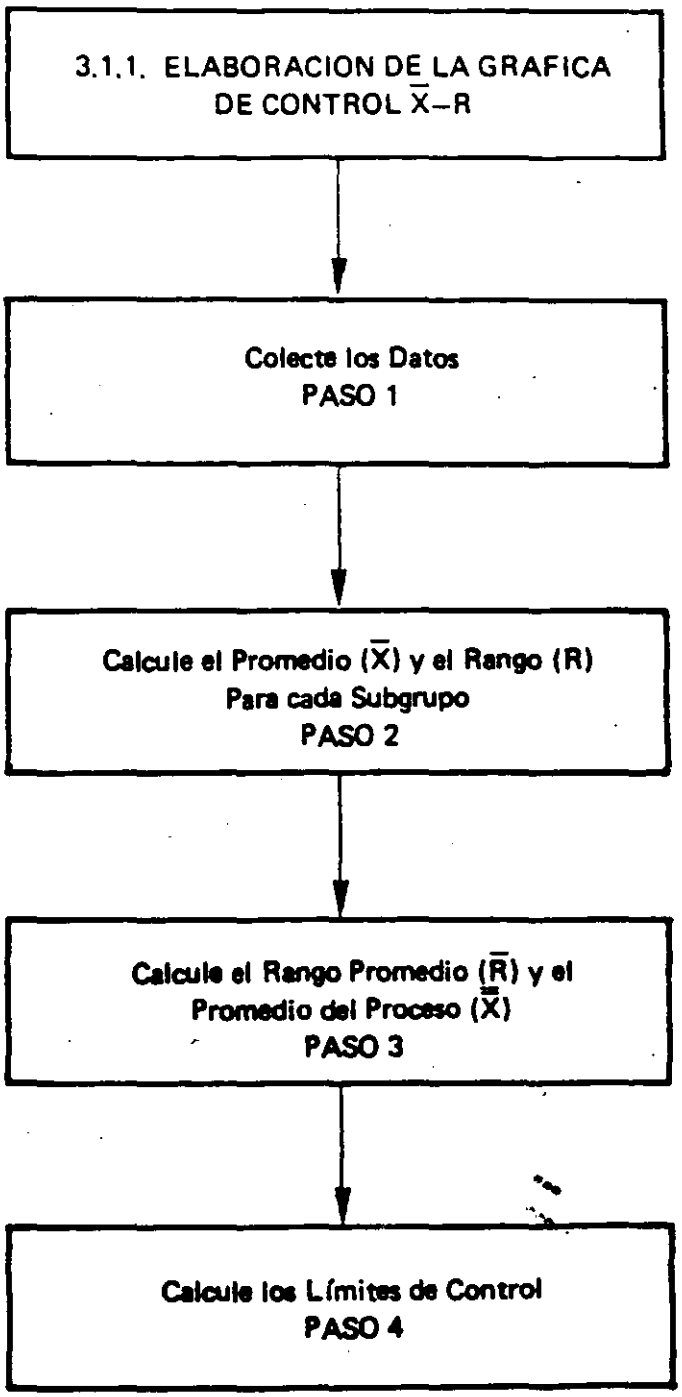
Una gráfica de control $\bar{X}$-R muestra tanto el valor promedio ($\bar{X}$) como el rango (R) de nuestro proceso.

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 $\overline{X}$–R

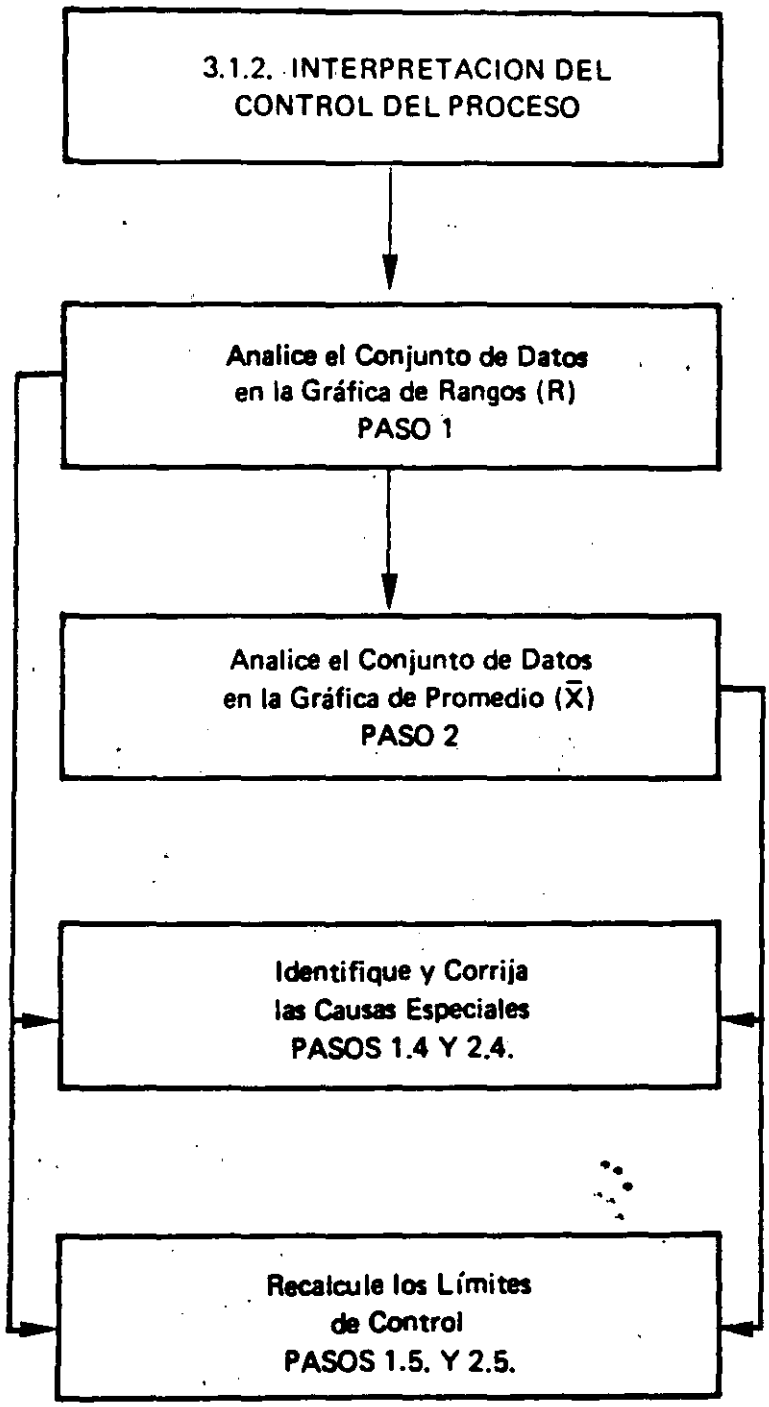
Diagrama de Flujo



3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

3.1. GRAFICA DE CONTROL $\bar{X}$–R

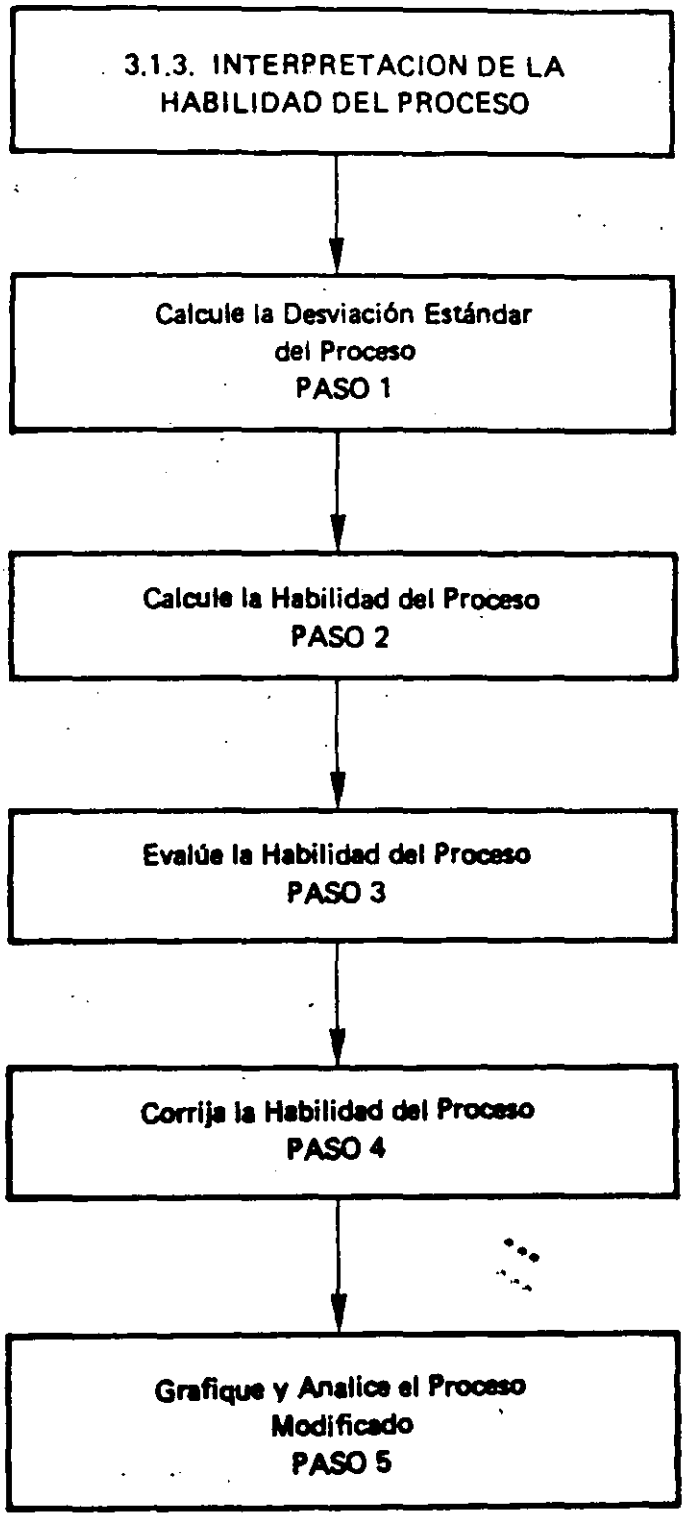
Diagrama de Flujo



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 periodos 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:

$$\bar{X} = \frac{X1 + X2 + \ldots + Xn}{n}$$

GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES
CONTROL DE PROCESO

PLANTA/DEPARTAMENTO	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
T.D./VESTIDURA	030 Doblado de clip	E2BB-12321-A Retén

CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION	ITEM CRITICO
Ranura DIM "A"	.50 a .90 mm.	SI ☐ NO ☒

$\bar{\bar{x}}$ = _____ LSC = _____ LIC = _____ **PROMEDIOS** TAMAÑO DE MUESTRA 5 FRECUENCIA Cada 2 horas

PARA EMPEZAR — PASO 1.1

$\bar{R}$ _____ LSC = _____ LIC = _____ **RANGOS**

FECHA/HORA																										
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
SUM.																										
$\bar{\bar{x}}$																										
R																										

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	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
LTD Vestidura	030 Doblado de Clip	E2BB-12321A – Reten
CARACTERISTICA MEDIDA	**ESPECIFICACION**	**ITEM CRITICO** SI ☐ NO ☒
Ranuara Diam. "A"	0.50 a 0.90 mm.	

$\bar{\bar{x}}$ = _____ LSC = _____ LIC = _____

PROMEDIOS

TAMAÑO DE MUESTRA 5

FRECUENCIA Cada 2 horas

$\bar{R}$ _____ LSC = _____ LIC = _____

RANGOS

PASO 1.2 PRIMEROS SUBGRUPOS

FECHA/HORA				
1	.65	.75	.75	.60
2	.70	.85	.80	.70
3	.65	.75	.80	.70
4	.65	.85	.70	.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

PASO 2

SUMA = .65 + .70 + .65 + .65 + .85 = 3.50

$\bar{X}$ = 3.50/5 = .70

R = .85 - .65 = .20

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

- $R = X\ mayor - X\ menor$

Donde X1, X2. . . 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.

$$\bar{R} = \frac{R1 + R2 + \ldots + RK}{K}$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}1 + \bar{X}2 + \ldots + \bar{X}K}{K}$$

Donde K es el número de subgrupos, R1 y $\bar{X}1$ son el rango y el promedio del primer subgrupo, R2 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:

$$LSC_R = D_4\bar{R} \qquad LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

$$LIC_R = D_3\bar{R} \qquad LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

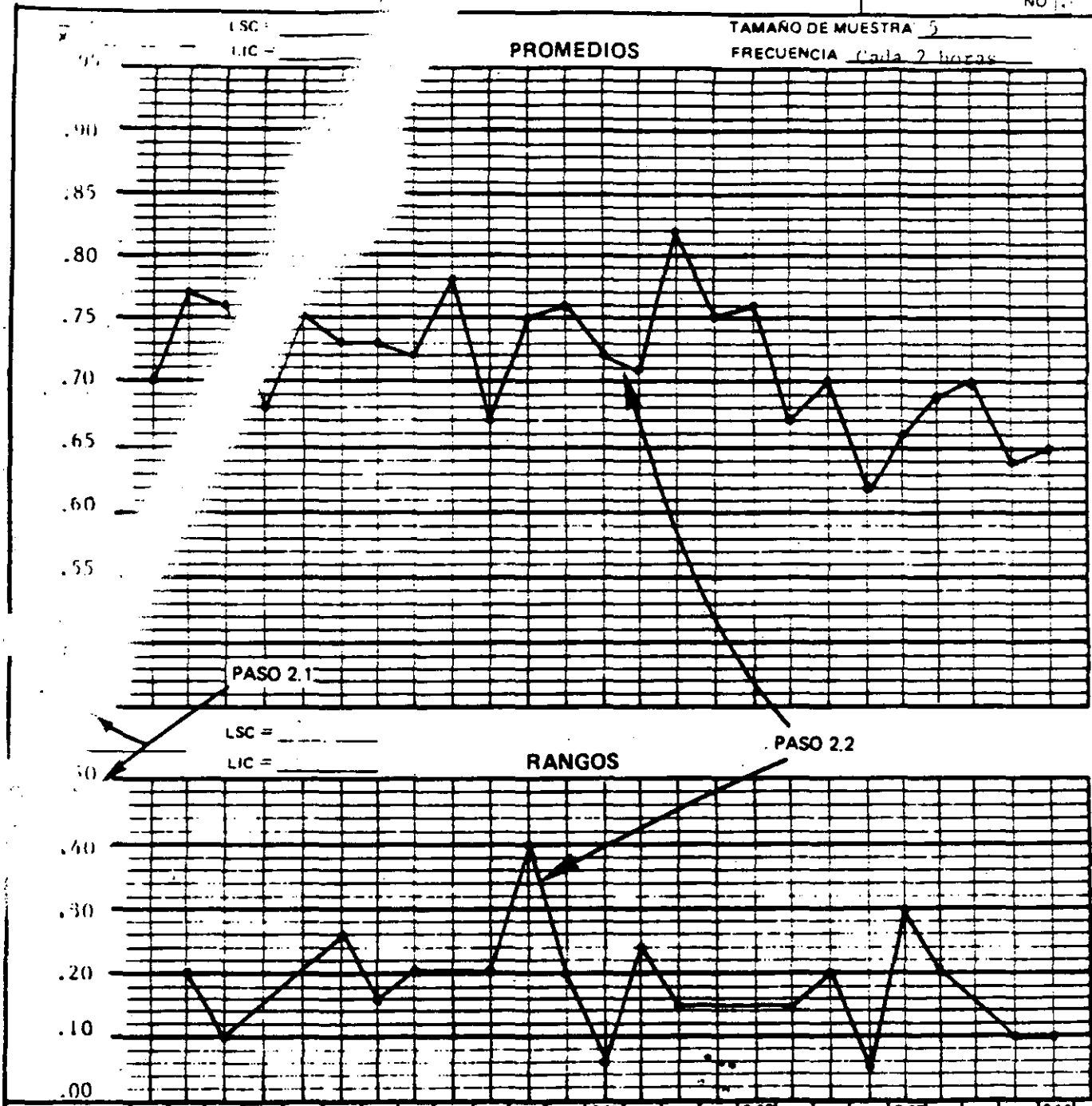
CONTROL DE PROCESO

PLANTA/DEPARTAMENTO	NUME[illegible] OMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
L.T.D. Vestidura	03[illegible] [illegible]o del Clip	E2BB-12321-A Reten

CARACTERISTICA MEDIDA	[illegible]CION	ITEM CRITICO
[illegible]ura Diam. "A"	[illegible] 0.90 mm.	SI ☐ NO ☐

LSC = _____
LIC = _____

TAMAÑO DE MUESTRA 5
FRECUENCIA Cada 2 horas



FECHA/HORA	6-8				6-9				6-10				6-11				6-12				6-15				6-16
1	.85	.75	.75	.60	.70	.60	.15	.60	.65	0.60	0.60	.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	.85	.6	.55	.80	.65	.6	.7
3	.65	.75	.60	.70	.65	.75	.65	.80	.85	.60	.90	.85	.75	.85	.80	.75	.85	.60	.85	.65	.65	.65	.75	.65	.70
4	.85	.85	.70	.75	.85	.85	.75	.75	.85	.80	.50	.65	.75	.75	.75	.8	.7	.7	.65	.80	.80	.65	.65	.80	.60
5	.85	.65	.75	.65	.80	.70	.70	.75	.75	.65	.80	.70	.70	.80	.85	.65	.80	.6	.7	.65	.60	.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	3.5	3.10	3.30	3.45	3.5	3.2	3
$\bar{x}$	.70	.77	.70	.65	.75	.73	.73	.72	.70	.67	.75	.76	.72	.71	.82	.75	.76	.67	.70	.62	.66	.69	.70	.64	
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

Para tamaños de muestra inferio[illegible] a si[illegible] no determina el límite de control inferior para rangos.

GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES
CONTROL DE PROCESO

PLANTA/DEPARTAMENTO	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
L.T.D. /VESTIDURA	030 DOBLADO DEL CLIP	E2BB-12321-NA Rel.F
CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION	ITEM CRITICO
RANURA DIAM. "A"	0.50 a 0.90 mm.	NO

$\bar{\bar{x}}$ = .716 LSC = .819 LIC = .613

PROMEDIOS

TAMAÑO DE MUESTRA 5

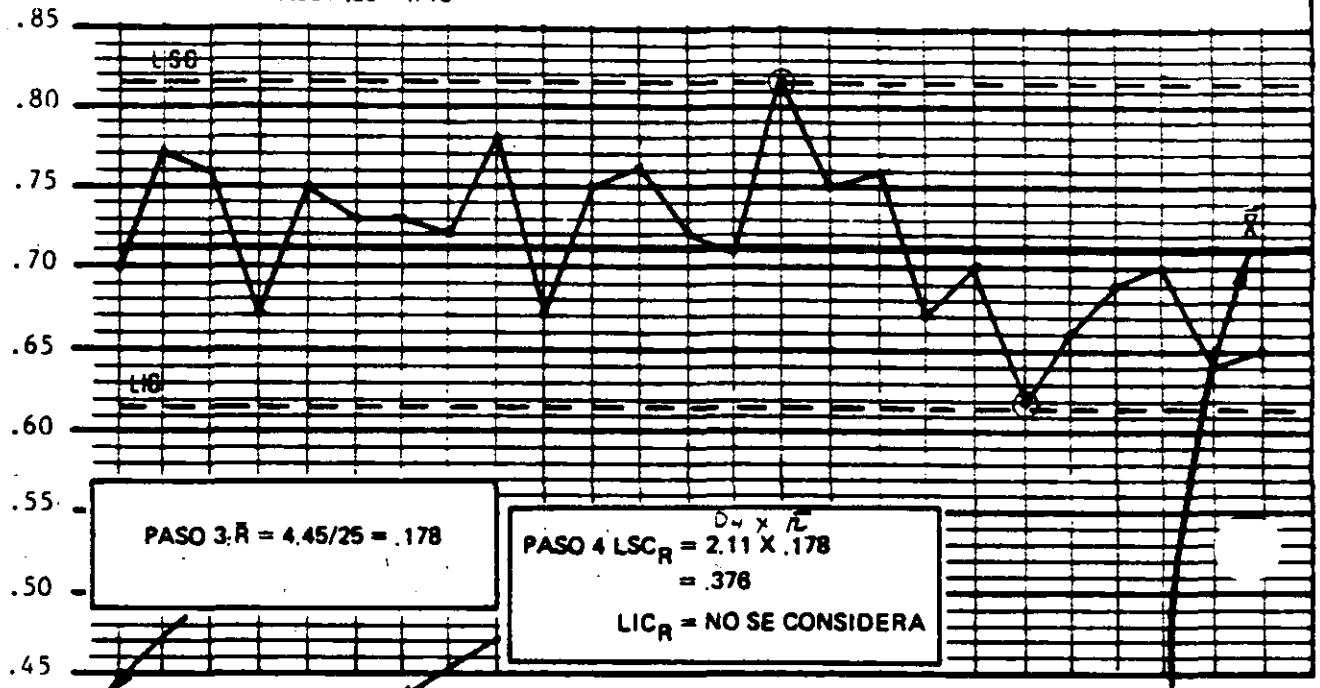
FRECUENCIA CADA 2 Horas.

PASO 3. $\bar{\bar{X}} = \frac{(.70 + .77 + .76 + \ldots + .66)}{25}$

$= 17.90 / .25 = .716$

PASO 4 $LSC_{\bar{X}} = .716 + (.58 \times .178) = .819$

$LIC_{\bar{X}} = .716 - (.58 \times .178) = .613$



PASO 3. $\bar{R}$ = 4.45/25 = .178

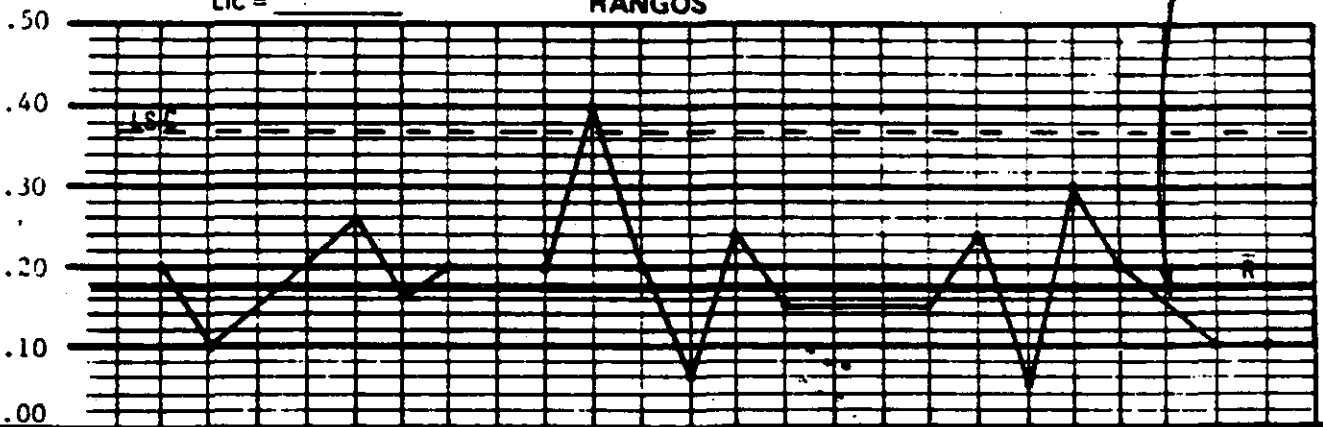
PASO 4 $LSC_R = 2.11 \times .178$ ($D_4 \times \bar{R}$)
= .376

LIC_R = NO SE CONSIDERA

$\bar{R}$ = .178 LSC = .376 LIC =

RANGOS

PASO 4.1



FECHA/HORA	6-8				6-8				6-10				6-11				6-12				6-15				6-16
1	.65	.75	.75	.80	.70	.60	.15	.60	.65	0.00	0.00	.85	.70	.65	.90	.75	.75	.75	.65	.80	.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	.60	.90	.85	.75	.85	.80	.75	.85	.80	.85	.65	.85	.65	.75	.65	.70
4	.65	.85	.70	.75	.85	.65	.75	.75	.85	.80	.50	.65	.75	.75	.75	.8	.7	.7	.65	.60	.80	.65	.65	.60	
5	.85	.65	.75	.65	.80	.70	.70	.75	.75	.85	.80	.70	.70	.60	.85	.65	.80	.6	.7	.85	.80	.75	.65	[illegible]	.65
SUM.	3.5	3.30	3.80	3.4	.75	3.05	3.05	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	3.45	3.5	3.2	3.30
$\bar{X}$	.70	.77	.76	.85	.75	.73	.73	.72	.78	.67	.75	.76	.72	.71	.82	.75	.76	.67	.70	.62	.66	.69	.70	.64	.66
R	.20	.20	.10	.15	.20	.25	.15	.20	.20	.20	[illegible]	.20	.05	.25	.15	.15	.15	.15	.20	.05	.30	.20	.15	.10	.10

Para tamaños de m[illegible]tra inferiores a siete no se determina el lími[illegible] de [illegible]trol inferior para rangos.

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 contínua, y los límites de control (LSC_R, LIC_R, $LSC_{\bar{X}}$, $LIC_{\bar{X}}$) con una línea horizontal discontínua.

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.

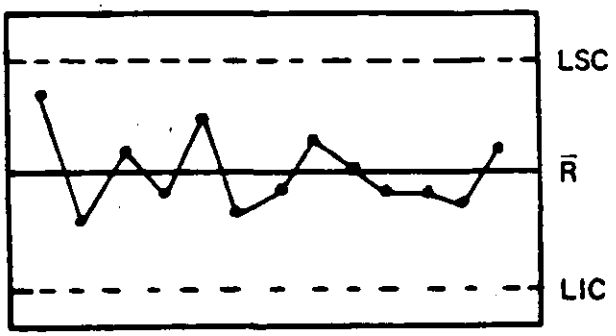
Un punto fuera de los límites de control es una señal de:

– El límite de control está mal calculado o los puntos están mal agrupados.

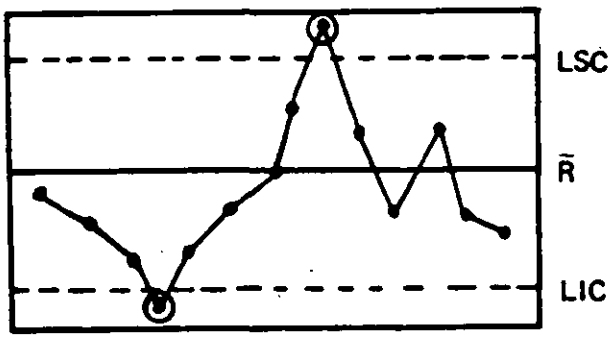
3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

- 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

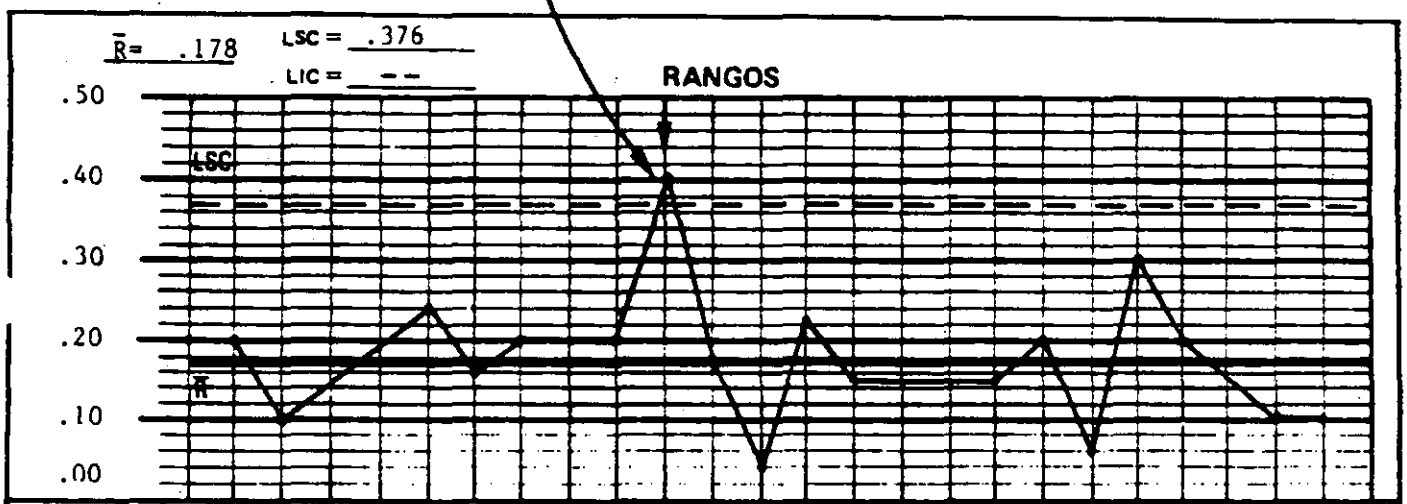


Proceso no Controlado (puntos fuera de los Límites de Control)



Del ejemplo:

Paso 1.1 - Un punto está fuera del Límite de Control.



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	.85	.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	.60	.55	.80	.65	.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	.75	.65	.70	
4	.65	.85	.70	.75	.85	.85	.75	.75	.85	.60	.50	.65	.75	.75	.75	.80	.70	.70	.65	.60	.80	.65	.65	.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	
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	3.60	3.55	4.10	3.75	3.80	3.35	3.50	3.10	3.30	3.45	3.50	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	
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	

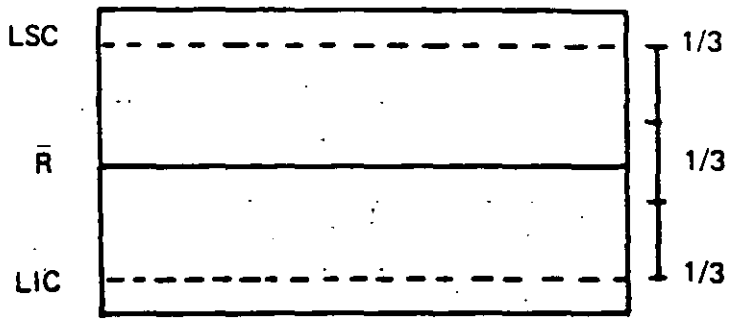
Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

1.2. Adhesión a las Líneas de Control

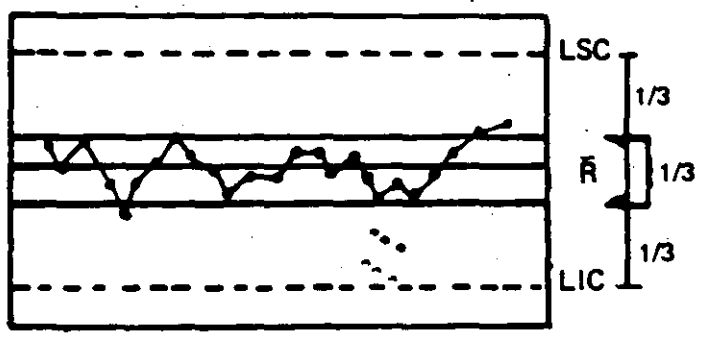
Cuando en la gráfica de control los puntos se agrupan junto a la línea central o junto a las líneas de control, hablamos de adhesión.

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:

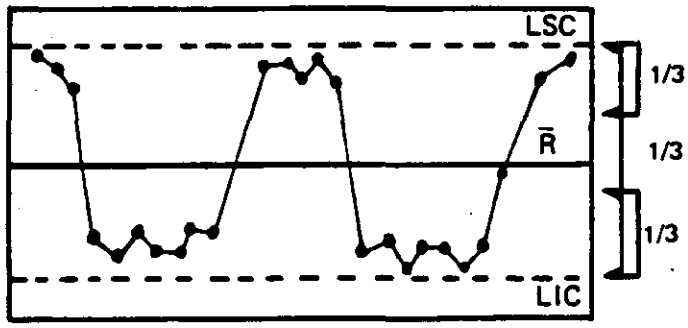
- Los límites de control han sido mal calculados o los puntos fueron mal graficados.

- 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).



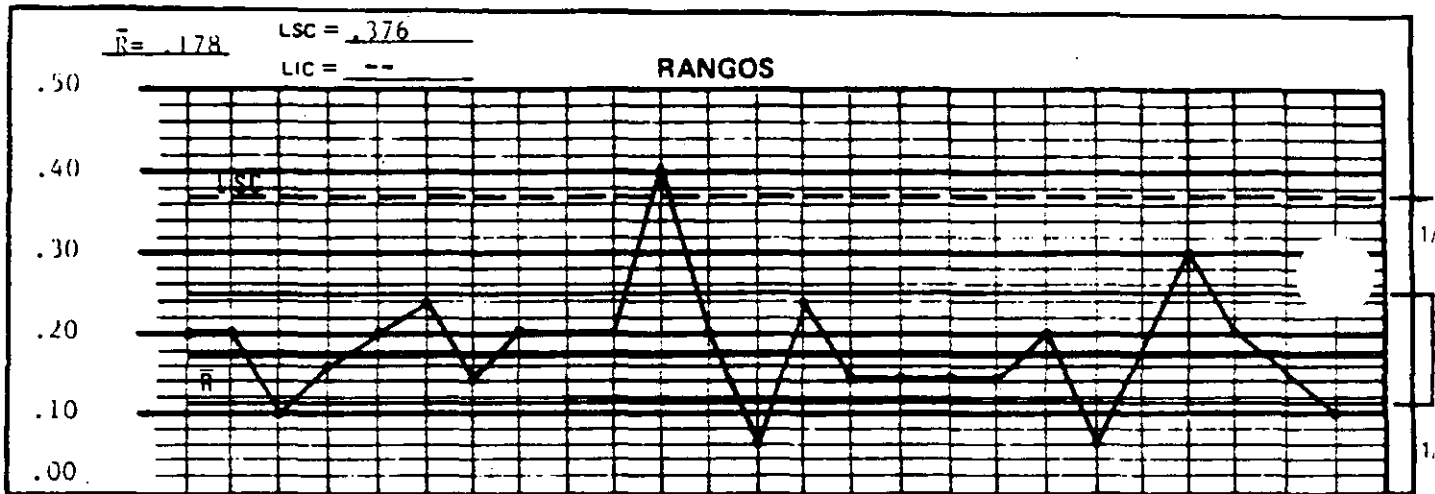
Cuando esta situación se presenta, es necesario verificar lo siguiente:

- 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.



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	
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	
3	.85	.75	.80	.70	.65	.75	.65	.80	.85	.60	.90	.85	.75	.85	.80	.75	.85	.60	.85	.65	.65	.65	.75	.65	.70	
4	.65	.85	.70	.75	.85	.65	.75	.75	.85	.80	.50	.65	.75	.75	.75	.80	.70	.70	.65	.60	.80	.65	.65	.60	.60	
5	.85	.85	.75	.65	.80	.70	.70	.75	.75	.65	.80	.70	.70	.60	.85	.65	.80	.60	.70	.65	.60	.75	.65	.70	.65	
SUM.	3.50	3.85	3.80	3.40	3.75	3.85	3.65	3.60	3.90	3.35	3.75	3.80	3.60	3.55	4.10	3.75	3.80	3.35	3.50	3.10	3.30	3.45	3.50	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	
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	

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

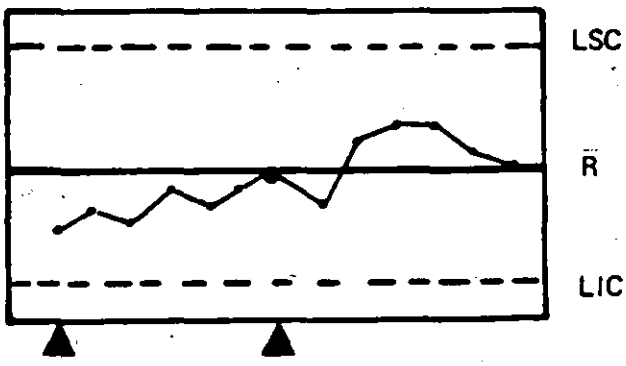
1.3. Series

Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento del proceso.

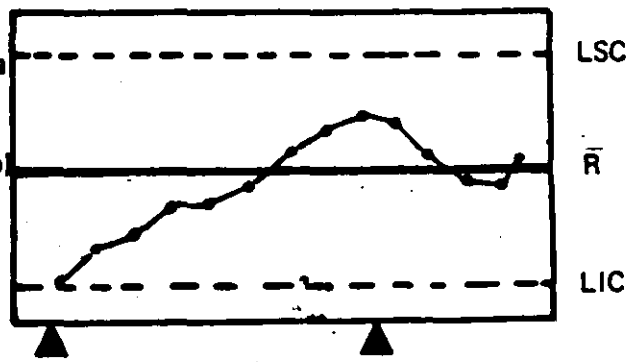
Cuando 7 ó más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del promedio, la serie recibe el nombre de Corrida.

Si 7 ó más intervalos consecutivos se presentan con valores crecientes o decrecientes, la serie recibe el nombre de Tendencia.

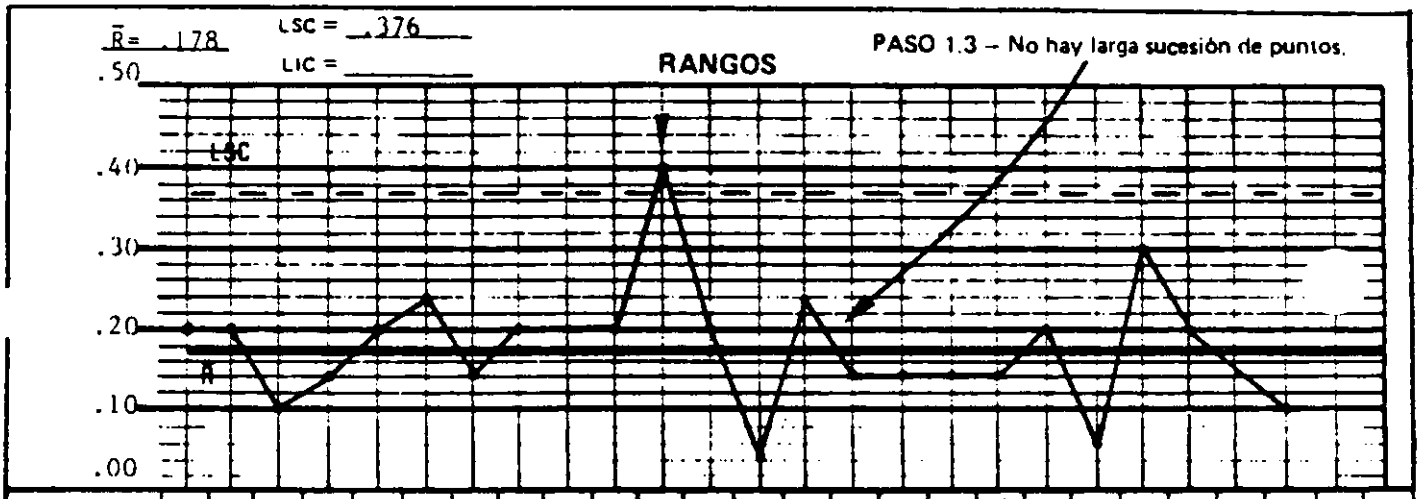
Este proceso presenta una corrida de 8 puntos abajo de $\bar{R}$



Este proceso muestra una tendencia ascendente (8 intervalos en ascenso)



Del ejemplo:



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	
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	
3	.65	.75	.80	.70	.65	.75	.65	.80	.85	.80	.90	.85	.75	.85	.80	.75	.85	.60	.85	.65	.65	.65	.75	.65	.70	
4	.65	.85	.70	.75	.85	.85	.75	.75	.85	.80	.50	.65	.75	.75	.75	.80	.70	.70	.85	.60	.80	.65	.65	.60	.60	
5	.85	.65	.75	.65	.80	.70	.70	.75	.75	.65	.80	.70	.70	.60	.85	.65	.80	.60	.70	.65	.80	.75	.85	.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	3.60	3.55	4.10	3.75	3.80	3.35	3.50	3.10	3.30	3.45	3.50	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	
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	

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

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

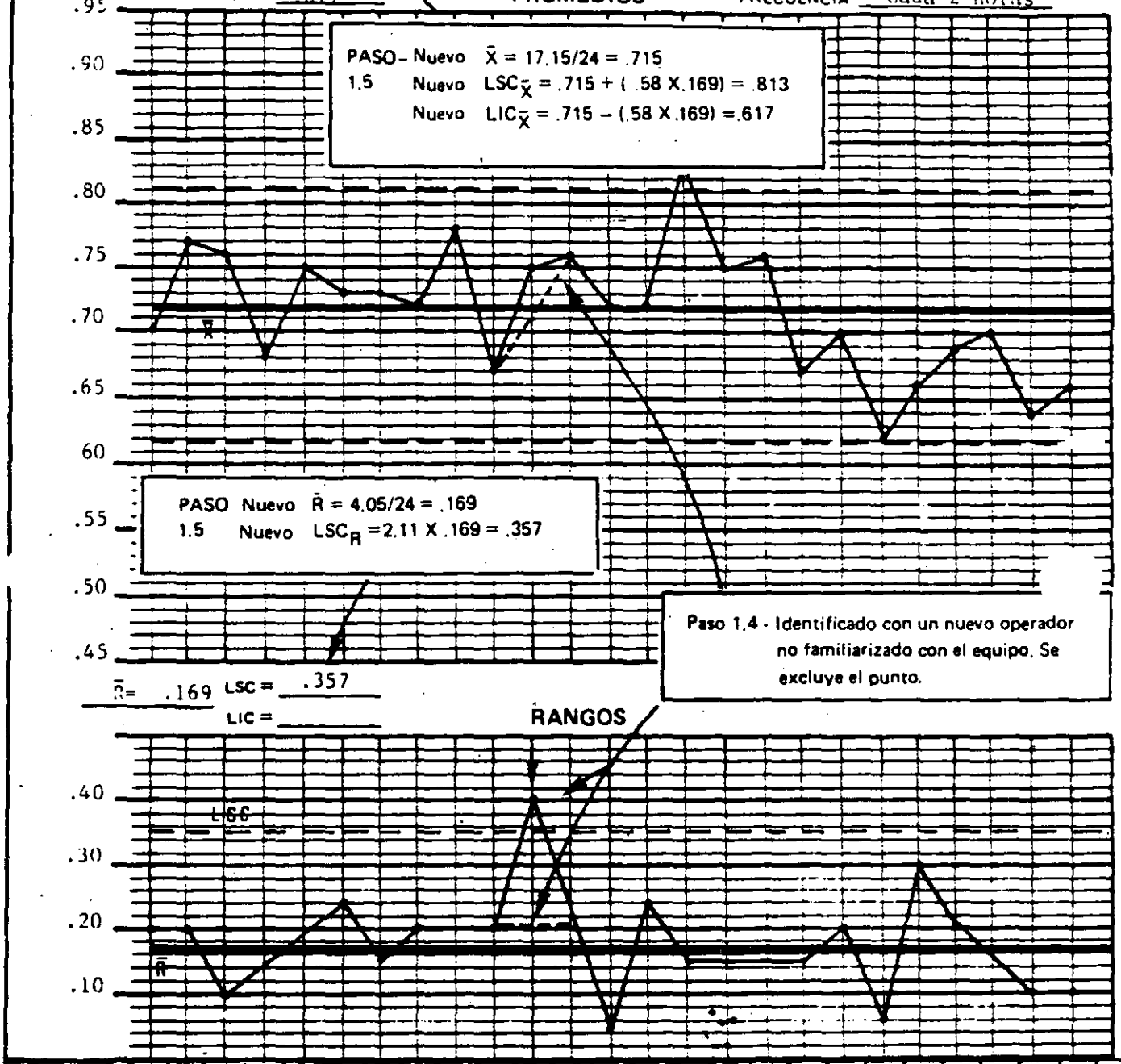
Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, deberá recalcular los límites de control para excluír los efectos de los puntos fuera de control cuyas causas fueron identificadas y corregidas. Omita los puntos fuera de control, recalcule y grafique el rango promedio ($\bar{R}$) 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 algun punto de la gráfica de rangos fuera omitido debido a la identificación de una causa especial, deberá también ser excluído dicho punto de la gráfica $\bar{X}$. Los valores de $\bar{\bar{X}}$ y $\bar{R}$ modificados deberán ser utilizados para recalcular los límites de control en la gráfica de promedios ($\bar{\bar{X}} \pm A_2\bar{R}$).

GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES
CONTROL DE PROCESO

PLANTA/DEPARTAMENTO	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
LTD Vestidura	03 Doblado del Clip	E2BB-12321-A Reten
CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION	ITEM CRITICO SI / NO
Ranura Diam. "A"	.50 a .90 mm.	

$\bar{\bar{x}}$ = .715 LSC = .813 LIC = .617 **PROMEDIOS** TAMAÑO DE MUESTRA 5 FRECUENCIA Cada 2 horas



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	
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	
3	.65	.75	.80	.70	.65	.75	.65	.80	.85	.60	.90	.85	.75	.65	.80	.75	.85	.60	.85	.65	.65	.65	.75	.65	.70	
4	.65	.85	.70	.75	.85	.85	.75	.75	.85	.60	.50	.65	.75	.75	.75	.80	.70	.70	.65	.60	.80	.65	.65	.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			
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	3.60	3.55	4.10	3.75	3.80	3.35	3.50	3.10	3.30	3.45	3.50			
$\bar{X}$	.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	
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	

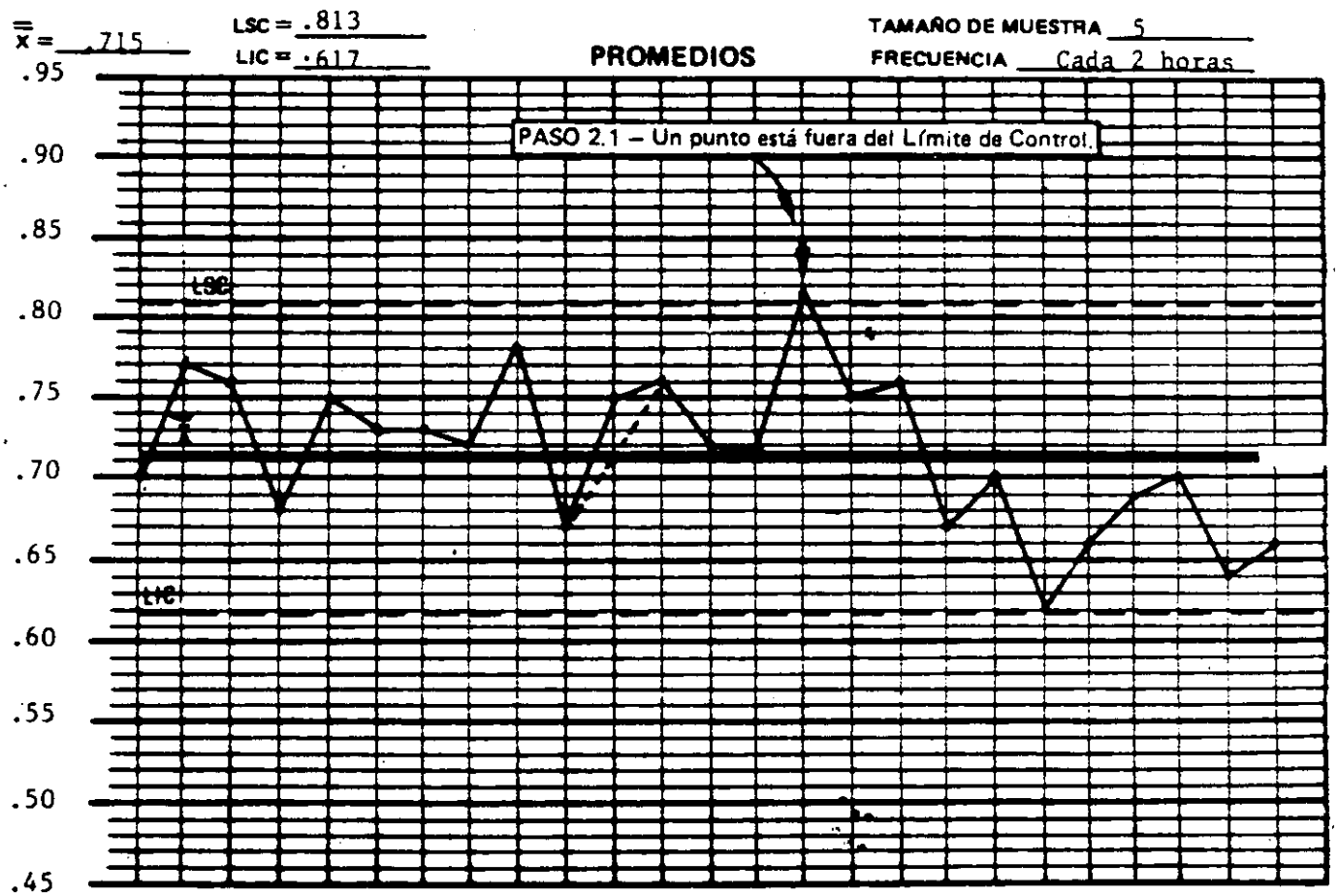
Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

PASO 2 — Analice el Conjunto de Datos en la Gráfica de Promedios ($\bar{X}$).

Una vez concluído 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.

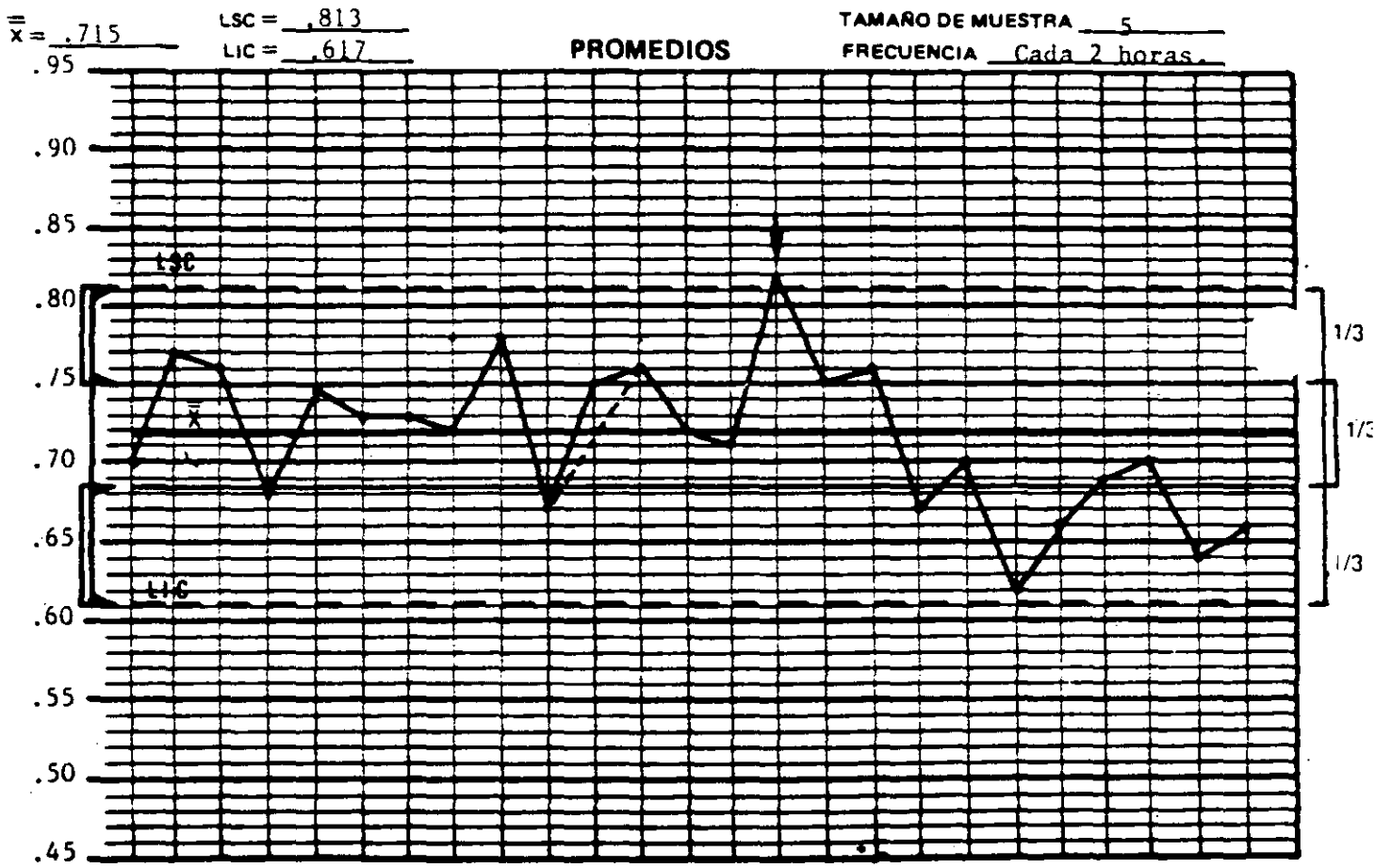
2.1. Puntos fuera de los Límites de Control



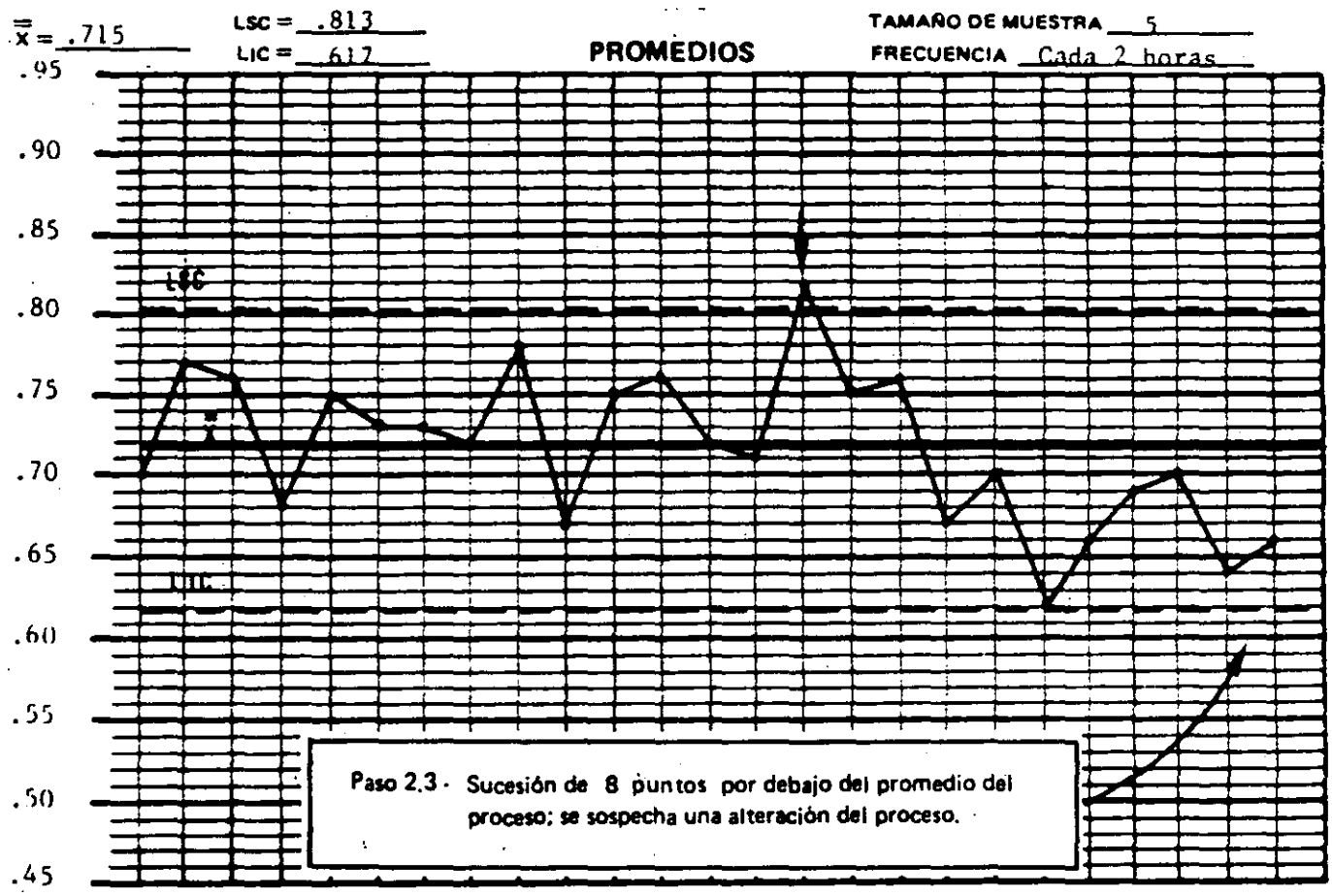
3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

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.



2.3. Series (Gráfica $\bar{X}$)



Paso 2.3 - Sucesión de 8 puntos por debajo del promedio del proceso; se sospecha una alteración del proceso.

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 ($\bar{\bar{X}}$) 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 contínuo 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:

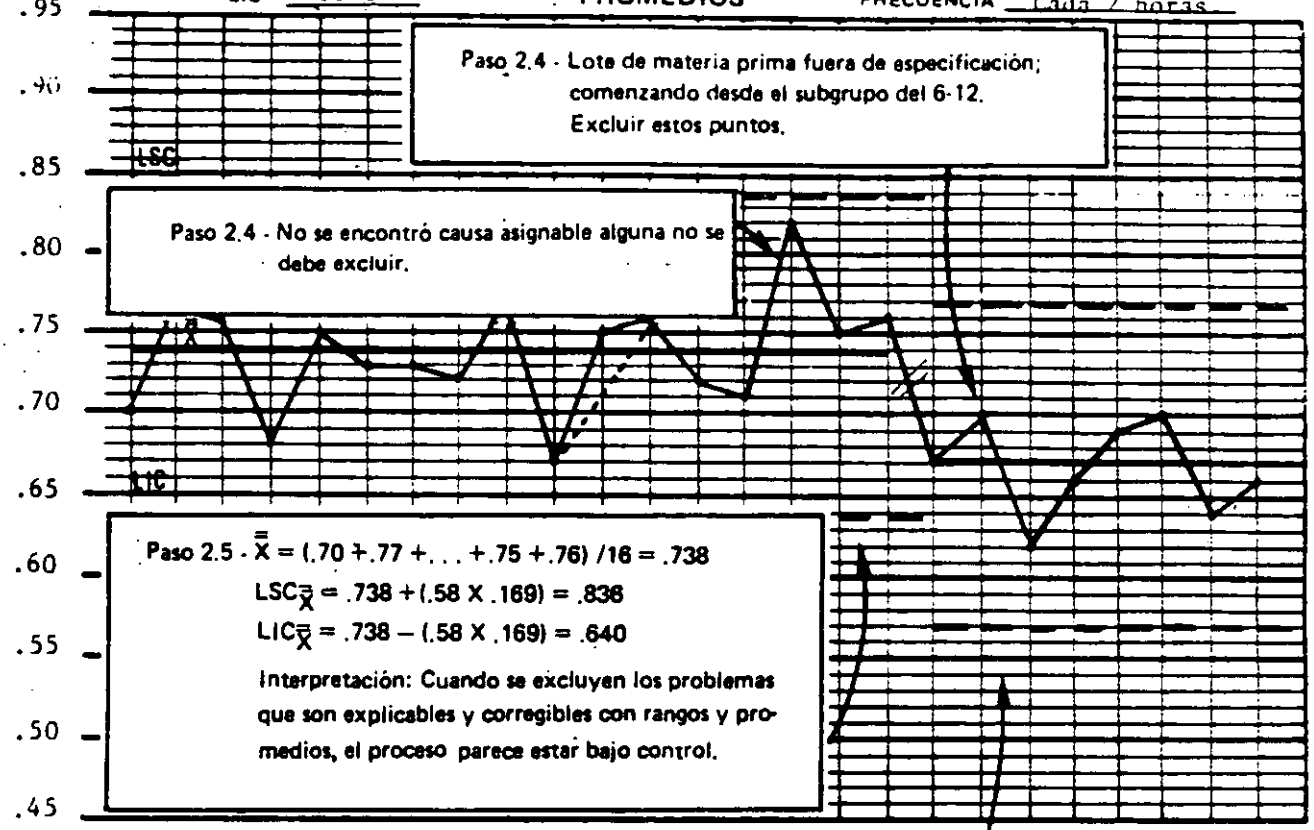
n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES
CONTROL DE PROCESO

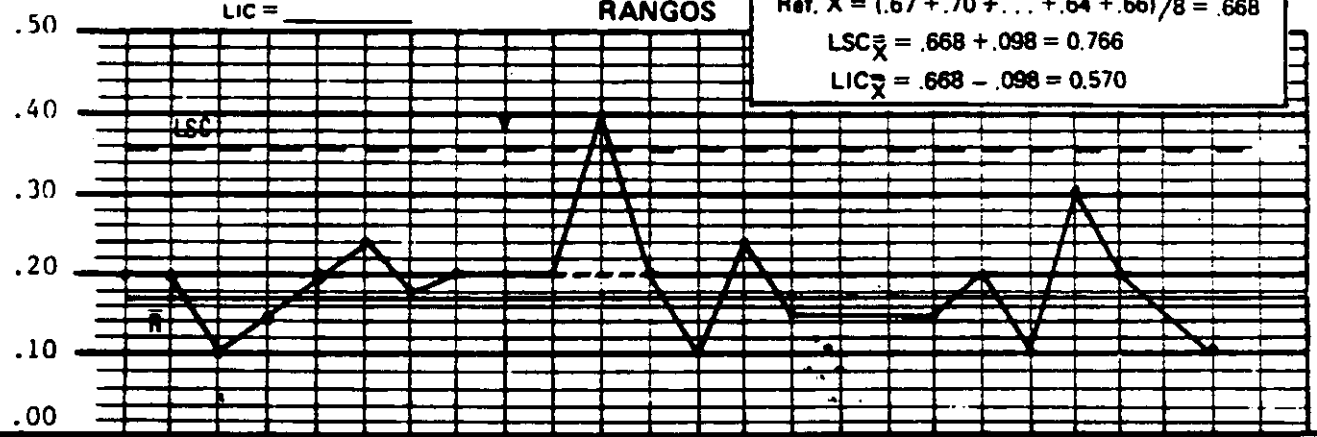
PLANTA/DEPARTAMENTO	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
LTD VESTIDURA	030 Doblado de Clip	E2BB-12321-A Retén.

CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION	ITEM CRITICO
Ranura Dim "A"	.500 - .900 mm.	SI ☐ NO ☒

$\bar{\bar{X}}$ = .738 LSC = .836 LIC = .640 **PROMEDIOS** TAMAÑO DE MUESTRA 5 FRECUENCIA Cada 2 horas



$\bar{R}$ = .169 LSC = .357 LIC = _____ **RANGOS**



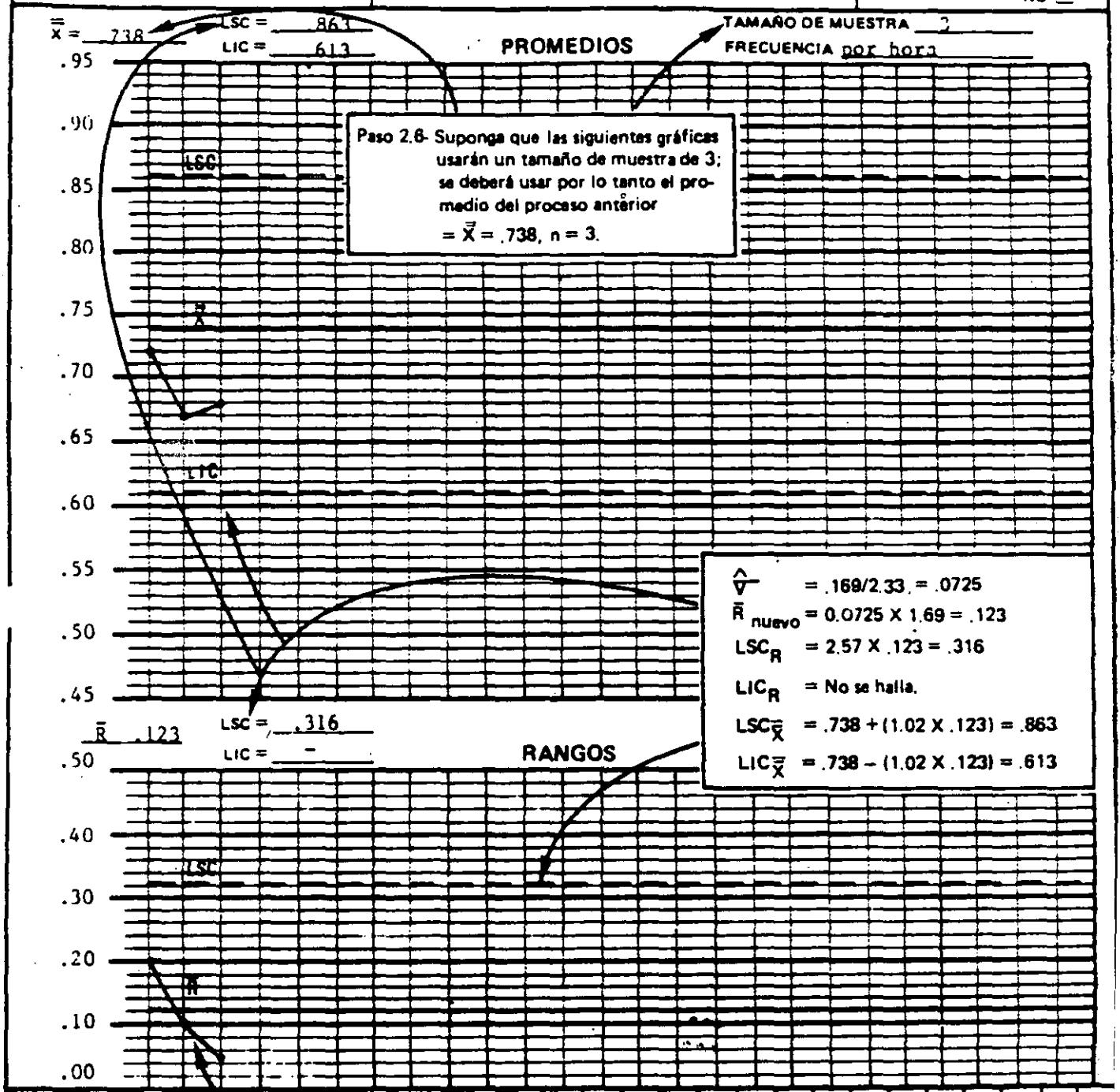
FECHA/HORA	6	8			6	9			6	10			6	11			6	12			6	15			6	16
1	.65	.75	.75	.80	.70	.80	.75	.80	.65	.80	.80	.85	.70	.85	.90	.75	.75	.75	.85	.80	.50	.60	.80	.65	.65	
2	.70	.85	.80	.70	.75	.75	.80	.70	.80	.70	.75	.75	.70	.70	.80	.80	.70	.70	.65	.80	.55	.80	.65	.60		
3	.65	.75	.80	.70	.65	.75	.85	.80	.85	.80	.90	.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	.80	.70	.70	.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	.80	.70	.65	.80	.75	.65	.70	.65	
SUM.	3.50	3.85	3.80	3.40	3.75	3.85	3.85	3.80	3.90	3.35	3.75	3.00	3.60	3.55	4.10	3.75	3.80	3.35	3.50	3.10	3.30	3.45	3.50	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	
R	.20	.20	.10	.15	.20	.25	.15	.20	.20	.20	.	.20	.05	.25	.15	.15	.15	.15	.20	.05	.30	.20	.15	.10	.10	

Para tamaños de m ra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES
CONTROL DE PROCESO

PLANTA/DEPARTAMENTO	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
L.T.D. Vestidura	030 Doblado de Clip.	E2BB-12321-A Reten
CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION	ITEM CRITICO SI / NO [X]
Ranura Dim. "A"	.50 a .90 mm.	

$\bar{\bar{x}}$ = .738 LSC = .863 LIC = .613 **PROMEDIOS** TAMAÑO DE MUESTRA 3 FRECUENCIA por hora



Paso 2.6- Suponga que las siguientes gráficas usarán un tamaño de muestra de 3; se deberá usar por lo tanto el promedio del proceso anterior $= \bar{\bar{X}} = .738$, n = 3.

$\hat{\bar{V}}$ = .169/2.33 = .0725

$\bar{R}_{nuevo}$ = 0.0725 X 1.69 = .123

LSC_R = 2.57 X .123 = .316

LIC_R = No se halla.

$LSC_{\bar{\bar{X}}}$ = .738 + (1.02 X .123) = .863

$LIC_{\bar{\bar{X}}}$ = .738 – (1.02 X .123) = .613

FECHA/HORA	6	17	
1	.80	.80	.65
2	.75	.70	.70
3	.60	.70	.70
4			
5			
SUM.	2.15	2.00	2.05
$\bar{\bar{x}}$	.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.

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:

$$\bar{R}_{nuevo} = \bar{d}\ d_2$$

$$LSC_R = D_4\ \bar{R}_{nuevo}$$

$$LIC_R = D_3\ R_{nuevo}$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\ \bar{R}_{nuevo}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\ \bar{R}_{nuevo}$$

Marque estos nuevos límites de control en las gráficas como base para el control contínuo del proceso.

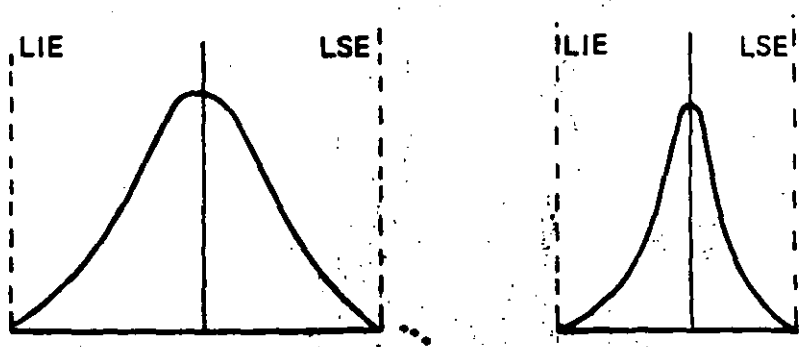
NOTA: Se deberá usar el promedio ($\bar{\bar{X}}$) del proceso anterior.

3.1.3. Interpretación de la Habilidad del Proceso

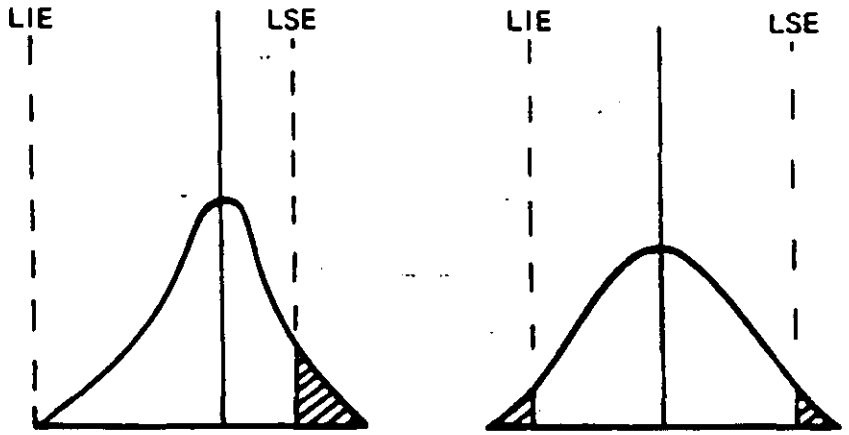
Una vez que se ha determinado si el proceso está en control estadístico (puntos dentro de los límites de control o puntos distribuídos sin tendencias) la siguiente pregunta será si el proceso es HABIL; esto es ¿cumple con las especificaciones de Ingeniería en forma consistente? La siguiente figura muestra 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.



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

$n = 5$

$d_2 = 2.33$

$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.169}{2.33} = .0725$

$\bar{\bar{X}} = 0.738$

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:

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{\hat{\sigma}} \qquad Z_i = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{\hat{\sigma}}$$

donde:
LSE = Límite superior de especificación
LIE = Límite inferior de especificación
Z_s = Z superior
Z_i = 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).

- 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 ejeplo, 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_I = 2.85, el total fuera de especificación será: $P_{Z_s} + P_{Z_I}$ = 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:

  $\overline{\overline{X}}$ = 0.738

  $\hat{\sigma}$ = 0.0725

  LSE = 0.900

  LIE = 0.500

  Como este proceso tiene tolerancias bilaterales:

$$Z_s = \frac{LSE - \overline{\overline{X}}}{\hat{\sigma}} = \frac{.900 - .738}{.0725} = \frac{.162}{.0725} = 2.23$$

$$Z_I = \frac{\overline{\overline{X}} - LIE}{\hat{\sigma}} = \frac{.738 - .500}{.0725} = \frac{.238}{.0725} = 3.28$$

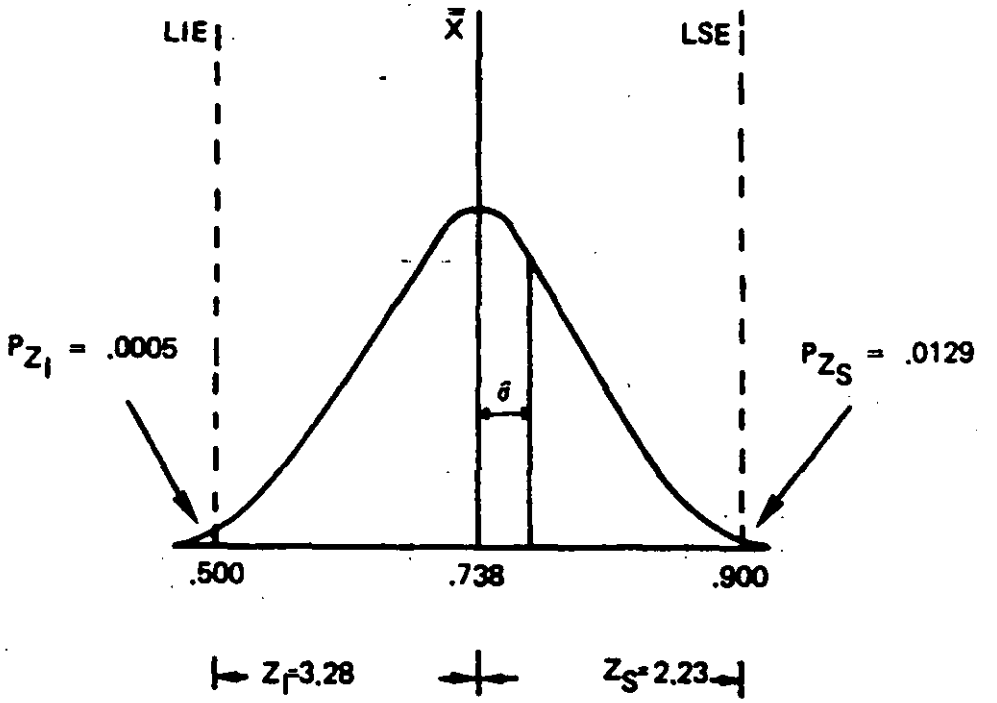
  Las fracciones fuera de especificación serán:

  P_{Z_s} = 0.0129 **(valor encontrado en la tabla)**

  P_{Z_I} = 0.0005 **(valor encontrado en la tabla)**

  P_{total} = 0.0134

  en términos de porcentaje 1.34%



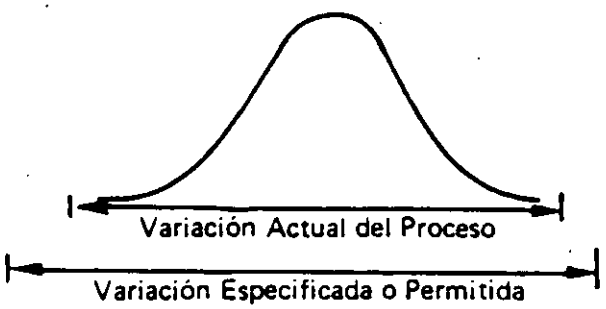
Tomando en consideración que un proceso puede considerarse hábil cuando el 99.73% de las observaciones están dentro de la especificación para ± 3 σ y 99.996% para ± 4 σ . Este proceso no es hábil para ± 3 σ ni para ± 4 σ , ya que sólo el 100% − 1.34% = 98.66% se encuentra dentro de especificaciones.

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.



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 ± 3 σ y C_P = 1.33 para ± 4 σ 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

$$C_{PK} = \frac{Z\ min}{3}$$

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.

$$D = |M - \bar{\bar{X}}|$$

M = Punto Medio Especificado

$\bar{\bar{X}}$ = Promedio del Proceso

NOTA: Se deben considerar valores absolutos | |

c) Definir el índice de localización k

$$k = \frac{2D}{W} \qquad \text{Donde: } W = LSE - LIE$$

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:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\delta} = \frac{0.900 - 0.500}{6\ (0.0725)} = 0.919$$

$C_p = 0.919$ es menor que 1, por lo que el proceso potencialmente no es hábil.

Por lo tanto ya no sería necesario evaluar la habilidad real pero como ejercicio vamos a desarrollarlo:

$$C_{PK} = \frac{Z\ min}{3}$$

$Z_S = 2.23$ $\qquad$ $Z_I = 3.28$

Por lo tanto Zmin = 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:

a) $M = \frac{LSE + LSI}{2}$

$M = \frac{.900 + .500}{2} = 0.7$

$M = 0.7$

b) $D = |M - \bar{X}|$

$D = |0.7 - 0.738|$

$D = 0.038$

c) $K = \frac{2D}{W}$

$K = \frac{2(0.038)}{0.400}$

$K = 0.19$

d) $C_{PK} = C_P(1-K)$

$C_{PK} = 0.919\ (1-0.19)$

$C_{PK} = 0.744$

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 $\bar{X}$	$\bar{\bar{X}} = \frac{A}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \_\_\_\_ =$	$\bar{\bar{X}}$
PROMEDIO DE R	$\bar{R} = \frac{B}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \_\_\_\_ =$	$\bar{R}$
LIMITE SUPERIOR DE CONTROL $\bar{X}$	$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 x \bar{R} =$ + x =	$LSC_{\bar{X}}$
LIMITE INFERIOR DE CONTROL $\bar{X}$	$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 x \bar{R} =$ − x =	$LIC_{\bar{X}}$
LIMITE SUPERIOR DE CONTROL R	$LSC = D_4 \times \bar{R} =$ x =	LSC_R
DESVIACION ESTANDAR	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \_\_\_\_ =$	
PARAMETRO INFERIOR	$Z_I = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{\hat{\sigma}}$ _____ = ____ =	Z_I
PARAMETRO SUPERIOR	$Z_S = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{\hat{\sigma}}$ _____ − _____ = ____ =	Z_S

CALCULO DEL PORCENTAJE DEFECTUOSO

$$P_Z = P_{ZI} + P_{ZS}$$

(Ver Tabla)

PROBABILIDAD P_Z = [ ] + [ ] = [ ]

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\,\hat{\sigma}} = \frac{\qquad - \qquad}{} =$$

$$K = 1 - \frac{C_{PK}}{C_p} = 1 - \qquad =$$

$$C_{PK} = C_p\,(1 - K) = \qquad (\ 1 - \qquad\ ) =$$

$$C_{PK} = \frac{Z\ min.}{3} = \frac{\qquad}{3} =$$

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 – Evalue 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

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 nones 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 valos 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 ($\tilde{X}$) 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 $\bar{\tilde{X}}$.

- 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, $LSC_{\tilde{X}}$ y $LIC_{\tilde{X}}$).

$$LSC_R = D_4\bar{R} \qquad LSC_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} + \tilde{A}_2 \cdot \bar{R}$$
$$LIC_R = D_3\bar{R} \qquad LSC_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} - \tilde{A}_2 \bar{R}$$

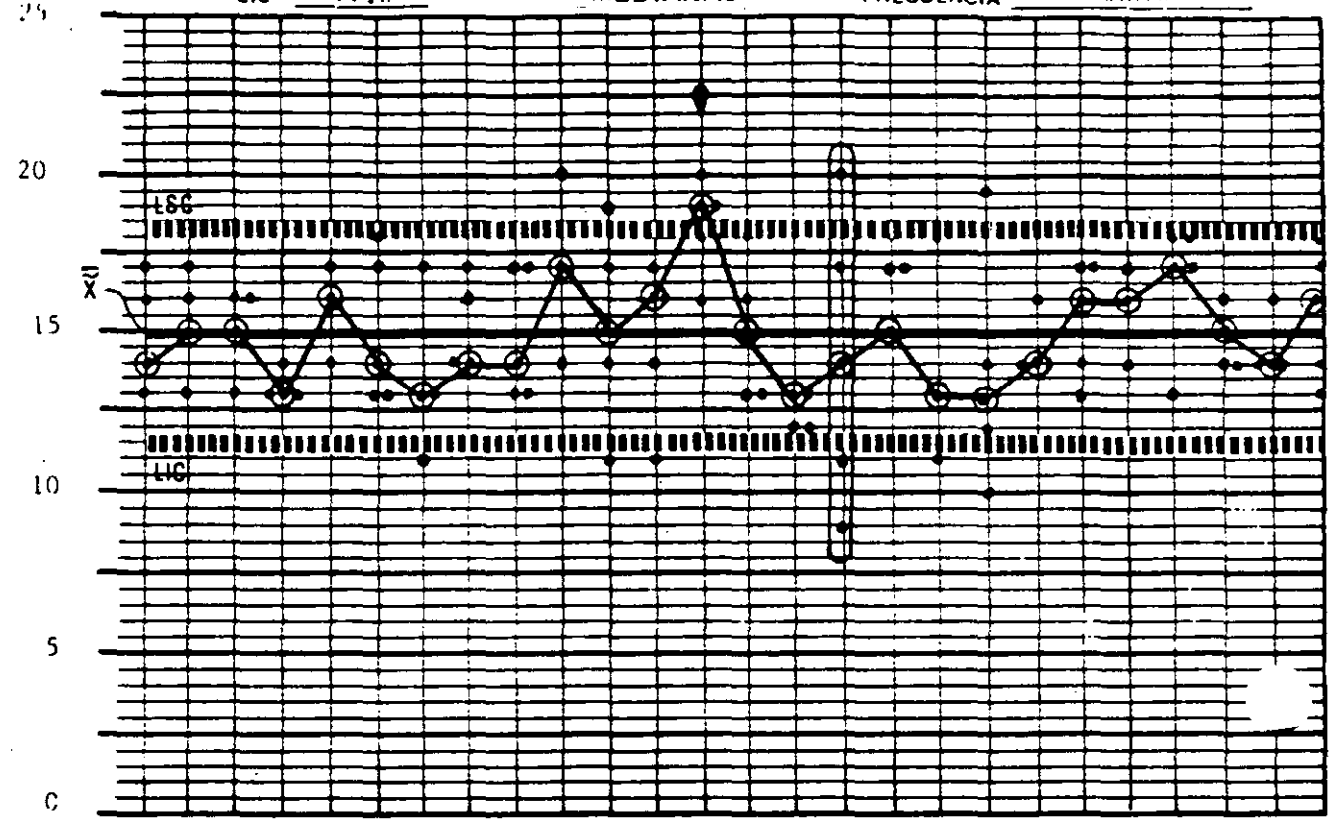
donde: D_4, D_3 y $\tilde{A}_2$ son constantes que varían de acuerdo a los tamaños de muestra. Los valores para los tamaños de muestra de 2 a 10 se muestran en la siguiente tabla:

GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES
CONTROL DE PROCESO

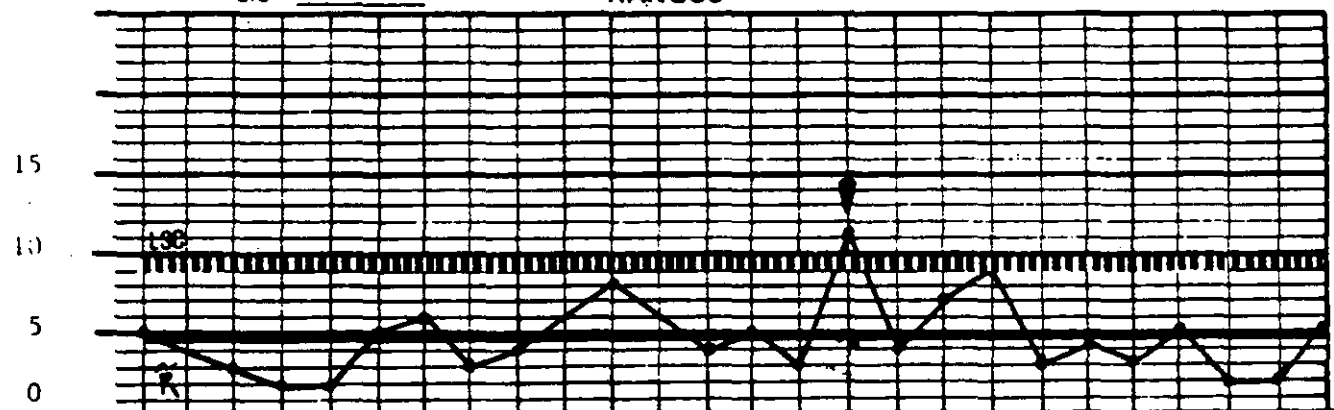
PLANTA/DEPARTAMENTO	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
Maquinado Huntsville	0.50 CUT-OFF	EIBC-3223-AB- RCD

CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION	ITEM CRITICO
LARGO	46.05 a 46.25 mm.	SI / NO [X]

$\tilde{x}$ = 14.9 LSC = 18.1 LIC = 11.6 **MEDIANAS** TAMAÑO DE MUESTRA 5 FRECUENCIA HORARIO



$\bar{R}$ =4.7 LSC = 9.9 LIC = * **RANGOS**



FECHA/HORA	2-9	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	2-10	8	9	10	11	12	1	2	3	4
1	16	16	16	15	16	13	13	14	13	15	11	17	20	18	12	11	17	13	19	14	13	16	18	14	15	17
2	14	15	13	13	15	13	11	16	17	14	19	16	19	16	13	20	17	15	13	14	17	15	18	15	14	14
3	13	13	16	13	16	14	15	17	14	17	14	14	18	13	15	14	15	18	18	16	17	14	17	16	16	18
4	12	15	15	13	14	17	17	14	17	20	15	11	19	15	12	17	13	11	12	14	16	17	17	15	14	13
5	17	17	15	14	17	15	13	14	13	18	17	16	16	13	13	9	15	13	14	13	14	16	13	14	[illegible]	16
SUM.																										
$\tilde{x}$	14	15	15	13	16	14	13	14	14	17	15	16	19	15	13	14	15	13	13	14	16	16	17	15	14	16
R	5	5	3	2	3	5	6	3	4	6	8	8	4	5	3	11	4	7	9	3	4	3	5	3	2	5

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos

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
$\tilde{A}_2$	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 $\tilde{X}$. 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.

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d2$$

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 periódo de estudio anterior.
Los límites de control están basados en los rangos del periódo de estudio anterior.
Los datos son marcados directamente en la gráfica.
Las medidas son circuladas y comparadas con los límites de control.
Una tarjeta marcada con el LSC_R es usada para verificar los rangos de cada subgrupo.

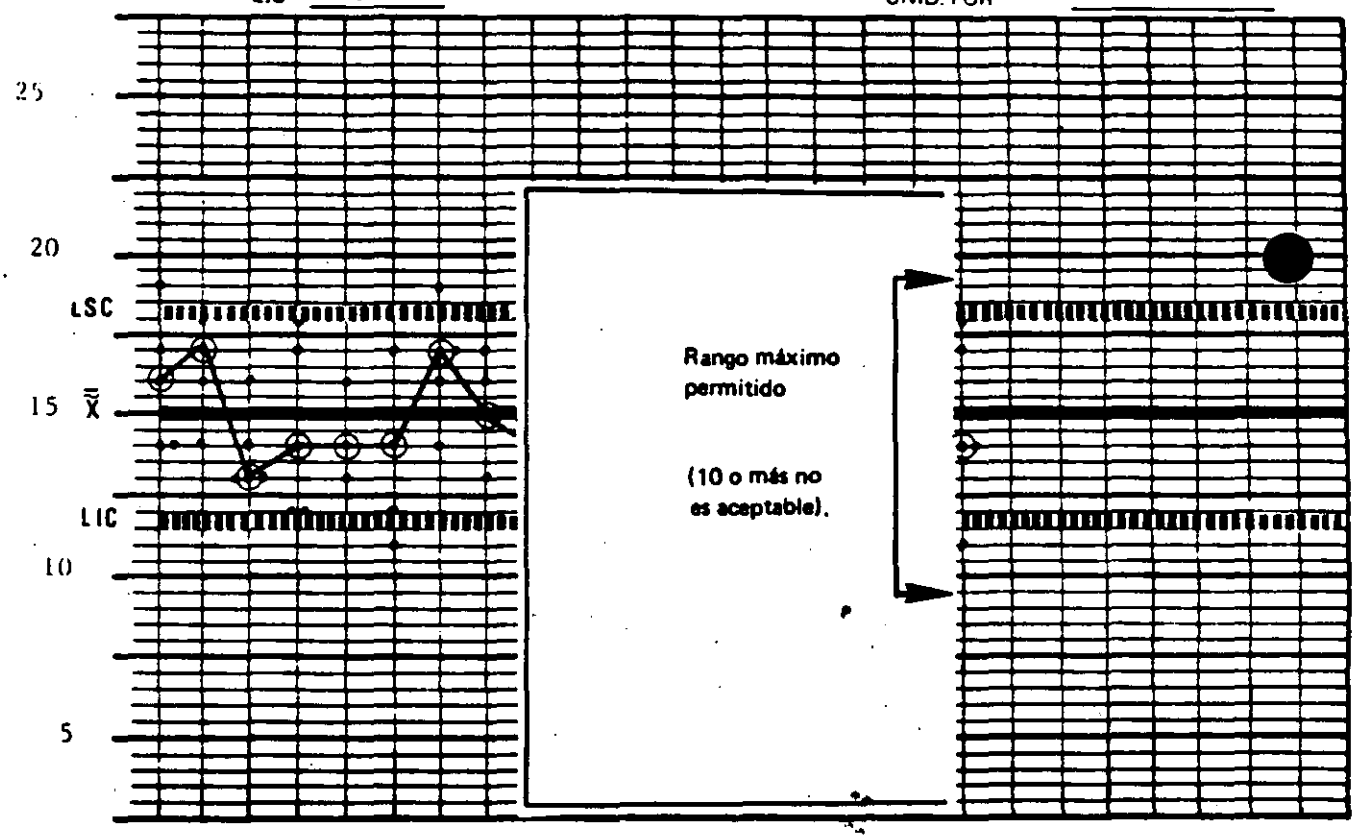
PLANTA/DEPARTAMENTO	NOMBRE Y NUMERO DE OPERACION O EQUIPO	NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE
CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION DE INGENIERIA	ITEM DESIGNADO POR INGENIERIA DEL PRODUCTO NO ☐

$\bar{\bar{x}}$ = 14.9 LSC = 18.1 LIC = 11.6

MEDIANAS

TAMAÑO DE MUESTRA 5

UNID. POR



$\bar{R}$ = 4.7 LSC = 9.9 LIC = _____

FECHA/HORA	2-15																2-16								
1	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	7	8							

* 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 gráfixas $\bar{X}$ y R.

- 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 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 σ 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 espaciamiento 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.

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \qquad LSC_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}$$
$$LIC_R = D_3 \bar{R} \qquad LIC_X = \bar{X} - E_2 \bar{R}$$

GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES
CONTROL DE PROCESO

PLANTA/DEPARTAMENTO	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
ROLADO EN FRIO	LINEA DE PREPARDO No.3 TANQUE	

CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION	ITEM CRITICO
% CONCENTRACION ACIDO	OBJETIVO DE PRODUCCION 9% MIN.	SI [ ] NO [X]

$\bar{\bar{X}}$ = _____ LSC = _____ LIC = _____

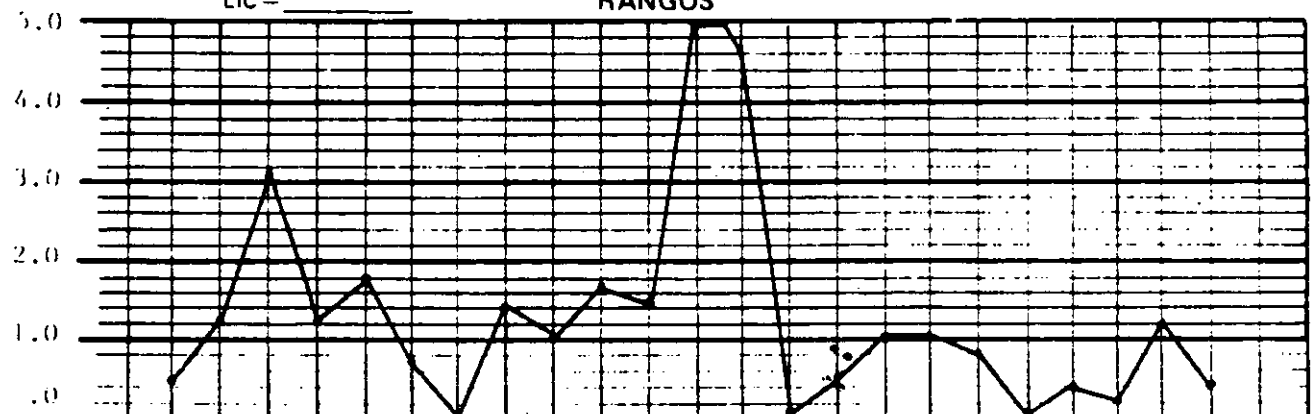
INDIVIDUALES

TAMAÑO DE MUESTRA 1

FRECUENCIA 2 horas

$\bar{R}$ = _____ LSC = _____ LIC = _____

RANGOS



FECHA/HORA	11-2 2				3				11-3 1				2				3				11-4 1				
1	8.8	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	

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	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
ROLADO EN FRIO	LINEA DE PREPARADO # 3 TANQUE	

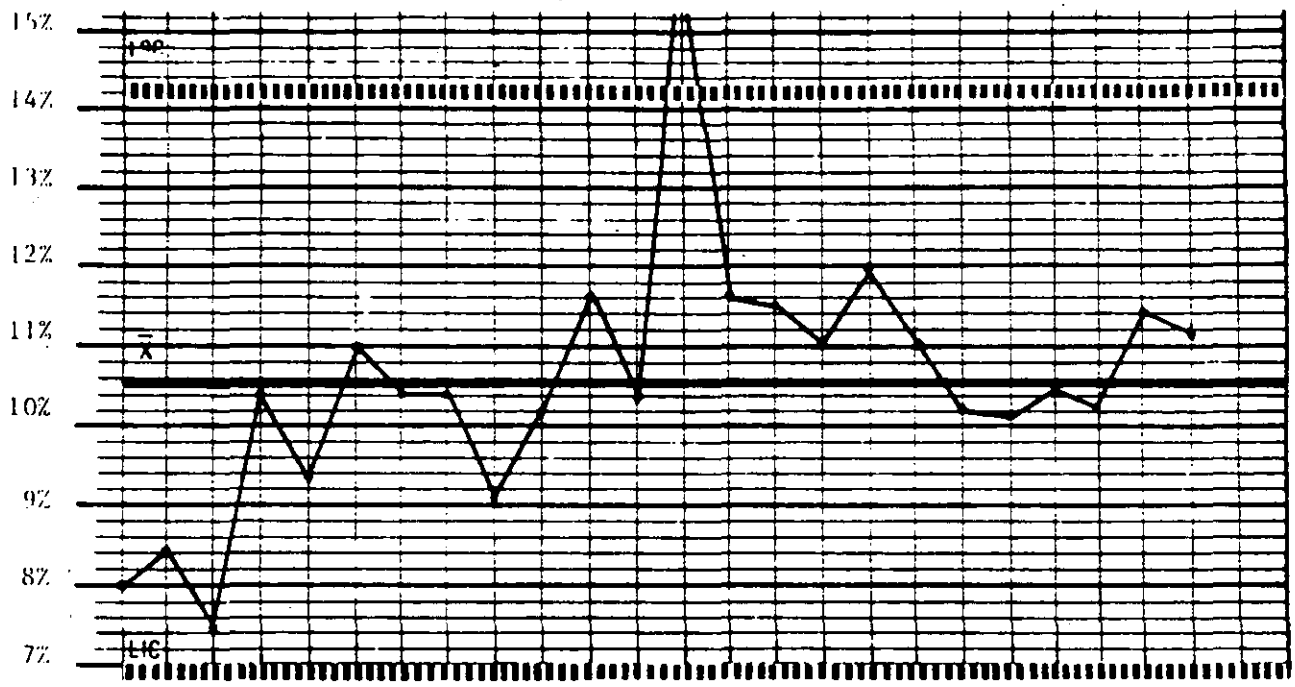
CARACTERISTICA MEDIDA	ESPECIFICACION	ITEM CRITICO
% CONCENTRACION DE ACIDO	OBJETIVO DE PRODUCCION 9% MIN.	SI ☐ NO ☒

$\bar{\bar{x}}$ = 10.57 LSC = 14.21 LIC = 6.93

INDIVIDUALES

TAMAÑO DE MUESTRA I

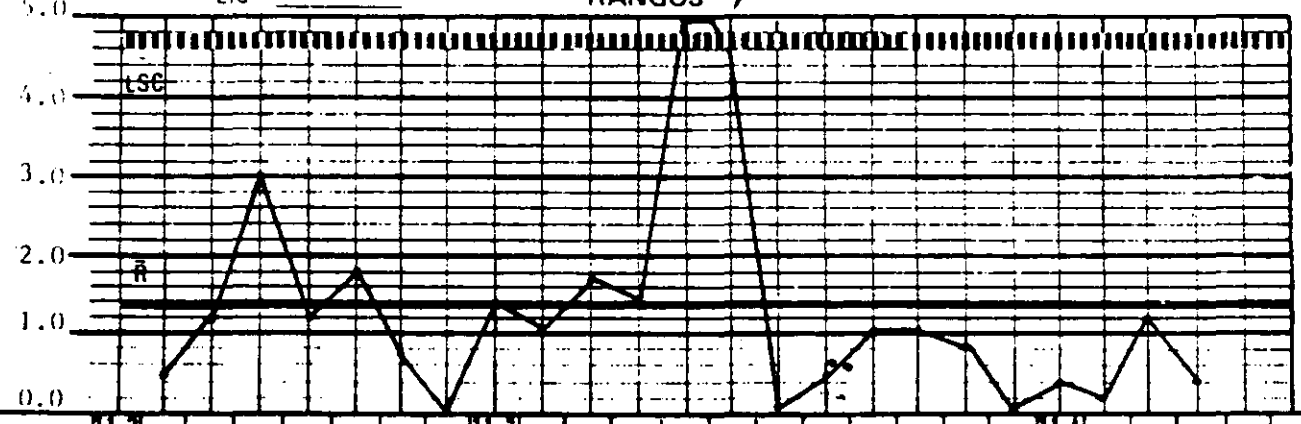
FRECUENCIA CADA 2 HORAS



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: $\bar{R}$ = .84, LSC_R = 2.75, X-10.68, LSC_X = 12.91, LIC_X = 8.45.

$\bar{R}$ 1.37 LSC = 4.48 LIC *

RANGOS



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	1.0	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 inferiodes a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

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 qu exista inspección, listados de reparaciones, material seleccionado o rechazado, etc.

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 inpretar 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:

- 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.

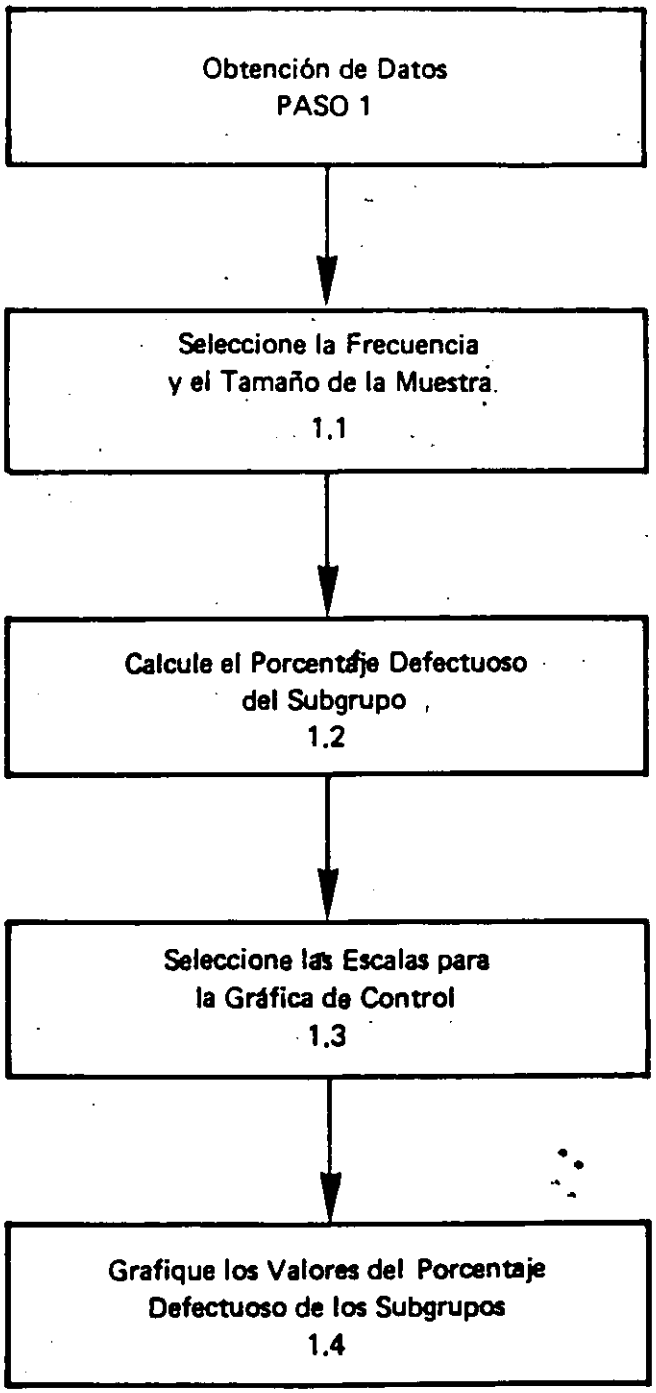
3.4.1. Gráfica p para Porcentaje de Unidades Defectuosas

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.

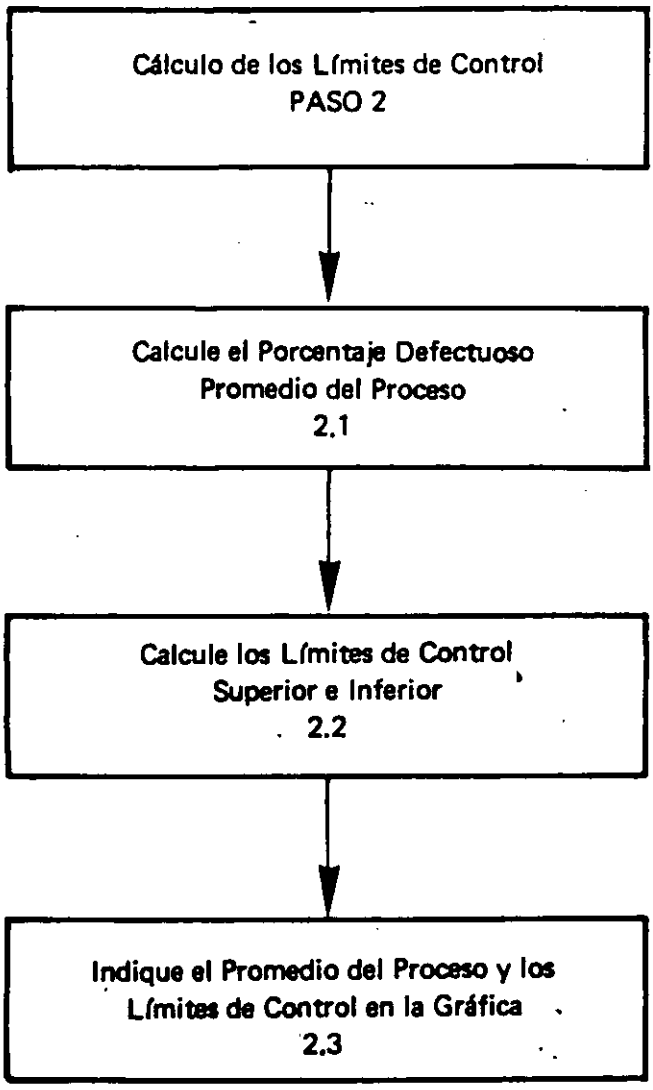
3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Diagrama de Flujo



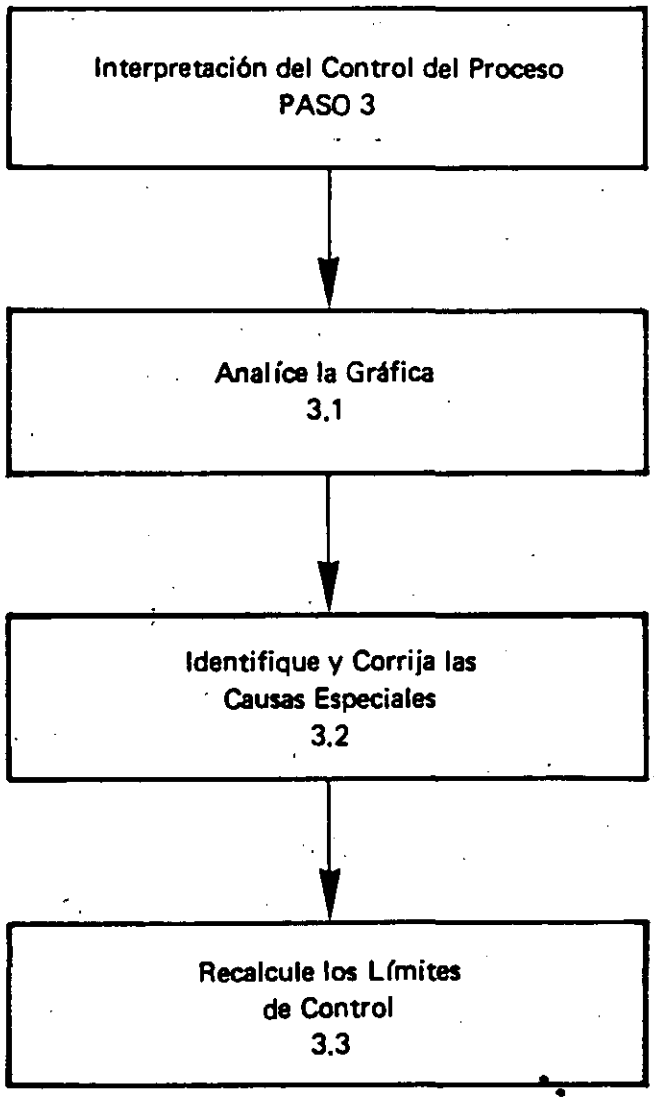
3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Diagrama de Flujo



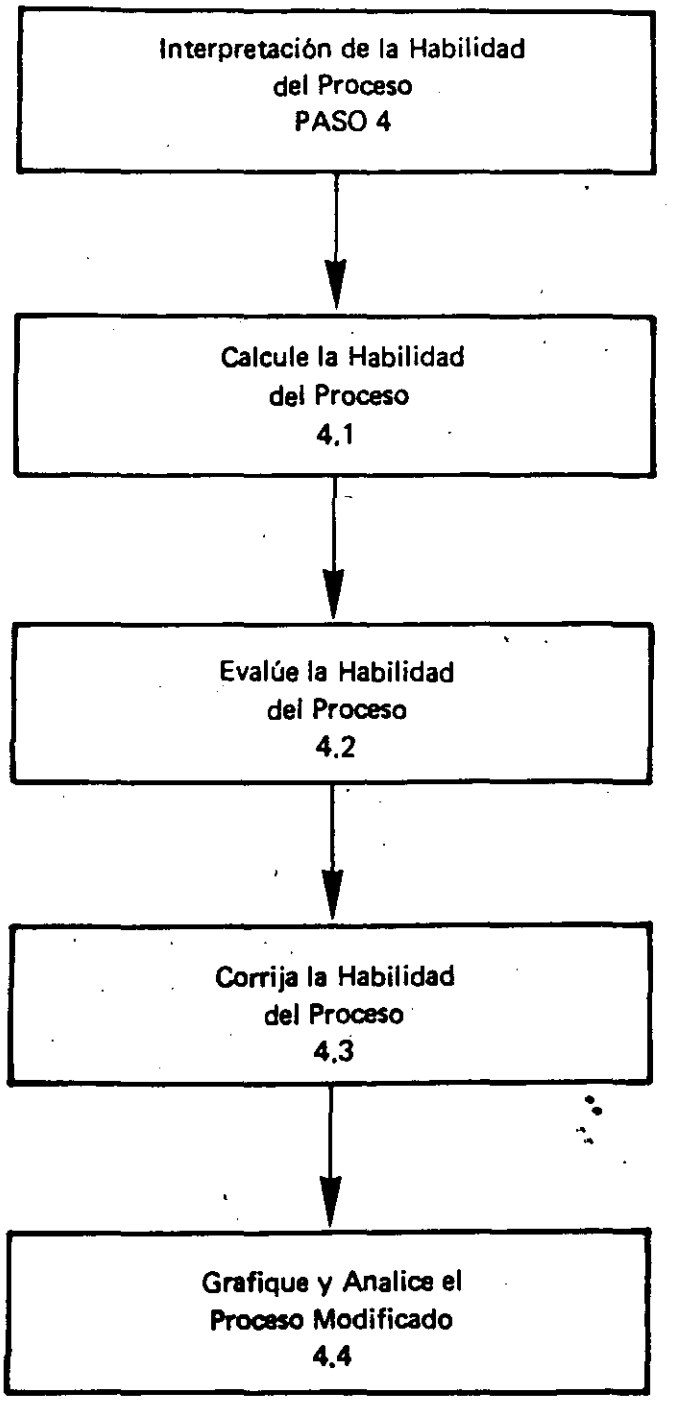
3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

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.

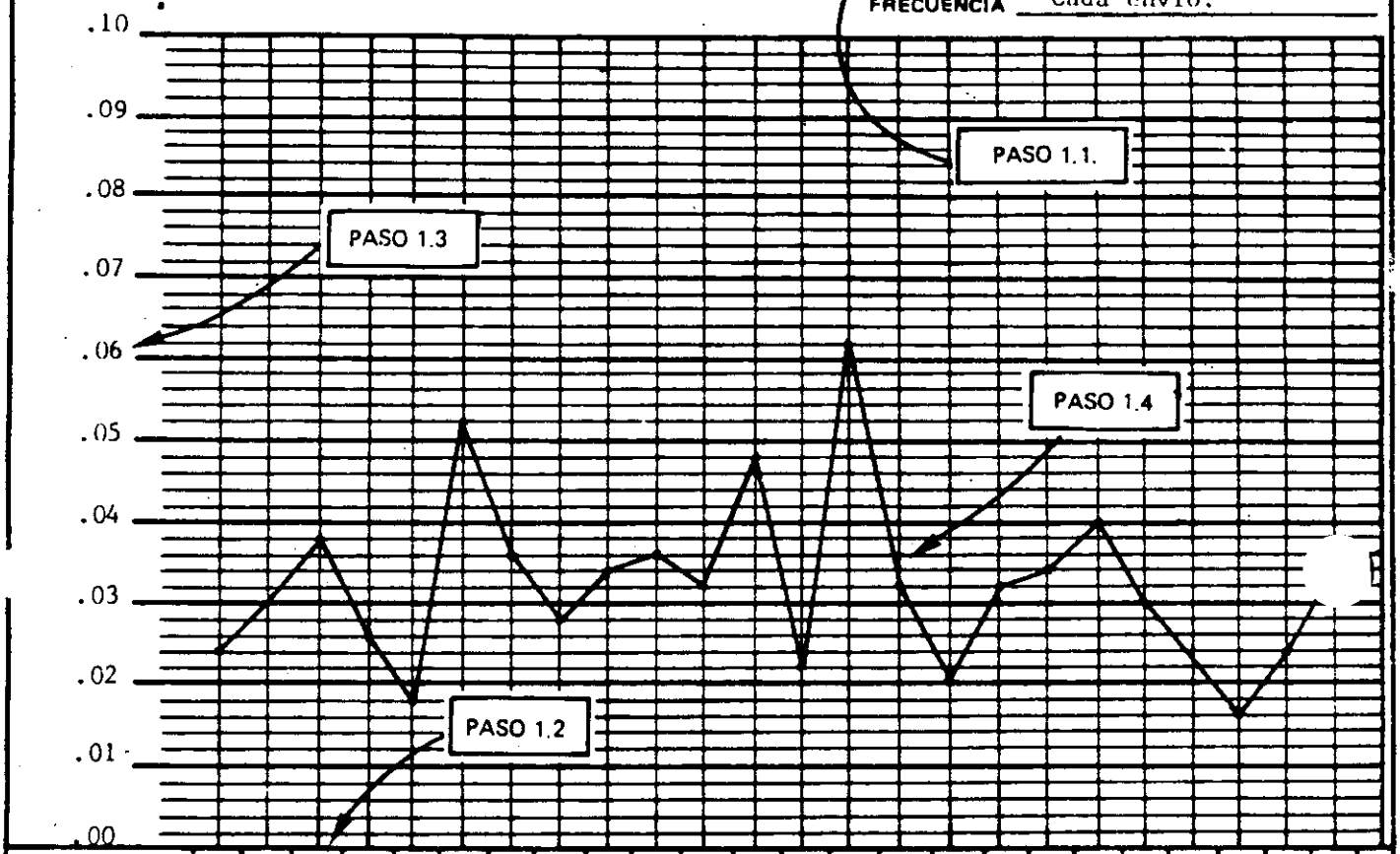
A medida que grafique los puntos, analícelos brevemente para evaluar si son razonables. Si hay algún punto substancialmente más alto o más bajo que los otros, confirme que los cálculos sean correctos.

GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA			No. DE PIEZA Y NOMBRE
VILLA	p ☒ np ☐	c ☐ u ☐	EIBB-12121-A Control Conj.
DEPARTAMENTO	**No. DE OPERACION Y NOMBRE**		**ITEM CRITICO**
65	Ensayo funcional final		SI ☐ NO ☒

PROM = _____ LSC= _____ LIC = _____ TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 500

FRECUENCIA Cada envío.



TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
RECHAZOS	CANTIDAD (np, pl)	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, pl)	.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 6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	26	27	28	29	JUNIO 1	2	3	4	5	8	9	10

OBSERVACIONES

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:

$$\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \ldots + np_k}{n_1 + n_2 + \ldots + n_k}$$

donde np_1, np_2, . . . son los números de partes defectuosas y n_1, n_2, . . . 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:

$$LSC_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}\,(1-\bar{p})}{\sqrt{\bar{n}}}}$$

$$LIC_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}\,(1-\bar{p})}{\sqrt{\bar{n}}}}$$

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

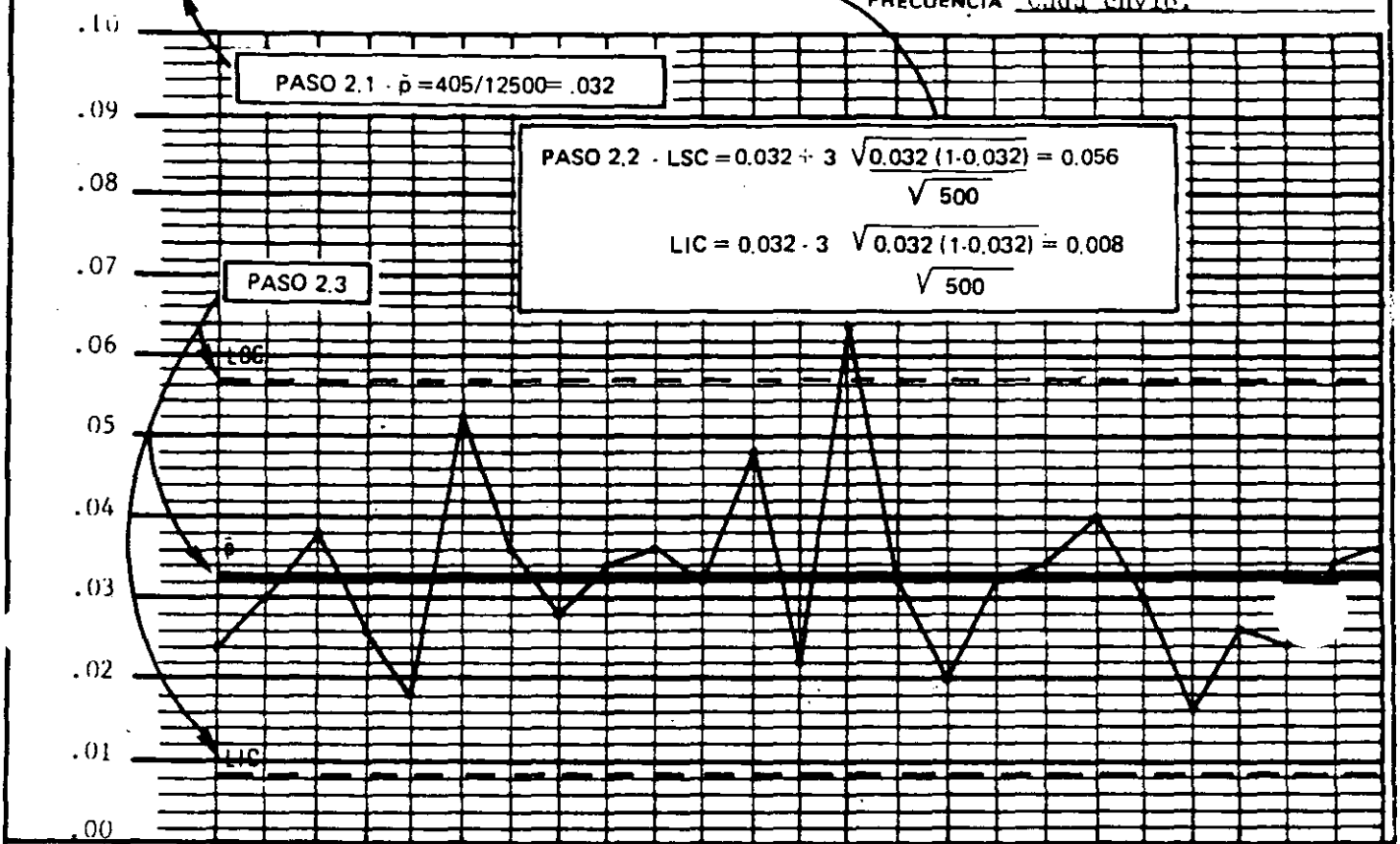
PLANTA	p ☒ c ☐ np ☐ u ☐	No. DE PIEZA Y NOMBRE
ELLA		EJBB-12121-A

DEPARTAMENTO	No. DE OPERACION Y NOMBRE	ITEM CRITICO
65	Ensayo funcional final	SI ☐ NO ☒

PROM = .032 LSC= 0.056 LIC = .008

TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 500

FRECUENCIA Cada envío.



TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
RECHAZOS	CANTIDAD (np.)	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.)	.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 6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	26	27	28	29	JUNIO 1	2	3	4	5	8	9	10

OBSERVACIONES

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, recalcule los límites precisos para ese/esos subgrupos como sigue:

$$LSC_p \text{ o } LIC_p = \bar{p} \pm 3\frac{\sqrt{\bar{p}\,(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$$

  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**

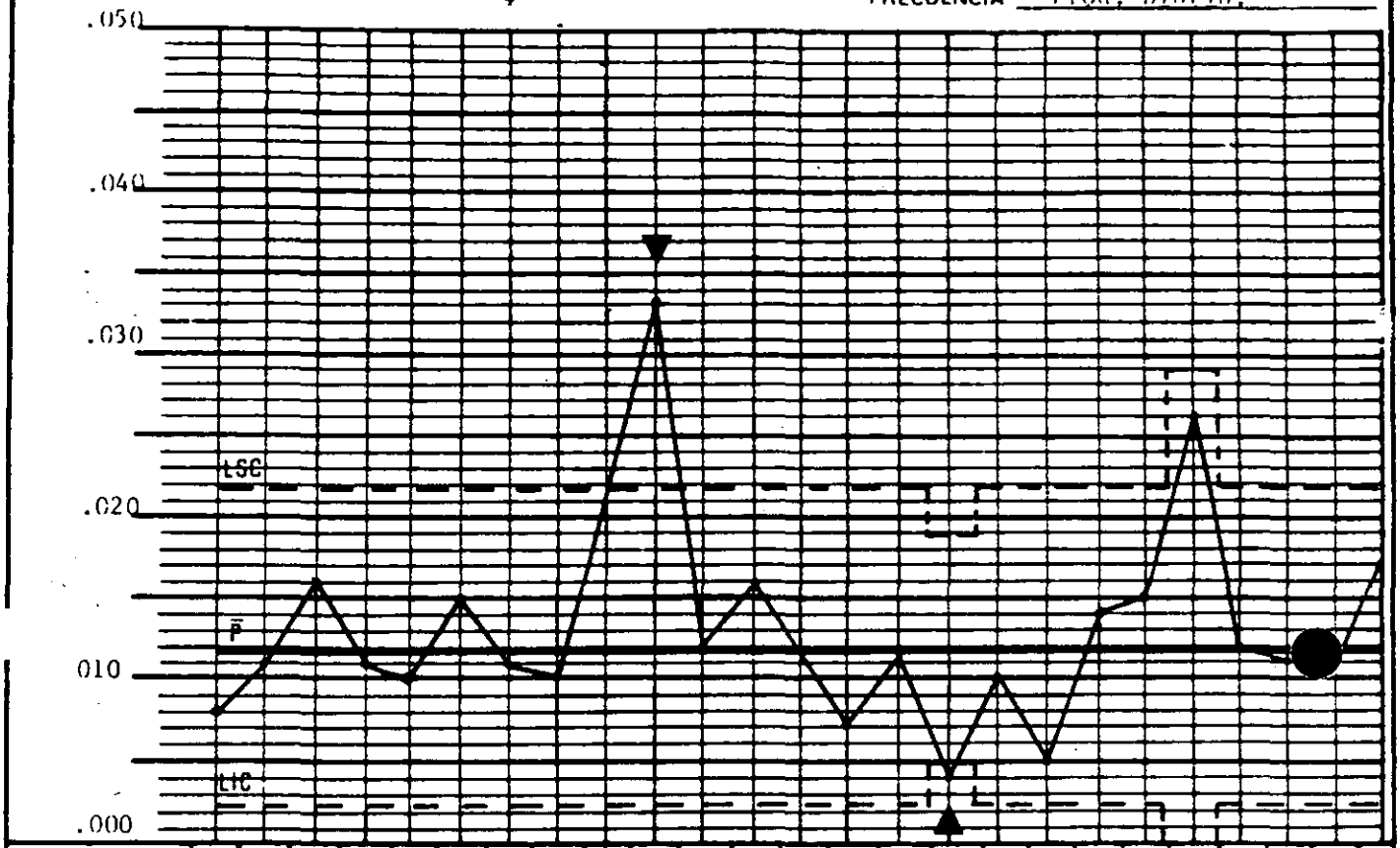
1) **Puntos fuera de los Límites de Control.** La presencia de uno o más puntos fuera de los límites de control es evidencia de falta de estabilidad en ese o esos puntos. Dado que la posibilidad de que existan puntos fuera de los límites de control en procesos estables donde sólo se manifieste la variación debido a causas comunes

GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA		No. DE PIEZA Y NOMBRE
PLASTICOS TRENTON	p ☒ c ☐ np ☐ u ☐	EIBE-10A656-AA Refuerzos
DEPARTAMENTO	**No. DE OPERACION Y NOMBRE**	**ITEM CRITICO**
Moldeo	Rechazos por depresiones	SI NO ☒

PROM = .012 LSC= .0215 LIC= .0025 TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 1194

FRECUENCIA Prod. Diaria.



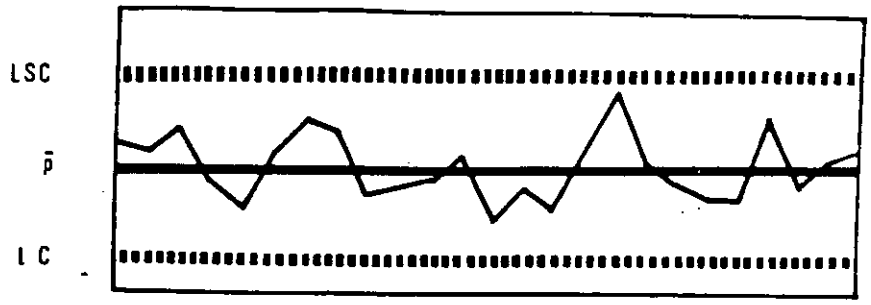
TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)	968	1216	804	1401	1376	995	1202	1028	1184	542	1325	1066	1721	1305	1190	2306	1365	973	1058	1244	342	1433	1225	1225	1187
RECHAZOS CANTIDAD (np, pl)	8	13	13	16	14	15	13	10	24	18	16	17	19	9	14	9	13	5	15	19	10	17	13	15	21
RECHAZOS PORCENTAJE (p, pl)	.008	.011	.016	.011	.010	.015	.011	.010	.020	.033	.012	.016	.011	.007	.012	.004	.010	.005	.014	.015	.026	.012	.011	.011	.018
FECHA	E 20	N 21	E 22	R 25	O 26	27	28	29	F 1	E 2	B 3	R 4	E 5	R 8	O 9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23

OBSERVACIONES $\bar{p} = 356/29858 = .012$ $\bar{n} = 29858 / 25 = 1194$

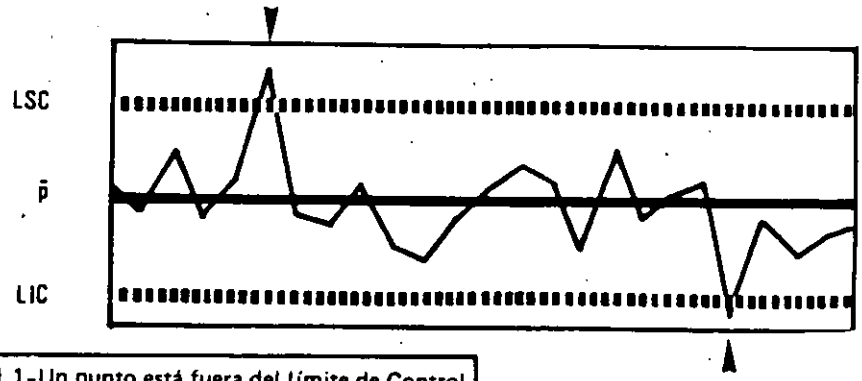
LSC, LIC = $.012 \pm (3 \sqrt{.012 \times .988} / \sqrt{1194} = .0215, .0025$

Estos límites son para el tamaño de muestra 1194± 25% = 895 a 1493/1-22: LSC. LIC= .012 ± .327 $/\sqrt{804}$ = .0235, .0005; 2-2 : .012 ± .327% $/\sqrt{542}$ = .026, - ; 2-5 :.012 ± .327/ $\sqrt{1721}$ = .0199, .0041: 2-10: .012 ± .327 $/\sqrt{2306}$ = .0188 , .0052; 2-17 :.012 ± .327 $/\sqrt{392}$ = .0285, -. Dado que solo los nuevos límites de Feb. 10 y 17 cambian la decisión, s los únicos que se grafican

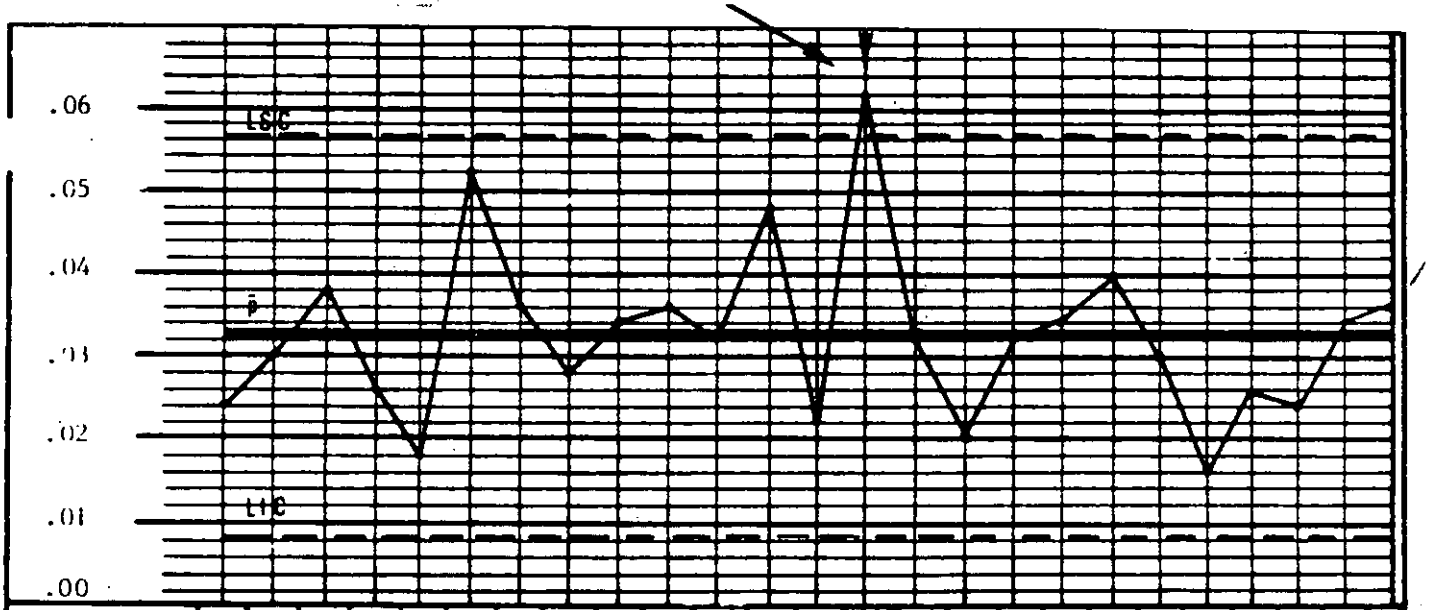
Proceso bajo control.



Proceso fuera de control.
(puntos fuera de los
Límites de Control)



Paso 3.1.1-Un punto está fuera del límite de Control.



TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
RECHAZOS	CANTIDAD (np, pd)	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, pd)	.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	O 11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	26	27	28	29	J 1	U 2	N 3	1 4	O 5	8	9	10

OBSERVACIONES

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.)

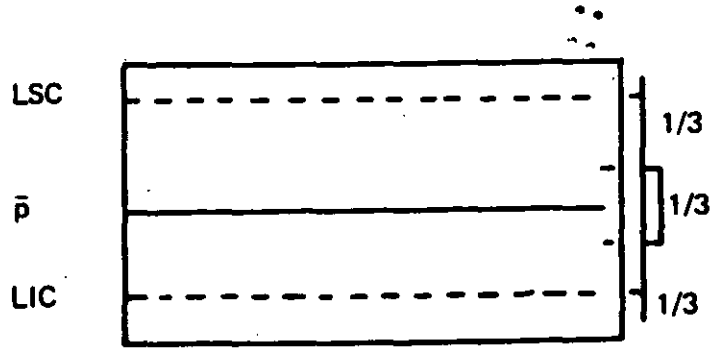
Un punto por debajo del límite de control inferior (menor fracción defectuosa) puede ser una indicación de que:

- 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**

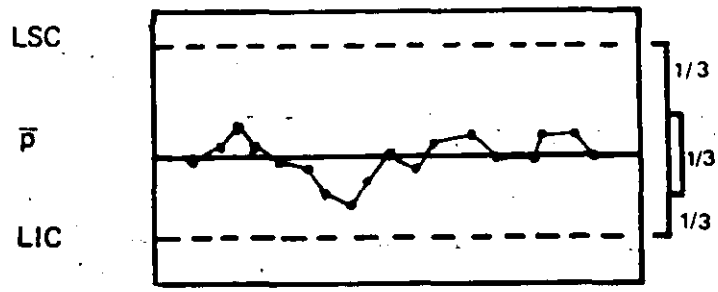
Cuando en las gráficas de control los puntos graficados se agrupan junto a la línea central o junto a las líneas de control, hablamos de adhesión.

- 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.

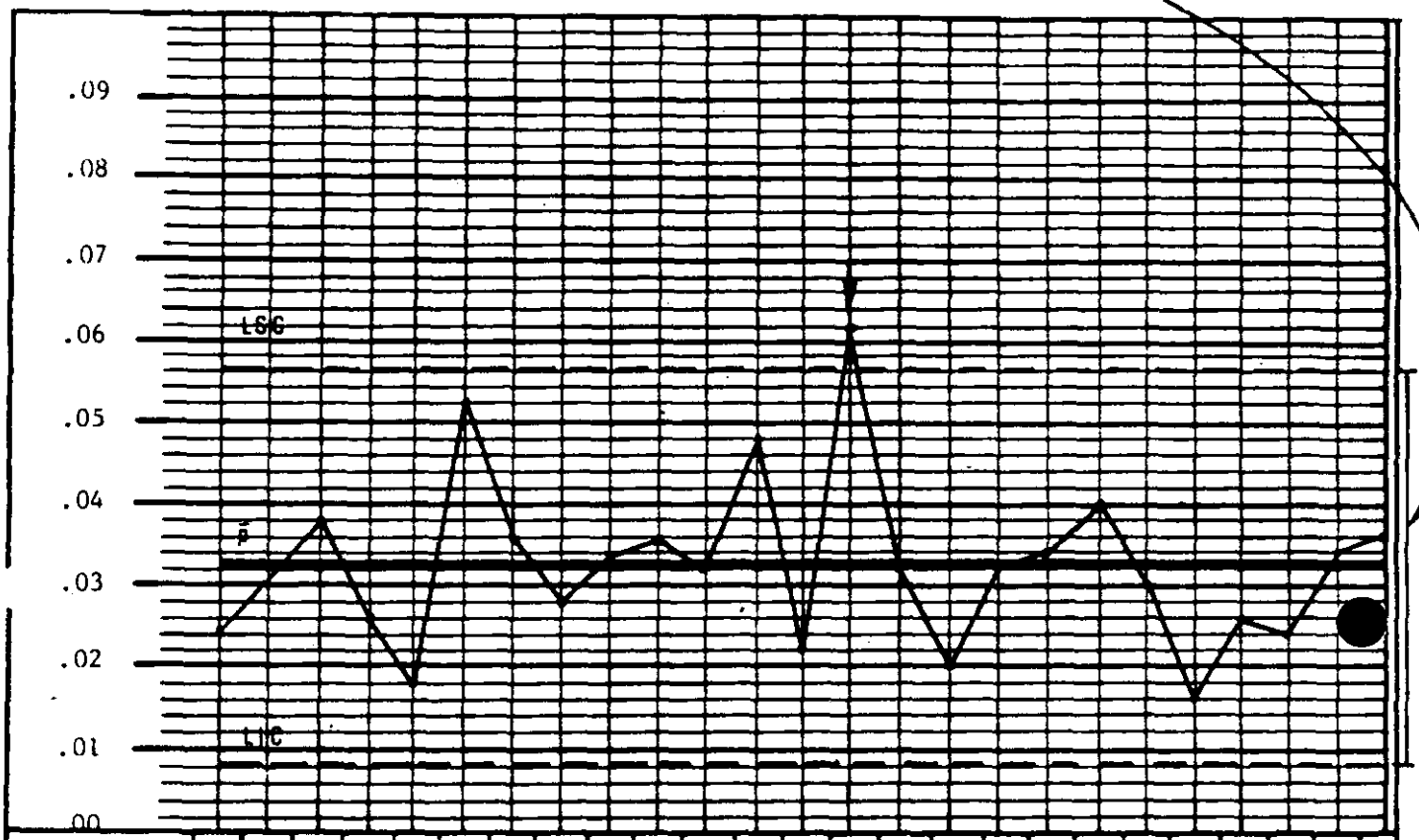


El proceso muestra adhesión a la Línea Central
(puntos demasiado cerca del promedio del proceso).

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.

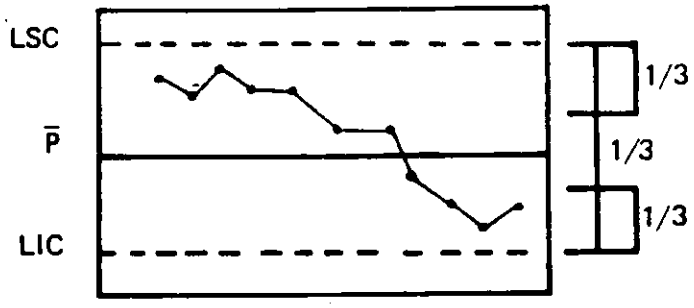
Paso 3.1.2. Alrededor de 2/3 de los puntos están dentro de la mitad del tercio de los Límites de Control. (17 de 25 entre .0245 y .0403), por lo tanto en este caso, no existe adhesión.



TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
RECHAZOS	CANTIDAD (np. pt)	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. pt)	.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 6	A Y 7	O 8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	26	27	28	29	J 1	U 2	N 3	I 4	O 5	8	9	10

OBSERVACIONES

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

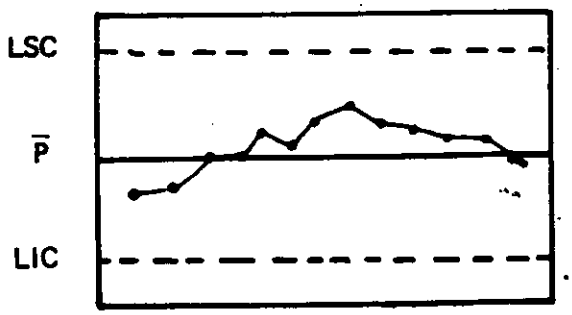
Cuando esta situación se presenta, verifique lo siguiente:

- 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)

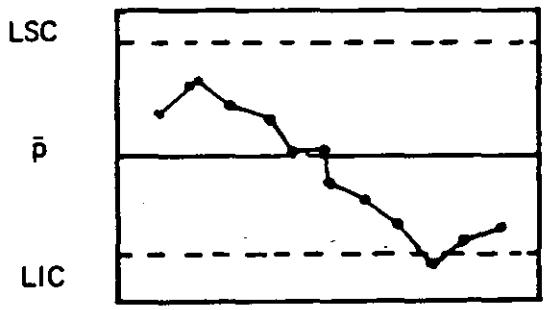
Una serie por encima del promedio del proceso puede significar:

- 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

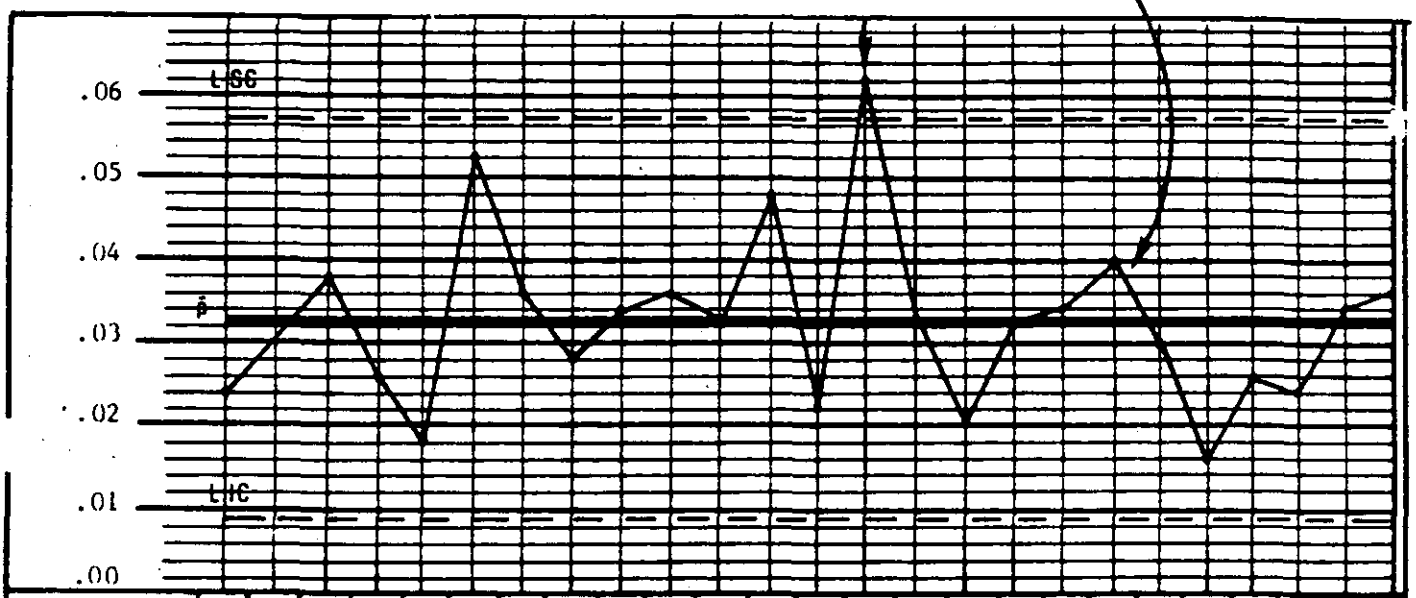
Cuando a través del análisis de los datos identifique una condición de falta de control, debe estudiar el proceso para determinar la causa. La acción correctiva deberá ser tal que evite la repetición del problema.

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; recalcule 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	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
RECHAZOS	CANTIDAD (np, pc)	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, pc)	.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	O 11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	26	27	28	29	J 1	U 2	N 3	I 4	O 5	8	9	10

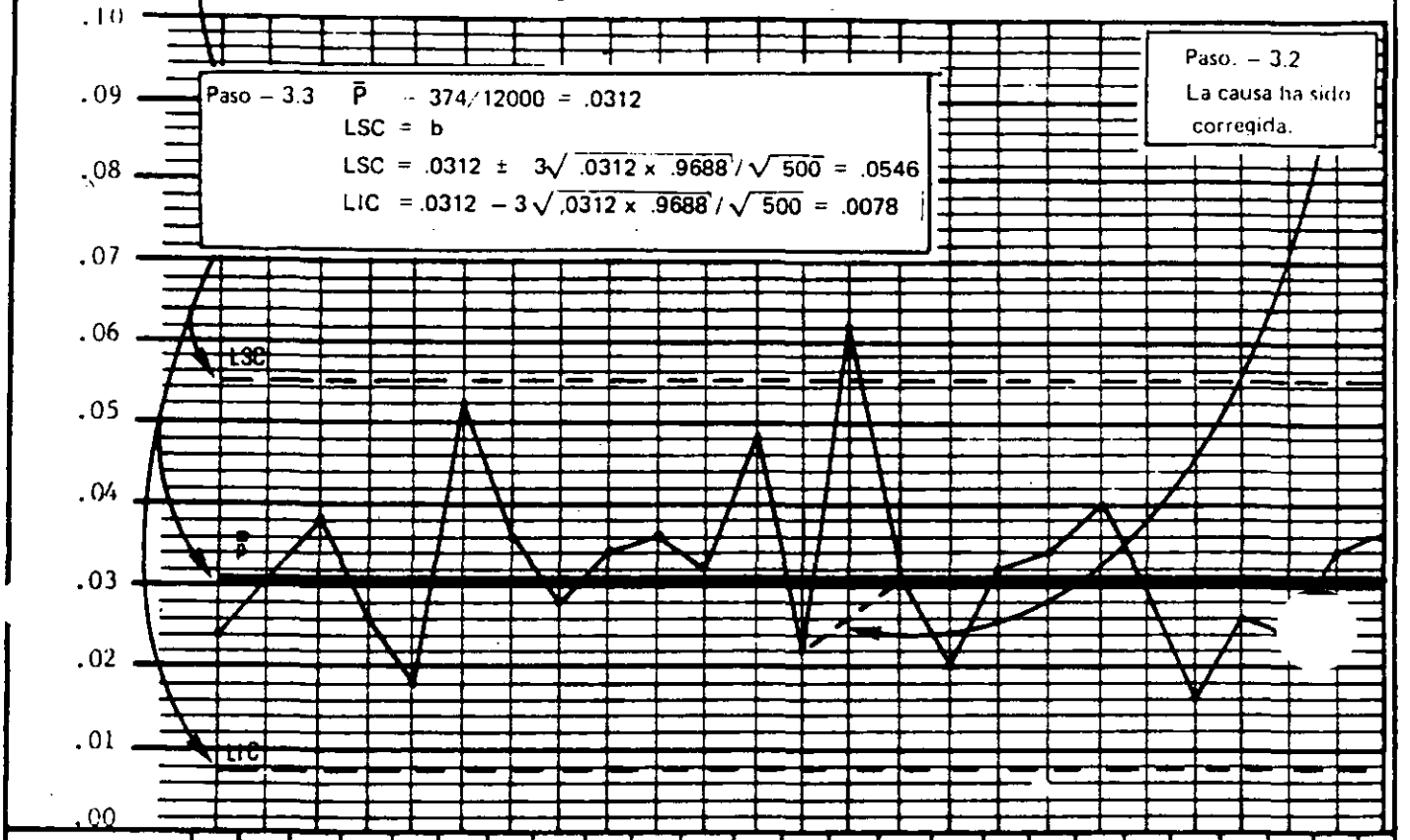
OBSERVACIONES

GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA		No. DE PIEZA Y NOMBRE
COMPAÑIA ELECTRICA	p ☒ c ☐ np ☐ u ☐	E1BB-12121-A Control
DEPARTAMENTO	**No. DE OPERACION Y NOMBRE**	**ITEM CRITICO**
65	Ensayo Funcional final	SI ☐ NO ☒

PROM = .0312 LSC = .0546 LIC = .0078 TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 500

FRECUENCIA Cada envío.



TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
RECHAZOS	CANTIDAD (np, 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, p)	.024	.030	.036	.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	O 11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	26	27	J 28	U 29	N 1	I 2	O 3	4	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.

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.

3.4.2. Gráfica np para Cantidad de Unidades Defectuosas

La gráfica np mide la cantidad de unidades defectuosas en una muestra inspeccionada. La gráfica np es parecida a la p con la única diferencia de que se registra la cantidad de unidades defectuosas en lugar de su porcentaje en la muestra. La gráfica p y np son adecuadas para las mismas situaciones. Las instrucciones para elaborar la gráfica np son casi iguales a las de la gráfica p, con las siguientes excepciones:

PASO 1 – Obtención de Datos

- Los tamaños de muestras inspeccionadas deben ser iguales y además lo suficientemente grandes para permitir la aparición de varios defectos en cada uno de ellas. En la práctica los tamaños de la muestra suelen ser mayores de 50.

- Registre y grafique el número de unidades defectuosas de cada subgrupo (np).

PASO 2 – Cálculo de los Límites de Control

- Calcule el promedio de unidades defectuosas del Proceso ($\overline{np}$).

$$\overline{np} = \frac{np_1 + np_2 + \ldots + np_k}{k}$$

donde np_1, np_2, . . . representan la cantidad de unidades defectuosas en cada uno de los K subgrupos.

- Calcule los Límites de Control Superior e Inferior (LSC, LIC).

$$LSC_{np} = \overline{np} + 3\sqrt{\frac{\overline{np}\ (1 - \overline{np})}{n}}$$

$$LIC_{np} = \overline{np} - 3\sqrt{\frac{\overline{np}\ (1 - \overline{np})}{n}}$$

donde n es el tamaño de la muestra.

PASO 3 – Interpretación del Control del Proceso

La interpretación del Control del Proceso en una gráfica np es igual a la descrita en la gráfica p.

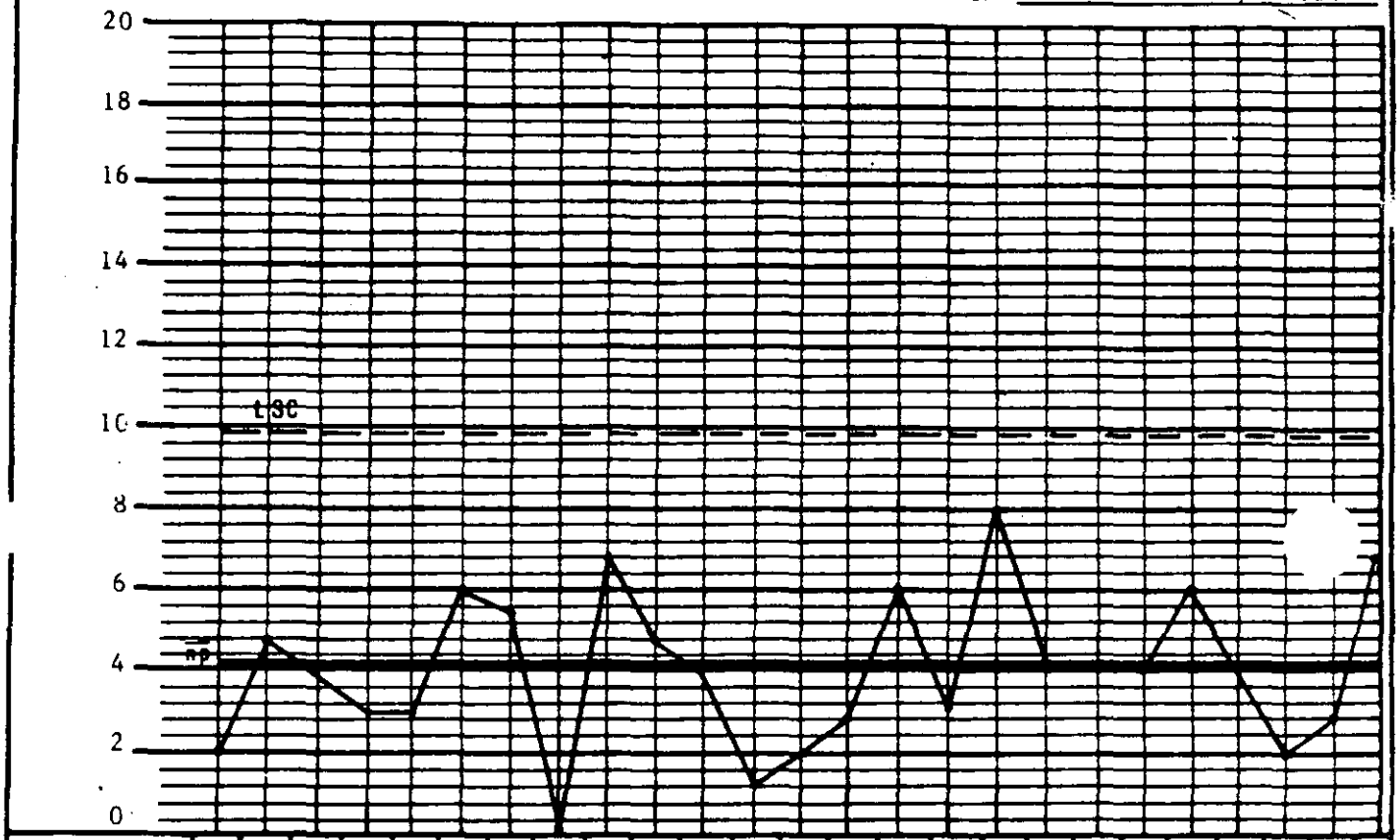
GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA FABRICANTES METALICOS	p ☐ c ☐ np ☒ u ☐	**No. DE PIEZA Y NOMBRE** E2EB-12868-AA Carcaza-Conjunto.
DEPARTAMENTO SOLDADURA	**No. DE OPERACION Y NOMBRE** SOLDADURA DE PUNTO-BAJOMEDIDA	**ITEM CRITICO** SI ☐ NO ☒

PROM = 4.04 LSC= 9.87 LIC = -

TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO 62 Sold.

FRECUENCIA 1 Carcaza c1/2 Hrs.



TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)	62	→																							
RECHAZOS CANTIDAD (np, ~~c~~)	2	5	4	3	3	6	5	0	7	5	4	1	2	3	6	3	8	4	4	4	6	4	2	3	7
RECHAZOS PORCENTAJE (p, ~~u~~)															**										
FECHA	3-1	1 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	3-2 19	20	21	22	23	24	25

OBSERVACIONES

$\bar{np}$- 101/25 = 4.04

LSC, LIC = $4.04 \pm 3\sqrt{4.04(1 - 4.04 / 62)}$ = 9.87 , -

Promedio de piezas O.K. = 62 - 4.04 = 57.96

PASO 4 — Interpretación de la Habilidad del Proceso

La habilidad del proceso es $\overline{np}$, 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: $\frac{n - \overline{np}}{n} \times 100$.

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 ($\bar{c}$):

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \ldots + c_k}{k}$$

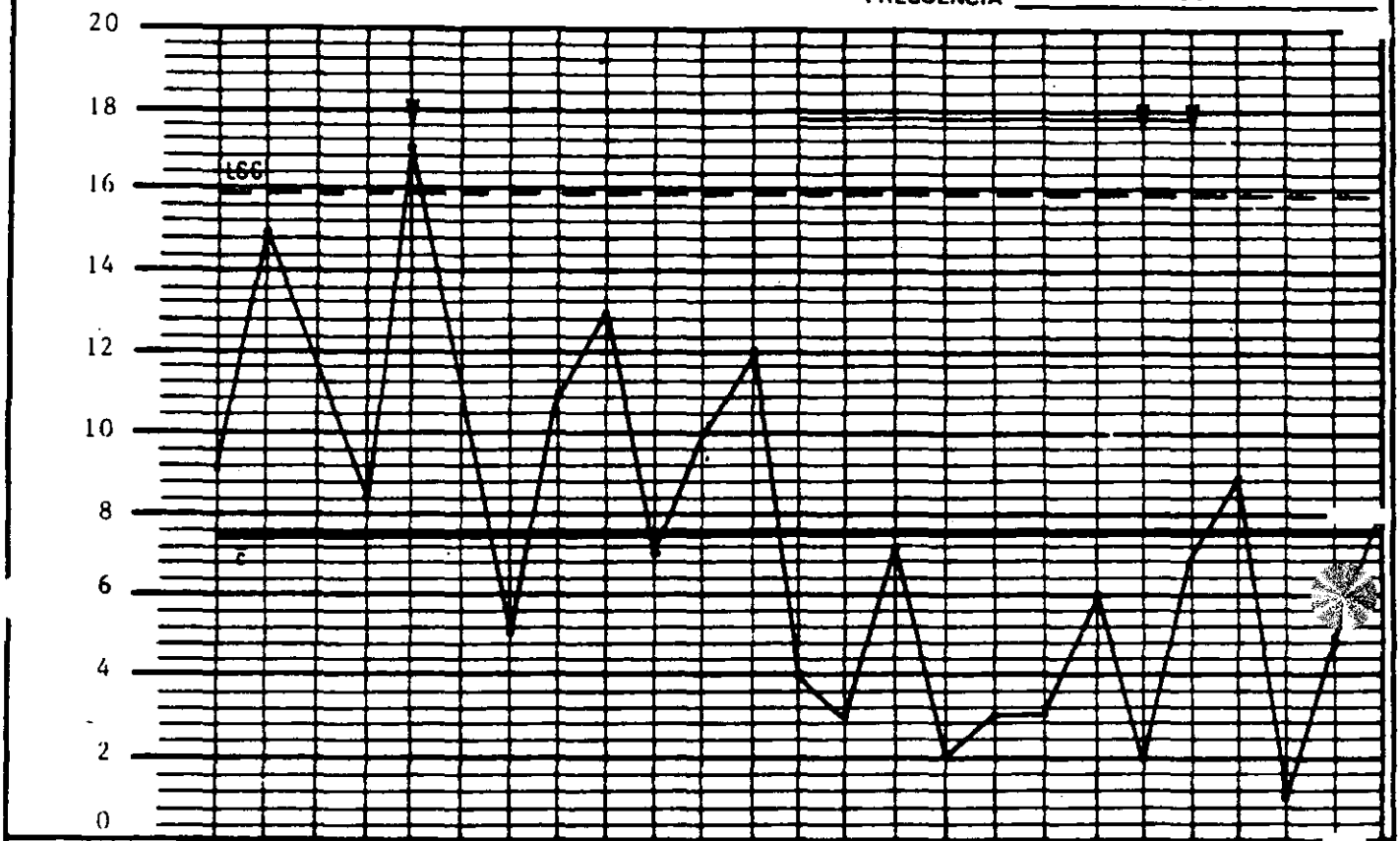
GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA: CORTE Y COSTURA	p ☐ np ☐ c ☒ u ☐		No. DE PIEZA Y NOMBRE: Tela cubierta asiento
DEPARTAMENTO: Cortado	No. DE OPERACION Y NOMBRE: Inspección visual- Defectos por Rollo.		ITEM CRITICO: SI ☐ NO ☒

PROM = 7.56 LSC = 15.81 - LIC = -

TAMAÑO DE MUESTRA PROMEDIO: Rollo

FRECUENCIA: Cada Rollo.



TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)	I →																								
RECHAZOS: CANTIDAD (np, c)	9	15	11	8	17	11	5	11	13	7	10	12	4	3	7	2	3	3	6	2	7	9	1	5	8
RECHAZOS: PORCENTAJE (p, u)																									
FECHA	11-9 1	2	3	4	5	11-10 1	2	3	11-16 1	2	3	4	5	11-17* 1	2	3	4	11-18 1	2	3	4	5	11-19 1	2	3

OBSERVACIONES

Paso 2.- Cálculo de los límites de Control $\bar{c} = 189 / 25 = 7.56$

LSC , LIC $= 7.56 + 3\sqrt{7.56} = 15.81$, -

Tendencia hacia abajo o cambio durante el día 16 Nov.; ¿ingreso de nuevo(s) lote(s) de material por rollos?; nuevo inspector o procedimiento de inspección?.

donde $c_1, c_2, \ldots$ 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):

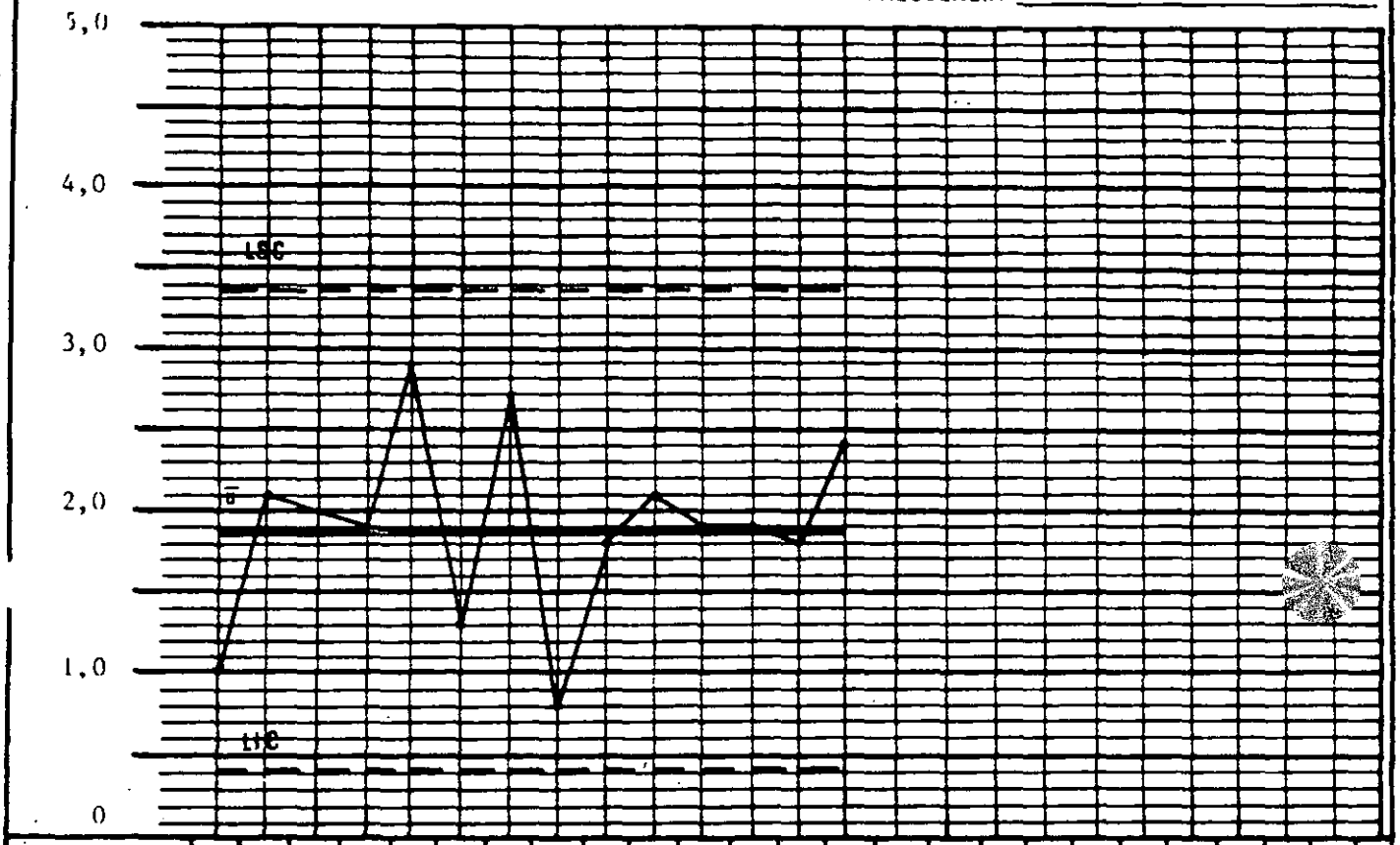
$$u = \frac{c}{n}$$

GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA: PRODUCTOS METALICOS, SA	p ☐ np ☐ c ☐ u ☒		No. DE PIEZA Y NOMBRE: EOTA-8A452-AA Abrazadera soporte
DEPARTAMENTO: CALIDAD CERTIFICADA	No. DE OPERACION Y NOMBRE: Auditoria de envío. (Todos los defectos)		ITEM CRITICO: SI ☐ NO ☒

$\bar{U}$ PROM = 1,89 LSC = 3,35 LIC = 0,43 TAMAÑO 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
RECHAZOS	CANTIDAD (np, c)	8	17	18	15	23	9	19	6	14	17	13	15	16	22
	PORCENTAJE (p, u)	1.0	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	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26

OBSERVACIONES

$\bar{U}$=212 / 112 = 1,89

LSC, LIC = $1,89 \pm 3\sqrt{1,89}/\sqrt{8}$=LSC 3.35, LIC = 0.43

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 ($\bar{u}$).

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \ldots + c_k}{n_1 + n_2 + \ldots + n_k}$$

donde $c_1, c_2, \ldots$ y $n_1, n_2, \ldots$ 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)

$$LSC_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \qquad LIC_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

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

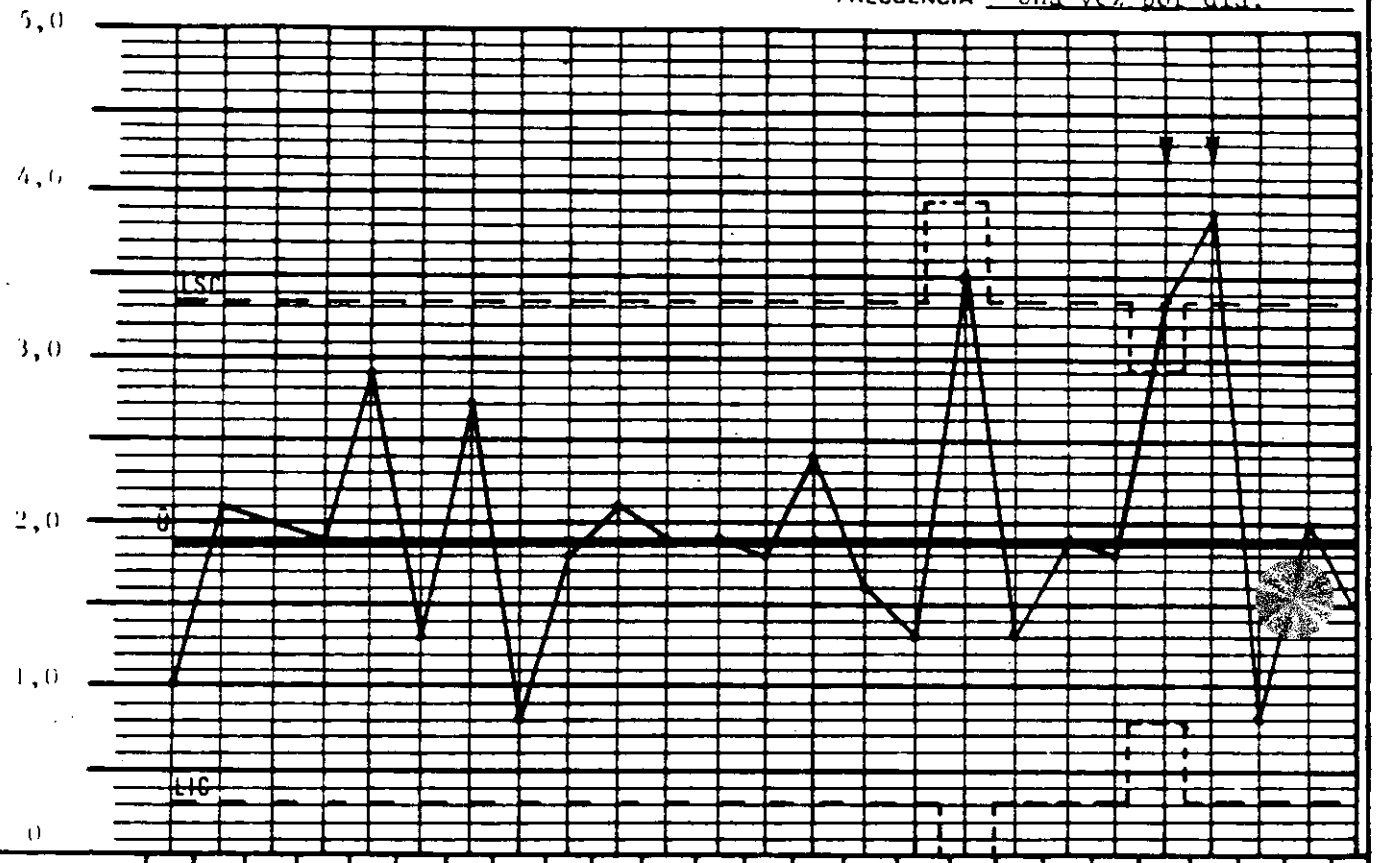
La habilidad del Proceso es $\bar{u}$, el número promedio de defectos por unidad.

GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

F TA . RODUCTOS METALICOS, S. A.	p ☐ c ☐ np ☐ u ☒	No. DE PIEZA Y NOMBRE EOTA-SA452-AA Abrazadera soporte
DEPARTAMENTO Calidad Certificada	No. DE OPERACION Y NOMBRE Auditoría de envío - (todos los defectos)	ITEM CRITICO SI ☐ NO ☒

PROM = 1.89 LSC= 3,35 - LIC = 0,43 TAMAÑO 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 (np, 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
RECHAZOS 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 9	E 10	B 11	R 11	E 15	R 16	O 17	18	19	22	23	24	25	26	M 1	A 2	R 3	Z 4	O 5	8	9	10	11	12	15

OBSERVACIONES Valores desde Feb. 9 hasta Feb. 26 usados para control continuo. A partir de Marzo I 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 LSC - LIC = $1.89 \pm 3\sqrt{1.89} / \sqrt{4}$ = LSC= 3.95, LIC=0

N=16 LSC - LIC = $1.89 \pm \sqrt{1.89} / \sqrt{16}$ = LSC=2.92 , LIC=0.86

4. HERRAMIENTAS BASICAS PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS

4.1. Diagrama de Pareto

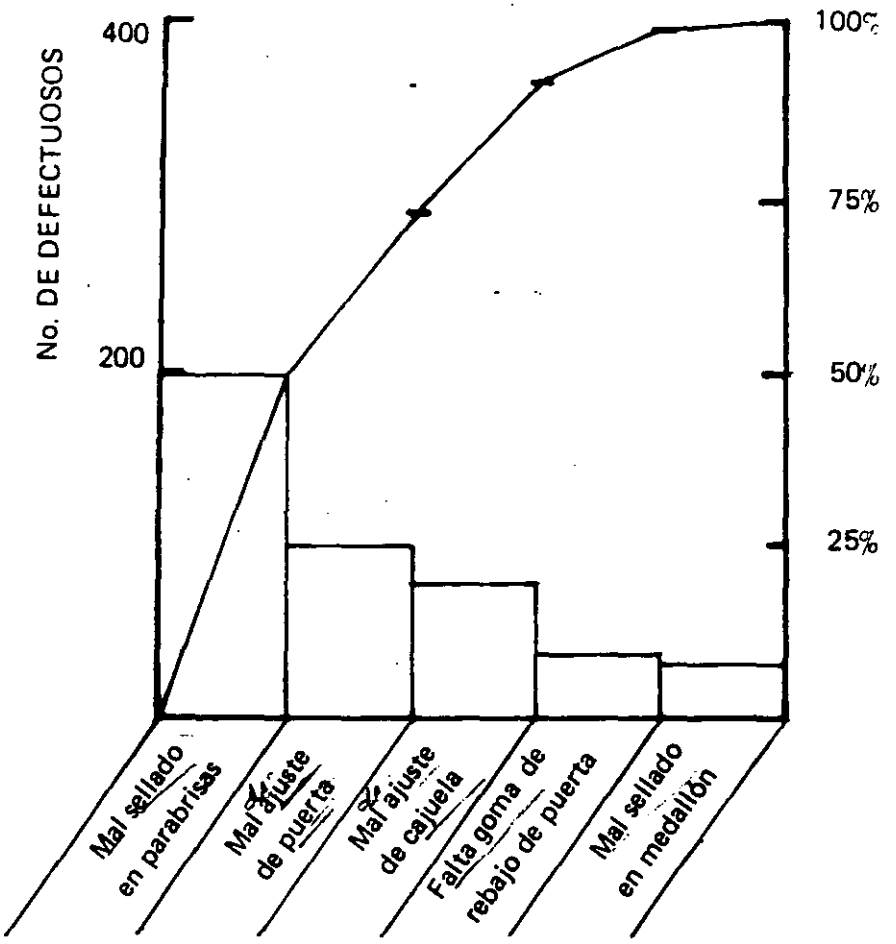
No todos los problemas a los que nos enfrentamos tienen la misma importancia. Algunos son más importantes que otros, la prueba la tenemos cuando decimos que no es posible resolver todos nuestros problemas al mismo tiempo; debemos asignar prioridades y resolver primero los más importantes.

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

Tipos de Defectos	Número de Casos (n)	Porcentaje Defectuoso $(\frac{n}{N} \times 100)$	Porcentaje Relativo de Defectuosos $(\frac{n}{d} \times 100)$
Mal sellado ~~en parabrisas.~~	198	9.1%	47.6 %
Falta de goma ~~en~~ rebajo de puerta	25	1.2%	6.0 %
Mal ajuste de puerta	103	4.8%	24.7 %
Mal sellado ~~en medallón~~	18	0.8%	4.3 %
Mal ajuste de cajuela	72	3.3%	17.3 %
Total	d=416	19.2%	100.0%



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.

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 %
TOTAL	d=115	23.0%	99.90%	

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.

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.

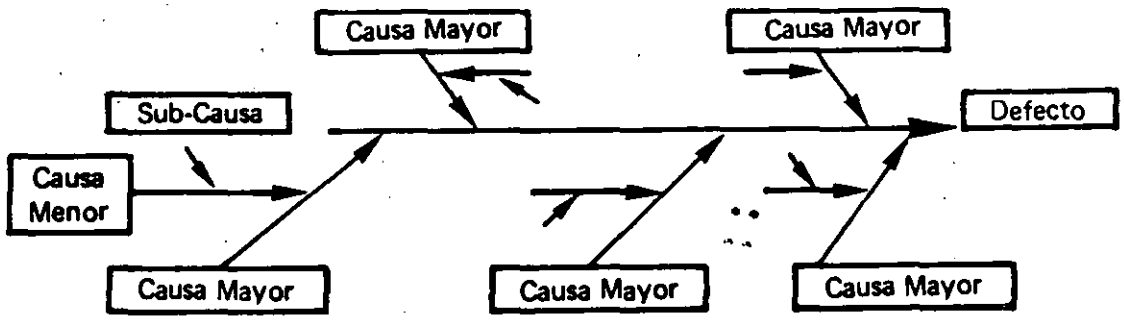
PASO 10 —Ponga títulos a la gráfica y anote en forma breve el origen de los datos en que se basó para hacerla.

4.1.2. Interpretación de un Diagrama de Pareto

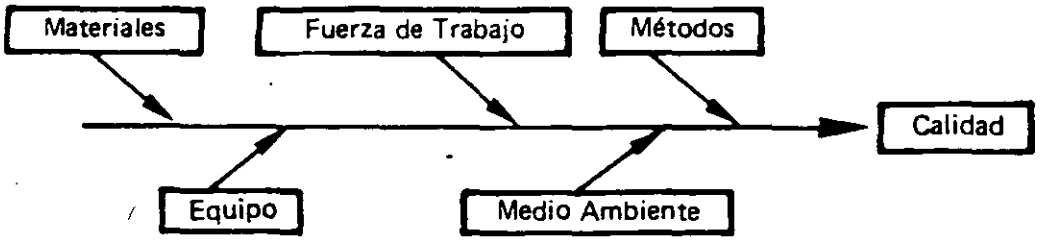
El objeto de analizar un diagrama de Pareto es identificar cuáles son los principales problemas que afectan nuestro proceso y en qué medida, y en función de esto, establecer un orden de importancia. Esto nos permitirá tener un mejor aprovechamiento de nuestros recursos al solucionar los problemas más 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:



4.2.1. 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.

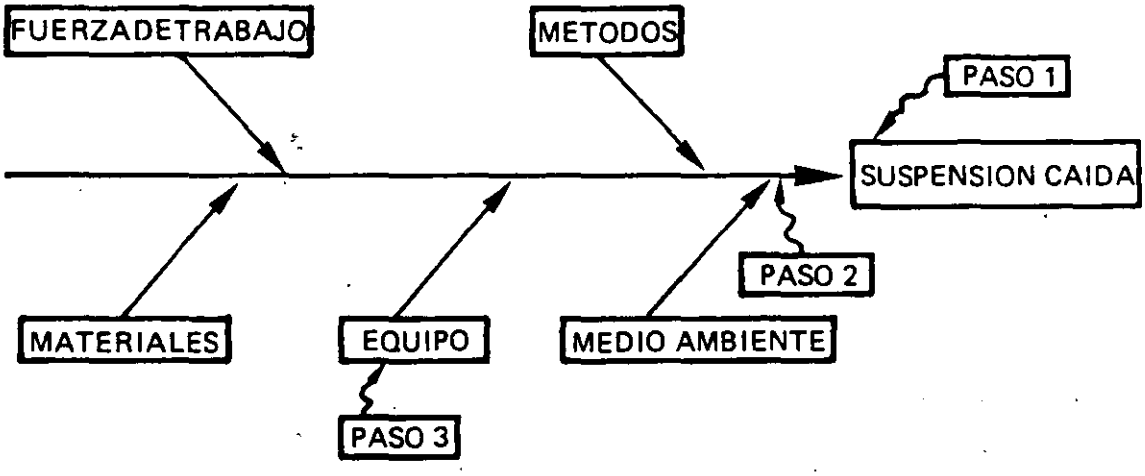
4.2.1.3. Un Diagrama Causa-Efecto Muestra el Nivel Tecnológico

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.

4.2.1.4. 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 innumerables. 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.

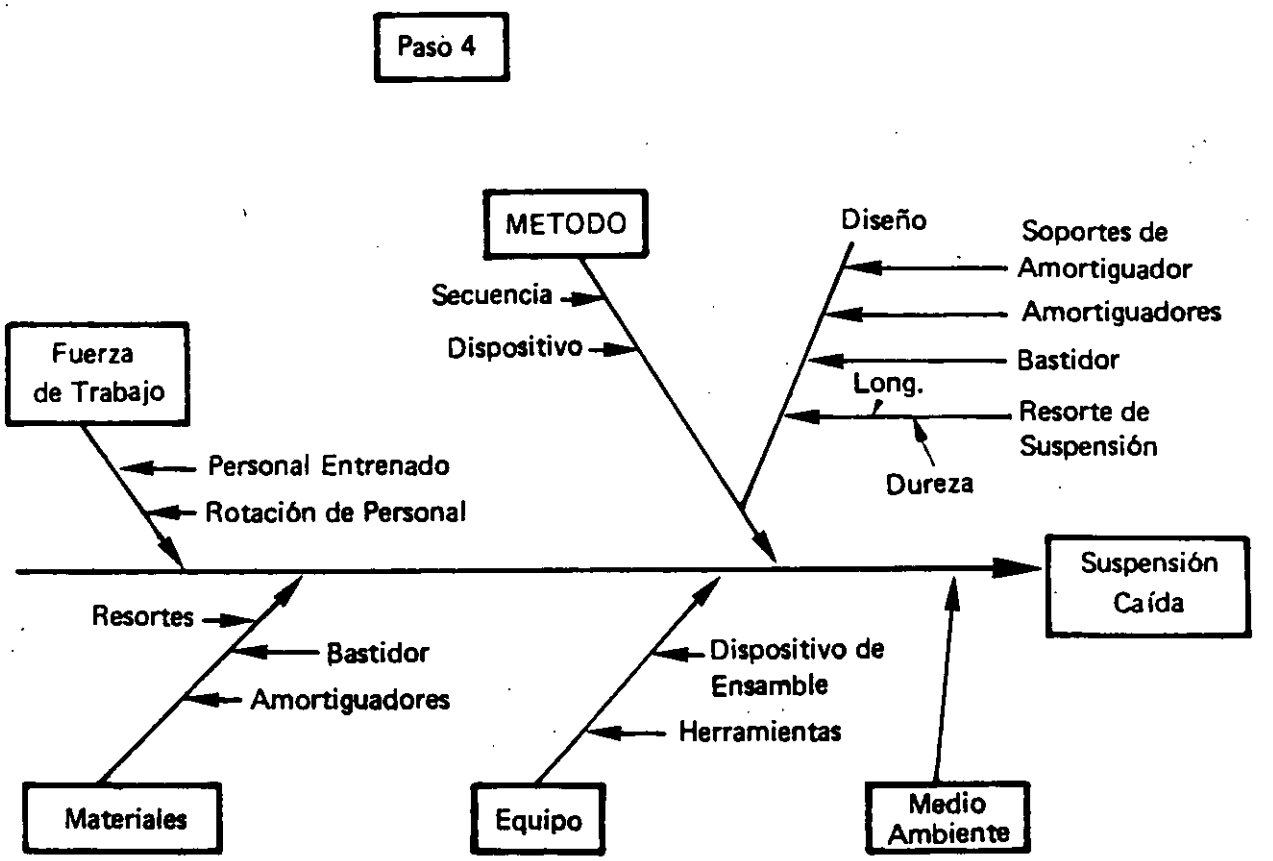
PASO 1 — Decida la característica de calidad que desee mejorar y controlar.

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).

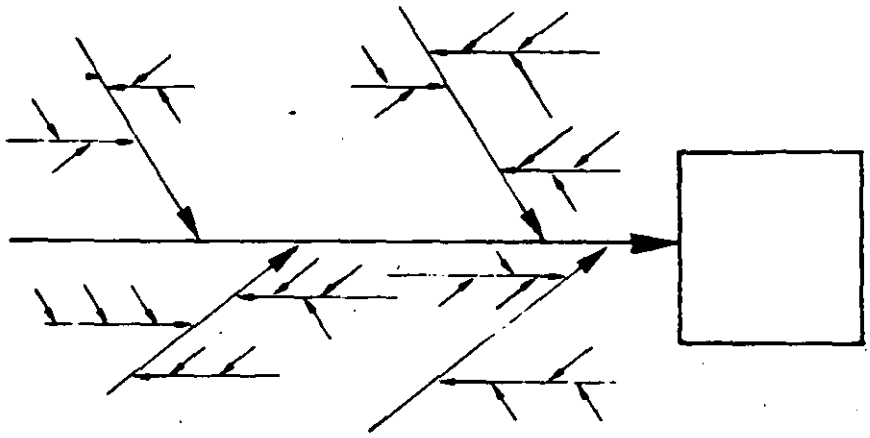
PASO 4 — Sobre cada uno de los factores-rama, anote los factores detallados que pudieran considerarse como causas. Estos se verán como varitas. Y dentro de cada una de estas últimas, anote factores aún más detallados, haciendo las varas más pequeñas.

PASO 5 — Para finalizar debe verificar que todos los motivos que puedan causar la dispersión estén incluídos 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.



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:



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 ésa 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 ésa 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. APENDICE

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

	GRAFICAS DE MEDIANAS				GRAFICAS DE LECTURAS INDIVIDUALES			
	Gráficas de Medianas ($\tilde{X}$)	Gráficas de Rangos (R)			Gráfica de Lecturas Individuales (X)	Gráfica de Rangos (R)		
Observaciones en la Muestra de Tamaño n	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	
	$\tilde{A}_2$	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

$$LSC_{\tilde{X}}, LIC_{\tilde{X}} = \bar{\bar{X}} \pm \tilde{A}_2\bar{R}$$

$$LSC_R = D_4\bar{R}$$

$$LIC_R = D_3\bar{R}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

$$LSC_X, LIC_X = \bar{X} \pm E_2\bar{R}$$

$$LSC_R = D_4\bar{R}$$

$$LIC_R = D_3\bar{R}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

5. APENDICE

5.1.3. Gráficas por Atributos

Gráfica p para Proporción Defectuosa y muestra de tamaño no necesariamente constante:

$$LSC_p, LIC_p = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}\ (1 - \bar{p})}{\sqrt{\bar{n}}}}$$

Gráfica np para Cantidad de Defectuosos y muestras de tamaño constante:

$$LSC_{np}, LIC_{np} = \overline{np} \pm 3 \sqrt{\overline{np}\ (1 - \overline{np}/n)}$$

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. APENDICE

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 sólamente permanecen las causas comunes; ésto se evidencía 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 σ (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-

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.

5. APENDICE

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 sólamente después de que el proceso esté en control estadístico. Cuando el promedio del proceso calculado tomando como base las lecturas individuales ± 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 siginificado 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 (~) sobre el símbolo de los valores individuales: $\tilde{X}$ es la mediana de un subgrupo; $\tilde{\bar{X}}$ es la mediana del proceso y $\tilde{R}$ 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 item 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 (σ) — Es la letra griega utilizada para designar la desviación estándar.

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.

$\tilde{A}_2$ — 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.

c — Es la cantidad de defectos promedio en muestras de tamaño constante n.

C_p — Indice de habilidad potencial del proceso.

K — Indice de localización.

C_{PK} — Indice 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.

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 itemes defectuosos en una muestra de tamaño n. La gráfica np se describe en la Sección 3.2.2.

$\overline{np}$ — Es la cantidad promedio de itemes 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.

$\bar{u}$ — 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 repectivamente 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; Zmin. es la distancia al límite especificado más cercano.

σ (sigma) — Es la desviación estándar del proceso.

$\hat{\sigma}$ — Es la estimación de la desviación estándar del proceso.

$\sigma_{\bar{X}}$, σR, σ_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.

GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA	p ☐ c ☐ np ☐ u ☐	NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE
DEPARTAMENTO	No. Y NOMBRE DE LA OPERACION	ITEM DE CONTROL (V) SI ☐ NO ☐

Prom. = LSC = LIC =

Tamaño de muestra promedio:
Frecuencia:

Tamaño de muestra																										
Rechazos: Cantidad (np, c)																										
Rechazos: Proporción (p, u)																										
Fecha																										

CUALQUIER CAMBIO EN MANO DE OBRA, MATERIALES, MEDIO AMBIENTE, METODOS O MAQUINAS DEBE SER ANOTADO. ESTAS ANOTACIONES LE AYUDARAN A TOMAR ACCIONES CORRECTIVAS CUANDO SE LO INDIQUEN LAS CARTAS DE CONTROL.

FECHA	HORA	OBSERVACIONES

FORMULAS PARA GRAFICAS DE CONTROL

	Unidades discrepantes	Discrepancias
Número (Tamaños de muestra constantes).	Gráfica np $LSCnp, LIC\ np = n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}\left(1-\frac{n\bar{p}}{n}\right)}$	Gráfica c $LSCc, LICc = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$
Proporción (Tamaños de muestra no necesariamente constantes).	Gráfica p $LSCp, LICp = \bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}\ (1-\bar{p})}{\bar{n}}}$	Gráfica u $LSC\ u,\ LIC\ u = \bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$

FECHA	HORA	COMENTARIOS

ACCIONES SOBRE CAUSAS ESPECIALES

- CUALQUIER PUNTO FUERA DE LOS LIMITES DE CONTROL.
- UNA SERIE DE 7 PUNTOS ARRIBA O ABAJO DE LA LINEA CENTRAL.
- UNA TENDENCIA DE 7 INTERVALOS ASCENDENTES O DESCENDENTES.
- CUALQUIER OTRO PATRON QUE DEMUESTRE INESTABILIDAD.

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 DEL PROCESO Y DE LA CALIDAD

MUESTREO DE INSPECCION Y ARGUMENTOS PARA FORMULAR UN PLAN DE MUESTREO POR ATRIBUTOS

M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

JUNIO
1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

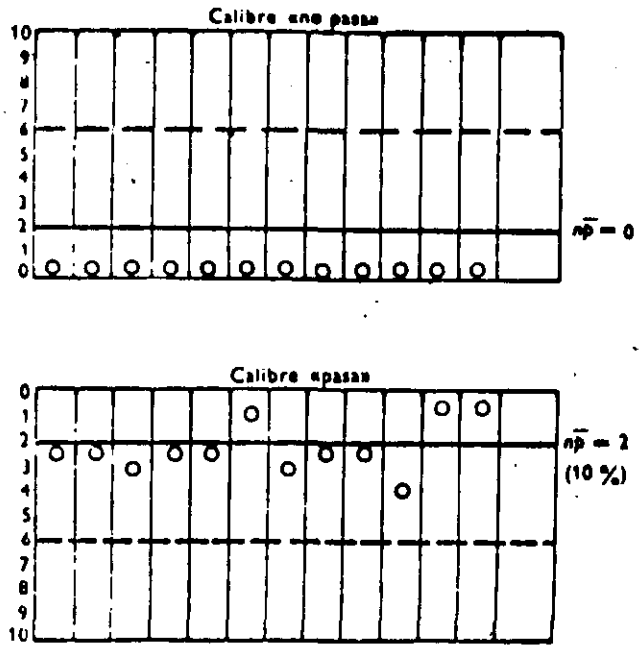


Figura 5-12

6

Planes de muestreo por atributos para aceptación de material en lotes

1. ¿QUE ES EL MUESTREO PARA LA ACEPTACION DE MATERIAL POR ATRIBUTOS?

El muestreo para la aceptación de material por atributos es un método estadístico, mediante el cual se determina la calidad de un lote a través de la inspección de una o varias muestras aleatoriamente extraídas. La aleatoriedad de una muestra significa que las piezas que componen la muestra son extraídas de forma tal que cualquier pieza del lote tiene igual oportunidad de ser elegida. La muestra aleatoria es la base fundamental para el plan de muestreo, porque de esta forma la muestra representa al lote. Por lo tanto podemos decir que la muestra es una parte del lote, pero con evidencia de la calidad del conjunto.

Las técnicas estadísticas que aquí se aplican, se basan en el criterio del porcentaje o tanto por uno defectuoso y no tienen en cuenta la cantidad exacta de piezas defectuosas de un lote. Según las leyes probabilísticas, las defectuosas que contiene una muestra, guardan relación directa con las defectuosas del lote de donde se ha sacado la muestra. En la práctica, no es necesario conocer el número exacto de defectuosas en un lote.

2. ¿POR QUE SE USAN LOS PLANES DE MUESTREO PARA LA ACEPTACION DE MATERIAL?

Los planes de muestreo para la aceptación de material ofrecen diversas ventajas y podemos resumirlas en las tres siguientes:

a) *Más económico que la inspección 100 %*

Es evidente que el coste de inspección por muestreo es más reducido. Es muy frecuente en la industria que la Dirección afirme la imposibilidad de prescindir de la inspección total, especialmente sobre los productos terminados alegando que no se puede entregar el producto al consumidor sin conocer su funcionamiento. Por ejemplo: el coche, el motor eléctrico, la radio, el televisor, etc. La inspección total en estos casos puede ser conveniente o no, por extraño que esto último pueda parecer.

b) *Más eficaz que la inspección 100 %*

Esto es inconcebible para muchos técnicos que no conocen la técnica estadística; no creen que la inspección por muestreo es más eficiente que la inspección total. Este concepto erróneo proviene del desconocimiento de la muestra aleatoria que proporciona un mismo nivel de porcentaje defectuoso con gran aproximación. Se puede hacer un experimento con unas 1000 ó 2000 bolas de dos colores, blancas y rojas, en una proporción, digamos, de un 2 % de rojas; por medio de una paleta con 50 huecos se extrae una muestra. Si se procede a contar las bolas de la muestra, tendremos una idea del porcentaje de la caja en bolas rojas. Si se repite esa operación varias veces, se observará cómo ese 2 % conocido *a priori*, aparece con la inspección por muestra. La inspección total, aparentemente, tiene que hallar todos los defectos; pero la experiencia nos demuestra que un inspector, comprobando todas las piezas en lotes que se le someten, normalmente sólo es capaz de separar del 70 al 95 % de piezas defectuosas. Esta diferencia del 70 al 95 % se explica porque en los lotes grandes con pequeños porcentajes defectuosos, la inspección 100 % tiene una menor eficacia, debido a la fatiga y a la monotonía. En resumen, el grado de eficacia depende del tamaño y nivel de porcentaje defectuoso de los lotes de inspección.

c) *Algunos casos no son practicables para la inspección 100 %*

Muchos materiales tienen que ser destruidos para conocer su calidad; entonces será imposible averiguar la calidad de un lote sin su total destrucción.

3. ¿DONDE SE PUEDEN APLICAR LOS PLANES DE MUESTREO PARA LA ACEPTACION DE MATERIAL?

a) *Entrada de material comprado*

En la totalidad de los casos se puede aplicar el muestreo para la aceptación de material, incluso para los artículos críticos.

b) *Material semimanufacturado de una sección a otra dentro de la fábrica*

Algunas empresas llevan el control por el operario mismo, y para la comprobación se aplica la inspección por muestreo con el fin de juzgar la calidad como si el producto procediese de otra fábrica. Esta clase de control de calidad en la fabricación es la más económica y crea un ambiente de autocontrol con la responsabilidad de quien ha trabajado el producto.

c) *Producto terminado que sale para el consumidor*

En gran número de casos, la inspección muestral puede sustituir la total.

4. ¿CUALES SON LOS CRITERIOS PARA LA ACEPTACION DE MATERIAL POR MUESTREO?

El término de «criterio para la aceptación» significa: ¿qué porcentaje de piezas defectuosas puede ser tolerado en un lote? La primera reacción que se encuentra en muchas personas es la siguiente: ¿Por qué he de tolerar un porcentaje defectuoso? Yo pago por el material bueno en su totalidad. No obstante, esta objeción no es razonable, no existe medio conocido, ni siquiera la inspección total, que sirva para asegurar que el material recibido está enteramente exento de defectos. De hecho, todas las empresas reciben los materiales con defectos, pero lo que interesa es que éstos sean un mínimo razonable.

a) *Primer criterio: Punto de indiferencia (P)*

Uno de los criterios para fijar el porcentaje defectuoso es la comparación del costo de hallar una pieza defectuosa con el coste de los daños producidos por no haber hallado dicha defectuosa. En un lote que contiene una cantidad determinada de piezas, si el porcentaje defectuoso es

bajo y la inspección es cara, hallar una pieza defectuosa resulta más costoso que dejarla pasar. Al contrario, si el porcentaje defectuoso del lote es alto, y los daños económicos que pudieran ocasionar a la empresa son considerables, es evidente que se debe inspeccionar el lote 100 %. Pero siempre encontramos un punto de equilibrio o un punto de indiferencia, en el cual para cierto nivel de porcentaje defectuoso en el lote, es igual para la Empresa inspeccionarlo o dejarlo pasar. En la siguiente representación gráfica (fig. 6-1), las ordenadas marcan la escala del costo para hallar una defectuosa y el costo de no hallar una defectuosa. En la abscisa designamos el porcentaje defectuoso. El costo para hallar una defectuosa es variable porque depende del porcentaje defectuoso del lote. Sin embargo, el coste de no hallar una defectuosa es constante; así trazamos una línea desde *A* hasta el corte con la curva y el punto de intersección es el «punto de indiferencia» con su correspondiente porcentaje defectuoso, en el cual es económicamente igual para la empresa inspeccionar el lote o dejarlo pasar.

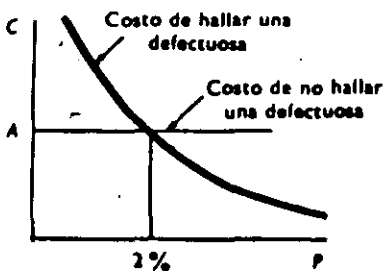


Figura 6-1

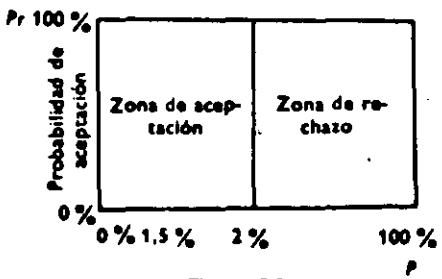


Figura 6-2

Una vez conocido el «punto de indiferencia» podemos trazar un plan de inspección. Por ejemplo, el «punto de indiferencia» está en el 2 % de defectuosas. En la figura 6-2 dibujamos una línea vertical en el 2 %. Si un lote contiene un poco más que este porcentaje, rechazamos dicho lote; mientras que el otro que es inferior al 2 %, lo aceptamos. Este plan se considera ideal porque tomando el 2 % como límite tope, obligamos al productor a que nos envíe sus productos en porcentaje no mayor que el 2 %. Este cuadro se divide en dos zonas; la izquierda es zona de aceptación; cualquier lote con porcentaje defectuoso de 0 a 2 % será aceptado totalmente. La derecha es la zona de rechazo; si el porcentaje defectuoso es mayor que el 2 %, el lote será rechazado en su totalidad. Este plan supone que se hace una inspección de 100 % en condiciones óptimas (tales que nos permitan conocer con exactitud el porcentaje defectuoso del lote). Sin embargo, este plan es rígido, porque cualquier lote cuyo

porcentaje defectuoso es ligeramente mayor, será rechazado. Por ejemplo, un lote con el 2,1 % debe ser rechazado; pero por otra parte, si el lote es del 1,9 % debe ser admitido. En la práctica, mediante cualquier clase de inspección es muy difícil asegurar una perfecta distinción entre los lotes que estén situados encima o debajo del «punto de indiferencia». Y además este plan no tiene fuerza para obligar al productor a que envíe los lotes de la mejor calidad posible, ya que un lote del 1,5 % corre la misma suerte que uno del 1 %, siendo aceptados ambos sin distinción ninguna.

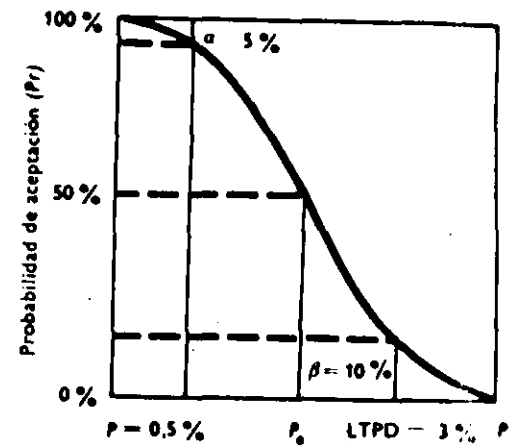


Figura 6-3

Por esta razón, se debe prescindir de este plan y preferir un plan más suave, en forma de curva. Esta curva se denomina curva característica[1]. En el «punto de indiferencia» el lote tiene un 50 % de probabilidades de ser aceptado; a medida que va aumentando el porcentaje defectuoso disminuye la probabilidad de aceptación; mientras mejora la calidad se incrementa la probabilidad de aceptación. Por ejemplo, un productor que tiene un buen proceso de fabricación ofrece sus productos a un nivel del 0,5 %; a este nivel lo llamamos *P* que es promedio del porcentaje defectuoso del proceso. Entonces la probabilidad de ser admitido el lote es de, por ejemplo, un 95 %. Se ve que, a pesar de que el lote tiene una

[1] La mayoría de la terminología de muestreo de aceptación surgió en 1920, de la casa Bell Telephone Laboratories, en donde estas curvas fueron llamadas con el nombre de «Curvas de probabilidad de aceptación». La expresión de «Curvas características de operación» fue usada por la casa Ballistic Research Laboratories, de Maryland, Estados Unidos, justamente antes de la Segunda Guerra Mundial. El autor simplifica esta expresión llamándolas simplemente «Curvas características». Algunos autores prefieren el nombre de «Curvas de eficacia». Este viene de la traducción francesa.

buena calidad, corre el riesgo de ser rechazado; este riesgo (que es del 5 %), es el llamado «riesgo del productor» (α). Por otra parte, vemos en la curva característica que, aunque el porcentaje defectuoso aumente hasta pasar el «punto de indiferencia», tenemos una cierta probabilidad de aceptar lotes malos. Por ejemplo, si un productor nos proporciona lotes con un porcentaje defectuoso del 3 %, le corresponde un 10 % de probabilidad de ser aceptado; a éste se le llama «riesgo del consumidor» (β) (fig. 6-3).

Lo que se entiende por «porcentaje defectuoso tolerado» depende de la posición que se toma en la curva característica. En nuestro ejemplo, el porcentaje defectuoso tolerado está en el «punto de indiferencia», o sea, que el productor o el consumidor corren igual riesgo de que su lote sea rechazado o aceptado en el 50 %. Sobre esta base los técnicos de la casa Philips han confeccionado unas tablas que veremos más tarde con detalle (fig. 6-4).

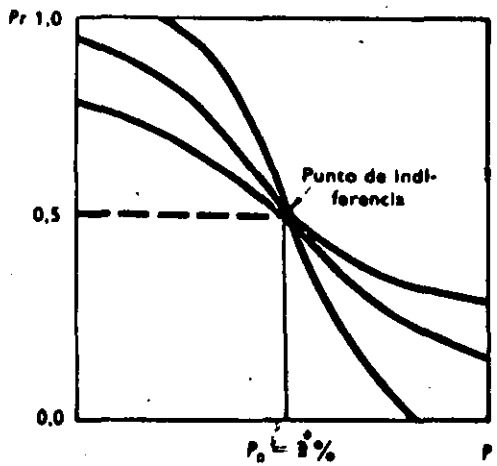


Figura 6-4

b) *Segundo criterio: Porcentaje defectuoso máximo tolerable* (LTPD)

En la casa Bell Telephone Laboratories, bajo la dirección de H.F. Dodge y H. G. Romigm han fijado sólo el riesgo del consumidor con un 10 % y un porcentaje defectuoso máximo tolerable que se conoce con el nombre de LTPD[1]. Este porcentaje defectuoso máximo, incidentalmente transmitido, es uno que el consumidor no desea aceptar más que excepcionalmente. Las tablas basadas en este criterio se establecen de modo

[1]El nombre completo en inglés es *Lot Tolerance Percent Defective*.

que un lote que contenga este LTPD prefijado se rechace en el 90 % de los casos (fig. 6-5).

c) *Tercer criterio: Nivel aceptable de calidad* (NAC)

El Ejército norteamericano ha tomado el porcentaje defectuoso tolerado desde otro punto de vista, colocando el riesgo del productor alrededor del 5 %, cuando el lote tiene un porcentaje defectuoso que se considera bueno. Este porcentaje defectuoso tolerado recibe el nombre de Nivel de

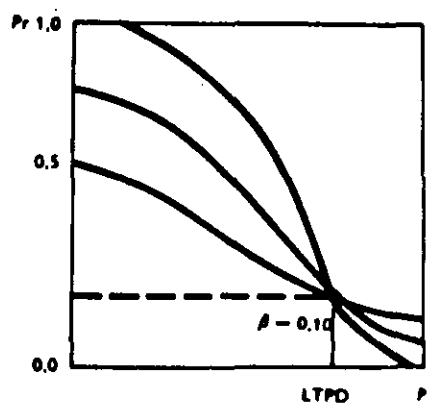


Figura 6-5

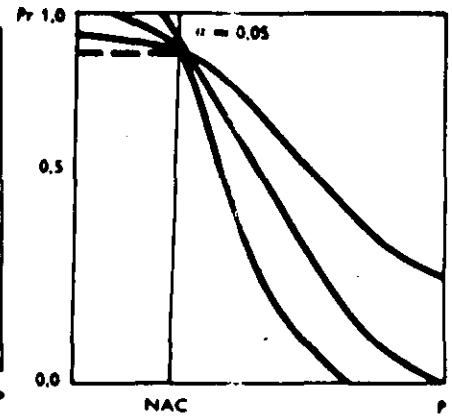


Figura 6-6

calidad aceptable (NAC). Con las tablas confeccionadas, basadas en este criterio, los lotes que contengan el mismo nivel de calidad aceptable (NAC) se aceptan la mayor parte de las veces (fig. 6-6).

En resumen, la noción «porcentaje defectuoso tolerado» no tiene sentido, a menos que se le apareje un cierto riesgo.

d) *Cuarto criterio: Límite de la calidad de salida media*

El plan de muestreo AOQL es una variante del plan anterior. AOQL significa el límite máximo de la calidad media del porcentaje defectuoso en los lotes aceptados y rechazados, pero repuestos por la inspección detallada.

La probabilidad de rechazo es α y la probabilidad de aceptación es β. Si las piezas defectuosas de los lotes rechazadas, son repuestas con las buenas, quedarán estos lotes sin defectuosa alguna, por lo tanto, el valor de

$$AOQ = 0 \quad \alpha + \bar{P} \quad \beta = \bar{P} \quad \beta$$

Sin embargo, las piezas defectuosas en las muestras también serán sustituidas por las buenas, por eso, los lotes aceptados aún contienen menos defectuosas. En realidad, la facción defectuosa P, después de la sustitución en la muestra, será menor:

$$\frac{D-d}{N} = \frac{NP - nP}{N} = \left(1 - \frac{n}{N}\right) P\beta$$

y el valor de

$$AOQ = \left(1 - \frac{n}{N}\right) P\beta$$

Si N es suficientemente grande, la fórmula se convierte en $P\beta$.

El valor máximo de los AOQ es AOQL, como AOQ es función de P, si $P = 0$, AOQ debe ser cero también, porque no hay ninguna defectuosa, si $P = 1$, AOQ también debe ser cero, porque todas las defectuosas serán sustituidas; entre $P = 0$ y 1, el valor AOQ varía, y el valor máximo de éstos es AOQL.

Por ejemplo: Un plan (100, 22, 2) tenemos los siguientes valores de AOQ en el cuadro 5-3.

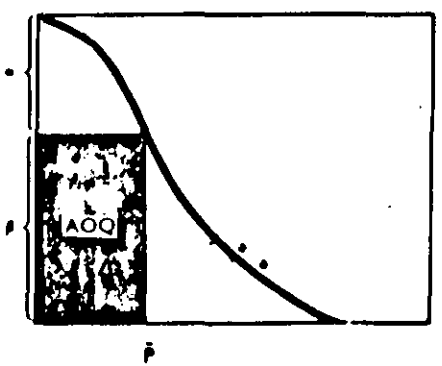


Figura 5-5

La figura 5-5 representa los valores de AOQ, según la variación del P. El punto máximo del AOQ es el 4,83 % de defectuosas, que es el AOQL. Este plan tiene mucha aplicación en la industria, sobre todo para la inspección dentro de la fábrica ya que de antemano, se garantiza un nivel fijo de la calidad.

Cuadro 5-3

P	β	$P\beta$	$AOQ = (1 - n/N) P\beta$
0,00	1,0000	0,0000	0,0000
0,04	0,9680	0,0387	0,0300
0,07	0,8227	0,0576	0,0450
0,09	0,6881	0,0619	0,0483 → AOQL
0,14	0,3601	0,0504	0,0390
0,28	0,0193	0,0045	0,0040
0,35	0,0026	0,0009	0,0010
1,00	0,0000	0,0000	0,0000

Las tablas confeccionadas según este criterio son las siguientes:

1. Las tablas de Dodge y Romig con muestreo simple y doble.
2. Las tablas V-A y V-B de MIL-STD 105-D con muestreo simple para inspección normal y rigurosa.

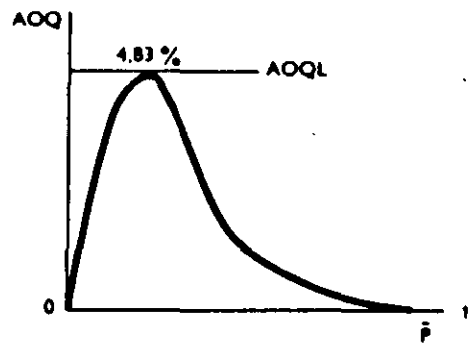


Figura 5-6

5. TABLAS DE MIL-STD 105-D (ABC-STD)

Las primeras tablas de muestreo fueron desarrolladas a base de NAC por un grupo de técnicos de la casa Bell Telephone Laboratories de los Estados Unidos para el Ejército en 1942. En 1945, la Marina confeccionó otras tablas de muestreo similares a las del Ejército con el grupo de Investigación Estadística de la Universidad de Columbia. Posteriormente, el Departamento de Defensa unificó las dos anteriores y editó unas nuevas tablas de muestreo con el nombre JAN-STD 105 en 1949. En 1950, se sustituyó las JAN-STD 105 por MIL-STD 105-A. Con pequeñas modi-

ficaciones se publicaron en 1958 MIL-STD 105-B y en 1961 MIL-STD 105-C. Hasta 1963 aparecieron las MIL-STD 105-D que también se titulaban con el nombre internacional «ABC-STD».

Durante muchos años, la industria española utilizaba las tablas de MIL-STD 105-A que fueron traducidas por el Laboratorio de Ensayos e Investigaciones de la Escuela de Ingenieros de Bilbao, bajo la dirección de don Pedro Mendizábal. Y también existía otra edición elaborada por la Comisión Nacional de Productividad de Madrid.

Las tablas ABC-STD fueron desarrolladas durante 1961 y 1962 por los técnicos de los tres países: América del Norte, Gran Bretaña y Canadá con asistencia de los organismos europeos de Control de Calidad. La edición española de MIL-STD 105-D fue publicada por la Escuela de Organización Industrial de Madrid.

Las principales tablas de MIL-STD 105-D o ABC-STD son las siguientes:

I. Letras-Código para la magnitud de la muestra.
II. Planes de muestreo simple para inspección normal, rigurosa y reducida.
III. Planes de muestreo doble para inspección normal, rigurosa y reducida.
IV. Planes de muestreo múltiple para inspección normal, rigurosa y reducida.
V. Factores de límite de calidad media de salida (AOQL) para inspección normal y rigurosa en el muestreo simple.
VI. Calidades límites de los riesgos del consumidor con el 5 y el 10 % para inspección normal y muestreo simple.
VII. Calidades límites de los riesgos del consumidor con el 5 y el 10 % para inspección normal y muestreo simple.
VIII. Límites para la inspección reducida.
IX. Curvas de la magnitud media muestral para muestreo múltiple y doble.
X. Curvas características con sus correspondientes valores tabulados y planes de muestreo de las letras-código.

Para elegir un plan de muestreo con las tablas de MIL-STD 105-D, es conveniente de antemano determinar los siguientes factores:

1. *Determinar si la calidad se define en función del porcentaje defectuoso o del número de defectos por 100 unidades.*

El porcentaje defectuoso es:

$$P = \frac{\text{número de unidades defectuosas}}{\text{número de unidades inspeccionadas}} 100$$

El número de defectos por 100 unidades:

$$D = \frac{\text{número de defectos totales}}{\text{número de unidades inspeccionadas}} 100$$

Una unidad de producto defectuosa puede contener varios defectos; mientras que una unidad de producto que contiene un defecto solo, siempre es defectuosa.

2. *Clasificar los defectos según su gravedad respecto a la calidad.*

Un producto puede tener varias características que se desean inspeccionar para ver si están de acuerdo con las especificaciones. Por ejemplo, un producto siderúrgico puede interesarse por sus dimensiones longitudinales, las características mecánicas y las estructuras metalográficas, etc.

Un defecto de cada característica podría tener diferente gravedad respecto a la calidad del producto.

Según las tablas de ABC-STD, se clasifican los defectos por tres categorías:

a) Defecto crítico: es aquel que podría ocasionar riesgos o inseguridades para los que utilizan dicho producto.

b) Defecto principal: es aquel que tendría probabilidad de producir averías serias o reducir sustancialmente la utilidad del producto.

c) Defecto secundario: es aquel que desviaría de las especificaciones establecidas pero sin graves consecuencias para el producto. Sin embargo, se puede clasificar el defecto de una manera diferente que las mencionadas.

3. *Establecer el nivel de calidad aceptable (NAC).*

Según la definición de las normas militares de MIL-STD 105-D, NAC es el máximo porcentaje de unidades defectuosas o el número máximo de defectos en 100 unidades alcanzables por la media del proceso para poder considerarse como satisfactorio. Sin embargo, en la práctica es difícil de establecerse un nivel adecuado de la calidad aceptable para un producto determinado. Por esta razón, describiremos unos criterios que pueden orientarse para la determinación de un NAC en el apartado 15.

Si un producto está clasificado por diversos defectos según su importancia sobre la calidad, habrá que elegirse diversos niveles de calidad aceptables diferentes, uno para cada defecto. No obstante, la misma muestra, extraída aleatoriamente, sirve para inspeccionar con diferentes NAC.

Si se emplean las tablas de ABC-STD, sólo pueden elegir los valores de NAC ya establecidos, de acuerdo con los usos y costumbres industriales. Los valores de NAC son múltiplo de los números 1, 1,5, 2,5, 4,0 y 6,5 en una progresión casi geométrica. A diferencia de las tablas militares

precedentes, que se podía elegir cualquier valor de NAC, y luego, se le convertía un valor específico del NAC que servía para emplear las tablas.

4. *Determinar el tamaño del lote para inspección.*

El término lote o partida significa un conjunto de unidades de producto que se requiere para la inspección; y sobre ese conjunto se extraerá la muestra de acuerdo con el plan de muestreo, sin tener en cuenta de que se coincidirá o no con el lote de producción o de envío, o también con la partida de compras. El criterio para la formación de un lote para inspección puede verse con detalle en el apartado 11.

5. *Elegir un plan de muestreo.*

Hay tres tipos de planes de muestreo en las tablas de ABC-STD que son: simple, doble y múltiple.

Desde el punto de vista probabilístico, todos los planes son iguales en relación con los riesgos establecidos de productores y consumidores, pero desde el punto de vista económico y psicológico son diferentes los tres tipos de muestreo.

Las ventajas e inconvenientes de estos tres tipos de muestreo las estudiaremos en el apartado 9.

6. *Elegir entre inspección normal, rigurosa o reducida.*

Al comenzar la inspección por muestreo se usará siempre la normal, salvo que se especifique lo contrario por la autoridad competente.

7. *Elegir un nivel de inspección.*

El nivel de inspección determina la relación entre el tamaño del lote y la magnitud de la muestra.

Según las tablas de MIL-STD 105-D hay tres niveles generales de inspección. En uso normal, se empleará el nivel II. Cuando se emplea el nivel de inspección I, significa que con el mismo tamaño de lote, la magnitud de la muestra es menor que la del nivel II; cuando se usa el nivel de inspección III, sucederá lo contrario.

Existen otros cuatro niveles especiales: S-1, S-2, S-3 y S-4 cuyo uso sólo sirve para casos donde se necesitan muestras pequeñas y pueden tolerarse grandes riesgos muestrales.

Ejemplo: Supongamos que recibimos un lote de 2000 piezas para su inspección y se desea controlar las dimensiones longitudinales mediante los calibres «pasa» y «no pasa». Se decide la inspección por el muestreo simple con inspección normal, el NAC es de 1,5 % en función del porcentaje defectuoso, y el nivel de inspección es II.

Con las decisiones preliminares, se buscará en la tabla I, en donde se encontrará su correspondiente letra-código para la magnitud de la muestra. El tamaño de lote 2000 está comprendido entre los valores 1201 y 3200 de la tabla. Siguiendo la misma fila y debajo del nivel de inspección II, se hallará la letra *K*.

Con la letra *K*, se va a buscar la misma letra en la primera columna de la tabla II-A, y se encontrará el número 125 en la segunda columna de la misma fila *K* que es el tamaño de la muestra.

En el punto de intersección entre la letra *K* y el nivel de calidad aceptable 1,5 (inspección normal), se hallará el número de aceptación «5» y el de rechazo «6». Estos se interpretan así:

Si en la muestra de 125 unidades inspeccionadas, tienen encontradas 5 o menos que 5 defectuosas, se aceptará todo el lote; en caso contrario, si tienen 6 o más que 6 unidades defectuosas, se rechazará el lote.

6. CAMBIO DE LA INSPECCION NORMAL A LA RIGUROSA Y VICEVERSA

Las tablas de ABC-STD indican que «si la inspección normal está en vigente, deberá implantarse la inspección rigurosa, cuando dos de los 5 lotes consecutivos hayan sido rechazados en la inspección original (ignorando los lotes de reinspección)».

El criterio de volver de la rigurosa a la normal es el siguiente:

«Si la inspección rigurosa está en vigente, deberá implantarse la normal, cuando 5 lotes consecutivos hayan sido aceptados en la inspección original.»

En las tablas de ABC-STD se han hecho más simples los procedimientos administrativos que las tablas militares precedentes. Estas últimas necesitaban estimar la media del proceso durante los 10 lotes inspeccionados aproximadamente para poder cambiar de la normal a la rigurosa y viceversa.

Las ventajas de imponer una inspección rigurosa son diversas:

Primera ventaja: El consumidor está mejor protegido contra el productor que le ofrece peor calidad que el NAC prefijado. Ilustraremos esta ventaja con un ejemplo: supongamos que hay dos productores, A y B, que nos ofrecen la misma mercancía, bajo un plan de muestreo simple con $n = 110$, $d \leq 4$ que corresponde a un NAC = 1,5 %.

Después de 20 lotes averiguamos que el NAC estimado es del 2,5 % en ambos productores, a razón de 55 defectuosas entre 2200 unidades inspeccionadas. El productor A procura que los lotes enviados sean más uniformes, en sentido de porcentaje de defectuosos. Por la inspección normal, aceptamos el 85 % de sus lotes (véase la curva característica correspondiente en la fig. 6-7). Sin embargo, el productor B, envió dos lotes con 40 defectuosas, y el resto de los 18 lotes conteniendo sólo un

total de 15 defectuosas. Es evidente que el consumidor tiene mejor protección contra el B, que contra el A, porque esos dos lotes malos han sido rechazados, y el resto aceptado sólo contiene un 0,76 % defectuosas. Pero el promedio total de ambos es igual al 2,5 %. Para contrarrestar este fallo, se impone una inspección rigurosa a ambos, las probabilidades

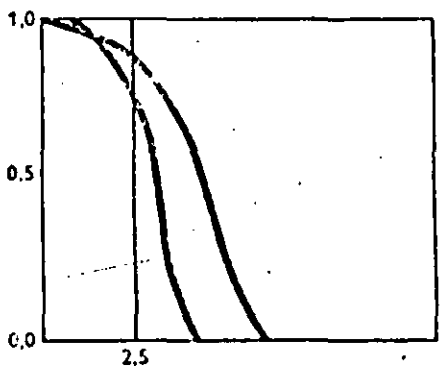


Figura 6-7

de aceptar los buenos lotes de B, serán ahora de 97 % y las probabilidades de aceptar los lotes de A, serán solamente del 65 %. Así, el A, no llevará ninguna ventaja, ya que sus lotes serán más rechazados que los de B.

Segunda ventaja: El temor de «merecer» una inspección rigurosa obliga al productor a cuidar mucho su calidad para mantener su porcentaje medio por debajo del NAC.

7. CAMBIO DE LA INSPECCION NORMAL A LA REDUCIDA Y VICEVERSA

«Si está en vigente la inspección normal, deberá implantarse la reducida cuando se cumplan las siguientes condiciones:

a) Los 10 lotes precedentes (o pueden ser más según la denotación de la tabla VIII) han estado bajo la inspección normal, sin que haya sido rechazado ninguno en la inspección original.

b) El número total de unidades defectuosas o defectos hallados en las muestras de los 10 lotes precedentes (o más lotes que han sido fijados en la condición *a*) es igual o menor que el número permitido en la tabla VIII de acuerdo con su NAC. Si se emplean planes de muestreo dobles o múltiples todas las muestras deben ser incluidas para su cómputo.

c) La producción está en régimen uniforme.

d) Se considera conveniente el empleo de la inspección reducida por la autoridad competente.

El criterio de pasar de la inspección reducida a la normal es cuando se presente una cualquiera de las siguientes circunstancias en la inspección original:

a) Un lote es rechazado.

b) Si las unidades defectuosas de la muestra sobrepasan al número de aceptación sin llegar al número de rechazo de las tablas II-*C*, III-*C* y IV-*C* se acepta el lote, se volverá a implantar la normal a partir del siguiente lote.

c) La producción se hace irregular o se retrasa.

d) Cualquier otra condición que exija la implantación de la inspección normal.»

8. MUESTREO DOBLE Y MULTIPLE

Hasta ahora sólo hemos visto el muestreo simple. El muestreo simple significa que la decisión que se toma para aceptar o rechazar un lote, depende de una muestra única. El muestreo doble sirve para tener otra oportunidad de decidir si se acepta o se rechaza el lote. El procedimiento es el siguiente: un lote se acepta por la primera muestra, si la primera muestra refleja una calidad suficientemente buena, o se rechaza, si la calidad es suficientemente mala. Pero si el juicio que se forma por la primera muestra no es tan bueno como para aceptar el lote, ni tan malo como para rechazarlo, entonces se toma la segunda muestra; la decisión para la aceptación o el rechazo se tomará a base de las dos muestras combinadas.

Por ejemplo: Tenemos el plan siguiente:

$N = 1000$ unidades
$n_1 = 36$ »
$d_1 = 0$ »
$n_2 = 59$ »
$d_2 = 3$ »

Se interpreta del siguiente modo:

a) se toma una primera muestra n_1 de un lote N;

b) si esta muestra contiene $d_1 = 0$, se acepta el lote; si contiene $d_2 \geq 3$ defectuosas, se rechaza el lote;

c) si la primera contiene 1 ó 2 defectuosas, se toma la segunda muestra;
d) si la primera y la segunda combinadas contienen un total de $d_2 \leq 2$, se acepta el lote, si las combinadas contienen más de $d_2 \geq 3$, se rechaza.

CUADRO 6-1

Letra *J*

Tipo de plan	Número de muestras	Tamaño de la muestra indicada	Tamaño de la muestra combinada	Número de aceptación	Número de rechazo
Simple	1	80	80	2	3
Doble	1	50	50	0	3
	2	100	150	3	4
Múltiple	1	20	20	•	2
	2	20	40	0	3
	3	20	60	0	3
	4	20	80	1	4
	5	20	100	2	4
	6	20	120	3	5
	7	20	140	4	5

• Su aceptación no es permitida en la primera muestra.

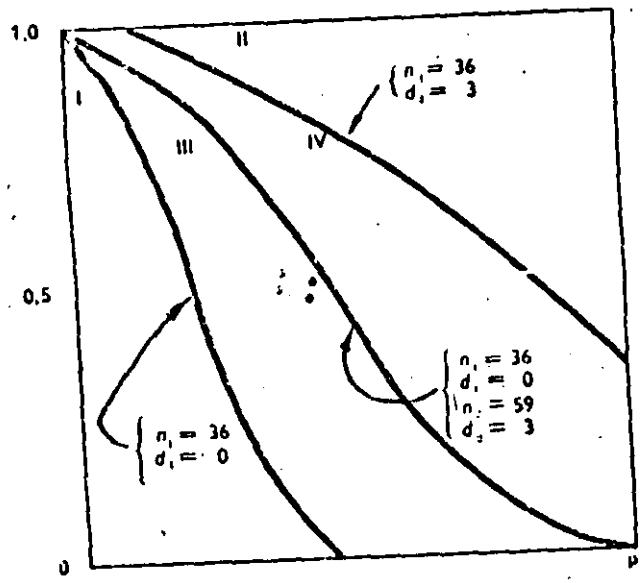


Figura 6-8

En la figura 6-8, hay tres curvas características y cuatro zonas de aceptación o rechazo. La curva izquierda es el plan $N = 1000$, $n = 36$ y $d = 0$; la curva derecha es el $N = 1000$, $n = 36$ y $d \geq 3$.

La zona primera significa aceptar después de la primera muestra, la zona segunda es rechazar después de la primera muestra, la tercera es aceptar después de la segunda muestra, y la cuarta rechazar después de la segunda muestra. Veamos el diagrama siguiente sobre las decisiones que se toman en el muestreo doble:

El fundamento del muestreo múltiple es igual al del muestreo doble, sólo difiere en que la decisión que se toma para aceptar o rechazar un lote está basada en más de dos muestras combinadas. En teoría, hasta

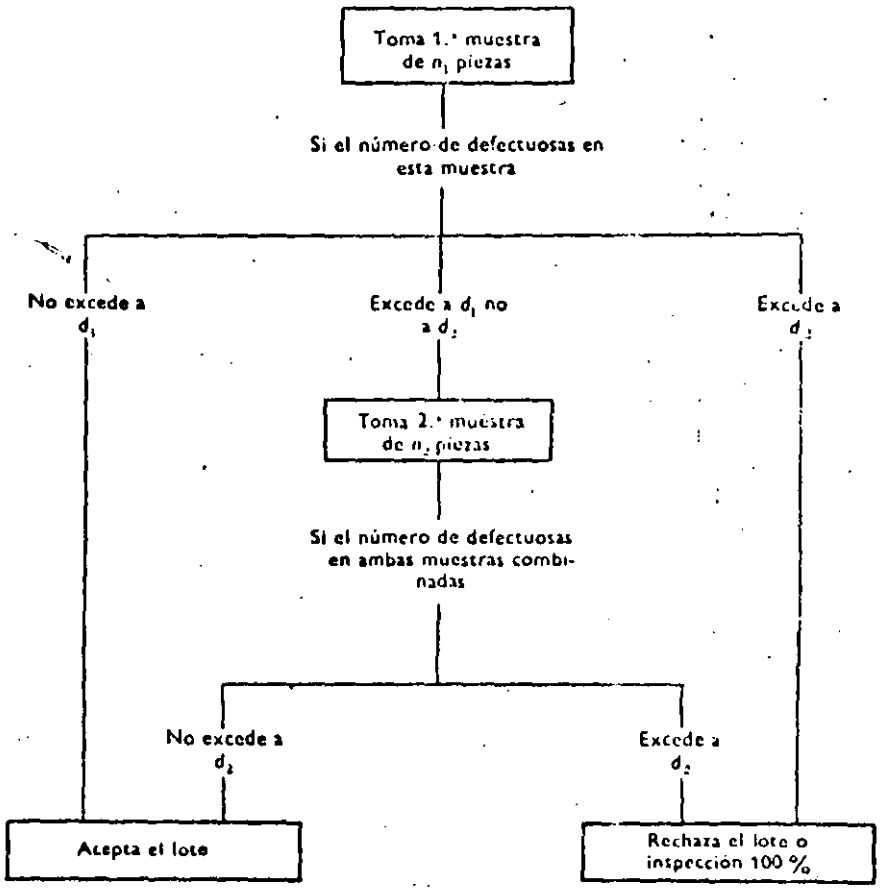


Figura 6-9

muestras infinitas, denominándose «muestreo secuencial» pero en la práctica se trunca en la séptima muestra como las tablas MIL-STD 105-D, que recibe el nombre de «muestreo múltiple».

Por ejemplo, supongamos que elegimos la letra *J*, con NAC = 1 %, encontramos los siguientes planes de muestreo.

9. COMPARACION DE MUESTREO SIMPLE, DOBLE Y MULTIPLE

Vamos a comparar los planes de muestreo simple, doble y múltiple.

La ventaja más destacada del muestreo doble sobre el simple o el múltiple sobre el doble es la económica, ya que, a la larga, en el muestreo simple, el número de piezas inspeccionadas es mayor que en cualquier otra clase de muestreo. Si el costo de inspección es proporcional al número de piezas inspeccionadas, no cabe duda de que el muestreo simple es el más caro.

Sin embargo, la magnitud de esta ventaja depende de:

a) el nivel de calidad prefijada; y

b) el tamaño del lote.

Vamos a poner dos ejemplos para comparar la citada ventaja económica:

1. Para lotes de $N = 800$ y NAC = 0,65 %.
2. Para lotes de $N = 100\,000$, NAC = 1,5 %.

Caso de que los lotes enviados sean mejores que los prefijados, es evidente que el muestreo doble lleva ventaja sobre el simple, porque con la primera muestra se aceptan aquéllos; análogamente, si la calidad es muy inferior a la prefijada se rechazan en la primera muestra.

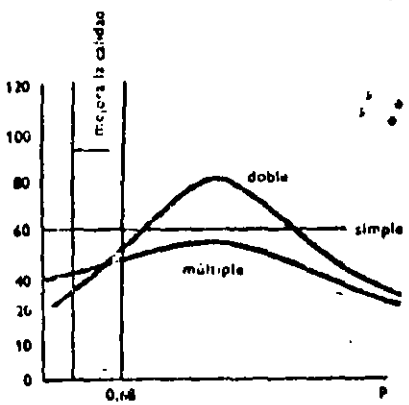


Figura 6-10

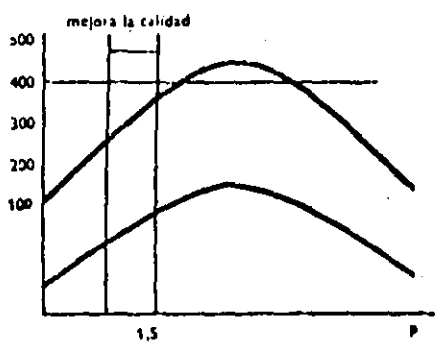


Figura 6-11

En la figura 6-10, se ve que al mejorar la calidad, la ventaja que ofrece el doble o el múltiple es relativa. En cambio, en la figura 6-11, la disminución de las piezas inspeccionadas es enorme.

Otra ventaja del muestreo doble o múltiple sobre el simple es el factor psicológico. En realidad, cualquier plan de muestreo ofrece las mismas probabilidades de aceptación, pero parece que en el muestreo simple se ofrece sólo una oportunidad al productor.

Hay un inconveniente en el muestreo doble o múltiple y es que, si la técnica de inspección es complicada, los inspectores para no molestarse en sacar muchas muestras, eligen de cualquier forma, resultando que las muestras no son aleatorias.

10. PLANES DE MUESTREO PARA LOTES AISLADOS

Hemos visto que en el sistema de NAC, se implantaba la inspección rigurosa cuando la historia reciente de la calidad no era suficientemente buena. Esto sólo indica que el mantenimiento del NAC establecido se consigue a través de una serie de lotes suministrados, pero no es aplicable cuando se trata de un lote aislado o individual.

Las tablas ABC-STD nos han señalado con una advertencia sobre la significación del NAC que merece reproducirla en lo siguiente:

«Cuando un consumidor establece un valor específico de NAC, es una indicación al proveedor en el sentido de que el plan de muestreo de aceptación dará por buenos la gran mayoría de los lotes que el proveedor debe servir, siempre con el nivel medio del proceso del porcentaje defectuoso no sea superior al valor del NAC establecido... Este concepto de NAC, por sí solo no delimita la protección del consumidor con respecto a lotes individuales, sino que está en una estrecha relación con lo que puede esperarse de una serie de lotes. Resulta, por ello, necesario consultar la curva característica para determinar qué riesgo corre el consumidor, o en otras palabras, cuál es la protección del mismo.»

Utilicemos el mismo ejemplo anterior, y buscaremos su correspondiente curva característica en la tabla X-*K* y tabla X-*K*-*1*. Con el NAC = 1,5 % tenemos los siguiente riesgos del consumidor:

Si la calidad media del proceso es de 1,43 %, se aceptará un 99 % de los lotes suministrados.

Si la calidad media del proceso es del 2,09 %, se aceptará un 95 %.

Si la calidad media del proceso es del 2,52 %, se aceptará un 90 %.

En caso de un lote aislado, y según este plan, tenemos un 90 % de probabilidad de aceptar un lote que contenga un 2,52 % del porcentaje defectuoso. Si queremos mantener el mismo NAC (el 1,5 %) con el riesgo

del consumidor del 90 %, se deberá elegir un NAC nuevo con el 1 %. Con este nuevo NAC, podremos conseguir un nivel efectivo de la calidad de 1,5 % aproximadamente con una protección del consumidor del 90 %.

Sin embargo, en la práctica, cuando existan intereses contrapuestos entre el consumidor y el proveedor en cuestión de la fijación del NAC y los riesgos correspondientes, será preferible utilizar el criterio del «punto de indiferencia.»

11. ¿COMO SE FORMA UN LOTE PARA LA INSPECCION?

El lote de inspección no es necesariamente igual a un lote de producción. El criterio para formar el último está basado en la necesidad del suministro al mercado o en la capacidad de fabricación, sin tener en cuenta las distintas fuentes de producción, por ejemplo, materias primas de diversos proveedores, diferentes tipos de máquina, etc. Pero el criterio para formar un lote de inspección es procurar tener la máxima homogeneidad de los productos en el lote. Es decir; no se debe formar un lote para la inspección, mezclando los productos que habían sido fabricados, en distintas fuentes, por las cuales la calidad oscila mucho dentro de un mismo lote. Vamos a poner un ejemplo: supongamos que un fabricante nos ofrece un artículo que ha sido fabricado con dos máquinas distintas; de una muy buena, todos los productos salen buenos; mientras que de otra muy mala, no sale ningún producto bueno. Si este fabricante nos envía sus productos en lotes sin mezclar, es evidente que un 50 % de los lotes serán aceptados, y los que han sido aceptados contienen el 100 % de artículos buenos. Sin embargo, si este fabricante mezcla sus productos buenos y malos, al aplicar un plan de inspección, serán aceptados un 50 % también, pero los que han sido aceptados contienen un 50 % de defectuosos; mientras que si no se mezclan, también se aceptará un 50 %, pero dentro de este 50 % aceptado, no existirá ningún defectuoso. Naturalmente este ejemplo es extremista, pero se ve que la homogeneidad de productos para formar el lote de inspección es una condición indispensable.

Para tener la homogeneidad de los productos, en normas generales, se tienen en cuenta los siguientes factores:

a) los productos no han sido fabricados con diferentes materias primas;
b) los productos no han sido fabricados por distintos procesos de fabricación.

En la práctica no es fácil saber cómo el proveedor ha fabricado sus productos ni tampoco es fácil identificar si ha mezclado sus productos buenos y malos; sólo con la experiencia del inspector, se puede formar un lote de inspección a base de diversos envíos, o se puede dividir el envío en varios lotes de inspección.

12. ¿QUE INFLUENCIA TIENE EL TAMAÑO DEL LOTE DE INSPECCION?

En caso de que los productos sean homogéneos, el tamaño del lote debe ser lo más grande posible.

¿Por qué ha de ser el tamaño grande, y qué ventaja se obtiene?

El tamaño grande del lote de inspección proporciona una de las dos ventajas:

a) «mejor protección para el consumidor»; o
b) «costo total de inspección más bajo».

El costo total de inspección depende de la relación entre el tamaño de la muestra y el tamaño del lote (n/N). Supongamos que tenemos una relación fija que es el 1/10; esto quiere decir que el costo de inspección es una unidad entre 10 unidades de producto; en cambio si la relación

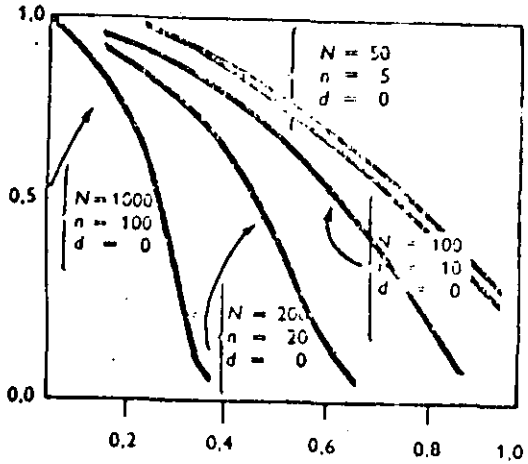


Figura 6-12

fuese 5/10, entonces el costo sería mayor. Veamos el siguiente gráfico, supongamos que todos los lotes son de 4 % de porcentaje defectuoso, y el número de aceptación $d = 0$. En el caso de 5/50 se acepta un lote con 81 % de probabilidades, en 10/100, con la probabilidad de 65 %; en 20/200, con el 49 %; y en 100/1000 con 1,35 %. Vemos que aunque la relación n/N sea constante, la protección para el consumidor es distinta. Al aumentar el tamaño del lote aunque se guarde la misma relación entre la muestra y el lote n/N (o sea el costo total de inspección constante), se incrementa la protección al consumidor.

Por otra parte, podemos observar en la tabla I de MIL-STD 105-D, a medida que aumenta el tamaño del lote, no aumenta en la misma proporción el tamaño de la muestra. Por ejemplo, con la misma protección, un lote de 1000 unidades al nivel II de inspección, se necesita la muestra de 80 unidades; pero si el lote fuese 10 000, la muestra sólo de 200 unidades. Por lo tanto, el coste de inspección no aumenta proporcionalmente.

13. COMO SE TOMA UNA MUESTRA ALEATORIA

Como hemos dicho, la aleatoriedad es la base fundamental para el muestreo de aceptación de material. Sin embargo, en la práctica suelen surgir dificultades para tomar una muestra aleatoria. El procedimiento ideal de sacar una muestra aleatoria es seguir la tabla de «números equiprobables» (tabla 6-1).

La tabla de «números equiprobables» se puede usar de varias formas. En general, se procede del siguiente modo: supongamos que tenemos un lote de 100 piezas, y queremos sacar una muestra de 5 piezas. Primero numeramos o contamos las 100 piezas en un orden determinado; de fila en fila, por ejemplo. Luego cogemos la tabla de números equiparables, fijando dos dígitos de 00 a 99 en cualquier sitio de la tabla.

Así, por ejemplo, podemos elegir los siguientes números equiprobables: 03, 38, 17, 32, 69. La muestra estará compuesta por las piezas del lote cuya numeración sea 3, 38, 17, 32 y 69.

Desde luego, si el lote es relativamente pequeño y no presenta ninguna dificultad en extraer las piezas del mismo para componer una muestra, el método que acabamos de aludir es excelente. Sin embargo, a veces no resulta fácil seleccionar las piezas apiladas en un gran almacén, especialmente cuando esas piezas son grandes o de gran peso o difíciles de mover, v. gr.: carriles, carcasas de hierro fundido, chapas, etc.; no es fácil sacar una pieza que esté en medio de un gran montón almacenado. Otras veces las piezas de un lote grande, no es factible numerar todas, por ejemplo, tornillos, tuercas, etc. Por lo tanto es preciso recurrir a otro método para sacar una muestra aleatoria.

Para las piezas de gran peso, lo mejor es aprovechar el momento de descarga en la recepción. Una vez conocido el tamaño del envío y la homogeneidad de la mercancía, se decide el tamaño del lote de inspección, a medida que se van descargando las piezas, al llegar los números 3, 17, 32, 58 y 69 se las aparta a un lado para someterlas a verificación.

Tratándose de tornillos, generalmente vienen revueltos en una caja. Si vienen realmente «revueltos», es decir, sin seguir el orden de producción del proveedor, se pueden sacar piezas para formar la muestra de cualquier parte de la caja, debido a que las piezas de la misma caja nos proporcionan la aleatoriedad suficiente. El problema consiste en conocer

TABLA 6-1

Tablas de números equiprobables

84	60	95	82	32	03	99	11	04	61	66	08	32	46	53
29	73	54	77	62	38	55	59	55	54	08	35	56	68	60
59	07	60	79	36	17	54	67	37	04	55	12	12	92	81
76	35	59	37	79	32	64	35	28	61	00	91	19	89	36
29	54	96	96	16	69	57	26	87	77	14	06	07	06	19
61	95	87	71	00	24	12	26	65	91	14	84	54	66	72
17	26	77	09	43	61	19	63	02	31	41	83	95	53	82
10	06	16	88	29	30	53	22	17	04	39	68	52	33	09
35	20	83	33	74	03	78	89	75	99	74	41	65	31	66
35	66	35	29	72	48	22	86	33	79	53	15	26	74	33
01	91	82	83	16	60	36	59	46	53	42	61	42	92	97
70	07	11	47	36	83	79	94	24	02	34	99	44	13	74
11	13	30	75	86	32	96	00	74	05	99	38	54	16	00
78	13	86	65	59	19	32	25	38	45	66	49	76	86	46
27	48	24	54	76	11	22	09	47	47	48	50	92	39	29
88	65	12	25	96	31	75	15	72	60	15	47	04	83	55
74	84	39	34	13	88	49	29	93	82	20	09	49	89	77
28	59	72	04	05	30	93	44	77	44	73	73	80	65	33
74	02	28	46	17	22	88	84	88	93	60	53	04	51	28
65	74	11	40	14	78	21	21	69	93	44	37	21	54	86
74	91	06	43	45	41	84	98	45	47	34	67	75	83	00
61	31	83	18	55	46	35	23	30	49	45	30	50	75	21
76	50	33	45	13	11	08	79	62	94	59	74	76	72	77
11	65	49	98	93	52	70	10	83	37	16	52	06	96	76
92	85	25	58	66	57	27	53	68	98	68	65	22	73	76
01	15	96	32	67	20	85	77	31	56	79	37	59	52	20
55	82	34	76	41	15	63	38	49	24	33	52	12	66	65
66	82	14	15	75	92	69	44	82	97	59	58	94	90	67
96	27	74	82	57	77	61	31	90	19	20	55	49	14	09
43	94	75	16	80	38	68	83	21	86	59	40	47	20	59
71	85	71	59	57	26	16	30	18	89	41	29	06	73	12
92	78	42	63	40	65	25	10	76	29	05	67	00	11	19
04	92	17	37	01	36	81	54	36	25	82	41	49	90	05
45	19	72	53	32	64	39	71	16	92	20	24	78	17	59
15	19	11	87	82	04	51	52	56	24	48	46	08	55	58
01	29	14	13	49	83	76	16	08	73	60	83	32	59	64
38	38	47	47	61	14	38	70	63	45	43	52	90	63	18
66	16	44	94	31	51	32	19	22	46	68	72	25	67	36
54	15	58	34	36	72	47	20	00	08	94	81	33	19	00
72	84	81	18	34	05	46	65	53	06	74	45	79	05	61

ARGUMENTOS PARA FORMULAR UN PLAN DE MUESTREO POR ATRIBUTOS

1. TAMAÑO "N" DEL LOTE
   1.1. Es el número de unidades que integran el lote por inspeccionar
   1.2. El tamaño del lote para fines de muestreo e inspección, puede ser ilimitado y de 2 unidades de producto cuando más chico
   1.3. A mayor tamaño del lote, mayor tamaño de muestra, e inversamente; esto es: $n = f(N)$

2. NIVELES DE INSPECCION
   2.1. Define la cantidad relativa de inspección para un mismo tamaño de lote
   2.2. Hay dos grupos de niveles:
      2.2.1. Generales: I, II, III
      2.2.2. Especiales: S-1, S-2, S-3, S-4
   2.3. El tamaño de muestra es mayor para los niveles generales que para los especiales.
      Los tamaños de lote van siendo mayores conforme nos movamos de izquierda a derecha en los niveles de inspección; y van decreciendo si los recorremos a la inversa.
   2.4. Tomaremos niveles de inspección tanto más a la izquierda, cuanto más nos acerquemos a alguna(s) de las circunstancias siguientes:
      2.4.1. Lotes chicos
      2.4.2. Precio unitario del producto, considerable
      2.4.3. Pruebas destructivas
      2.4.4. Pruebas que requieren un tiempo considerable

3. NIVEL DE CALIDAD ACEPTABLE-NCA (ACEPTABLE QUALITY LEVEL-AQL)
   3.1. Es un valor nominal que podemos expresar en alguna de las dos formas siguientes, según convenga o prefiramos:
      3.1.1. % de defectivos
      3.1.2. Defectos por 100 unidades
   3.2. El AQL adopta valores fijos entre 0.10 y 1000
   3.3. Si trabajamos con % de defectivos, utilizaremos exclusivamente valores AQL entre 0.01 y 10.
      Si trabajamos con defectos por 100 unidades, podremos utilizar todos los valores AQL (0.01 a 1000)
   3.4. El AQL nos indica el máximo % de defectivos o máximo número de defectos en 100 unidades, que podremos tolerar en la muestra para aceptar el lote.

4. TIPO DE MUESTREO

4.1. Simple: La aceptación o rechazo de un lote depende de los resultados que obtengamos en una muestra única; que tomemos del mismo.

4.2. Doble: Con una primera muestra del lote; podremos aceptarlo o rechazarlo, o bien requerir una segunda muestra en cuyo caso aceptaremos o rechazaremos en definitiva el lote.

4.3. Múltiple: Con la primera muestra podremos aceptar o rechazar el lote, o bien requerir una segunda muestra, con la que a su vez, podremos aceptar o rechazar el lote, o bien requerir una tercera muestra, y así sucesivamente hasta llegar a la última muestra posible (7a.), en cuyo caso aceptaremos o rechazaremos en definitiva el lote.

5. GRADOS DE SEVERIDAD

5.1. Hay 3 grados de severidad

5.1.1. Normal

5.1.2. Estricto

5.1.3. Reducido

5.2. Los grados normal y estricto utilizan el mismo tamaño de muestra y diferentes números de aceptación y de rechazo, para un mismo AQL e igual tamaño de lote.

5.3. El reducido utiliza diferente y menor tamaño de muestra que los grados normal y severo, para un mismo tamaño de lote e igual AQL.

5.4. El grado de severidad nunca se elige o se impone, ya que se adoptara según la historia cualitativa del producto ("Switching").

TABLA Duración media del recorrido de los gráficos $\bar{X}$, conociendo σ

Tamaño de la muestra	d/σ 0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
3	314.8	223.9	54.7	9.1	2.9	1.5	1.0
4	303.9	192.1	42.9	6.3	2.0	1.2	1.0
5	289.3	175.6	33.4	4.5	1.6	1.1	1.0
6	277.8	159.0	26.3	3.4	1.3	1.0	1.0
7	267.5	147.5	21.3	2.8	1.2	1.0	1.0
8	258.9	133.0	17.7	2.3	1.1	1.0	1.0
9	251.3	122.0	15.0	2.0	1.1	1.0	1.0
10	244.0	111.1	12.8	1.8	1.0	1.0	1.0
15	203.9	76.4	6.9	1.2	1.0	1.0	1.0
20	175.6	56.6	4.5	1.1	1.0	1.0	1.0
25	155.5	41.1	3.2	1.0	1.0	1.0	1.0

* ARL = 1,0 significa que ARL es menos de 1,05.

TABLA A13. Duración media del recorrido de los gráficos $\bar{X}$, basada en $\bar{R}$

Tamaño de la muestra	$d/\bar{R}$ 0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	0.100
3	326.2	254.3	126.1	58.5	15.9	2.1
4	300.3	192.4	67.5	25.7	5.8	1.2
5	277.0	151.6	39.9	13.3	2.9	1.0
6	244.1	114.4	25.2	7.8	1.8	1.0
7	217.6	89.2	17.1	5.1	1.4	1.0
8	197.6	71.1	12.2	3.6	1.2	1.0
9	177.5	57.1	9.0	2.7	1.1	1.0
10	160.0	36.6	6.8	2.1	1.0	1.0
15	99.8	20.3	2.6	1.2	1.0	1.0
20	65.7	10.9	1.6	1.0	1.0	1.0
25	46.0	6.7	1.2	1.0	1.0	1.0

* ARL = 1,0 significa que ARL es menos de 1,05.

TABLA A14.1. Letras de código para tamaño de muestra (MIL-STD-105D)

Tamaño del lote o grupo	Niveles de inspección especial S-1	S-2	S-3	S-4	Niveles de inspección general I	II	III
2–8	A	A	A *	A	A	A	B
9–15	A	A	A	A	A	B	C
16–25	A	A	B	B	B	C	D
26–50	A	B	B	C	C	D	E
51–90	B	B	C	C	C	E	F
91–150	B	B	C	D	D	F	G
151–280	B	C	D	E	E	G	H
281–500	B	C	D	E	F	H	J
501–1.200	C	C	E	F	G	J	K
1.201–3.200	C	D	E	G	H	K	L
3.201–10.000	C	D	F	G	J	L	M
10.001–35.000	C	D	F	H	K	M	N
35.001–150.000	D	E	G	J	L	N	P
150.001–500.000	D	E	G	J	M	P	Q
500.001 and over	D	E	H	K	N	Q	R

TABLA A14.2. Tabla maestra para inspección normal: Muestreo simple (MIL-STD-105D)

Letra-código de tamaño de muestra	Tamaño de la muestra	Niveles de calidad aceptable (inspección normal) 0.010 Ac Re	0.015 Ac Re	0.025 Ac Re	0.040 Ac Re	0.065 Ac Re	0.10 Ac Re	0.15 Ac Re	0.25 Ac Re	0.40 Ac Re	0.65 Ac Re	1.0 Ac Re	1.5 Ac Re	2.5 Ac Re	4.0 Ac Re	6.5 Ac Re	10 Ac Re	15 Ac Re	25 Ac Re	40 Ac Re	65 Ac Re	100 Ac Re	150 Ac Re	250 Ac Re	400 Ac Re	650 Ac Re	1.000 Ac Re
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↑	↑	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	•
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	•		
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	•			
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	•			
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•						
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•							
J	80	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•								
K	125	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•									
L	200	↓	↓	0 1	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•										
M	315	↓	0 1	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•											
N	500	0 1	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•												
P	800	↑	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•													
Q	1.250	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•														
R	2.000	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	•															

TABLA A14.3. Tabla maestra para inspección rigurosa: Muestreo simple (MIL-STD-105D)

Letra-código de tamaño de muestra	Tamaño de la muestra	Niveles de calidad aceptable (inspección rigurosa)																									
		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	1.000
		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	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	27 28
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	27 28	41 42
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	27 28	41 42	↑
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	27 28	41 42	↑	↑
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	27 28	41 42	↑	↑	↑
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
K	125	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
L	200	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
M	315	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N	500	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
P	800	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Q	1.250	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
R	2.000	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	8 9	12 13	18 19	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
S	3.150			1 2																							

TABLA A14.4. Tabla maestra para inspección reducida: Muestreo simple (MIL-STD-105D)

Letra-código de tamaño de muestra	Tamaño de muestra	Niveles de calidad aceptable (inspección reducida)																									
		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	1.000
		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	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31
B	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	2 4	3 5	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31
C	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	14 17	21 24	↑
D	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	14 17	21 24	↑	↑
E	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	14 17	21 24	↑	↑	↑
F	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑
G	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
H	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
J	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
K	50	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
L	80	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
M	125	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N	200	↓	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
P	315	↓	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Q	500	0 1	↑	↓	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
R	800	↑	↑	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

7

Muestreo de aceptación de material por medidas

1. ¿QUE ES EL «LOT-PLOT»?

El método «Lot-Plot» es una clase del plan de muestreo por variables, basándose en una representación gráfica de las medidas de una muestra, cuyo tamaño es constante (50 unidades), sin que se deba tener en cuenta el número de piezas de que se compone el lote.

El fundamento de este método es pretender fotografiar la forma de distribución de las medidas del lote con una muestra de 50 unidades. A través de esta fotografía de la muestra, se puede apreciar el valor central y la dispersión de todo el lote, lo que permite compararlo con las especificaciones establecidas.

Tal fotografía sirve no solamente como un medio de inspección para la aceptación de material, sino también para evaluar la calidad de los productos manufacturados en el taller, analizando la representación gráfica de la muestra es frecuente encontrar en ella sugerencias para tomar acciones correctivas, que puedan mejorar la capacidad del proceso y facilitar una comunicación efectiva entre el consumidor y suministrador. Las representaciones gráficas sobre los lotes para diferentes suministradores de un mismo producto sirven para evaluar y comparar la calidad de cada uno. Así, también podrán proporcionarnos una historia de la calidad de cada suministrador.

(Véase el cuadro 7-1)

Por ejemplo, una lectura precisamente de 0.006 puede registrarse cualquiera de los modos indicados en la siguiente figura.

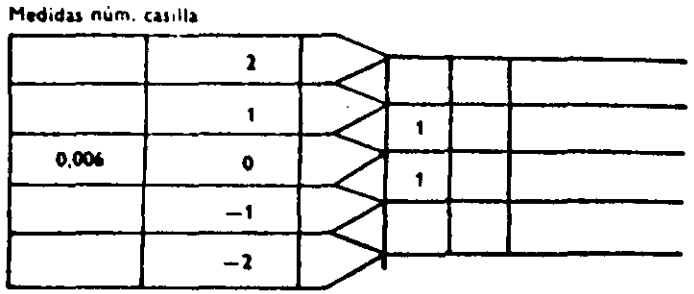


Figura 7-1

Las restantes 45 lecturas, se anotarán de la misma manera, identificándose los sucesivos grupos de 5 por los números 2, 3, 4, ... hasta 30.

Todos los *1*, *2*, etc., de los 10 grupos deberán registrarse en la primera casilla libre a partir de la izquierda; las anotaciones se acumularán hacia la derecha en los sucesivos registros.

En el caso de distribuciones simétricas, en las que por lo menos hay dos casillas libres entre los valores extremos de la distribución y los límites de tolerancia, no es preciso ningún cálculo suplementario para la aceptación del lote.

e) El cálculo del promedio, localización de la línea $\bar{X}$ y los límites son necesarios para aquellos lotes en los cuales la diferencia entre los valores extremos de la distribución y los límites de tolerancia sean inferiores a dos casillas. En nuestro ejemplo, se han hecho estas operaciones del cálculo, solamente para efectos ilustrativos.

f) Una vez registradas las 50 lecturas, en cada casilla de la columna *f*, se anotarán los totales por horizontales. En el ejemplo, tenemos 10 lecturas para la casilla central (0), 9 y 7 para las siguientes hacia arriba y hacia abajo respectivamente. El total de la columna *f* debe ser 50.

g) En la columna *d*, se escribe un *cero* enfrente de la casilla de mayor frecuencia en nuestro caso, $f = 10$, las casillas superiores se numerarán con +1, +2, +3, ... etc., y las inferiores con −1, −2, −3, ... etc.

h) Se multiplicarán los valores correspondientes de las casillas pertenecientes a las columnas *f* y *d* y se colocarán en la casilla *fd*, conservándose el signo de la operación $1(+5) = 5$, $2(+4) = 4$, $7(-7) = -7$, $5(-2) = -10$ sucesivamente. Se sumarán los productos positivos que son de +47 y lo mismo con los negativos que nos dan −36. La diferencia de estas dos sumas es de +11 que se registrará en la casilla Σfd. Si esta diferencia sale cero, significa que la distribución es perfectamente simétrica.

El resultado +11, indica que el promedio originariamente estimado, era bastante aproximado, siendo necesaria una pequeña rectificación (11/50) para determinar la verdadera media. Por lo tanto, se anotará 0,22 en la casilla *d*. La línea $\bar{X}$, está situada por encima del centro de la casilla $d = 0$ a una distancia de 0,22.

i) En la columna ***Recorrido*** se expresa la dispersión en sentido vertical de las casillas, registrándose en número de casillas, para cada grupo de 5 medidas.

Por ejemplo, el recorrido de la primera muestra es de 6 casillas, pero el valor del recorrido será de 5 casillas, ya que se comienza a contar partiendo de 0.

El recorrido de la segunda muestra, es de 10 casillas (0-9) y se registrará en la columna ***Recorrido*** un *9*, así sucesivamente hasta el décimo grupo.

Para hallar el $\bar{R}$, se suman todos los valores de ***Recorridos*** y se dividen entre 10.

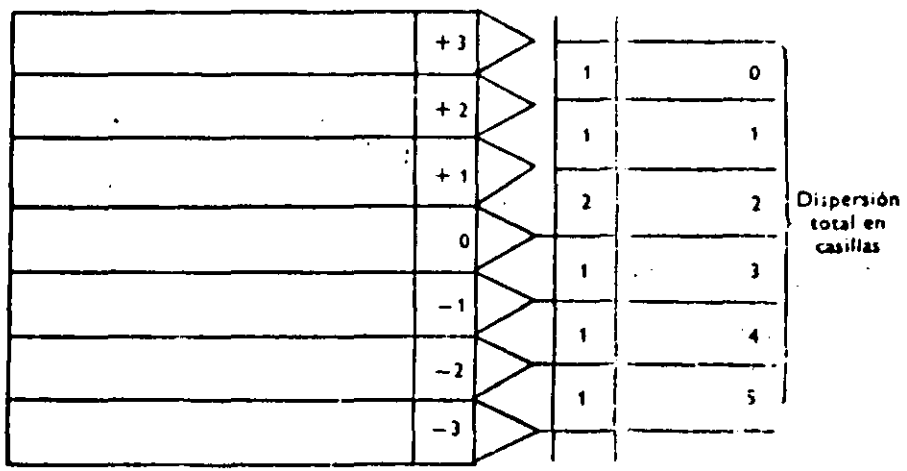


Figura 7-2

El $\bar{R}$ multiplicado por la constante 1,3 da el valor 7,02 en casillas que es el valor de 3σ. Este valor 7,02 es la distancia a partir de la línea $\bar{X}$, a que se encuentran, en número de casillas, los límites de variación *LVS* y *LVI*.

j) La interpretación de nuestro ejemplo es la siguiente: Como la distancia que separa los límites *LVS* o *LVI* y los límites de tolerancia respectivos, es más de dos casillas, se acepta el lote.

g) La columna encabezada por *fd* registra el producto de *f* por *d* para cada casilla conservando el signo correspondiente. Se sumarán los valores positivos y los negativos separadamente, hallándose la diferencia entre ambas cantidades y registrándose en la casilla Σfd con su signo. Se dividirá esta suma por 50 poniendo el resultado de esta operación en la casilla *d*, también con su signo. Este número indica cuantas casillas o fracción de casilla se desplaza el promedio de las 50 medidas con relación al centro 0 de la columna *d*. En este punto se dibujará una línea horizontal que se designará $\bar{X}$.

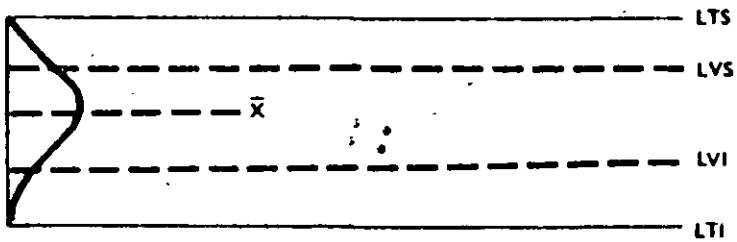
h) En la columna encabezada con *Recorrido* se registrarán en las casillas numeradas del 1 al 10, las dispersiones de cada uno de los 10 grupos de 5 observaciones. La suma de estos 10 recorridos se pondrá en la casilla ΣR y dividiendo esta suma por 10, obtendremos el valor $\bar{R}$ que se colocará en su casilla correspondiente.

Multiplicando el valor $\bar{R}$ por 1,3 obtendremos el valor de 3 σ dado en valores casillas. Este valor nos da la distancia de los límites de variación que se designan *LVS* y *LVI*, límite superior y línea inferior de variación.

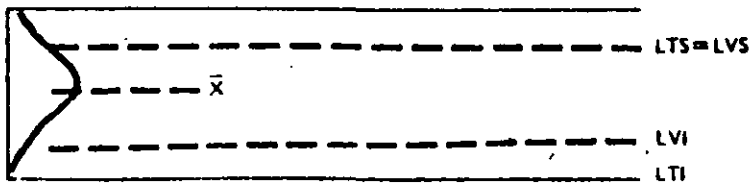
3. INTERPRETACION DEL «LOT-PLOT»

La interpretación del «Lot-Plot» es como sigue:

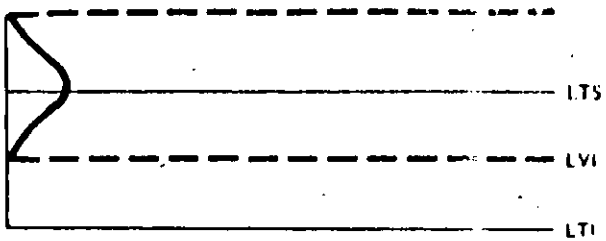
a) Si las líneas de variación quedan comprendidas entre los límites de tolerancia, el lote no contiene unidades defectuosas.



b) Si uno de los límites de variación coincide con un límite de tolerancia, el lote puede contener aproximadamente un 0,1 % de unidades defectuosas.



c) Si un límite de variación cae fuera de la especificación [illegible], el porcentaje estimado de piezas defectuosas se obtiene de la siguiente forma:



El número de casillas comprendido entre el límite de variación y el límite de tolerancia, se divide entre el correspondiente valor de 3 σ y leyendo en la tabla de equivalencias existente en el gráfico de este método, se obtiene el porcentaje aproximado de piezas defectuosas en el lote.

4. EJEMPLO NUMERICO

Siguiendo las instrucciones anteriores, practicaremos el «Lot-Plot» con un ejemplo:

a) Se seleccionan 50 piezas al azar de un lote de 1000 unidades, agrupándolas en 10 grupos de 5 unidades cada uno. (También se puede tomar la muestra de 5 unidades en 10 tomas.)

b) Se leen las lecturas del primer grupo:

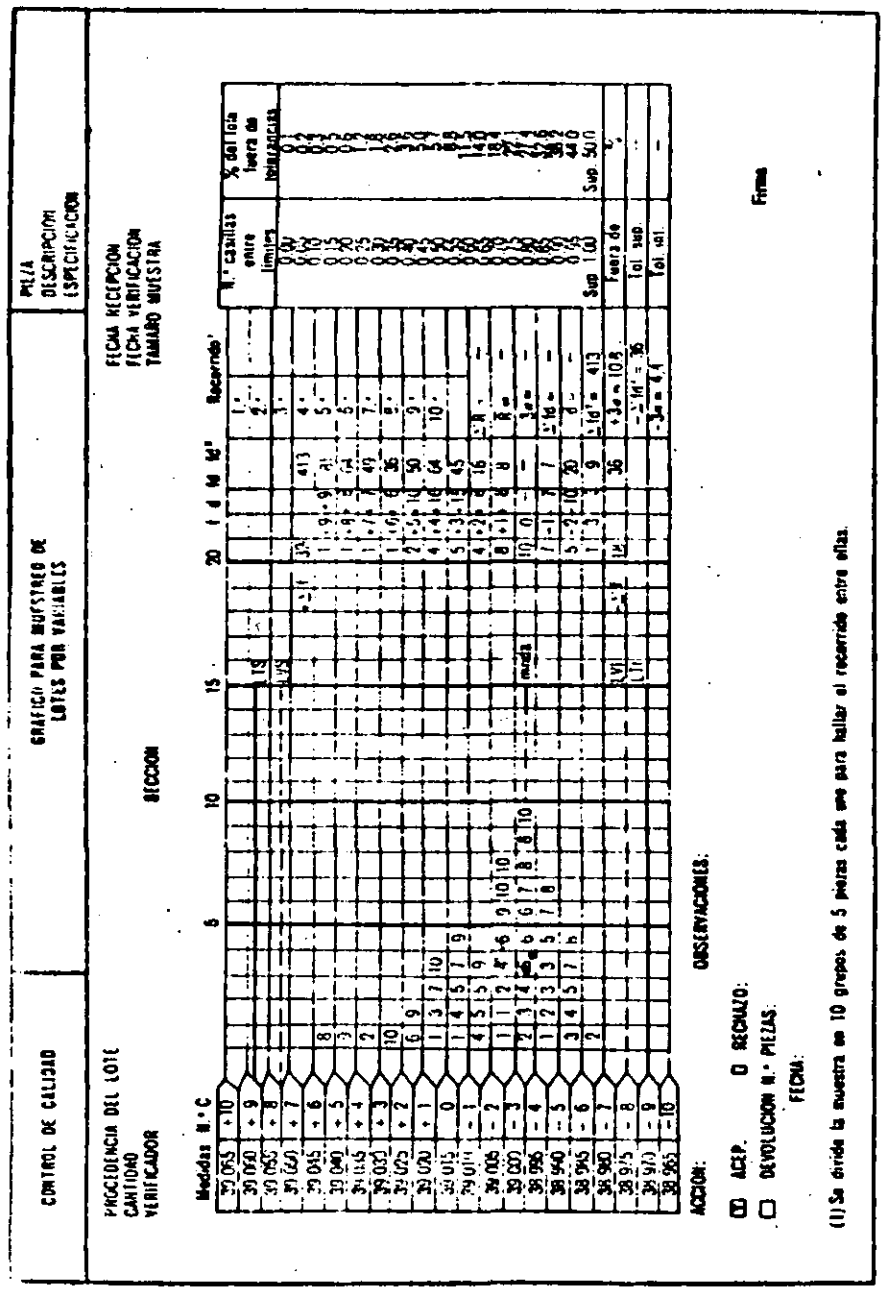
— 0,003
— 0,004
— 0,006
— 0,007
— 0,008

El valor promedio de este grupo, es 0,0056 redondeando 0,006 y el recorrido 0,005. La quinta parte de este recorrido es 0,001 que sirve para la escala de valores.

c) En la columna *Medidas*, se registra 0,006 en la correspondiente escala 0 de la segunda columna y las casillas por encima y por debajo se incrementan y se disminuyen de 0,001 en 0,001.

d) Las primeras 5 medidas, se anotan en las casillas correspondientes, señaladas con el 1.

Nota: Como las líneas horizontales de la retícula representan las medidas actuales de la columna *Medidas*, las pocas lecturas exactas que coinciden con estos valores, se pueden escribir lo mismo en la casilla superior que en la inferior a la línea correspondiente.



CUADRO 7-3

La finalidad de esta modificación, es evitar los riesgos de aceptar un lote malo o rechazar uno bueno, motivado por la asimetría.

En este caso, no se calcula ni el *Recorrido* ni el promedio $\bar{X}$. Se coloca $d = 0$ en la frecuencia mayor que se denomina *Casilla modal* y se traza una línea en el centro de esta casilla modal. Se llenan las columnas f y a como en los casos anteriores y se hallan las columnas fd y fd^2 en sus respectivas casillas.

Para calcular los límites de variación de la representación gráfica, se estiman tratando cada mitad de la distribución separada [illegible] y como si correspondiera a una distribución normal.

En vista de que ambos límites de variación caen dentro de las tolerancias, se acepta el lote sin más interpretación.

7. DISTRIBUCION TRUNCADA DEL LOTE

En el siguiente ejemplo, se ve que la distribución no presenta una forma normal, por lo cual es necesario una modificación en los cálculos.

No se calculan los recorridos y promedio $\bar{X}$. Se identifica la casilla modal y se calculan los valores fd^2 solamente de un lado, en nuestro ejemplo, el opuesto al lado del truncamiento del lote. La suma de los valores, para esta parte, se calcula añadiendo una mitad del número de la casilla modal (22 + 8,5 = 30,5).

El límite inferior de variación se obtiene mediante el siguiente cálculo

$$3\,\sigma = 3\sqrt{\frac{\Sigma fd^2}{\Sigma f}} = 3\,(1{,}93) = 5{,}8$$

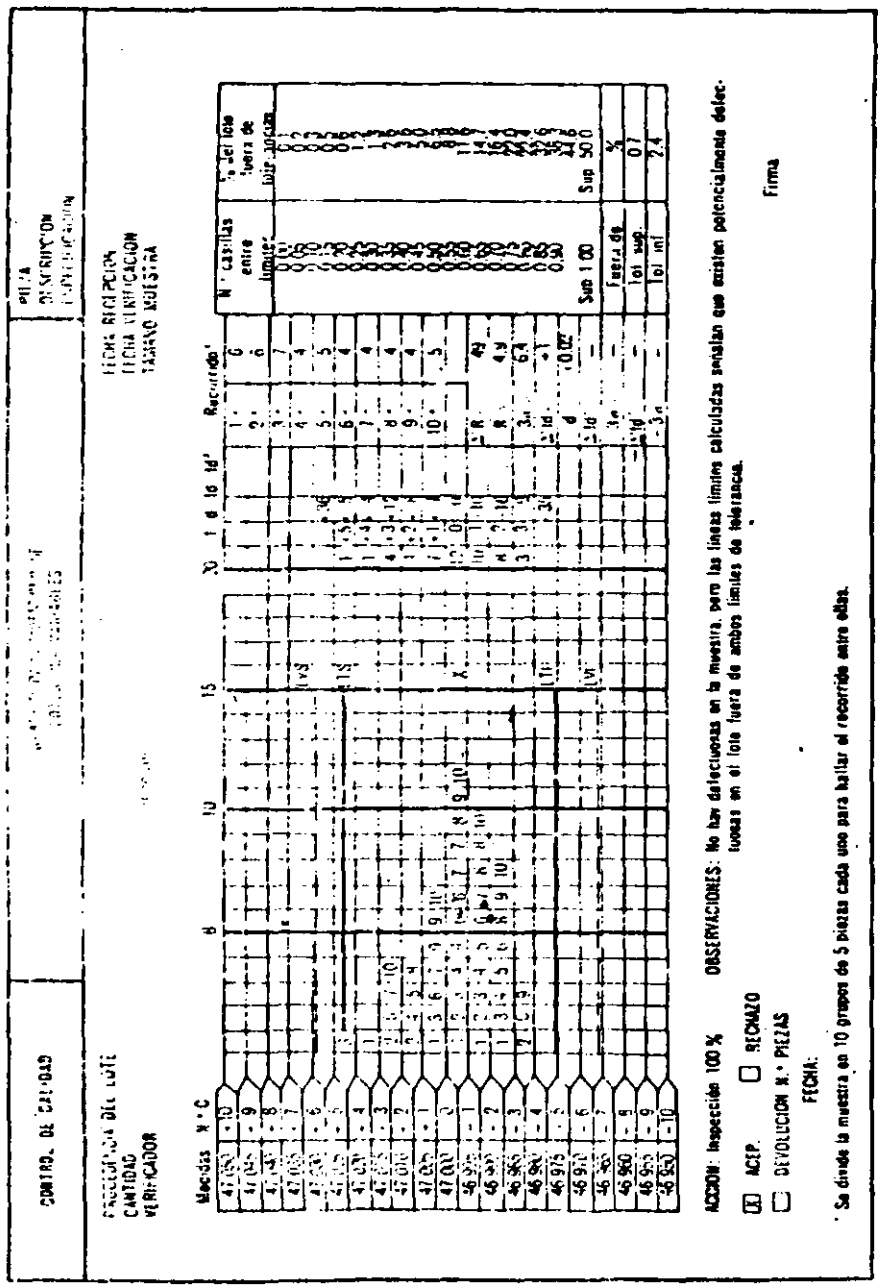
o sea, debajo de la casilla modal se localiza 5,8 casillas.

La distribución truncada indica que el suministrador ha seleccionado el lote eliminando las piezas que superaban la tolerancia superior.

En la inspección 100 % siempre cabe la posibilidad de que el suministrador no consiga una efectividad absoluta; a pesar de que en la muestra de 50 piezas no se haya registrado una sola pieza fuera de las especificaciones.

Si el suministrador no tiene una buena inspección 100 %, es probable que en un lote grande el número de piezas defectuosas sea de 1 %, aunque no haya ninguna defectuosa en la muestra. En este caso, la decisión sobre la aceptación o inspección 100 %, depende del grado de confianza que tenga el comprador, teniendo en cuenta la experiencia adquirida mediante los suministros anteriores.

El posible límite superior de variación se dibuja en la casilla 5,8 a partir de la casilla modal para indicar la posible extensión de los defectuosos.



CUADRO 7-2

5. ESTIMACION DEL PORCENTAJE DEFECTUOSO EN EL LOTI SI LOS LIMITES DE VARIACION ESTAN FUERA DE LOS LIMITE: DE TOLERANCIA

En el cuadro 7-2, tenemos otro ejemplo calculado de forma idéntic al anterior, sin embargo, observemos que el valor de 3 σ es de 6,4 casilla y así hace que los límites de variación caigan por encima y por debaj de los límites de tolerancia. Esto prueba que aunque la muestra de 5 observaciones no presenta defectuosas, existen muchas probabilidade de que se hallen piezas defectuosas en el lote.

La estimación se hace mediante la siguiente operación: se calcula e número de casillas comprendido entre el límite de variación y el límite de tolerancia (en caso de que las dos líneas límites de la muestra caigar fuera de los límites de tolerancia, se calcula separadamente según el número de casillas que se distancien en cada lado), dividiendo por el valor de 3 ; se lee este valor cociente en la columna *Número casillas entre límites* y en la siguiente veremos el porcentaje defectuoso estimado para el lote.

En el ejemplo del cuadro 7-2, vemos que la distancia entre el límite superior de variación y el límite de tolerancia superior es aproximadamente de 1,2 casillas. Dividiendo por 6,4 (3 σ) obtenemos un cociente de 0,19.

En la columna de *Número de casillas entre límites* vemos que para un valor de 0,19 le corresponde en la siguiente columna un porcentaje estimado de 0,7 % aproximadamente. (Sin interpolar, podríamos decir que la estimación está comprendida entre 0,5 % y 0,8 %.) Por otro lado, la distancia entre el límite de variación inferior y el límite de tolerancia inferior, es de 2,2 casillas, dividiendo 2,2 por 6,4 obtenemos el cociente de 0,34; el porcentaje estimado en el lote fuera de la tolerancia inferior, será aproximadamente 2,4 % según nos indican las columnas antes mencionadas.

En este ejemplo, se ve que la fabricación está centrada con respecto a los límites de tolerancia, pero se presenta la dificultad de estrechar la variabilidad en el proceso. Técnicamente, si no es posible localizar el fallo o mejorar la calidad, deben separarse los productos defectuosos por inspección 100 %.

6. DISTRIBUCION ASIMETRICA

Cuando la representación gráfica de 50 unidades del lote presenta una marcada asimetría o truncamiento lateral, es decir, que la distribución no tiene la forma de la curva normal como los casos anteriores, el procedimiento para el cálculo de los límites de variación debe ser modificado.

	LOTES POR VARIABLES	ESPECIFICACION

PROCEDENCIA DEL LOTE
CANTIDAD
VERIFICADOR

SECCION

FECHA RECEPCION
FECHA VERIFICACION
TAMAÑO MUESTRA

Medida	N.° C	5	10	15	20	f	d	fd	fd²	Recorrido¹
	+10									1.°
0.150	+9									2.°
0.149	+8									3.°
0.148	+7		Probable LIS							4.°
0.147	+6									5.°
0.146	+5									6.°
0.144	+3									8.°
0.143	+2			LIS						9.°
0.142	+1	1 1 2 3 3 4 4 5 6 6 7 8 8 9 9 10			moda	17	0	0		10.°
0.141	0	1 1 1 3 3 6 7 7 9 9 10				11	1	11	11	
0.140	-1	1 2 3 6 10				5	2	10	20	Σ R =
0.139	-2	2 2 5				3	-3	9	27	R̄ =
0.138	-3	2 3				2	4	8	32	3σ =
0.137	-4	5				1	-5	5	25	Σ fd =
0.136	-5			LVI	Σ fd	30,5			115	d =
0.135	-6									Σ fd² =
0.134	-7									+3σ =
0.133	-8			LTI						−Σ fd = 115
0.132	-9									−3σ = 5.8
	-10									

N.° casillas entre límites	% del lote fuera de tolerancias
0.00	0.1
0.05	0.2
0.10	0.3
0.15	0.5
0.20	0.8
0.30	1.8
0.35	2.6
0.40	3.5
0.45	5.0
0.50	6.7
0.55	8.8
0.60	11.3
0.65	14.7
0.70	18.4
0.75	23.7
0.80	27.4
0.85	32.6
0.90	38.2
0.95	44.0
Sup 1.00	Sup 50.0
Fuera de	—
Tol. sup.	—
Tol. inf.	—

ACCION

OBSERVACIONES: Lote inspeccionado 100 %. No se encuentra defectuosas en la muestra. La reinspección depende de la eficacia de la verificación del suministrador.

× ACEP. ☐ RECHAZO.

☐ DEVOLUCION N.° PIEZAS:

FECHA.

Firma

(1) Se divide la muestra en 10 grupos de 5 piezas cada uno para hallar el recorrido entre ellas.

CUADRO 7-4

CONTROL DE CALIDAD	GRAFICO PARA MUESTREO DE LOTES POR VARIABLES	PIEZA DESCRIPCION ESPECIFICACION

PROCEDENCIA DEL LOTE
CANTIDAD
VERIFICADOR

SECCION

FECHA RECEPCION
FECHA VERIFICACION
TAMAÑO MUESTRA 50 + 50 = 100

Medida	N.° C	5	10	15	20	f	d	fd	fd²	Recorrido¹
	+10									1.°
	+9									2.°
	+8									3.°
	+7	5								4.°
	+6	2 7								5.°
	+5	5 6 7 8 9 9								6.°
	+4	1 3 4 4 8 10 10	moda							7.°
	+3	2 2 6 7 9 10								8.°
	+2	3 5 8								9.°
	+1	1 1								10.°
	0									
	-1	1 1 6								
	-2	3 3 3 7 8 9	moda							Σ R =
	-3	2 3 5 6 10								R̄ =
	-4	2 4 7 10								3σ =
	-5	5 6 9								Σ fd =
	-6	4 8								d =
	-7									Σ fd² =
	-8									+3σ =
	-9									−Σ fd =
	-10									−3σ =

N.° casillas entre límites	% del lote fuera de tolerancia
0.00	0.1
0.05	0.2
0.10	0.3
0.15	0.5
0.20	0.8
0.30	1.8
0.35	2.6
0.40	3.5
0.45	5.0
0.50	6.7
0.55	8.8
0.60	11.3
0.65	14.7
0.70	18.4
0.75	23.7
0.80	27.4
0.85	32.6
0.90	38.2
0.95	44.0
Sup 1.00	Sup 50.0
Fuera de	—
Tol. sup.	
Tol. inf.	

ACCION

OBSERVACIONES: La muestra debe ser aumentada hasta 100 unidades para tomar una decisión.

☐ ACEP. ☐ RECHAZO

☐ DEVOLUCIÓN N.° PIEZAS

FECHA.

Firma

(1) Se divide la muestra en 10 grupos de 5 piezas cada uno para hallar el recorrido entre ellas.

3. CASO BI-MODALES

Algunas veces se dan casos en las distribuciones representadas con dos modas. Por ésto, se aprecia indicaciones de que existen dos distribuciones.

En tales casos, los límites de variaciones se pueden calcular a partir de cada casilla modal separadamente empleando la mitad de los valores en la casilla modal y todos los valores desde esta casilla a la rama exterior de la distribución.

Como con las medidas entre dos casillas modal se «pierden en estos cálculos», se debe ampliar el tamaño de la muestra hasta 100 unidades, si se asegura la misma precisión para cada cálculo de límites de variaciones en cuestión como se obtienen en las distribuciones unimodales de las 50 lecturas.

Los cálculos se desarrollan de modo semejante al expuesto anteriormente al tratarse de la distribución asimétrica.

8

Planes de muestreo para producción continua

1. DIFICULTADES CON EL PLAN DE MUESTREO EN LOTES, CUANDO LA PRODUCCION ES CONTINUA

En los capítulos anteriores, hemos estudiado diversos procedimientos de inspección por muestreo para aceptación de material en lotes. En estos planes, la formación de lote que ha de someterse a la verificación es esencial. El Control de Recepción podrá aplicar estos planes ampliamente, ya que los envíos recibidos son fáciles para la formación de un lote. Sin embargo, en los talleres existen muchos puestos de trabajo, que operan de una manera continua sin que puedan formarse lotes. Para estas circunstancias de fabricación, la aplicación de los planes de muestreo en lotes tiene en la práctica una serie de dificultades. Si se quiere adoptar los planes de muestreo en lotes, se necesitará más espacio para la formación de lotes en los puntos de terminación de fabricación y se incrementará el almacén intermedio en los talleres. En caso de que los materiales fueran explosivos, necesitaría una seguridad adicional para el personal que trabaja en su alrededor. Si el material se deteriora con facilidad y el proceso es lento, se habrán estropeado dos productos antes de formar un lote para inspección.

Por otro lado, si se marcara lotes artificialmente, en el flujo continuo de la fabricación, con el fin de aplicar los planes de muestreo en lotes, correría el peligro de ocurrir que un lote fuera rechazado, pero una parte del mismo no esté fabricado y otra parte ya está en la siguiente fase de

fabricación; algunas veces, un lote rechazado puede requerir una inspección 100 %, y por lo tanto, la parte que está en la siguiente etapa de fabricación debe ser retrocedida, causando una pérdida económica o una molestia para otras secciones de fabricación. Una u otras dificultades en la práctica, no permiten la aplicación de los planes de muestreo en lotes. Por esto, se han desarrollado otros planes, especialmente para producción continua. Estos se llaman «Planes de muestreo continuo» en contraposición de los planes de inspección «de lote en lote».

Los planes de muestreo continuo tienen carácter del plan «aceptación rectificación», es decir, no rechaza el producto, sino que le somete a una verificación total para obtener la parte fabricada satisfactoriamente.

Recordemos la palabra AOQL que significa «el límite máximo de la calidad media después de la inspección combinada por muestreo y 100 %, sustituyendo las piezas defectuosas por las buenas.

Existen diversos planes de muestreo continuo según podemos ver a continuación:

2. PLANES DE DODGE PARA EL MUESTREO CONTINUO

a) *CSP-1 (Plan de muestreo continuo 1)*

El plan de muestreo continuo fue iniciado primero por H. F. Dodge, de la casa Bell Telephone Laboratories, en 1943. El CSP-1 fue el primer plan de Dodge y la inspección se realiza de la siguiente manera: Al comenzar el plan se inspeccionan todos los productos 100 %, según el orden de fabricación; cuando se hayan inspeccionado i unidades consecutivas del producto sin hallar ninguna defectuosa, interrumpe la inspección 100 % y empieza el muestreo. El muestreo consiste en inspeccionar una fracción f de unidades. Por ejemplo: $f = 0{,}10$ quiere decir cada 10 piezas del producto se verifica una.

PRIMERA ETAPA

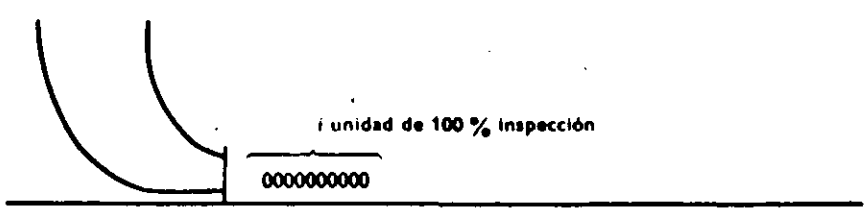


Figura 8-1

SEGUNDA ETAPA

Si no se halla ninguna defectuosa, se efectuará la inspección por muestreo cada una fracción f de piezas.

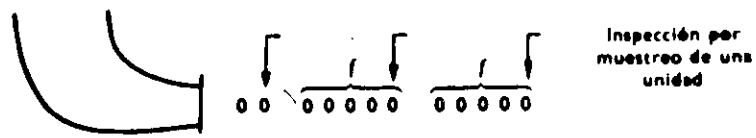


Figura 8-2

Si durante la inspección por muestreo se halla un defectuosa, se vuelve a la inspección 100 % inmediatamente:

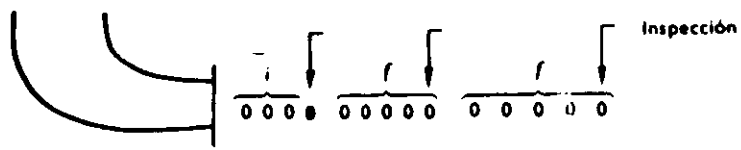


Figura 8-3

Si después de verificar nuevamente i unidades consecutivas sin hallar ninguna defectuosa, se empieza de nuevo la inspección por muestreo en la verificación de una fracción f de unidades producidas.

Todas las defectuosas encontradas, por este plan, deben ser sustituidas por buenas, tanto en la inspección 100 % como por muestreo.

En el plan CSP-1, los valores i y f están asociados con un valor específico de AOQL. Para cualquier combinación de i y f, se puede encontrar un AOQL determinado. Al mismo tiempo un determinado AOQL puede encontrar diferentes combinaciones i y f. Dodge preparó un gráfico especial para las combinaciones de i y f con los valores de AOQL que reproducimos aquí (gráfico 8-1).

GRAFICA

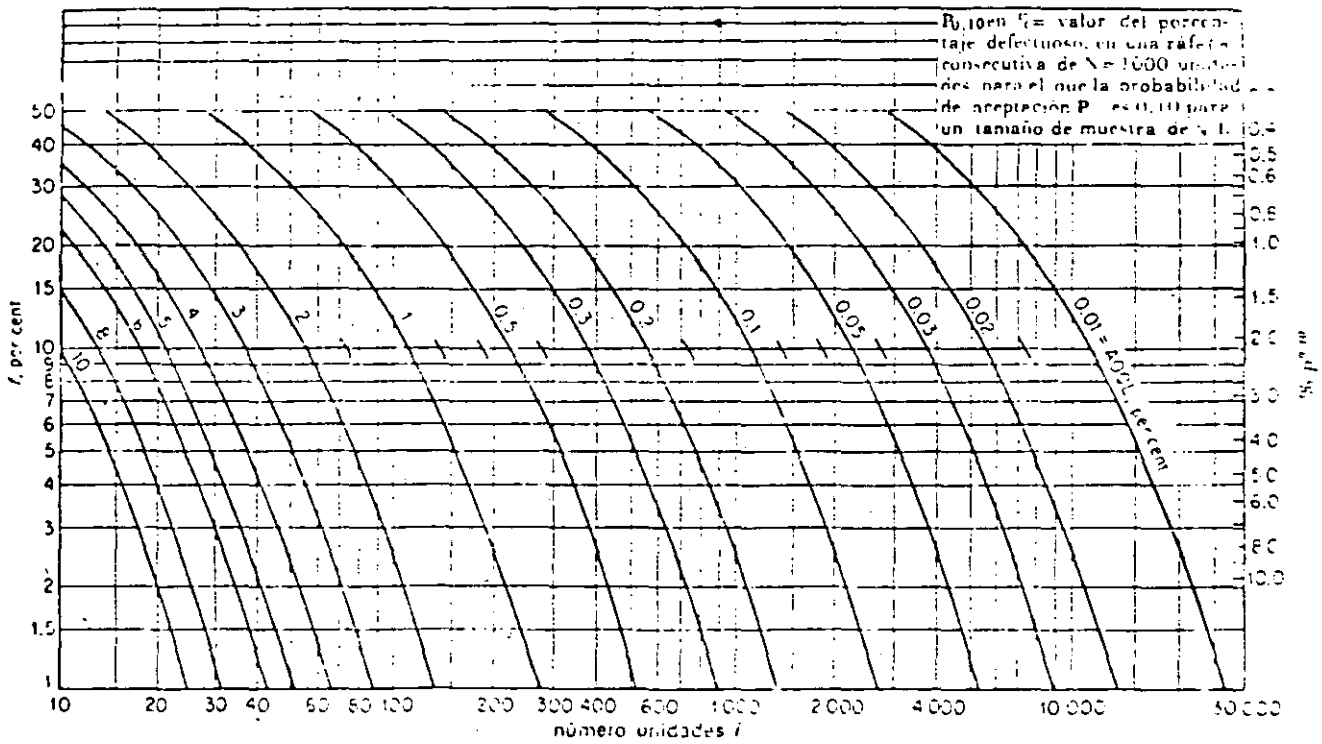


Fig 16-1. Curvas para determinar los valores de f y de i para un AOQL dado en el plan de Dodge CSP-1 para producción continua. (*Reproducidas con autorización de H. F. Dodge de "A Sampling Inspection Plan for Continuous Production, the Annals of Mathematical Statistics, vol. 14, pags. 264-279, septiembre 1943*).

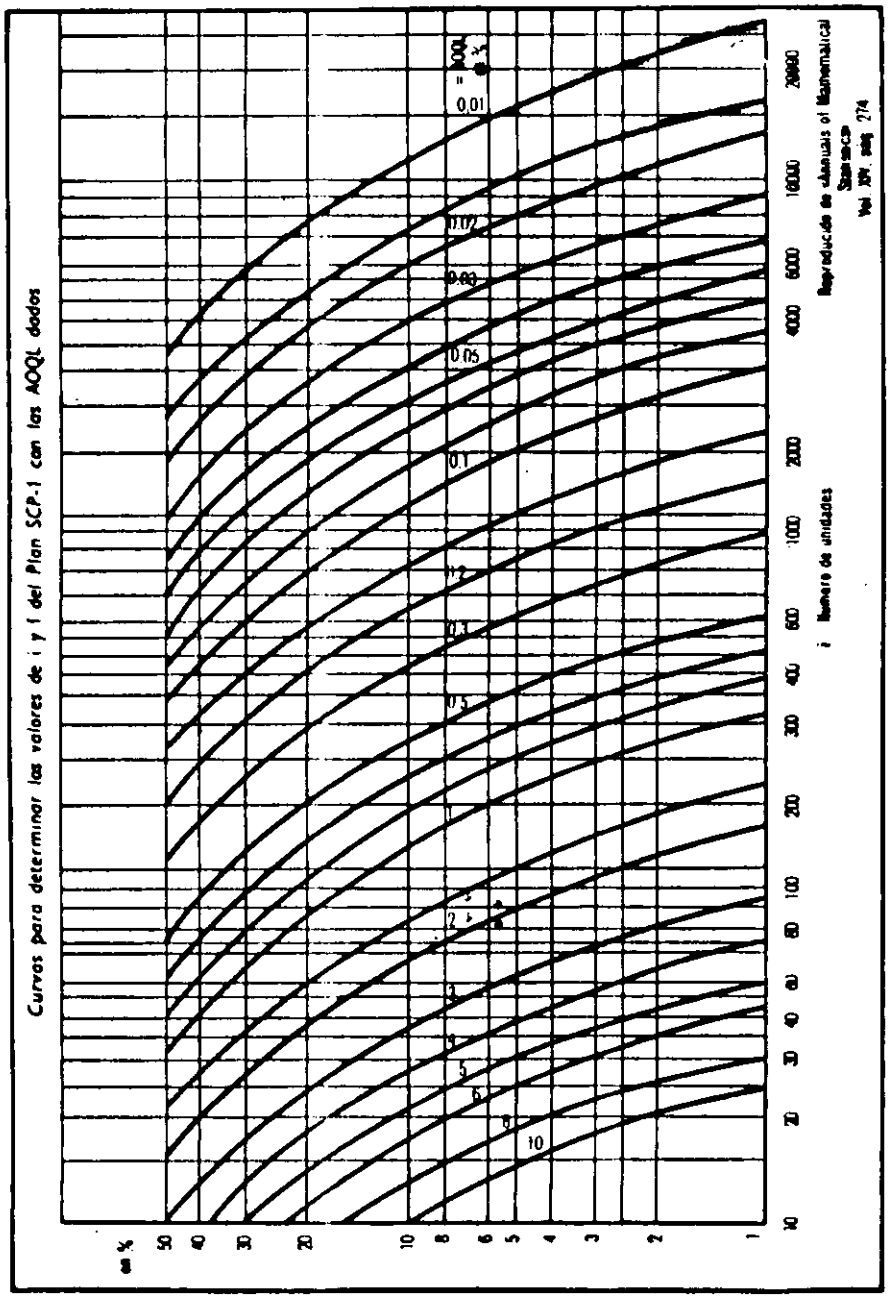


Gráfico 8-1

Si señalamos un AOQL del 1 %, se puede encontrar los siguientes planos:

I) $i = 150$; $f = 0{,}05$ (cada 20 se verifica una unidad)
II) $i = 60$; $f = 0{,}25$ (cada 4 se verifica una unidad)
III) $i = 70$; $f = 0{,}20$ (cada 5 se verifica una unidad)
IV) $i = 50$; $f = 0{,}30$ (cada 3 se verifica una unidad)

. . . . . .

La selección de i y f está generalmente basada en las consideraciones prácticas.

Por ejemplo, si el verificador está en el final de la línea de fabricación, es preferible elegir una i pequeña para tener una f mayor.

Dodge indicó que la protección contra la mala calidad esporádica es muy pobre si la f es menor que 0,02. Sin embargo, la carga de trabajo de los verificadores también debe tenerse en cuenta. La mayor frecuencia de muestreo supone la mayor carga de trabajo a los verificadores. Dodge sugiere que el mejor resultado puede tenerse si se cargan los trabajos de la inspección 100 % al departamento de Fabricación. Mientras la inspección por el muestreo al departamento de Control.

Si hay más que una clase de defectos, por ejemplo, defecto mayor y menor, se puede aplicar CPS-1 separadamente a cada clase. Es preferible, en este caso elegir un i para defectos mayores y otro i para defectos menores, teniendo constante la f. Así obtenemos la ventaja de que tanto para defecto mayor como para defecto menor, coincide en la misma unidad para la inspección por muestreo, excepto cuando se aplica la inspección 100 % al defecto mayor y la inspección por muestreo al defecto menor o viceversa.

En la práctica, podría ocurrir que los operarios conociesen la frecuencia de inspección de un modo sistemático, por lo que prestarían mayor atención a la pieza que va a ser sometida a inspección. Si se obra así, la consecuencia sería un descenso en la calidad media del producto.

Por ejemplo, tenemos un plan en $i = 150$, $f = 0{,}05$: el AOQL = 1 % para controlar durante el proceso. Si la toma de la muestra es sistemática, es decir, se selecciona una muestra de cada 20 unidades para la verificación, y si hay un aumento de porcentaje defectuoso en las piezas no muestradas, la calidad media AOQL pudiera ser más del 11 % en vez del 1 %.

Para contrarrestar este fallo, Dodge aconseja que se tome una muestra aleatoria para cada grupo de $1/f$ piezas. Será seleccionada para la inspección según los números equiprobables entre 0 y $1/f - 1$. Si $f = 0{,}10$ podemos para cada grupo de 10 piezas seleccionar un dígito (0, 1, 2, ... 6 9) de la tabla de números equiprobables y éste indica la pieza que debe ser seleccionada.

b) CSP-2 y CSP-3 (Plan de muestreo continuo 2 y 3)

Estos dos planes de Dodge son variantes del plan original arriba mencionado. La razón de la variación es la siguiente:

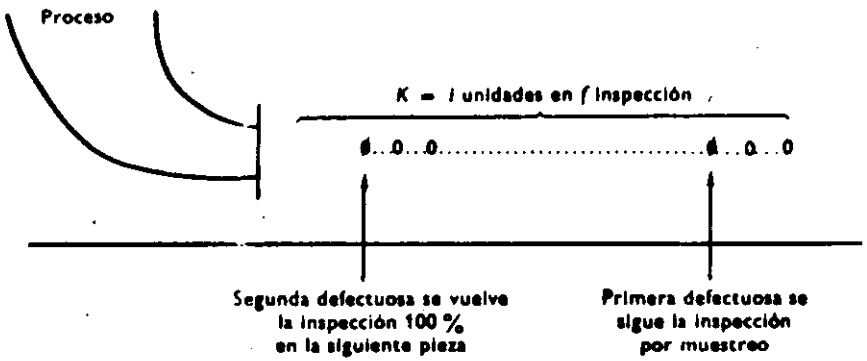


Figura 8-4

Muchos verificadores opinan que al hallar una pieza defectuosa, no siempre es necesario recurrir a la inspección 100 %, ya que esa defectuosa podría ser esporádica en el proceso de la fabricación. En 1951, Dodge y y Toney propusieron los planos CSP-2 y CSP-3.

El plan CSP-2 es el siguiente:

Figura 8-5

La inspección 100 % no se vuelve hasta que se encuentren dos defectuosas durante el espacio de K unidades de la muestra. Este K se identifica con i. Por ejemplo, tenemos un plan de $i = 60$, $f = 0{,}20$ y AOQL = 1 %, durante la inspección por muestreo, la frecuencia es cada 5 unidades verificar 1. Si en 60 verificaciones se encuentra dos defectuosas se interrumpe la inspección por muestreo, y se vuelve a la del 100 %.

El plan de CSP-3 sigue la forma de CSP-2, pero incorporando el siguiente procedimiento para dar una protección adicional contra la producción esporádica. Este plan requiere que, después de hallar una defectuosa en la inspección por muestreo, se verifica las 4 piezas inmediatas de esta defectuosa. Si alguna de las 4 es defectuosa, se vuelve a la inspección 100 %. Si no hay más defectuosas, se procede como el plan CSP-2.

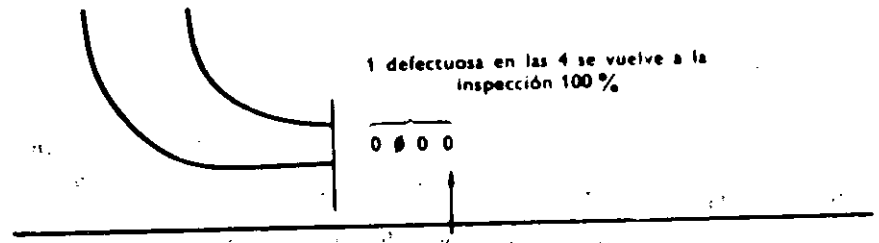


Figura 8-6

$$< \frac{\sigma^2}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{1-\beta}{\alpha} + m \frac{\theta_0+\theta_1}{2}$$

$$(10) \quad \sum_{\alpha=1}^{m} x_\alpha \leq \frac{\sigma^2}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{\beta}{1-\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2} \qquad y:$$

$$(11) \quad \sum_{\alpha=1}^{m} x_\alpha \geq \frac{\sigma^2}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{1-\beta}{\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$$

respectivamente.

Mediante el uso de las desigualdades (9), (10) y (11),-- el proceso se realiza de la siguiente manera. Para cada m, calculamos el número de aceptación

$$(12) \quad a_m = \frac{\sigma^2}{\theta_1-\theta_0} \log \frac{\beta}{1-\alpha} + m \frac{\theta_0+\theta_1}{2}$$

y el número de rechazo

$$(13) \quad r_m = \frac{\sigma^2}{\theta_1-\theta_0} \log \frac{1-\beta}{\alpha} + m \frac{\theta_0+\theta_1}{2}$$

Dichos números se calculan antes de empezar la inspección Dicha inspección continúa en tanto $a_m < \Sigma x_\alpha < r_m$. La primer ocación--- que Σx_α no se encuentre entre a_m y r_m, la inspección termina. El-- lote se acepta si $\Sigma x_\alpha \leq a_m$, y el lote se rechaza si $\Sigma x_\alpha = r_m$.

Como ilustración consideremos el siguiente ejemplo. Sea- $\theta_0=135$, $\theta_1=150$, $\alpha=0.01$ y $\beta=0.03$, además $\sigma=25$. Las observaciones y- los números de aceptación y de rechazo se encuentran tabulados en-

$$(4) \quad \frac{e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x_\alpha - \theta_1)^2}}{e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x_\alpha - \theta_0)^2}} \leq B$$

La inspección del lote termina con el rechazo del lote si

$$(5) \quad \frac{e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x_\alpha - \theta_1)^2}}{e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x_\alpha - \theta_0)^2}} \geq A$$

Los valores aproximados de A y B están dados por $(1-\beta)/\alpha$ y $\beta/(1-\alpha)$ respectivamente.

Tomando logaritmos de (3), (4) y (5), y simplificando tenemos:

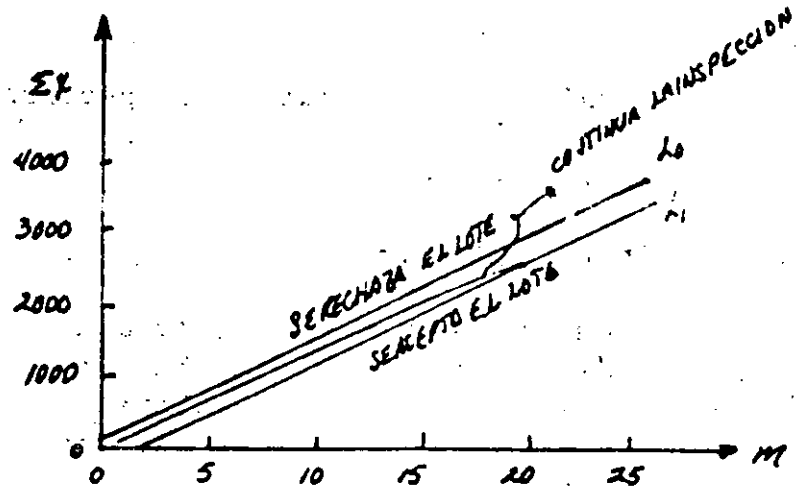
$$(6) \quad \log \frac{\beta}{1-\alpha} < \frac{\theta_1 - \theta_0}{\sigma^2} \sum_{\alpha=1}^{m} x_\alpha + \frac{m}{2\sigma^2}(\theta_0^2 - \theta_1^2) < \log \frac{1-\beta}{\alpha}$$

$$(7) \quad \frac{\theta_1 - \theta_0}{\sigma^2} \sum_{\alpha=1}^{m} x_\alpha + \frac{m}{2\sigma^2}(\theta_0^2 - \theta_1^2) \leq \log \frac{\beta}{1-\alpha} \quad \text{y:}$$

$$(8) \quad \frac{\theta_1 - \theta_0}{\sigma^2} \sum_{\alpha=1}^{m} x_\alpha + \frac{m}{2\sigma^2}(\theta_0^2 - \theta_1^2) \geq \log \frac{1-\beta}{\alpha}$$

Otras simplificaciones se pueden hacer sumando $(-m/2\sigma^2)(\theta_0^2 - \theta_1^2)$ a ambos lados de las desigualdades (6), (7) y (8) y la división de éstas por $(\theta_1 - \theta_0)/\sigma^2$. Estas operaciones transforman dichas ecuaciones en

$$(9) \quad \frac{\sigma^2}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{\beta}{1-\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2} < \sum_{\alpha=1}^{m} x_\alpha <$$



El número de observaciones m, se mide sobre el eje horizontal. Los puntos (m,a_m) se encuentran sobre una linea recta L_o y los puntos (m,r_m) sobre una línea paralela L_1. Dibujamos las lineas L_o y L_1, antes de iniciar la inspección. Los puntos $(m,\sum_{\alpha=1}^{m} x)$ se grafican conforme se va realizando la inspección. Dicha inspección--- continúa en tanto los puntos $(m,\Sigma x_\alpha)$ se encuentren entre las lineas L_o y L_1. La inspección termina la primer vez que el punto $(m,\Sigma x_\alpha)$- no se se encuentre entre L_o y L_1. Si se encuentra sobre Lo o por-- abajo de ella, el lote se acepta, y si se encuentra sobre L_1, o--- por encima de ella, el lote se rechaza.

La pendiente común de las lineas L_o y L_1 está dada por--

$$(14) \quad s = \frac{\theta_o+\theta_1}{2}$$

La intersección de L_o es igual a

$$(15) \quad h_o = \frac{V^2}{\theta_1-\theta_o} \log \frac{\beta}{1-\alpha}$$

y la intersección de L_1 está dada por

la siguiente tabla, la cual demuestra que la inspección termina en m=20 con la aceptación del lote.

m Número de observaciones	a_m Número de aceptación	x Valor observado	Σx Suma acumulada de valores observados	r_m Número de rechazo
1	----	151	151	334
2	139	144	295	476
3	281	121	416	619
4	424	137	553	761
5	566	138	691	904
6	709	136	827	1046
7	851	155	982	1189
8	994	160	1142	1331
9	1136	144	1286	1474
10	1279	145	1431	1616
11	1421	130	1561	1759
12	1564	120	1681	1901
13	1706	104	1785	2044
14	1849	140	1925	2186
[illegible]	1991	125	2050	2329
[illegible]	2134	106	2156	2471
17	2276	145	2301	2614
18	2419	123	2424	2756
19	2561	138	2562	2899
20	2704	108	2670	3041
21	2846	---	----	3184
22	2989	---	----	3326
23	3131	---	----	3469
24	3274	---	----	3611
25	3416	---	----	3754

El procedimiento se puede llevar a cabo también en forma gráfica, como se muestra en la siguiente figura.

BIBLIOGRAFIA.

1- INTRODUCTION TO MATHEMATICAL STATISTICS.
ROBERT V. HOGG AND ALLEN T. CRAIG.

2- INTRODUCTION TO MATHEMATICAL STATISTICS.
PAUL G. HOEL.

3- INTRODUCCION A LA TEORIA DE LA ESTADISTICA.
ALEXANDER M. MOOD Y FRANKLIN A. GRAYBILL.

4- SEQUENTIAL ANALYSIS.
ABRAHAM WALD.

5- ESTADISTICA MATEMATICA.
ERWIN KREYSZIG.