DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO
TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE
CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRALES
DEL 17 DE AGOSTO AL 21 DE SEPTIEMBRE DE 1992.

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ
COORDINADOR DE INFORMATICA DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES Y PROFESOR TITULAR EN LA UNAM
AV. MICHOACAN S/N. COL. TEPALCATE, C.P. 09210, DELEG.
IZTAPALAPA, MEXICO, D.F.,
TEL. 691 7185 y 692 00 77 EXT. 301 al 305

M. EN I. RAFAEL BRITO RAMIREZ
DIRECTOR GENERAL
BRIRA, S.A. DE C.V.
HUASTECA 169, COL. INDUSTRIAL
TEL. 759 05 02 y 517 18 30

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

M. EN I. AUGUSTO VILLARREAL ARANDA
DIRECTOR DE OPERACIONES
GRUPO VEZ
AV. PACIFICO 213, COL. LOS REYES, DELEGACION COYOACAN, C.P.
09330, MEXICO, D.F., TEL. 544 38 89, 544 28 90 y 544 28 91

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO
TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD
DE PROCESOS INDUSTRIALES
DEL 17 DE AGOSTO AL 21 DE SEPTIEMBRE DE 1992.

1.- DE LA RIVA LARA JOSE MARCOS
INGENIERO
AEROVIAS DE MEXICO, S.A. DE C.V.
AV. FUERZA AEREA MEXICANA No. 416, COL. FEDERAL, DELEG.
V. CARRANZA, C.P. 15700
TEL. 571 92 52 OFNA.

2.- DIAZ RUIZ GLORIA
CAFETAL 473, COL. GRANJAS MEXICO, DELEG. IZTACALCO, C.P.
08400, TEL. 657 17 75 DOM.

3.- MOLINA FLORES MARIO ROGELIO
JEFE DE DIAGNOSTICO
EQUIPOS NACIONALES S.A. DE C.V
CAMINO A SN. MATEO IXTACALCO No. 400, CUAUTITLAN IZCALLI
C.P. 54800, EDO. DE MEX., TEL 872 15 18 OFNA.

4.- MORENO RIVAS GERMAN DAVID
13 DE CELI No. 324-A, FRACC, VALLE DORADO, EDO. DE MEX,
54020, TEL. 379 49 63 DOM.

5.- ORTIZ IBARRA DANIEL
JEFE DE DEPARTAMENTO
EQUIPOS NACIONALES S.A. DE C.V.
CAMINO A SN. MATEO IXTACALCO No. 400, CUAUTITLAN IZCALLI
C.P. 54800, EDO. DE MEX., TEL 872 15 18 OFNA.

6.- VENTURA FRANCISCO ENRIQUE
SUPERVISOR CONTROL DE CALIDAD
RUBBERMAID DE MEXICO S.A. DE C.V.
AV. 2 No. 9, PARQ. INDUSTRIAL CARTAGENA, TULTITLAN, MEX,
C.P. 54900, TEL. 872 49 66 OFNA.

[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	

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:

_____

_____

_____

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

CURSOS ABIERTOS

TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES

M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

AGOSTO-SEPTIEMBRE 1992

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

I N T R O D U C C I O N

. **EVOLUCION Y CONTRIBUCIONES A LA CALIDAD**

. **CONTROL DE CALIDAD A LO ANCHO DE LA EMPRESA** (CCAE) SIGNIFICA GENERAR PRODUCTOS MEJORES Y DE BAJO COSTO, DIVIDIENDO LOS BENEFICIOS ENTRE CONSUMIDORES, TRABAJADORES Y PATRONES A TRAVES DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE VIDA DE LAS PERSONAS.

. **CONTROL DE CALIDAD** ES EL SISTEMA PARA PRODUCIR ECONOMICAMENTE BIENES Y SERVICIOS QUE SATISFAGAN LOS REQUERIMIENTOS DE LOS CONSUMIDORES.

. LA **IMPLANTACION** EFECTIVA DEL CONTROL DE CALIDAD REQUIERE LA COOPERACION DE **TODO** EL PERSONAL EN LA EMPRESA INVOLUCRANDO A ALTA DIRECCION, ADMINISTRADORES, SUPERVISORES Y TRABAJADORES EN TODAS LAS AREAS DE ACTIVIDADES DE LA CORPORACION TALES COMO INVESTIGACION DE MERCADOS, INVESTIGACION Y DESARROLLO, PLANEACION DE PRODUCTOS, DISEÑO, PREPARACION PARA LA PRODUCCION, COMPRAS, ADMINISTRACION DE PROVEEDORES, PRODUCCION, INSPECCION, VENTAS Y SERVICIOS POSTERIORES, CONTROL FINANCIERO, ADMINISTRACION DE PERSONAL, CAPACITACION Y EDUCACION. EL CONTROL DE CALIDAD LLEVADO DE ESTA MANERA ES LLAMADO CONTROL DE CALIDAD A LO ANCHO DE LA EMPRESA.

. EL CONTROL DE CALIDAD A LO ANCHO DE LA EMPRESA TOMA LA TECNOLOGIA DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA ETAPA PARA DESPLEGAR LA "VOZ DEL CONSUMIDOR" A TRAVES DE LA COMPAÑIA Y MOVILIZAR A TODOS LOS EMPLEADOS A ENFOCARSE SOBRE MEJORAS CONTINUAS EN LA CALIDAD Y COSTOS.

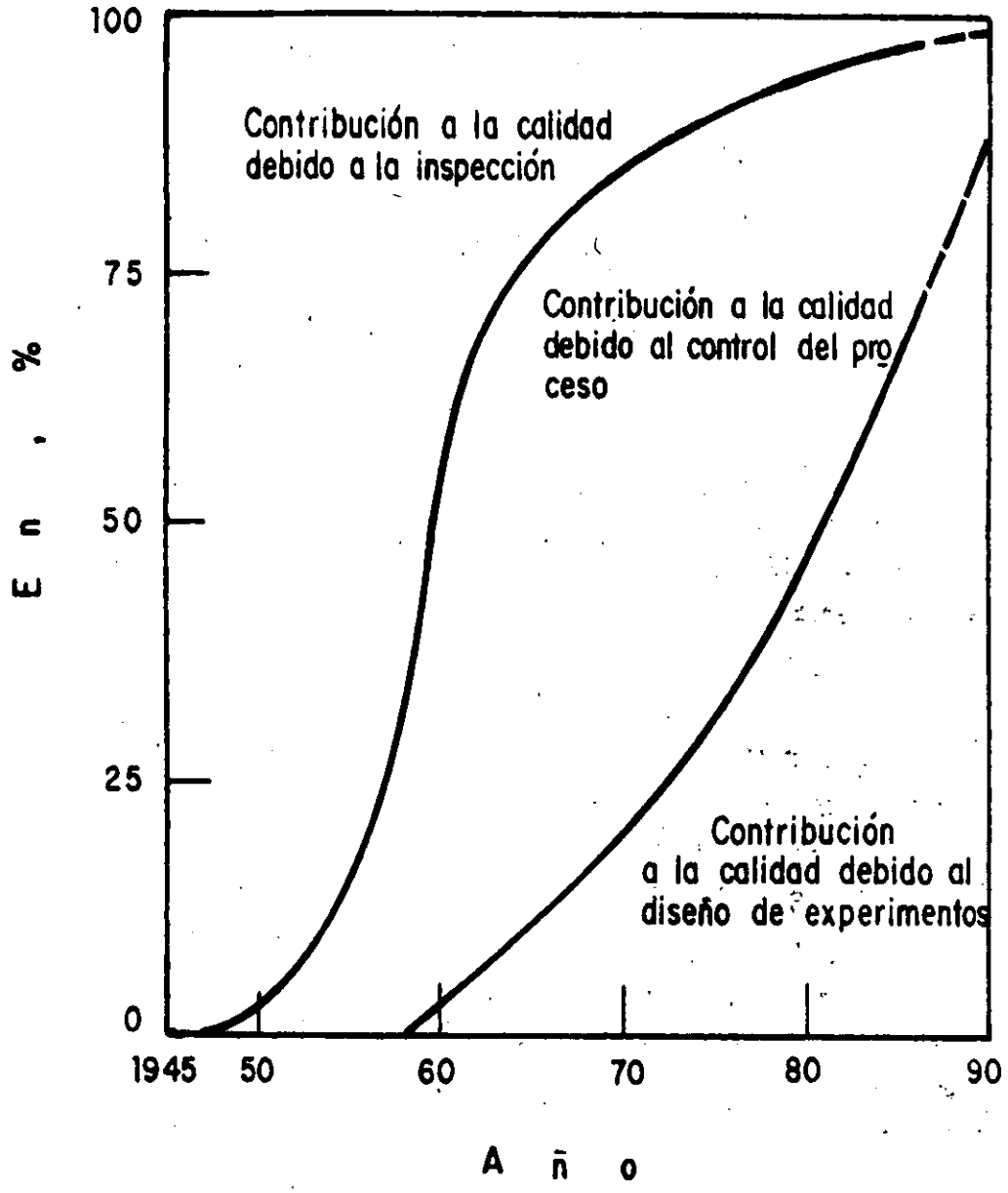
. EL **COSTO DE CALIDAD** ES LA PRERDIDA A LA SOCIEDAD Y EL CUAL ESTA DETERMINADO POR COSTOS DE DISEÑO, EFICIENCIAS EN PRODUCCION, ENSAMBLE, VENTAS, SERVICIOS, CLIENTES Y LA CONTRIBUCION A LA SOCIEDAD.

. EN SENTIDO AMPLIO, EL CONTROL DE CALIDAD A LO ANCHO DE LA EMPRESA SE REFIERE A LA CALIDAD DE LA ADMINISTRACION, LA CALIDAD DEL COMPORTAMIENTO HUMANO, LA CALIDAD DEL TRABAJO QUE SE DESARROLLA, LA CALIDAD DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO, LA CALIDAD DEL PRODUCTO Y LA CALIDAD DEL SERVICIO, ESTANDO SIEMPRE PRESENTES REFERENCIAS A LA CALIDAD DE LA SOCIEDAD

RA MEJORAR HABILIDADES O DESTREZAS. EN CONSECUENCIA SE DEBE HACER UN GRAN ESFUERZO EN LA CONTINUACION DE LA EDUCACION: SI SE CONTRATA AL PERSONAL SOBRE LA BASE DE QUE TAN ACTIVO O LISTO ES, ENTONCES SIEMPRE SE OBTENDRA DE EL LO QUE ERA AL PRINCIPIO; POR OTRO LADO SI SE CONTRATA AL PERSONAL SOBRE LA BASE DE COMO PIENSAN, ENTONCES SIEMPRE SE OBTENDRA MAS DE EL, POR LA AMPLIACION DE SU CONOCIMIENTO A TRAVES DE LA EDUCACION. ESTA DEBE SER UN PROCESO CONTINUO, EN COMBINACION CON EL ENTRENAMIENTO. ESTO CONDUCIRA A MAXIMIZAR LAS CONTRIBUCIONES HUMANAS - EL RECURSO MAS PODEROSO EN CUALQUIER EMPRESA.

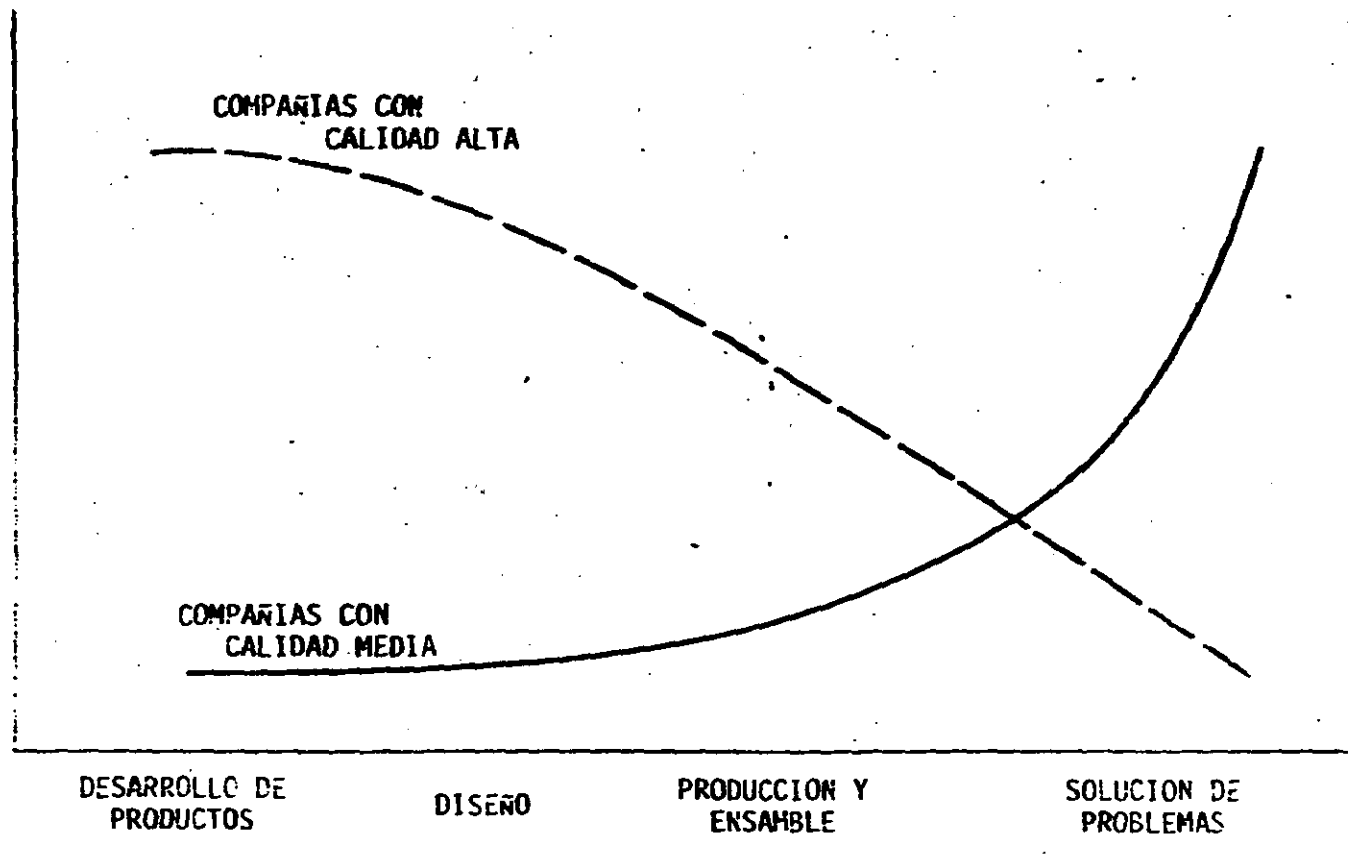
LA CAPACIDAD DEL PERSONAL ES MAS IMPORTANTE QUE LA CAPACIDAD DEL PROCESO Y LA PRINCIPAL TAREA DE LA ADMINISTRACION ES MEJORAR LA CAPACIDAD DE TODOS LOS EMPLEADOS, A TRAVES DE LA EDUCACION Y ENTRENAMIENTO. LOS TRABAJADORES DEBEN ESTAR CONSCIENTES QUE LA MEJORA DE ELLOS MISMOS ES SU TRABAJO MAS IMPORTANTE, EL MEJORAMIENTO DEL PRODUCTO Y DEL PROCESO SERA UNA CONSECUENCIA AUTOMATICA DEL MEJORAMIENTO DEL PERSONAL.

LA EDUCACION Y EL ENTRENAMIENTO SON REFLEJADOS EN MENORES COSTOS DE PRODUCCION A TRAVES DE LA OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE PRODUCTOS Y PROCESOS, DONDE SE REQUIEREN NIVELES ADECUADOS DE CONOCIMIENTOS TECNICOS: Y TAMBIEN SE GENERA UN IMPACTO SOBRE EL DESARROLLO ORGANIZACIONAL DEL CONTROL: LOS EMPLEADOS EN TODOS LOS NIVELES PUEDEN OPERAR MAS INDEPENDIENTEMENTE SI ELLOS SON APROPRIADAMENTE EDUCADOS Y ENTRENADOS; ESTO TIENE UN IMPACTO DIRECTO SOBRE EL NUMERO DE EMPLEADOS Y DE NIVELES ENTRE LA LINEA DE LOS TRABAJADORES Y LA ADMINISTRACION SUPERIOR. CADA PERSONA CONOCE SU TRABAJO Y TIENE FLEXIBILIDAD PARA UBICARSE RAPIDAMENTE EN TRABAJOS DIFERENTES, REQUIRIENDOSE POCA SUPERVISION, YA QUE SE LE HA ENTRENADO PARA TENER RESPONSABILIDAD, INDEPENDIENTEMENTE DE CAMBIOS EN LAS CONDICIONES. LA ESTRATEGIA DE EDUCACION Y ENTRENAMIENTO RECOMENDADA ES QUE EL ENTRENAMIENTO TECNICO SEA HECHO POR LOS PROPIOS DIRECTIVOS MAS QUE POR ENTRENADORES INDEPENDIENTES. LA ADMINISTRACION SUPERIOR ENTRENA A SUS SUBORDINADOS INMEDIATOS Y ASI SE SIGUE. OTRO ASPECTO MUY IMPORTANTE ES LA ROTACION DE TRABAJO PARA EJECUTIVOS Y ADMINISTRADORES; ESTO AMPLIA SUS CONOCIMIENTOS Y CONTRIBUYE A LA INTERACCION HORIZONTAL DESARROLLANDO EL ENTENDIMIENTO COMUN DE ASUNTOS INTERDEPARTAMENTALES.



EVOLUCION DE LAS CONTRIBUCIONES A LA CALIDAD

ESFUERZO EN CALIDAD POR ACTIVIDAD



SIN UNA EDUCACION Y ENTRENAMIENTO INTENSOS EL CCAE NO PUEDE DESARROLLARSE. ESTA ETAPA 4, ES REALMENTE LA PRIMERA ETAPA EN LA SECUENCIA DEL DESARROLLO DEL CCAE; LAS SIGUIENTES ETAPAS SON IMPOSIBLES SIN ESTO.

ETAPA 5. OPTIMIZACION EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS Y PROCESOS PARA UNA FUNCION MAS ROBUSTA (ORIENTACION A LA SOCIEDAD)

LA OPTIMIZACION EN EL DISEÑO ES UNA MANERA MUY PODEROSA DE ASEGURAR BAJOS COSTOS Y ALTA CALIDAD. UNO DE LOS DESARROLLOS MAS SIGNIFICATIVOS HA SIDO LOS METODOS DE DISEÑO OPTIMO DESARROLLADOS POR LA INGENIERIA DE CALIDAD. LA CALIDAD SE IDENTIFICA COMO LA PERDIDA A LA SOCIEDAD DESDE EL MOMENTO EN QUE EL PRODUCTO SE EMBARCA, ESTA PERDIDA QUE ES MEDIDA EN UNIDADES MONETARIAS SE VINCULA CON LA TECNOLOGIA DEL PRODUCTO: A TRAVES DE ESTA DEFINICION DE CALIDAD EL INGENIERO VIENE A SER "BILINGUE" AL HABLAR SIMULTANEAMENTE LOS LENGUAJES DE LAS COSAS Y EL DINERO. LA CALIDAD SE INFUNDE EN TODOS LOS ASPECTOS DE LA VIDA DEL PRODUCTO Y LA FILOSOFIA INHERENTE ES INTEGRADA A TRAVES DE TODA LA ESTRUCTURA CORPORATIVA.

LA INGENIERIA DE CALIDAD ES MAS QUE TECNICAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS; CONSTITUYE UN SISTEMA INTEGRADO PARA DESARROLLAR ESPECIFICACIONES, LA INGENIERIA DE ESTAS ESPECIFICACIONES Y FABRICAR EL PRODUCTO DE ACUERDO CON LAS ESPECIFICACIONES, SIENDO EL COSTO LA VIA PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE PRODUCTOS Y PROCESOS, Y SIMULTANEAMENTE MEJORAR LA CALIDAD.

ETAPA 6. LA FUNCION DE PERDIDA (ORIENTACION A COSTOS)

LA **PERDIDA DE CALIDAD** ES LA PERDIDA FINANCIERA GENERADA A LA SOCIEDAD DESPUES DE QUE EL PRODUCTO SE EMBARCA, INCLUYENDO COSTOS INTERNOS, SEA EMBARCADO EL PRODUCTO O NO. ESTE COSTO ES MEDIDO EN UNIDADES MONETARIAS Y ESTA VINCULADO A CARACTERISTICAS CUANTIFICABLES DEL PRODUCTO. DOS PRODUCTOS QUE SON DISEÑADOS PARA DESARROLLAR LA MISMA FUNCION PUEDEN AMBOS SATISFACER ESPECIFICACIONES, PERO PUEDEN CAUSAR DIFERENTES PERDIDAS A LA SOCIEDAD. EN CONSECUENCIA, EL SATISFACER MERAMENTE LAS ESPECIFICACIONES ES UNA MEDIDA POBRE DE CALIDAD.

HISTORIA Y NATURALEZA DE LA INGENIERIA DE CALIDAD

DESPUES DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL, LOS JAPONESES INICIARON UN ES--- FUERZO SERIO PARA PARTICIPAR EN EL MERCADO MUNDIAL. LOS PRODUCTOS JAPONESES ERAN BARATOS Y POBRES EN CALIDAD. EN ESA EPOCA SU SISTEMA DE COMUNICACIONES TELEFONICO ERA DEFICIENTE. LAS FUERZAS ALIADAS DE OCUPACION REQUERIAN PARA REALIZAR SUS OBJETIVOS, QUE EL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES SE MEJORASE URGENTEMENTE. EN RESPUESTA A ESTA NECESIDAD, TODAS LAS PERSONAS CON UNA RESPONSABILIDAD ADMINISTRATIVA DE CALIDAD ASISTIERON A UN CURSO INTENSIVO DE TRES SEMANAS EN IDENTIFICACION Y RESOLUCION DE PROBLEMAS DE CALIDAD. EL RESULTADO MAS SIGNIFICATIVO DE ESTE SEMINARIO DE CALIDAD FUE LA RECOMENDACION DE QUE JAPON ESTABLECIERA LABORATORIOS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO COMPARABLES A LOS LABORATORIOS BELL. EN 1949, LOS LABORATORIOS DE COMUNICACIONES ELECTRICAS (LCE) DE JAPON, PRINCIPIARON SUS ACTIVIDADES. EN ESA EPOCA, EL 2% DEL PRESUPUESTO DEL GOBIERNO JAPONES FUE INVERTIDO EN ESTOS ESFUERZOS DE MEJORAMIENTO.

GENICHI TAGUCHI DENTRO DE LOS LCE TUVO LA RESPONSABILIDAD DE PROMOVER PRODUCTIVIDAD EN INVESTIGACION Y DESARROLLO, SU OBJETIVO ESPECIFICO FUE - INTRODUCIR UN METODO EL CUAL PODRIA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LA EXPERIMENTACION. PARA ESTE FIN, DESARROLLO UNA SERIE DE TECNICAS QUE ESTAN RELA-- CIONADAS CON LAS APLICACIONES DE ARREGLOS ORTOGONALES EN DISEÑO DE EXPERIMENTOS. AUNQUE EL ENFOQUE DE TAGUCHI, EN UN SENTIDO OPERACIONAL, ES DIFERENTE DE LOS DISEÑOS DE EXPERIMENTOS CONVENCIONALES, ES CONOCIDO POR EL - MISMO NOMBRE. OTRA APORTACION FUNDAMENTAL DE TAGUCHI FUE LA FUNCION DE - PERDIDA DE CALIDAD, QUE OFRECE UNA CUANTIFICACION DEL COSTO DE CALIDAD.

LA INGENIERIA DE CALIDAD COMBINA METODOS DE INGENIERIA Y ESTADISTICA - PARA ALCANZAR UN MEJORAMIENTO RAPIDO EN COSTOS Y CALIDAD A TRAVES DE LA - OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE PRODUCTOS Y PROCESOS DE MANUFACTURA.

INGENIERIA DE CALIDAD

- LA METODOLOGIA DE LA INGENIERIA DE CALIDAD INVOLUCRA EL EMPLEO DE ARREGLOS ORTOGONALES, LA FUNCION DE PERDIDA Y OTRAS TECNICAS ANALITICAS PARA LA OPTIMIZACION DEL DISEÑO DURANTE EL DESARROLLO DEL PRODUCTO.

- SU OBJETIVO PRIMORDIAL ES LA REDUCCION DE COSTOS DE INGENIERIA, MANUFACTURA Y SERVICIOS A TRAVES DE LA OPTIMIZACION DEL DISEÑO CREANDO ASI PRODUCTOS MAS COMPETITIVOS

- LA MEJORA DE LA CALIDAD SE CONVIERTE EN GANANCIA INDIRECTA A TRAVES DEL LOGRO DE UNA MAYOR UNIFORMIDAD EN EL PRODUCTO Y EN EL PROCESO.

- EL BENEFICIO DE ESTE SISTEMA SE VE REFLEJADO EN CICLOS DE DESARROLLO DEL PRODUCTO MAS CORTOS, CALIDAD MEJORADA Y REDUCCION DE COSTOS.

TRES PUNTOS DE CALIDAD

1. LA EXPERIENCIA EN CAMPO (PRODUCTOS DEFECTUOSOS EN MANOS DE CLIENTES Y COSTOS DE GARANTIA) NO ES UN BUEN METODO PARA MEDIR CALIDAD. LOS ESFUER ZOS PARA DEFINIR Y CORREGIR LOS PROBLEMAS EN CAMPO PUEDEN SER RECOMPENSA-DOS A TRAVES DEL MEJORAMIENTO DE LAS CAPACIDADES DEL PROCESO Y REDUCIENDO LA VARIACION. SIN EMBARGO, SE DEBEN CORREGIR LOS PRINCIPALES PROBLEMAS - EN CAMPO Y NO ATENDER A LOS PROBLEMAS MENORES COMO UN MEDIO DE MEJORA EN LA CALIDAD. EL DISEÑO PROPUESTO DEBERA EXPRESARSE COMO VALORES META, NO COMO TOLERANCIAS DE PRODUCCION O INGENIERIA. LOS DISEÑOS DEBEN SER "RO--BUSTOS" CONTRA EL MEDIO AMBIENTE, DETERIORO DEL PRODUCTO Y VARIABILIDAD - EN LAS PARTES.

2. ES IMPORTANTE EN EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD EVALUAR EL SISTEMA DE DESARROLLO DE PRODUCTOS. LA MAYORIA DE LOS PROBLEMAS PUEDEN PREVENIRSE - DURANTE EL DESARROLLO DEL PRODUCTO A TRAVES DE LA OPTIMIZACION EN EL DISE ÑO DE PRODUCTOS Y PROCESOS. TAMBIEN A TRAVES DE LA OPTIMIZACION EN DISE-ÑO, SE DEBERA ENFOCAR SOBRE "LO QUE AL CLIENTE LE GUSTA" RESPECTO AL PRO-DUCTO MAS QUE "FIJAR LO QUE NO LE GUSTA", ESTO ES, SOLUCION DE PROBLEMAS.

3. LA OPTIMIZACION EN LA INGENIERIA CON LA EXPERIMENTACION CONFIRAMTORIA ES DIFERENTE QUE LA PRUEBA DE PRODUCTOS. LA "VOZ DEL CONSUMIDOR" DEBE - DESPLEGARSE O EXPANDERSE HORIZONTALMENTE A TRAVES DE TODA LA EMPRESA. LOS RESULTADOS DE ESTE DESPLIEGUE HORIZONTAL PUEDEN SER EVALUADOS UNICAMENTE A TRAVES DE LA EXPERIMENTACION CONFIRMATORIA. LA PRUEBA DE PRODUCTOS ES PARA VERIFICACION DESPUES DE QUE EL PRODUCTO HA SIDO DISEÑADO Y CONSTRUI-DO.

- SI HAY MUCHOS CAMBIOS DURANTE EL DESARROLLO DEL PRODUCTO Y CAMBIOS UL TERIORES, LA CALIDAD DEL PRODUCTO ES USUALMENTE MALA Y LOS COSTOS SE-RAN ALTOS.
- SI HAY POCOS CAMBIOS DURANTE EL DESARROLLO DEL PRODUCTO, LA CALIDAD - DEL PRODUCTO SERA MUY MALA O MUY BUENA.

- SI HAY POCOS CAMBIOS DURANTE EL DESARROLLO DEL PRODUCTO Y NO HAY EXPERIMENTACION CONFIRMATORIA, LA CALIDAD DEL PRODUCTO SERA IGUALMENTE MALA Y LOS COSTOS SERAN ALTOS.

- SI HAY POCOS CAMBIOS DURANTE EL DESARROLLO DEL PRODUCTO CON MUCHOS EXPERIMENTOS CONFIRMATORIOS, LA CALIDAD DEL PRODUCTO SERA BUENA Y LOS COSTOS SERAN BAJOS.

PROPUESTA DE E.W. DEMING

MEJORAR CALIDAD

↓

MEJORAR PRODUCTIVIDAD

↓

DISMINUIR COSTOS HACIENDO UN MEJOR USO DE LOS RECURSOS HUMANOS, MAQUINAS Y MATERIALES

↓

DISMINUIR COSTOS

↓

CAPTURAR MERCADOS CON MEJOR CALIDAD A MENOR PRECIO

↓

MANTENERSE EN EL NEGOCIO

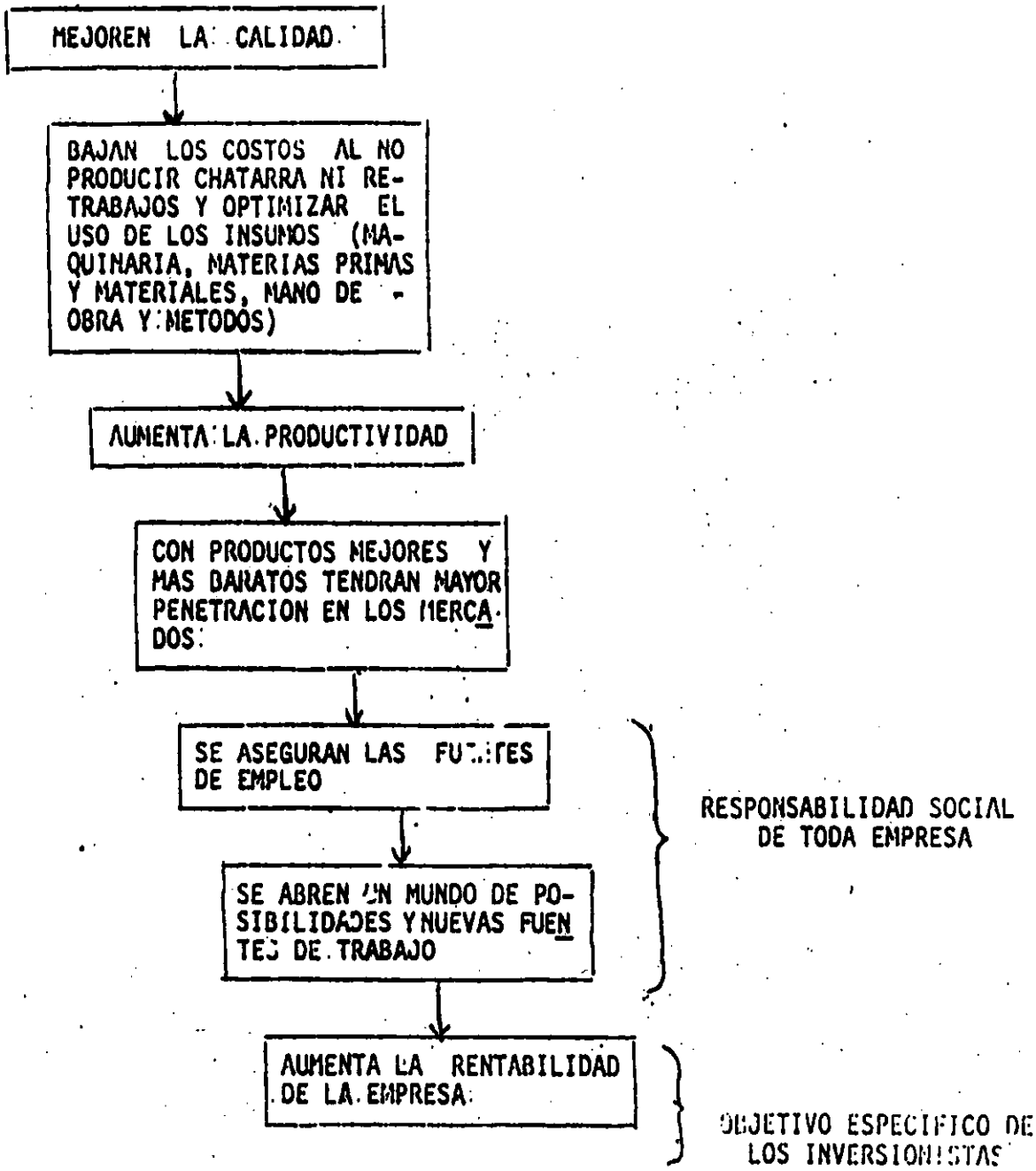
↓

PROVEER EMPLEO

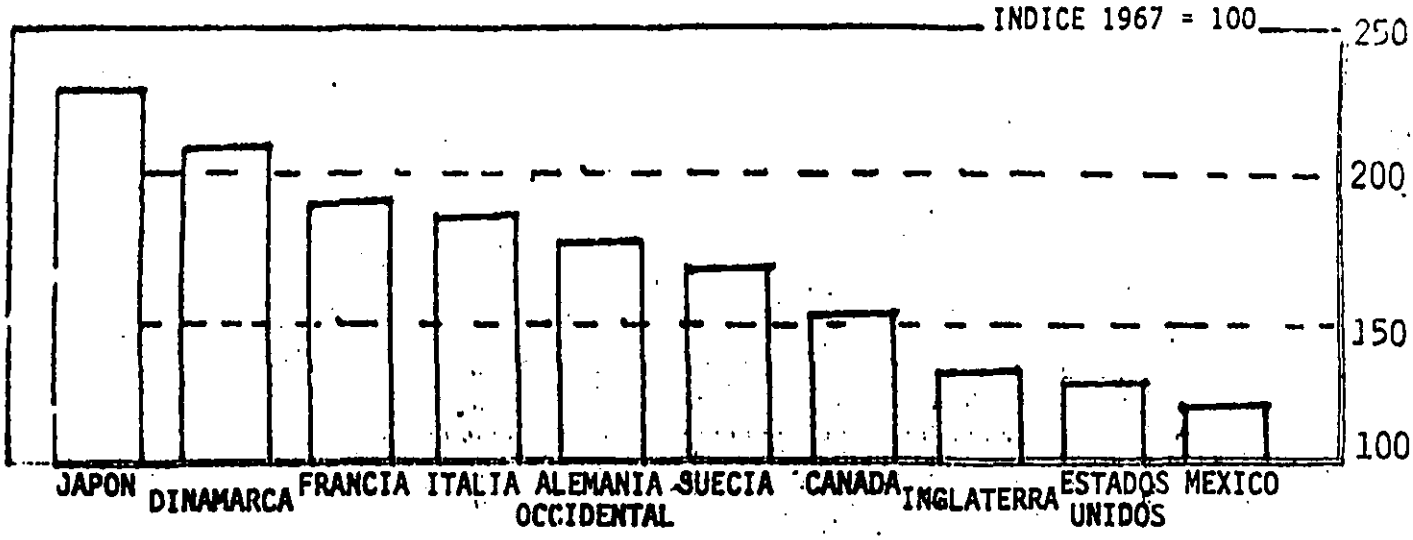
↓

... Y MAS EMPLEO

REACCIÓN EN CADENA DE DEMING PARA EL INCREMENTO DE LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD



PRODUCTO FABRICADO POR HORA



BIBLIOGRAFIA

- CLAUSING, P.D. QUALITY ENGINEERING - BY DESIGN. TRABAJO PRESENTADO EN LA 40 CONFERENCIA ANUAL DE ROCHESTER EN LA SECCION DE - CONTROL DE CALIDAD EN MARZO DE 1988

- NOTAS DEL CURSO DEL METODO TAGUCHI, OFRECIDO EN NOVIEMBRE DE 1987 - EN EL ITESM, MONTERREY

- ISHIKAWA, K. WHAT IS COMPANY-WIDE QUALITY CONTROL? TRABAJO PRESENTADO A EJECUTIVOS DE FORD EN MAYO DE 1983

- SULLIVAN, L.P. THE SEVEN STAGES IN COMPANY-WIDE QUALITY CONTROL. - QUALITY PROGRESS, MAY 1986, PP. 77-83

- HOBBS, M.W. Y WU Y. QUALITY ENGINEERING. PRODUCT AND PROCESS DESIGN OPTIMIZATION. AMERICAN SUPPLIER INSTITUTE INC., DEARBON, - MICHIGAN

CAPITULO 1

¿POR QUE SE INCREMENTA LA PRODUCTIVIDAD AL MEJORAR LA CALIDAD?

Este capítulo tiene como objetivo ilustrar con algunos ejemplos sencillos que la productividad se incrementa al mejorar la calidad. Baja calidad significa alto costo y pérdida de posición competitiva.

Es frecuente escuchar en América que la calidad y la producción son incompatibles; que no es posible tener ambas. Un gerente de planta generalmente diría o es una o es la otra. De acuerdo con su experiencia si él impulsa la calidad, falla la producción; y si impulsa la producción, la calidad sufre. Esta será su experiencia, mientras no sepa qué es calidad y cómo lograrla.

Una respuesta clara y concisa la dieron en una junta con 22 trabajadores de producción de sindicatos representativos en contestación a mi pregunta "Por qué la productividad se incrementa cuando la calidad mejora"

"MENOS RETRABAJO"

No hay una mejor respuesta. Esta gente sabe lo importante que es la calidad para sus trabajos. Saben que la calidad se logra mejorando el proceso. Cuando se mejora el proceso, se incrementa la uniformidad del producto, se reducen los retrabajos y errores, se reduce el desperdicio de mano de obra, máquina-tiempo y materiales, y entonces se incrementa la producción con menos esfuerzo. Otros beneficios que provienen de mejorar la calidad son costos más bajos; todo lo cual propicia una posición más competitiva de la compañía.

Estas son algunas lecciones que la administración debe aprender y según las cuales debe actuar.

La reducción de desperdicio significa que horas hombre y horas máquina empleados en la producción de productos defectuosos se añaden ahora a la producción adicional de buenos productos.

En efecto, se incrementa la capacidad de una línea de producción. Son beneficios de una mejor calidad lograda a través de un mejoramiento del proceso no sólo una mejor calidad y el mejoramiento de la posición en el mercado en el largo plazo, sino también una mayor productividad y utilidad. Es también ganancia el incremento de la moral de los trabajadores; quienes ahora ven que la administración está haciendo esfuerzos, y que no culpa de todo a los trabajadores de producción.

El superintendente de una planta sabía que había problemas con una determinada línea de producción. Su única explicación era que la fuerza de trabajo compuesta por 24 personas cometía muchos errores.

La primera etapa fue obtener datos por inspección y gráficas de fracción de defectivos día por día durante seis semanas (Fig. 1). La gráfica mostró una variación al azar estable arriba y abajo del promedio. (En otras palabras, un control estadístico muy bueno*).

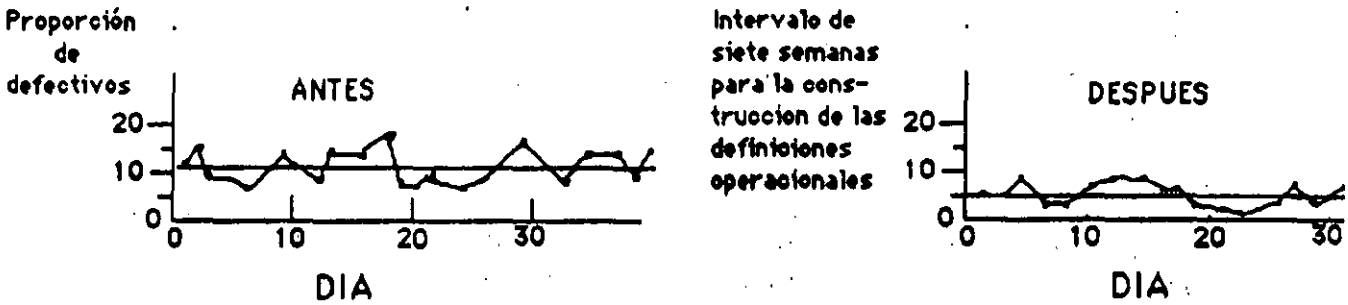


Fig. 1. Proporción de defectivos día por día antes y después del intento de construir definiciones operacionales de lo que es y no es un trabajo aceptable. La proporción de defectivos era de 11% antes y 5% después.

¿Qué es lo que significa ésto? Significa que cualquier mejoramiento sustancial debe venir de una acción sobre el sistema, del cual es responsable la administración.

La administración nunca había utilizado los datos de la inspección. Por lo tanto, el superintendente no era consciente de que la proporción de defectivos había ascendido hasta un once por ciento.

Pregunta: ¿Debería el superintendente haber sabido que la producción de defectivos ascendía ya a un once por ciento?

La respuesta a esta pregunta es simpre sin lugar a dudas un resonante sí. EQUIVOCADO. ¿Qué podría haber hecho con la gráfica si él la hubiera conocido?: NADA. El ya sabía que tenía un problema.

---

* El lector a quien no le es familiar el significado de control estadístico puede notar con una primera leída de este capítulo que el control estadístico denota variación en un estado estable al azar, en el cual los límites de variación son predecibles y permanecerán fijos para propósitos prácticos mientras el sistema no sea alterado

La acción a tomar habría sido la misma si la proporción de defectivos hubiera sido 2, 11 ó 17%.

El mejoramiento sustancial debe venir de una **acción sobre el sistema** dado el control estadístico existente (Fig. 1); lo importante es la observación y no la proporción del once por ciento.

ILUSTRACION DE GANANCIA EN PRODUCTIVIDAD
MEJORANDO LA CALIDAD

ASPECTO	Antes del Mejoramiento 11% defectivos	Después del Mejoramiento 5% defectivos
Costo Total	100	100
Gasto en hacer buenas unidades	89	95
Gasto en hacer unidades defectivas	11	5

La administración no era consciente de su responsabilidad con respecto a la calidad. Nadie había usado las gráficas para inspección.

¿Qué podría hacer la administración? Las estadísticas sugiriendo con base en la experiencia que posiblemente la gente en el trabajo y también el inspector no entendían suficientemente bien qué clase de trabajo era aceptable y cuál no. El administrador y dos supervisores aceptaron eventualmente esta posibilidad y fueron al lugar de trabajo. Con prueba y error, ellos, en siete semanas, obtuvieron definiciones operacionales con ejemplos ilustrados para que todos las cumplieran en su trabajo.

Un nuevo grupo de datos mostró la proporción de defectivos en un cinco por ciento. Los resultados se muestran a continuación:

Ganancias:
- La calidad subió.
- La productividad de buenos productos subió un 6%
- La capacidad aumentó en un 6%.
- El costo unitario es más bajo.
- Mejoraron las utilidades.
- El cliente está más satisfecho.
- Todo mundo contento.

Este es un ejemplo de que el mejoramiento en productividad es acompañado por un cambio en el sistema. Mejorar las definiciones de operación realizadas por la administración ayuda a la gente a trabajar más inteligentemente y no más duramente.

En editoriales y periódicos, se ha atribuido el rezago en la productividad americana, a la falta de la instalación de nuevas maquinarias, piezas o equipos y sobre todo los últimos tipos de automatización.

Tales sugerencias resultan interesantes; pero es más interesante escribir para esta gente que no entiende problemas de producción.

Algunas piezas o maquinaria moderna pueden incrementar la productividad lo suficiente para pagarse a sí misma, pero esto no significa que sea la respuesta a la pérdida de mercado que sufre la industria de América hoy en día.

El siguiente párrafo, recibido de un amigo de una gran compañía manufacturera, servirá como ilustración:

"Este programa en total (diseño e instalación de nueva maquinaria) ha dejado experiencias desagradables. Todas esas hermosas máquinas desempeñan sus funciones esperadas en las pruebas, pero cuando fueron puestas en operación en nuestras plantas, con nuestra gente, estuvieron fuera de circulación la mayor parte del tiempo por determinadas fallas; y en lugar de que nuestros costos se fueran para abajo, subieron. Nadie había evaluado la tasa total probable de fallas y mantenimiento".

Se debería agregar al precio de compra de una maquinaria el costo de aprendizaje de su uso. Si yo fuera banquero, no prestaría dinero para nuevos equipos a menos que la compañía que pidiera el préstamo pudiera demostrar con evidencia estadística que está usando su equipo actual a una razonable capacidad total.

MEDIR LA PRODUCTIVIDAD NO MEJORA LA PRODUCTIVIDAD

En los Estados Unidos todos los días hay una conferencia sobre productividad. De hecho hay una conferencia permanente sobre productividad; y ahora existe un Comité Presidencial de Productividad. El objetivo de estas conferencias es alcanzar significativas medidas de productividad. Es importante tener medidas de productividad, para compararla año con año en los Estados Unidos y con otros países.

Desafortunadamente, sin embargo, los números de productividad no ayudan a mejorarla. La medición de la productividad es como las estadísticas de los accidentes: dicen qué número de accidentes hubo en el hogar, en la carretera, en el trabajo, pero no dicen cómo reducir la frecuencia de accidentes.

CAPITULO 2

¿QUE DEBE HACER LA ALTA ADMINISTRACION PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD?

El objetivo de este capítulo es explicar a la alta administración en América que su trabajo es recapturar la posición competitiva que una vez tuvo América. El problema es mejorar la productividad y la calidad. Nadie en la alta administración necesita preguntar otra vez "¿Qué debemos hacer?". Este capítulo además provee el criterio de que cada quien en la compañía puede medir el desempeño de la administración. Cada quien en la compañía, y los bancos tendrán ahora bases para contestar a la pregunta "¿Cómo está actuando nuestra administración?". La alta administración no puede aprender por experiencias en el trabajo lo que es calidad, productividad y posición competitiva. Deben buscar ayuda del exterior.

Los mejores esfuerzos no son suficientes
Que cada quien haga lo mejor. (Equivocado)

Esta fue la respuesta que surgió de mi pregunta "¿Cómo van a hacerle para mejorar la calidad y la productividad?

Los mejores esfuerzos son esenciales, pero desafortunadamente solos no logran el objetivo. Cada quien ya está haciendo su mejor esfuerzo. Los mejores esfuerzos para ser efectivos requieren orientación para moverse en la dirección correcta. Es importante que la alta administración conozca cuál es su trabajo.

Por ejemplo, las formas de hacer negocio con los clientes y vendedores, que eran buenas antes, deben ser revisadas para cubrir nuevos requisitos de calidad y productividad. La administración debe estar involucrada con la producción y con el obrero. Se requieren revisiones. No es suficiente que cada quien haga lo mejor.

Cuando la alta administración pierde su sentido de posición competitiva y no sabe qué hacer, se embarca por diversos caminos al azar, prueban distintas soluciones, buscando algo que no saben lo que es.

Estos caminos al azar hacen que se desperdicien energías e intentos de alcanzar la meta. El efecto que producen en la administración media y en las personas de la compañía es el de confusión, incertidumbre, parálisis. Nadie en la organización puede trabajar efectivamente cuando las señales de la alta administración están cambiando constantemente de dirección.

Por alta administración me refiero a las personas que pueden tener responsabilidad por los 14 puntos que voy a mencionar. Si requieren autoridad para llevar a cabo cualquiera de los 14 puntos entonces no son de

la alta administración. No es suficiente que la alta administración se comprometa a sí misma por la calidad y la productividad. Ellos deben conocer con qué se están comprometiendo, y lo que deben hacer. Estas obligaciones no pueden ser delegadas.

"Si tú no puedes venir, no envíes a nadie"

Estas fueron las palabras que William E. Conway (Presidente y Director Ejecutivo de Nashua Corp.) escribió a un Vicepresidente en respuesta a la solicitud de este último a visitar la corporación Nashua. En otras palabras, Mr. Conway le dijo: si tú no tienes tiempo de hacer tu trabajo, no hay mucho que yo pueda hacer por ti.

RESUMEN DE LOS 14 PUNTOS PARA LA ADMINISTRACION

Adoptar y actuar de acuerdo con los 14 puntos es señal de que la administración intenta permanecer en el negocio y de que pretende proteger a los individuos y sus trabajos.

Estos 14 puntos son obviamente 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 14 puntos se aplican en cualquier parte, tanto a pequeñas como a grandes organizaciones.

1. Tener el propósito de mejorar consistentemente el producto y servicio con un plan para comenzar a ser competitivos y permanecer en los negocios. Decidir quién de la alta administración es responsable de hacerlo.

2. Adoptar la nueva filosofía: nosotros estamos en una nueva era económica. No podemos vivir más con los niveles de retrasos, errores, materiales defectuosos y personas no apropiadas en el trabajo comunmente aceptados.

3. No depender más de la inspección masiva: en lugar de esto se debe tener evidencia estadística, ya que la calidad se construye, y poder entonces eliminar necesidades de inspección en masa.

4. Poner fin a la práctica de hacer negocios teniendo como base los precios de la marca. En su lugar, se debe depender de medidas significativas de calidad junto con el precio. Eliminar proveedores que no califiquen con evidencia estadística la calidad. Los gerentes de compras tienen un nuevo trabajo y deben aprenderlo.

5. Descubrir problemas en el sistema y mejorarlo: éste es el trabajo que la administración debe hacer continuamente (Diseño, proveedores de materiales, composición de materiales, mantenimiento, mejora de equipos, entrenamiento, reentrenamiento y supervisión).

6. Instituir métodos modernos de entrenamiento en el trabajo.

7. Instituir métodos modernos de supervisión a los trabajadores de producción: se debe cambiar el enfoque de la responsabilidad del supervisor de la cantidad a la calidad.

Cuando se mejora la calidad, automáticamente mejora la productividad. La administración debe estar preparada para tomar acciones inmediatas a propósito de los reportes del supervisor concernientes a barreras tales como defectos inherentes, máquinas sin mantenimiento, herramientas pobres, pobres definiciones operacionales (procedimientos).

8. Romper el miedo a fin de que cada quien se exprese sobre lo qué está bien y lo qué no está bien en el trabajo, de manera que cada quien pueda trabajar efectivamente para la compañía (auto-expresión).

9. Romper las barreras entre los departamentos. La gente de investigación, diseño, ventas y producción deben trabajar como un equipo para pronosticar y entender los problemas de producción.

10. Eliminar metas numéricas, posters y slogans para los trabajadores que no estén acompañados de indicaciones acerca de **cómo** hacer el trabajo. No bastan sólo exhortaciones.

11. Eliminar estándares de trabajo que prescriban solamente cantidad y no calidad. Mencionar qué es lo que la administración está haciendo para mejorar los sistemas y métodos de trabajo.

12. Remover las barreras que impiden que el trabajador tenga derecho de sentir orgullo por la ejecución de su trabajo. Decirle qué es un trabajo bien o mal hecho con base en datos.

13. Instituir un vigoroso programa de educación y reentrenamiento.

14. Crear una estructura en la alta administración que impulse día a día los 13 puntos anteriores.

1. Tener el propósito de mejorar consistentemente el producto y servicio con un plan para comenzar a ser competitivos y permanecer en los negocios.
Para la compañía que espera permanecer en los negocios hay dos tipos de problemas:

Ser consistentes 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.
- Costo de producción.
- etc.

Un requisito para la innovación es la fe de que habrá un futuro.

b) Invertir recursos en:
- Investigación.
- 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. Adoptar la nueva filosofía.

Nosotros hemos aprendido a vivir en un mundo de errores y productos defectivos 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 al costo de producción de uno bueno.

3. No depender más de la inspección masiva.

Un 100% de inspección es lo misma que planear para 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.

4. Fin a la práctica de hacer negocios teniendo como base los precios de la marca.

Ya no podemos dejar que la competitividad se base sólo en los precios. menos ahora en que se requeriere uniformidad y confiabilidad de los productos. El precio no tiene significado sin un grado de calidad; este grado es el que se compra. No se debe buscar tan sólo al proveedor que ofrezca el menor precio, sino considerar también al de mejor calidad, con evidencia estadística.

5. Descubrir problemas en el sistema y mejorarlo.

Esto significa continuar con la reducción de desperdicios, errores y mejorando la calidad en cada actividad: abastecimientos, transporte, ingeniería, métodos, mantenimiento, instrumentos de medición, ventas, métodos de distribución, contabilidad, nómina, servicio a clientes.

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.

6. Instituir métodos modernos de entrenamiento en el trabajo.

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

7. Instituir métodos modernos de supervisión.

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

- Remover barreras que hagan imposible que trabajador haga su trabajo con orgullo.
- El supervisor debe informar a la alta administración las condiciones correctivas necesarias.

8. Romper el miedo.

La mayoría de la gente, especialmente la gente en posiciones administrativas, no entienden lo que es el trabajo o aquello en lo que consiste que esté bien o mal hecho. 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.

9. Romper las barreras entre los departamentos.

La gente en investigación, diseño, ingeniería, compra de materiales, ventas, recibo de materiales deben 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.

10. Eliminar metas numéricas 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 auto-retrato (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.

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 entendería que la administración está tomando su parte de responsabilidad. El efecto de fijar metas sin indicar cómo alcanzarlas es más negativo que positivo.

11. Eliminar estándares y cuotas de trabajo sobre cantidad.

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

Por ejemplo, un estándar de trabajo puede incluir un 10% de artículos defectivos permitidos y un 20% de desperdicios. Los estándares de trabajo garantizan que la compañía obtenga la cantidad especificada de artículos defectivos 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 supervisión apropiada.

12. Remover las barreras que impiden que el trabajador tenga derecho de sentir orgullo por la ejecución 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 cuando no está seguro de la aceptabilidad de su trabajo, sobre lo que está bien o mal hecho, tanto ayer como hoy.

13. Instituir un vigoroso programa de educación y entrenamiento.

Es necesario para la administración incorporar algunas reglas de la teoría estadística y su aplicación. 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.

14. Crear la estructura que impulse día a día los 13 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 mejoría en conocimiento y efectividad.

CAPITULO 3

OBSTACULOS Y PROBLEMAS

El gran obstáculo: Carencia de consistencia de propósito.

Aun cuando la alta administración ha anunciado su completo compromiso a la consistencia de propósito hacia la calidad y productividad, otra gente en la compañía puede estar perpleja y escéptica. Yo he escuchado estas preguntas: ¿Cuánto durará este programa? ¿Qué será de este programa dentro de tres años? ¿Vendrá un nuevo presidente a cambiar todo esto en un futuro? Una compañía cuya alta administración está comprometida por la calidad y la productividad y con sus raíces, no sufre por la incertidumbre y la confusión. Pero, cómo puede la alta administración estar comprometida con cualquier política cuando su permanencia es sólo por unos cuantos años.

Un amigo en Japón cuyo conocimiento de la industria en Japón y Estados Unidos es incuestionable, remarcó lo siguiente en su conversación: "América no podrá hacerlo". La razón que él dió es la movilidad de la administración americana, no echan raíces en una compañía; por el contrario, crean reputación personal, por eso tienen una mayor movilidad.

La gente necesita tiempo para aprender a trabajar juntos. Los hombres pueden requerir 10 ó 15 años para desarrollarse.

El trabajo de la administración es buscar el bienestar de la compañía.

Hay mucho que hablar acerca de cómo involucrar a los empleados con la calidad. El gran problema es cómo mantener a la administración involucrada.

Un problema de la rotación en la adminstración es que desde la escuela se inculca al alumno que debe cambiar de un lado a otro para alcanzar el éxito.

Una posible pregunta potencial en las mentes de los empleados es: ¿cómo saber si la alta administración se da cuenta del hecho de que la compañía está en problemas y si hay cursos de acción para recuperar la posición competitiva? Yo no tengo la fórmula, pero si la alta administración no sabe que la compañía está en problemas y no hay un plan para ello, hay poco que se pueda hacer por ellos.

En mi experiencia, yo observo la regla de trabajar con una compañía solamente por invitación de la alta administración y solamente en bases de largo plazo y si ellos comprometen conmigo a tener un consultor interno competente.

Una enfermedad común que aflige a la administración y al gobierno en todo el mundo es la afirmación de que "nuestros problemas son diferentes". Estoy seguro que son diferentes, pero los principios que ayudarán a resolverlos son por su naturaleza universales.

Un importante obstáculo es suponer que el mejoramiento de la calidad y la productividad se logra repentinamente por afirmación de fe. Otro obstáculo es la falta de seriedad de la administración sobre la calidad y su dificultad para cambiar. La suposición que prevalece en todo el mundo es de que no habría problemas de producción o en servicio, si los trabajadores hicieran sus trabajos en la forma en que se les ha enseñado. Sueños placenteros. Los trabajadores están limitados por el sistema y el sistema pertenece a la administración.

La inspección no mejora la calidad, no garantiza calidad. La inspección ya es muy tarde. La calidad buena o mala ya está en el producto.

La inspección en masa no es confiable, es costosa e inefectiva. Los inspectores no podrán ponerse de acuerdo mientras que no exista el control estadístico.

En contraste, inspeccionar pequeñas muestras de producto y usar gráficas de control para lograr o mantener control estadístico es un trabajo más profesional.

La administración debe entender que la inspección es un trabajo para y por la calidad, y no para la producción.

Se debe obtener información para ser utilizada; se deben elaborar reportes en una o dos páginas para indicar dónde ocurrió el problema reciente anexando las gráficas que muestren el efecto de intentar eliminar el problema y mejorar el sistema.

Las especificaciones del cliente son a menudo más estrictas que las que necesita. Sería interesante pedirle al cliente o preguntarle cómo mide si los artículos conforman sus especificaciones y por qué necesita las tolerancias que especifica.

Nuestro presupuesto nos permite un 6% de retrabajos. Sólo piense cómo serían las utilidades si no hubiera retrabajos. El 6% permitido no provee ningún incentivo de trabajar mejor, y sí se convierte en un estándar de trabajo.

Una complicada maquinaria requiere de un aceite especial caro. El gerente de la planta tenía órdenes de cortar los gastos. El lo hizo, compró aceite con un distribuidor local con un gran ahorro. El resultado fue "X" miles de pesos gastados en reparaciones en su maquinaria (contraproducente).

CAPITULO 4

¿CUANDO? ¿QUE TANTO TIEMPO?

¿Puede la administración de la compañía adoptar ser constante en el propósito de mejorar su producto y servicio en el futuro, como la primera razón de existencia de la empresa y mantener las tareas necesarias para esto en la organización?

La administración ha permitido a los accionistas creer que los dividendos son una medida del desempeño de la administración. Los accionistas deben estar más interesados en el crecimiento y en futuros dividendos que en los dividendos actuales.

Aún cuando la administración de una compañía haya decidido adoptar los 14 puntos para la calidad, productividad y posición competitiva, el avance parecerá lento. Uno debe permitirse cinco años para que el departamento de compras aprenda su nuevo trabajo y ponerlo en práctica. Va a variar de comprar a los oferentes de más bajo precio a la compra basada en evidencia estadística de calidad así como en precio.

Así mismo, reducirá inspecciones; todo esto tomará tiempo, a algunas les lleva cinco, a otras diez años.

Los únicos sobrevivientes al final de las próximas dos décadas serán las compañías que sean consistentes en el propósito por la calidad, productividad y servicios.

CAPITULO 5

PREGUNTAS PARA AUTO-EVALUACION

Este capítulo consta de preguntas que serán proporcionadas a la administración y al estadístico, para que entiendan los problemas de la compañía.

Las preguntas ayudarán a la administración a preparar la primera junta con el estadístico y les servirá para continuar con la auto-evaluación.

Estas preguntas no serán claras, si no existen antecedentes. No deberán ser contestadas apresuradamente; algunas de ellas requerirán tiempo para contestarlas.

1. a) ¿Se da consistencia de propósito en su compañía?
   b) ¿Si sí, cuál es el propósito, si no, cuáles son los obstáculos?
   c) Permanecerá fijo este propósito establecido o vendrán y saldrán más Directores Generales?
   d) ¿A quién responde su presidente (Director General)?
   e) ¿A quién del Consejo de Directores?

2. a) ¿Cómo define usted calidad de uno de sus productos o ¿Cómo puede usted decir si su producto es bueno?
   b) ¿Tiene usted definiciones operacionales para la calidad? ¿Cómo sabe usted si ha logrado calidad? (Tome uno o dos de sus productos como ejemplo).
   c) En resumen, ¿qué definiciones operacionales de calidad satisfactoria ha formulado usted para ensambles, prototipos o productos finales?

3. a) ¿Cuál es su programa de desarrollo de nuevos productos y nuevos servicios a futuro?
   b) ¿Cómo planea usted probar sus nuevos diseños o ideas?

4. a) ¿Qué sabe usted acerca de los problemas de sus clientes en el uso de sus productos? ¿Qué pruebas hace usted de sus productos en servicio (en uso)?
   b) ¿Cómo ven sus clientes su producto en relación con los productos competitivos? ¿Cómo sabe usted eso? ¿Qué datos tiene usted?
   c) ¿Por qué compran los suyos? ¿Cómo lo sabe usted? ¿Qué datos tiene usted?
   d) ¿Qué problemas o insatisfacciones ven los clientes en la competencia? ¿Cómo sabe usted eso? ¿Qué datos tiene usted?

5. a) ¿Piensan sus clientes que su producto mantiene el estándar de sus expectativas? ¿Qué hizo que su publicidad y sus vendedores se dirigieran a lo que sus clientes esperaban más que a lo que usted puede esperar? ¿Cómo sabe usted eso?
   b) ¿Están sus clientes satisfechos con el servicio que sus distribuidores proveen? Si sí, ¿qué es lo satisfactorio de esto? ¿La calidad del trabajo bien ejecutado? ¿La diferencia entre su llamada y la presencia del hombre de servicio? ¿Cómo sabe usted eso?

6. a) ¿Qué inspección o verificación está usted llevando a cabo?
   - Sobre recibo de materiales.
   - En proceso.
   - Producto final.

   No trate de responder esta pregunta para cada uno de sus productos. Contéstela sólo para tres o cuatro de los más importantes e igual para las líneas de producción.

7. a) ¿Cuán confiable es su inspección en cada uno de estos puntos y cómo sabe usted eso?
   b) ¿Qué datos tiene usted para mostrar a sus inspectores que están en la línea uno con otro?
   c) ¿Qué hay acerca de sus instrumentos de prueba? o si usted los usa, ¿puede usted presentar evidencia de control estadístico del sistema de medición, clasificación visual o por instrumentos?

8. a) ¿Se lleva a cabo la inspección donde el capítulo 13 indicaría que la no inspección minimizaría los costos totales?
   b) ¿En cuáles puestos no está llevando a cabo inspección? ¿En donde la teoría del capítulo 13 dice que usted debería inspeccionar para minimizar los costos totales?

9. a) ¿Qué records tiene de las inspecciones? ¿En qué forma? ¿En la forma de gráficas de control? Si no, ¿por qué?
   b) ¿Qué otro uso hace de los records que guarda?
   c) Si no tiene records, ¿por qué no lo hace?
   d) Si usted no tiene records en algún punto, ¿por qué no quita la inspección de ese punto?

10. a) ¿Cuánto del material que va a la línea de producción es usado invariablemente con desperdicios de material o retrabajos por el gerente de producción? Trate de contestar la pregunta también para dos o tres líneas importantes de producción.

¿Qué tan a menudo encuentra usted ejemplos como éste?:
- Material que cumple con las especificaciones pero que no se adapta al proceso o al producto terminado.

b) ¿Cuánto del material que ingresa es devuelto como totalmente no usable a juicio del gerente de producción? (Otra vez para dos o tres líneas importantes de producción).
c) ¿Qué sistema tiene para reportar y corregir esos

11.a) ¿Está usted pagando por productos defectuosos de sus proveedores?
b) ¿Quién paga por producto el que ingresa defectuosos? (Respuesta: lo hace).

12.a) ¿Su departamento de compras busca siempre al mejor Si sí, ¿por qué? ¿Qué es lo que esta política le está costando a usted?
b) ¿Entra la calidad en consideraciones? ¿Cómo?
c) ¿Son efectivos sus requerimientos de calidad?

13.a) ¿Tiene usted dos, tres, cuatro o más proveedores para la misma parte o material? Si sí, ¿por qué?
b) ¿Sería mejor tener un proveedor para cualquier parte o material? Si sí, ¿por qué tiene más de uno? ¿Puede usted obtener calidad y evidencia estadística de calidad de cada uno de los proveedores?

14.a) ¿En qué punto usa usted los datos de la inspección?:
- Para detectar por gráficas de control u otras técnicas estadísticas una causa especial de variación.
- Para aprender que la proporción de los problemas de rechazo, desperdicio y productividad pertenecen al sistema. (Responsabilidad de la administración).
b) ¿Qué cambios ha hecho usted recientemente en el sistema? ¿Qué le dejaron estos cambios? ¿Cómo puede usted saber que sus esfuerzos por alterar el sistema tuvieron algún efecto y en qué dirección?

15.a) ¿Qué arreglos tiene usted con sus proveedores para recibo de ellos con base en evidencia de control estadístico, de manera que usted pueda seguramente decrecer la inspección? ¿Qué ayuda les está dando usted a ellos?
b) ¿Qué trabajo cooperativo está usted llevando a cabo con sus proveedores para estar seguro de que ambos hablan del mismo centímetro y la misma prueba?

16.a) ¿Qué es lo que está haciendo para hacer que la calidad sea trabajo de todos, incluida la administración?
b) ¿Sabe usted la pérdida que proviene de un artículo o producto defectivo o de un error en cualquier punto de la línea?

17. ¿Está usted todavía usando estándares muy rígidos para la compra de materiales? ¿Por qué? (a la luz del capítulo 13).

18. ¿Qué porcentaje de sus costos son imputables a defectos provenientes de operaciones previas?

19. ¿Qué proporción de los problemas que usted tiene con calidad y productividad son causados por:
    -trabajadores de la línea;
    -por el sistema (administración).
    ¿Cómo sabe usted eso?

20. ¿Cuánta pérdida atribuye usted a daños por manejo de materiales? Está ésta
    -a lo largo de la línea de producción.
    -En empaque, transportación, instalación.
    ¿Qué datos tiene usted sobre estos problemas? ¿Qué está haciendo al respecto?

21. ¿Qué está haciendo para mejorar el entrenamiento de los nuevos empleados?

22. ¿Qué está haciendo para ayudar a los empleados que han estado en sus puestos por un tiempo?

23. a) ¿La gente que está comprometida en entrenamiento entiende cuándo un empleado está entrenado y cúando no está entrenado todavía?
    b) ¿Saben ellos que tienen solamente una oportunidad? ¿Saben que un empleado, una vez logrado un control estadístico en su trabajo, no puede ser ayudado con entrenamiento posterior en los mismos procedimientos?

24. ¿Depende usted de estándares de trabajo? Si sí, ¿ha ensayado usted de otra mejor manera?

25. ¿Es usted culpable de fijar metas numéricas de productividad y de proporciones de defectivos? ¿Puede explicar por qué? ¿Cualquier meta de esas ha ayudado a hacer un trabajo mejor?

26. ¿Qué está haciendo acerca de la educación estadística de su
    -Administración.
    -Ingenieros.
    -Químicos, Físicos.
    -Gerentes de Planta.
    -Supervisores.
    -Trabajadores de producción.
    - Departamento de compras.

-Gente comprometida en pruebas de productos, investigación del consumidor, en rediseño de productos.
-Departamento de finanzas, nómina, personal, procesamiento de datos.

27. Si usted tiene un estadístico competente en su compañía, ¿está haciendo uso máximo de su habilidad y conocimiento? ¿Está él enseñando métodos a la administración, agentes de compras, en su departamento de investigación comercial y diseño de futuros productos? ¿Lo envía a juntas estadísticas? ¿Está trabajando a lo largo de la compañía encontrando problemas, causas, resultados o acciones correctivas? ¿Está trabajando sobre todos sus problemas de diseño, calidad, abastecimiento, especificaciones, prueba de instrumentos? ¿Tiene la autoridad y responsabilidad para ver en cualquier lugar de la compañía problemas y trabajar en ellos? Si no, ¿Por qué no?

28. a) ¿Está usted tratando de establecer su trabajo estadístico en conformidad con el capítulo 17?
b) Si usted no tiene un estadístico competente, ¿qué esfuerzos está poniendo para encontrar a alguien que lo ayude con sus problemas de calidad, productividad, abastecimiento, rediseño de producción?
c) ¿Qué esfuerzo ha hecho usted para descubrir a la gente con conocimiento de teoría estadística en su propia compañía y darles a ellos la oportunidad de moverse dentro del trabajo estadístico bajo un líder competente?
d) ¿Qué está haciendo por impulsar a que esta gente continúe con sus estudios de teoría estadística?

29. ¿Cuál es su plan y que está haciendo para remover las barreras que impiden al trabajador tener orgullo por realizar un trabajo bien hecho?

CAPITULO 6

PANORAMA DE COMO SE INICIO LA CALIDAD EN JAPON

Hubo cuatro fuerzas principales que causaron la explosión de la recuperación económica del Japón en 1950:

1. Los estadísticos de Japón. Los estadísticos del Japón habían aprendido nuevas teorías y contribuido para un sin número de censos como también para reportes actuales de su fuerza de trabajo, nutrición, casas habitación, producción agrícola; y habían hecho importantes contribuciones al diseño de experimentos y otras líneas de investigación.

Los trabajos y conferencias de ellos durante 1947 sobre los estudios de nutrición, casas habitación, producción agrícola y pesquera, y características demográficas, naturalmente se expandieron dentro de la industria. Los estadísticos del Japón comenzaron a ser el más importante recurso del país.

2. La Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (JUSE) Kenichi Koyannagi formó JUSE en 1947. Su objetivo: la reconstrucción del Japón. Bajo los auspicios de JUSE el Dr. Nishibori dio en 1949 un corto seminario en Estadística a la Industria. La siguiente etapa fue traer a un experto extranjero. La invitación vino en 1949.

3. La enseñanza de las técnicas.
La primera serie de conferencias tuvo lugar en Junio de 1950 con la enseñanza de los elementales y poderosos métodos estadísticos. 400 ingenieros tomaron estos cursos en el verano de 1950.

El contenido de los cursos y el método de enseñanza abrió nuevos caminos para que el conocimiento estadístico se incluyera en la educación de los ingenieros.

4. Seminarios con la alta administración.
La administración debía entender sus responsabilidades. El problema era cómo llegar hacia ellos. Esto fue solucionado por las oficinas del Señor Ichiro Ishikawa, presidente del Gran Kei-Dan-Ren (Federación de Sociedades Económicas) y Presidente de JUSE.

El envió telegramas a todos los hombres de la alta administración de las empresas a venir al Club de la Industria. Ellos vinieron. Esto fue en el verano de 1950.

Los propósitos (o temas tratados) fueron los siguientes:

-La responsabilidad de la administración de instituir la consistencia de propósito hacia el servicio.
-Mejorar el sistema a través de todas las etapas de producción.
-Administrar el uso de la tecnología estadística de calidad en toda la compañía. Desde el abastecimiento de materiales hasta el cliente, investigación del consumidor, innovación y rediseño de productos. El diagrama de flujo siguiente fue de gran ayuda en estos seminarios.

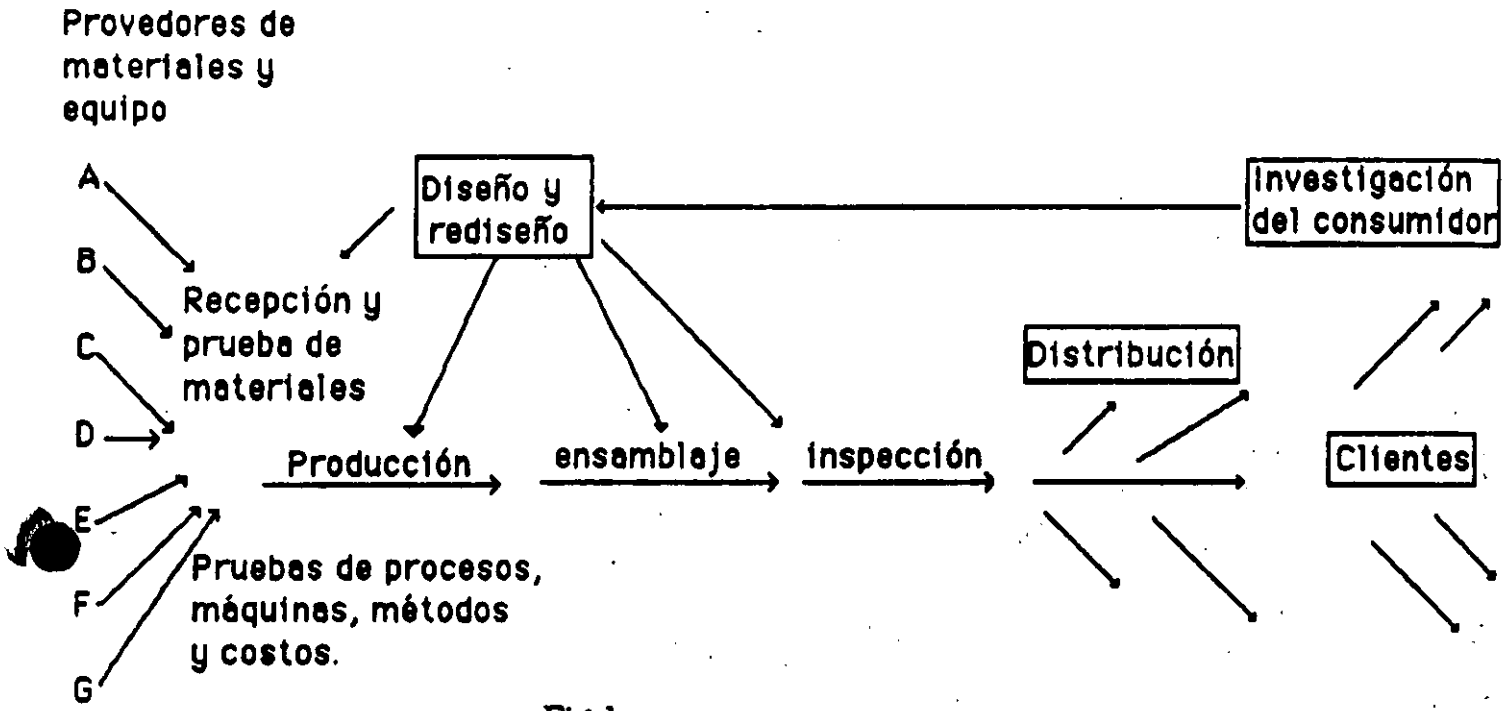


Fig. 1

La producción vista como sistema. El mejoramiento de la calidad incluye toda la línea de producción, desde que se reciben los materiales hasta llegar al último consumidor, y el rediseño del producto y el servicio a futuro. Esta gráfica se utilizó por primera vez en 1950, en una conferencia para ejecutivos de alto nivel, en el Hotel de Yama en Mt. Hakone, en Japón. En una organización de servicio, las fuentes A, B, C, etc., podrían ser aprovisionamiento de datos, o trabajo proveniente de operaciones anteriores, como cargos (en una tienda departamental), cálculo de los cargos, depósitos, retiros, inventarios dentro y fuera de la empresa, transcripciones, órdenes de remisión, etc.

El mensaje que antecedía a esto era que la administración debe entender que el cliente es la parte más importante de la línea de producción.

Era necesario que la administración japonesa permaneciera atrás del desempeño del producto. Ellos debían mirar hacia adelante en el diseño de nuevos productos y servicios.

Cada persona en la compañía debía atacar los problemas de mejoramiento de la calidad. En pocas palabras, los esfuerzos de mejoramiento de la calidad deben ser totales.

Año con año, los japoneses han avanzado en su entendimiento y uso de los métodos estadísticos; y los han aprendido y asimilado con su estilo particular y han dado al mundo una demostración de lo que es **SERVIR AL CLIENTE** en una forma nunca antes conocida.

CAPITULO 7
LAS DOS FUENTES BASICAS DE MEJORAMIENTO

A. CAUSAS ESPECIALES, CAUSAS COMUNES: MEJORAMIENTO DEL SISTEMA.

Propósito de este capítulo.

Hemos visto en varios ejemplos cómo **simples, pero poderosas técnicas estadísticas**, establecen el tipo de acción que necesitamos seguir para reducir desperdicios y mejorar la productividad y posición competitiva.

El principal objetivo de este capítulo es sumarizar algunos de los puntos esenciales acerca de las Gráficas Estadísticas, no la técnica para su construcción; y mostrar por qué es conveniente enseñarlas a la alta administración.

Observemos la gráfica de tendencia, Fig. 2, que muestra el número de millas por galón de un tanque lleno a otro en un vehículo. Los puntos varían de un tanque lleno a otro, algunas veces están arriba o abajo, o cerca del promedio de 25 millas por galón establecido previamente, para un clima cálido.

Podemos observar nueve puntos seguidos abajo del promedio. ¿Cuál es la causa? Dos o tres puntos sucesivos abajo del promedio o arriba, podríamos esperar, pero nueve indican una causa especial de variación (Shewhart, creador de la Gráfica de Control, usa el término de causa asignable).

La explicación de la causa especial podría ser cualquiera o cualquier combinación de una lista de posibilidades: clima frío (tal vez viaje a las montañas), agua en la gasolina, arranques cortos, bujías. Nuevas bujías regresaron el millaje a su nivel primitivo.

Compañías propietarias de automóviles y camiones mantienen records confiables de las millas recorridas y los galones de diesel comprado. Ellas podrían hacer buen uso de esos datos. Una simple Gráfica de Tendencia podría establecer la fecha indicadora de un problema en cada chofer. La gráfica podría encantar al chofer y abrir un mundo nuevo al propietario.

Una gráfica estadística detecta la existencia de una causa de variación que está fuera del sistema.

Existen otros tipos de gráficas, como las Gráficas de Control X-R, las cuales detectan las causas especiales o cambios en el sistema con menos datos que los requeridos por una Gráfica de Tendencia.

Lista parcial de causas comunes de variación.

- Diseño deficiente del producto.
- Instrucciones y supervisión deficientes.
- Fallas para proveer al trabajador de información estadística.
- Los materiales no conforman los requerimientos.
- Los procedimientos no conforman los requerimientos.
- La maquinaria no conforma los requerimientos.
- Condiciones de trabajo inadecuadas.
- Transferir el énfasis de la administración de cantidad a calidad sin entender **cómo lograr la calidad**.

B. LOS DOS USOS BASICOS DE LAS GRAFICAS DE CONTROL

1. Para juzgar si el proceso estuvo en Control Estadístico (análisis).

2. Para mantener el estado de Control Estadístico durante la producción (control).

Dos tipos de errores en el trabajo.

Existen dos tipos de errores que se pueden cometer en el trabajo de producción.

- Sobre-ajuste: acciones para resolver un problema, cuando el problema realmente no existe.

- Bajo (no) - ajuste: no hacer nada, cuando un problema existe.

El trabajador de producción requiere solamente de simple aritmética para construir una gráfica. Pero es responsabilidad de la administración enseñarlo a usar las Gráficas de Control en su trabajo, donde estos pueden ser efectivas; y serán efectivas si el trabajador no tiene barreras que hacen imposible que pueda sentir orgullo de su trabajo; de otra forma, tendrán poca vida.

Debe eliminarse el uso de las Gráficas de Control sin un propósito u objetivo.

Un ejemplo de sobre-ajuste es el caso en el que un operario hace ajustes a su equipo por tratar de lograr especificaciones. Con la ayuda de la Gráfica de Control X-R puede ajustar su equipo sólo con una señal estadística. El resultado es 1) Mucho más uniformidad en la producción; 2) Incrementos sustanciales en producción porque disminuye el tiempo dedicado a ajustes.

Ventajas de estabilidad o Control Estadístico.

1. El proceso es idéntico; su desarrollo es predecible.
2. Los costos y la calidad son predecibles.
3. La producuvidad está en su máximo y los costos al mínimo, bajo el presente sistema.

4. Los efectos de cambios en el sistema (responsabilidad de la administración) pueden ser medidos con gran velocidad y confiabilidad.
5. Permite modificar especificaciones que no pueden lograrse económicamente.
6. Se puede mejorar (o disminuir) la inspección, sus costos.

C. OTRAS OBSERVACIONES SOBRE EL CONTROL ESTADISTICO

- El Control Estadístico no implica ausencia de artículos defectuosos. El Control Estadístico es un estado de variación al azar.

- Es mucho mejor para el operario que él mismo grafique punto por punto en la Gráfica de Control, aunque los datos provengan de una computadora, como los pesos de lingotes de acero.

- Si la gráfica muestra ausencia de Control Estadístico, entonces el siguiente paso es una exploración de las causas especiales.

- Use la Gráfica de Control para medir la combinación de las fallas del sistema. Por ejemplo, el resultado de 20 trabajadores juntos.

CAPITULO 8

MAS EJEMPLOS DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA

Propósito de este capítulo.

Estudiar algunos ejemplos para ilustrar cómo los métodos estadísticos pueden decirnos qué proporción de los problemas en producción podrían ser eliminados por cambios en el sistema, algunas veces fáciles de lograr, otras no.

Ejemplo.

Este ejemplo ilustra cómo un pequeño cambio en el sistema pudo virtualmente eliminar la posibilidad de artículos defectuosos. Las ordenadas en la Fig. 24 son las medias (X) de muestras de n = 3 para pruebas de uniformidad de ruedas terminadas. La prueba es el balance de la rueda en movimiento.

Observaciones:

1. El operario de producción está en estado de control con respecto a su propio trabajo (el cual es el único trabajo de su responsabilidad). No hay puntos fuera de los límites de control.

2. El está bajo el handicap del sistema. No puede vencer al sistema ni la capacidad de su proceso; de vez en cuando, producirá una rueda defectuosa, aunque sea un buen trabajador en estado de control.

3. El está alcanzando los requerimientos de su trabajo. No puede hacer más.

4. El principal problema descansa en el sistema. La línea central en la Fig. 3, que cae cerca de los 125 gms-cms., representa la contribución delsistema al total del problema. Si las fallas del sistema (faults) fueran reducidas al 75% (ej. cambiando el nivel de ajuste del proceso) de su presente nivel, la cola superior de la distribución depiezas individuales podría quedar abajo del límite de especificación, yla producción entera podría ser aceptada; por lo tanto, se realizarían economías en producción.

Una simple acción llevada a cabo por el supervisor de esta línea de producción disminuirá la distribución completa.

La reacción de la administración sobre lo anterior fue la usual: no tenían en mente este tipo de control de calidad cuando consideraron el problema. Ellos estuvieron observando que todo estuviera claro, una vez que los operarios de producción pusieran su mejor esfuerzo en el trabajo.

CAPITULO 9

ALGUNOS RIESGOS DE LAS GRANDES IDEAS

Cuatro axiomas básicos.

- Algunos puntos de un grupo deben estar arriba del promedio del grupo. (Algunos trabajadores producirán arriba del promedio del grupo).
- No todos los puntos estarán en el promedio. (Excepto por rara coincidencia).
- En el estado ideal de Control Estadístico existe variación de calidad y cantidad; sin embargo, estas altas y bajas satisfacen el criterio de azar. En otras palabras, la variación es estable.
- No sólo existen causas especiales de variación y pérdida, sino también causas comunes de pérdidas que provienen del sistema mismo.

En mi experiencia, la administración y gerencia en América, usualmente, ignoran estos cuatro axiomas.

Es un error evaluar el desempeño de un trabajador (o un proceso) considerando si está arriba o abajo de un promedio. La evidencia estadística debe estar presente para definir cuáles variaciones son normales, y cuáles trabajadores necesitan ayuda (ej. transferirlos a otro trabajo).

CAPITULO 10

ALGUNOS PRINCIPIOS NUEVOS DE ENTRENAMIENTO Y SUPERVISION

Objetivo de supervisión.

El objetivo de la supervisión debe ser mejorar el desarrollo (ejecución) del hombre y de la máquina, incrementar la producción y simultáneamente aligerar la carga del trabajador de producción, para hacer su trabajo más interesante al mismo tiempo que más productivo.

En forma negativa, el objetivo de la supervisión no es simplemente encontrar y compilar fallas del hombre, sino remover las causas de las fallas: ayudar a la gente a hacer mejor su trabajo con menos esfuerzo. Este capítulo sumariza los principios, algunos ya aprendidos en anteriores capítulos, y agregará ejemplos junto con sugestiones sobre técnicas estadísticas sencillas, que son útiles para la supervisión.

Primera etapa.

La primera etapa de la supervisión se hace para la administración: relevar al supervisor de cuotas en términos de números. Una cuota en números es solamente otra forma de trabajo estándar. Una etapa concomitante es remover las otras barreras que roban al trabajador de producción la posibilidad de sentir orgullo por su trabajo.

¿Decirle a un trabajador sus errores? ¿por qué?

¿Cómo puede un hombre mejorar su trabajo, si fallamos en decirle los artículos defectuosos hechos por él, de tal forma que pueda observar dónde estuvo equivocado?

Importancia del entrenamiento.

Cuando alguien ha producido su trabajo en un estado de Control Estadístico, independientemente de si ha sido entrenado bien o mal, está en una ruta. Ha completado su aprendizaje de ese trabajo en particular. No es económico tratar de proveerle más entrenamiento del mismo tipo. Con un buen entrenamiento, puede aprender muy bien otro tipo de trabajo.

La Gráfica de Control indicará si y cuándo una persona ha alcanzado el estado de Control Estadístico. Cuando lo alcanza, la continuación del entrenamiento no significa nada.

En un estado de caos (pobre supervisión, mala administración, nada en Control Estadístico) es imposible para cualquiera en la organización desarrollar su habilidad potencial y capacidad para trabajar uniformemente o para lograr calidad.

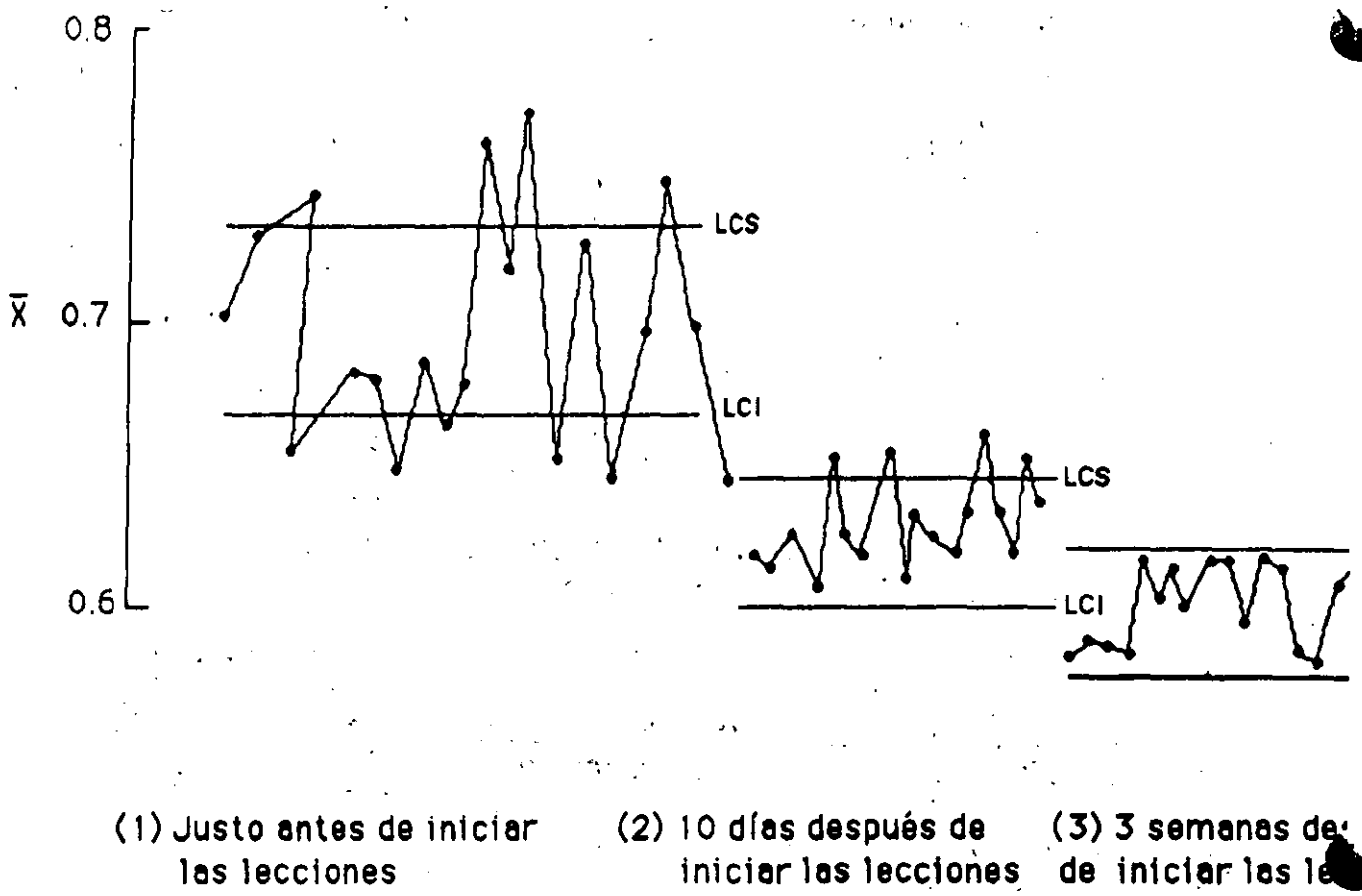


Fig. 31 Promedio diario de scores para un paciente aprendiendo a caminar des
de una operación.

Se logra el Control Estadístico, pero el resultado no es satisfactorio.

Un trabajador que está en estado de control, pero sus resultados no son satisfactorios, presenta problemas. No es usualmente económico tratar de re-entrenarlo en el mismo trabajo. Es más económico ponerlo en un nuevo trabajo, en el cual con el entrenamiento pueda ser más experto que como fue el de su presente trabajo.

La Fig. 32 provee una ilustración. Un hombre experimentado en golf tuvo esperanzas de mejorar su score tomando clases. La gráfica muestra que las clases resultaron en nada.

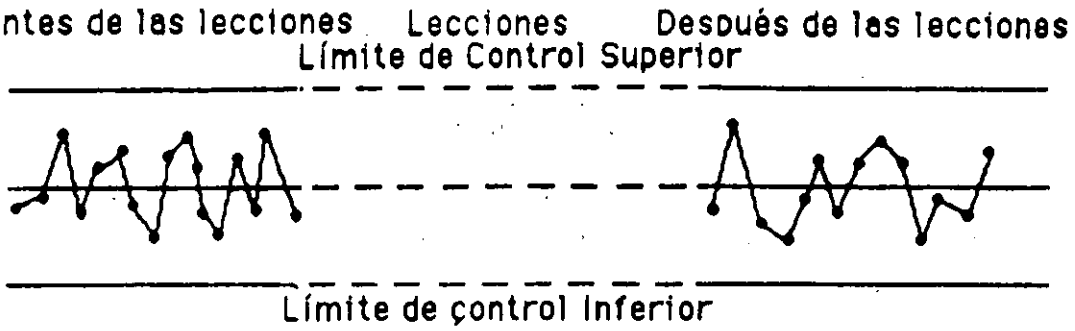


Fig.32 Promedio de scores en golf para un golfista experimentado, antes y después de las clases. Dicho jugador había alcanzado un Control Estadístico antes de tomar clases.

Cuál es entonces la respuesta para un hombre que ha logrado alcanzar un Control Estadístico en su trabajo, pero cuyos resultados no son satisfactorios, ya sea en cantidad o calidad o ambos? Transferirlo a otro trabajo y estar seguro de darle un correcto entrenamiento en su nuevo trabajo. Este nuevo trabajo no necesita estar relacionado con el anterior.

Preocupaciones y expectativas.

1. Aun después de que alguien logre el Estado de Control Estadístico en su trabajo, puede perderlo. Las causas deben eliminarse.

2. Desafortunadamente, también la gente puede descuidarse, distraerse en un momento de su actuación. Por esta razón, la Gráfica de Control u otras técnicas deben utilizarse para mantener el Control Estadístico con base en cada día.

3. Nuevos productos o nuevas especificaciones, posiblemente un nuevo contrato, pueden dar lugar a nuevos tipos de defectos. El operario de producción puede por sí mismo lograr el Control Estadístico con nuevos procedimientos.

4. El departamento de inspección puede introducir un nuevo tipo de medición para alguna característica de calidad importante (ej. viscocidad); lo que podría significar para el trabajador, un nuevo producto.

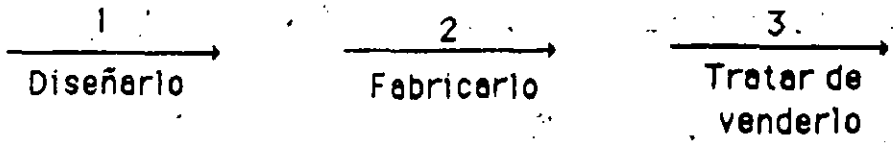
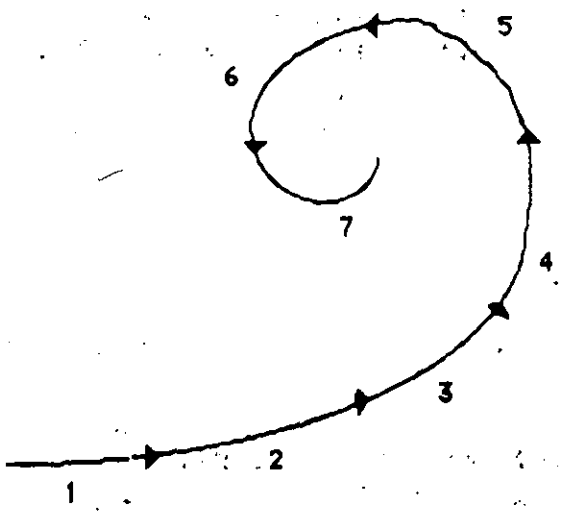


Fig 42. La antigua forma.



1. Diseñar el producto (con pruebas apropiadas)
2. Fabricarlo; pruebas en las líneas de producción y laboratorio.
3. Ponerlo en el mercado.
4. Probarlo en servicio; saber qué piensa el usuario y por qué los no-usuarios no lo han comprado.
5. Re-diseñar el producto en respuesta a las reacciones del consumidor para la calidad y precio.

Las etapas seis y siete serían rediseño del producto, con nuevas pruebas y así sucesivamente.

Fig. 43 La nueva forma

Tomado de mi libro, Elementary Principles of the Statistical Control of Quality (JUSE, 1951), página 10

Los productores siempre han tenido interés en descubrir las necesidades y reacciones de sus usuarios y del usuario potencial, pero hasta ahora no tenían una forma económica y confiable de hacerlo.

Las primeras tres etapas de la nueva forma son diferentes a las tres etapas de la antigua forma. Consideremos, por ejemplo, la etapa 1 de diseño; un diseño apropiado ahora no significa solamente poner atención al color, forma, tamaño, dureza, resistencia y terminado, sino ponerle atención también al grado de uniformidad. Paradójicamente, a través del Control Estadístico de Calidad, "mayor uniformidad" generalmente disminuye más los costos que "no-uniformidad" sin Métodos Estadísticos.

Calidad para el Gerente de Planta

El gerente de planta y cualquiera en la línea de producción tiene el deber de producir a la primera las características de calidad que son preestablecidas.

CAPITULO 12

CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD EN INDUSTRIAS DE SERVICIO

¿Quién necesita mejoras? La respuesta es que un sistema de Control de Calidad es de mucha utilidad para todos aquéllos que logran productos y también para aquéllos que brindan servicios; ya que las ineficiencias en las organizaciones de servicio, como en las manufactureras, elevan los precios al consumidor y disminuyen su estándar de vida.

Los departamentos de compras, contabilidad, personal, legal, pagos, planeación, ventas y transportación de una empresa manufacturera son organizaciones de servicio.

La proporción de la fuerza laboral que está en organizaciones de servicio es altísima; por esto una mejor Calidad y Productividad en estas organizaciones dará un mejor nivel de vida a la gente.

"Un común denominador entre las organizaciones manufactureras y de servicio es que los errores y defectos son costosos" Entre más lejos llegue un error sin ser corregido, mayor será el gasto para corregirlo.

CAPITULO 13

PLAN PARA LOGRAR MINIMO COSTO TOTAL DE MATERIALES DE ENTRADA (INPUTS) Y PRODUCTOS FINALES (OUTPUTS)

A. Algunas reglas sencillas de aplicación.

Insumos, algunos defectuosos: ¿cuánta inspección?

Aun y cuando el vendedor y el comprador trabajen juntos para reducir la proporción de partes defectuosas que aquél envía, usted no debe sentirse totalmente satisfecho en sus esfuerzos por eliminar las partes defectuosas que entran. Debemos prepararnos con teorías que nos digan qué hacer. ¿Debemos tratar de encontrar los productos defectuosos en un lote que entra (input), si es que existen defectuosos? ¿O debemos enviar todos los lotes directo a la línea productiva tal y como vienen?

Debemos desarrollar principios que, en una gran variedad de circunstancias, se acoplen a la práctica, nos diga qué hacer para minimizar el costo total de inspección de materiales de insumo más el costo de reparar y probar la línea que falla, porque un producto defectuoso entró a producción.

Dejemos que:

p: Sea la fracción promedio defectiva en un lote de insumo. (que puede ser lo recibido en un día).

k_1: Sea el costo por inspeccionar una parte.

k_2: Sea el costo de desmantelar, reparar, rearmar y probar la línea que falló porque un producto defectuoso entró en ella.

k: Sea el costo promedio de probar una o más partes para encontrar una en (S)*, k es evaluado como k_1/q.

Las reglas para el mínimo costo total se tornan muy simple bajo ciertas condiciones:

Caso 1. El peor lote que entra tiene una fracción defectiva menor a k_1/k_2, en este caso NO INSPECCION.

Caso 2. El mejor lote que entra tiene una fracción defectiva mayor a k_1/k_2, en este caso 100% INSPECCION.

---

* El proveedor nos surte partes (llamadas S), para reponer cualquier parte defectuosa encontrada.

La fracción defectiva: k_1/k_2 es el punto de equilibrio.

Posición Binomial.

Supongamos que el proceso está en Control Estadístico, en donde los defectos tienen una distribución binomial alrededor de la media p. Entonces las reglas para el mínimo costo total será igual:

Si	$p < k_1/k_2$	NO INSPECCION
Si	$p > k_1/k_2$	100% INSPECCION

Mezcla de Binomiales.

Uno no puede esperar alcanzar en la práctica una distribución binomial pura de productos defectuosos de los lotes que entran. Más usual es encontrar en un buen control una mezcla de binomiales, cada una con su fracción defectiva.

Dejemos que:

p_l: sea el menor de las medias

p_u: sea el mayor

Entonces las reglas serán:

$p_u < k_1/k_2$	NO INSPECCION
$pl > k1/k2$	100% INSPECCION

Más aún, si estas medias caen en una banda estrecha, tal que p_u no es mucho mayor que p_l, entonces:

$p < k_1/k_2$	NO INSPECCION
$p > k1/k2$	100% INSPECCION

donde p es la fracción media defectiva de la distribución.

B. Otras posibles condiciones.

No dejar de tener información.

No hacer inspección no significa manejar sin luces. Debemos sacar muestras de cada lote para compararla con las pruebas y las gráficas de los proveedores.

La mejor manera de mantenerse informado es con el uso de las Gráficas de Control; si existen dos proveedores para un mismo producto manéjelos por separado.

Sugerencias para la incertidumbre.

Los primeros lotes que entren del proveedor, como regla deben ser inspeccionados al 100%, al menos que se tenga evidencia que el promedio de fracción defectiva es abajo del punto de equilibrio (breakeven).

C. Ejemplos (algunos).

Ejemplo 1.
Una manufacturera de TV estaba inspeccionando cada uno de los circuitos integrados que entraban a la empresa (input).

P: ¿Cuántos circuitos integrados encontraste?
R: Promedio de uno o dos defectuosos de 10,000 probados.

$$p = 1/10{,}000 \text{ ó } 2/10{,}000 = 0.00015$$

$$k_1/k_2 = 0.01$$

$$k_1 = 30 ¢$$

Como $p < k_1/k_2$, podrá no inspeccionarse. Pero si se inspecciona 100%, entonces su costo total será de $k_1 + k_p$.

Mientras que con no inspección, su costo promedio podrá ser $p(k_2 + k)$, que es menor a $k_1 + k_p$.

La diferencia es:

$$\text{PERDIDA} = (k_1 + k_p) - p(k_2 + k) = k_1 - pk_2$$
$$= 29.6 ¢$$

ó 30 ¢ en cada circuito integrado. Debe haber como 80 circuitos integrados en una TV. Con 80, la pérdida por la mala selección del plan será 80 X 29.6 ¢ = 2,368 ¢ ó $ 24.00 por cada TV, fácilmente 15 ó 20% del costo de manufactura.

Ejemplo 2.
Una compañía de automóviles considera comprar un equipo de prueba, con un costo de $ 25,000,000.00. Este equipo puede hacer pruebas a un motor antes de seguir utilizándolo. El costo por parar, sacar y arrancar la línea de ensamble a causa de un motor defectuoso es de $ 500.00

Veamos lo siguiente:

k_1 = \$ 50.00 Costo por inspeccionar un motor.
k_2 = \$ 500.00
$p = 1/150$
$k_1/k_2 = 50/500 = 1/10$

como $p < k_1/k_2$ el procedimiento correcto para mínimo costo total será omitir la prueba inicial. La compañía canceló la orden de compra del equipo de prueba.

El ahorro que tuvo la compañía fue de:

$k_1 - pk_2 = 50 - 500/150 = 46.67$/motor

a 4,000 motores/día = 185,000/día.

Sin embargo, otras dos compañías manufactureras de automóviles compraron el equipo. En otras palabras, por no utilizar el beneficio de la consulta estadística, maximizaron su costo de operación.

D. Múltiples partes.
Probabilidad de ensamble defectuoso en el caso de múltiples partes.

$$p = p_1 + p_2 - p_1p_2$$

p_1 y p_2 son las proporciones de defectivo de las dos partes.

Si alguna de las partes es defectuosa, entonces el ensamble es defectuoso, esto es para el caso de dos partes. La probabilidad de falla aumenta a medida que aumentan las partes componentes del ensamble.

Conclusión.

No podemos tolerar material defectuoso en ninguna etapa de producción. El producto de una operación es insumo para la siguiente operación. Un defectivo, una vez producido, se mantiene hasta ser descubierto en pruebas posteriores para ser corregido y reemplazado a mayor costo.

E. Problemas adicionales con mediciones y materiales.

Consideraciones de costo en el uso de métodos de inspección baratos.
Siempre existirá un método de inspección ideal para materiales de insumo que podemos llamarlo el Método Master *. Su uso es costoso y tardado. En la práctica usamos otro método llamado Regular, que es más barato y rápido que el Master.

La inspección regular, que el Método de Inspección Regular, exhibe dos tipos de fallas: 1) No descubrir partes defectuosas al inicio, que dejándolas pasar, nos causarán problemas y nos incrementará costos. 2) Por otro lado, la inspección regular causa otras pérdidas al clasificar algunas partes como defectuosas que el Método Master las clasificará como buenas.

Es fácil hacer cálculos de las pérdidas usando el Método Regular (más barato). Si las pérdidas cubren el costo extra del Método Master, es mejor adoptar éste.

* Método Master.- Dr. Deming. Sample Design in Business Research (Wiley, 1960, Capitulos 4 y 5).

CAPITULO 14

DOS REPORTES PARA LA ADMINISTRACION

A.Recomendaciones para cambios de política en una fábrica.

Este memorándum (en síntesis) fue escrito por el autor y por David S. Chambers después de un estudio de los problemas en una fábrica, propiedad de una gran corporación. La administración sabía que por años la fábrica había estado variando entre la obtención de utilidades y no-utilidades, y había supuesto que nueva maquinaria era la única respuesta.

Los records de la auditoría de calidad (los cuales mostraban 7.5% de defectos mayores) habían sido generados día tras día, pero no habían servido a propósito alguno.

1. Su fábrica en Nightingale (nombre ficticio) está operando día tras día enviando artículos, de los cuales el 7.5% tienen uno o más defectos mayores.

   • Esta proporción de defectos mayores en producto puede explicar algunos de esos problemas con ventas y utilidades.

2. Su fábrica es un buen ejemplo de un intento para lograr la calidad a través de la inspección, lo cual nunca funciona. El resultado es siempre pobre calidad y altos costos.

   • Hay formas más económicas para producir el 7.5% de producto defectuoso, si éste fuera su objetivo.

3. La cantidad de retrabajo en su línea de producción está lesionando sus utilidades, lo cual obviamente es inefectivo.

4. Los problemas básicamente se inician de esta forma: si una inspectora declara que un defecto es menor, lo repara. Un defecto mayor debe regresarse a la operadora para que lo corrija (retrabajo).

   • Aun cuando la inspectora observe un defecto, la supervisora puede pasarlo por alto, ya que puede afectar su record de producción.

   • La supervisión que sobrepasa la responsabilidad de la inspección es frustrante para los operarios e inspectores.

5. En efecto, sus inspectoras no son sólo inspectoras. Su trabajo es también retrabajo, como parte de la línea de producción.

• Además, el trabajo de sus operarias es producir defectos. Ellas obtienen paga por ello, así debe interpretarse, así es el sistema. La operaria no es responsable del sistema.

6. Su auditoría de calidad se lleva a cabo después de que cada artículo terminado pasa por una inspección final del 200%. Esta inspección final obviamente es una broma. Su auditoría de calidad debe convencerlo a usted, nosotros suponemos, de que la calidad por inspección no está funcionando. Como hemos dicho, ésta nunca funciona. De hecho, funciona en contra de usted.

7. Hemos visto que hay tres posibles caminos a considerar por usted:

   i. Continuar sin cambios.
   ii. Continuar produciendo artículos que muestren un 7.5% de defectos mayores a un costo menor y con mayor utilidades
   iii. Reducir la proporción de defectos, reducir costos, e incrementar utilidades. Nosotros estamos solamente interesados en este último.

8. Un reacondicionamiento completo es necesario. Estas son algunas sugestiones que creemos incrementarían su producción, mejorarían altamente su calidad, con la consecuente (inescapable) aumento de utilidades, y una fuerza de trabajo más satisfecha:

   • Un mejor entrenamiento y un nuevo modo de supervisar.

   • Abolir la distinción entre defecto mayor y defecto menor. Un defecto será un defecto, excepto posiblemente en la auditoría de calidad.

   • Definir las operaciones (procedimientos) de tal forma que las operarias entiendan qué está bien y qué está mal. Esto es responsabilidad de su compañía. Solamente a través de métodos estadísticos usted puede aprender si una definición (de una operación) está trabajando a satisfacción suya.
   • Eliminar el retrabajo en la inspección. Las piezas que necesiten retrabajo deberán ir: 1) a la operadora, si ella no ha logrado control estadístico, ó 2) a un grupo especial, si el trabajo de ella está en control estadístico.

   • Abolir la presión sobre las supervisoras en pro de la producción (cantidad). Hacerlas responsables de ayudar a su gente para producir calidad. Una gráfica de control por grupo de trabajadoras puede ser de gran ayuda, y en algunas ocasiones gráficas individuales.

   • Habría menos inspectoras, información más útil de la inspección para mejorar la calidad, mayor satisfacción de los clientes y mayores utilidades.

• La carga de trabajo de las inspectoras debería ser para inspeccionar, no para producción.

• Nuestro trabajo como estadístico es proveer métodos a través de los cuales usted puede descubrir fuentes de problemas y las razones de altos costos.

• Usted debe remover las barreras que impiden a las operarias sentir orgullo por la ejecución de su trabajo.

B. Extractos tomados de otro reporte a la administración.

1. Este reporte es escrito a petición suya, después de estudiar algunos de los problemas que usted está teniendo con su producción: altos costos y calidad variable; los cuales, en forma conjunta, han sido la causa de su considerable preocupación acerca de su posición competitiva.

2. Mi opinión abierta es que no existe impacto permanente en el mejoramiento de la calidad, a menos que la alta administración lleve a cabo su responsabilidad. Esta responsabilidad nunca termina: continúa por siempre. En mi opinión, la falla de su propia administración para aceptar y actuar en sus responsabilidades por la calidad es la causa primaria de su problema.

3. Usted me ha asegurado que tiene control de calidad en su compañía. Yo he tenido la oportunidad de ver algo de eso. Lo que usted tiene en su compañía, como lo he visto, no es control de calidad, sino una guerrilla actuando, no un sistema organizado, no existe aprecio por control de calidad como sistema. Usted ha estado operando con un departamento de bomberos cuya esperanza es llegar a tiempo para evitar que se extienda el fuego. Usted gasta dinero en control de calidad pero inefectivamente.

   • Usted tiene un "slogan" mostrado en posters en todos lados, impulsando y urgiendo a todos a hacer su trabajo perfecto. Me asombra cómo podría alguien vivir con esto. ¿Cómo puede el personal, si no tiene manera de saber qué es su trabajo y cómo hacerlo mejor? ¿Cómo pueden los trabajadores, si tienen en contra materiales defectuosos, cambios de abastecimientos, máquinas descompuestas? Las exhortaciones y pláticas no son instrumentos de mejoramiento muy efectivos en la fuerte competencia de ahora, sobre todo cuando una compañía compite fuera de sus fronteras nacionales.

   • Usted debe proporcionar guías de procedimientos, para ayudar a sus trabajadores a mejorar su trabajo, acompañándolas de exhortaciones a llevar a cabo un trabajo perfecto. De otra forma, los trabajadores ven sus exhortaciones como bromas crueles y la administración demuestra que no tiene voluntad de tomar sus responsabilidades por la calidad.

• Un prejuicio usual en la mayoría de los casos es suponer que el control de calidad es algo que usted instala, como una alfombra. Lo instala, y lo tiene. Aplicando el ejemplo a nuestro caso, usted delegó en alguien el trabajo de administrar la calidad, y no puso más atención al asunto.

• Otro prejuicio consiste en suponer que el trabajador de producción es el culpable de todos los problemas: que no habría problemas en producción, si los trabajadores hicieran su trabajo en la forma que ellos saben que es correcta. En mi experiencia (Deming), la mayoría de los problemas en producción tienen su origen en causas comunes, las cuales solamente la administración puede reducir o remover.

• Afortunadamente, la confusión entre las dos fuentes de problemas (causas comunes o ambientales y causas especiales) pueden eliminarse con infalible seguridad. Simples gráficas estadísticas distinguen estos dos tipos de causas. Las gráficas dicen al trabajador cuándo tomar acción para mejorar la uniformidad de su trabajo, y cuándo no. El beneficio de esta comunicación con el trabajador es obvio, ya que él percibe un genuino intento de parte de la administración por mostrarle en qué consiste su trabajo, y para dejarle la responsabilidad de manejar lo que él puede gobernar.

• "Nosotros confiamos en nuestra experiencia" es la respuesta espontánea que dio un gerente de calidad en una gran compañía, cuando le pregunté cómo distinguían entre los dos tipos de problemas (especial y ambiental) y sobre qué principios se basaban. Su propia gente me dio la misma respuesta.

• Esta respuesta es auto-incriminatoria; es una garantía de que su compañía continuará teniendo la misma cantidad de problemas. Hay ahora un camino mejor. Se puede catalogar la experiencia y hacer un uso racional de ella solamente a través de la teoría estadística.

• En conexión con las causas especiales, encontré en su compañía que no se provee información de feedback al trabajador de producción en una forma que le indiqué: a) cuándo se requiere la acción de su parte para ayudar a lograr las especificaciones, y b) cuándo debería dejar su proceso tal como está.

• Usted debe entrenar a sus trabajadores (operarios) en el uso sencillo de la gráfica de control. El entrenamiento requerirá de seis a nueve horas inicialmente, y usted deberá proveer posteriormente asistencia para su interpretación y para otro entrenamiento necesario.

• Cuando un operario ha alcanzado control estadístico, ha puesto en el proceso todo lo que tiene que ofrecer.

- Usar computadoras costosas procesando volúmenes de records, no es control de calidad. Bajo una guía más inteligente, usted podría tener sólo pocas figuras (gráficas); pero con una mejor información acerca de su proceso y capacidades, mayor uniformidad y mayor producción a un menor costo por unidad.

- Debería mencionar también la costosa falacia manejada por mucha gente en la administración: de que un consultor debería conocer todo acerca del proceso para trabajar con él. Toda evidencia es exactamente lo contrario. Un hombre competente en cualquier posición desde la alta administración hasta el último de los trabajadores, sabe todo lo necesario acerca de su trabajo, EXCEPTO COMO MEJORARLO. Ayudarlo a mejorarlo puede venir SOLAMENTE DE CONOCIMIENTOS EXTERNOS.

- La mayoría de los departamentos de control de calidad trabajan en un rango muy estrecho de conocimientos, con un concepto o habilidad pequeña para entender el significado total del mejoramiento de la calidad y productividad. Desafortunadamente, la administración no conoce la diferencia. Cambiarle el nombre al departamento de control de calidad no conduce a nada, nada sustituye a la inteligencia (juicio).

- Su siguiente paso será para su alta administración, y toda la demás gente en administración, ingeniería, químicos, contadores, departamento legal e investigación de mercados: asistir a un seminario de cuatro días para adoctrinarse en sus responsabilidades.

- Esta adoctrinación será seguida por un breve curso en técnicas estadísticas y sus aplicaciones bajo un maestro competente, en un periodo de cinco días, y será complementado como sea necesario.

- Usted debe utilizar los servicios de un consultor competente que guíe su programa en los 14 puntos para el mejoramiento de la Calidad, Productividad y Posición competitiva.

CAPITULO 15

DEFINICIONES DE OPERACION, CONFORMACION Y EJECUCION

Probablemente no existe nada más importante para el hombre de negocios, sea vendedor o comprador, que las apreciaciones correctas en orden a definir una operación. Los malentendidos entre compañías y entre departamentos de una compañía sobre materiales defectuosos o mal funcionamiento de un aparato, tienen su raíz frecuentemente en fallas de ambos lados al establecer anticipadamente en términos significativos las especificaciones de algo, o las especificaciones para el desempeño y las fallas al entender los problemas de medición.

Las definiciones de operación son vitales para regulaciones gubernamentales y estándares industriales.

La práctica es más exacta que la ciencia misma.

Como dijo Shewhart*, los estándares del conocimiento y del trabajo bien ejecutado requeridos en la industria y en el servicio público son más severos que los requeridos para la ciencia.

Tanto la ciencia pura como la aplicada han ido empujando más y más los requerimientos de exactitud y precisión. Sin embargo, la ciencia aplicada, particularmente en la producción en masa de partes intercambiables, es más exacta que la ciencia pura en ciertos casos. Por ejemplo; un científico puro realiza una serie de mediciones y en función de éstas hace lo que considera ser la mejor estimación de precisión, sin tener en cuenta qué tantas mediciones hizo. El puede admitir que futuros estudios pueden probar que estaba en un error; sin embargo, argumentará que era lo más que podía hacer cualquier científico con la información existente en ese momento. Por otro lado, el científico aplicado sabe que si actúa con la evidencia, algunas veces existente, como actúa el científico puro, hará los mismos errores. También sabe que a través de sus errores alguien puede perder mucho dinero o sufrir físicamente o ambas cosas.

El hombre de la industria también tiene otra preocupación. Sabe que las especificaciones de calidad involucran requerimientos de muchos grados de exactitud y precisión, que serán la base contractual. Sabe que alguna indefinición en el significado de alguno de los términos usados en esa especificación, incluyendo aquellos de exactitud y precisión, llevará a malos

---

* Walter Shewhart;
Statical Method from the view point of Quality Control

entendidos y hasta acciones legales. Por eso el científico aplicado tiene que hacer el mayor esfuerzo posible para establecer los significados en términos operacionales.

No valor exacto; no valor verdadero.

El problema en el comercio es, si ahora nada es exactamente redondo, qué tan lejos y en qué forma se sale de la redondez. Los pistones de su automóvil no son exactamente redondos; no pueden ser porque no hay forma de definir operacionalmente la redondez exacta, aun cuando nos apoyáramos en el diccionario. La definición de redondez es muy útil para usarla en forma lógica, como en el Teorema de Euclides. Pero si tratamos de aplicarla en la práctica encontraremos que el diccionario nos da un concepto y no una definición.

Para entender esto, sólo hay que explicar qué mediciones hacer y qué criterio adoptar para decir que algo es exactamente redondo.

Cualquier medición física es el resultado de la aplicación de algún procedimiento. Dos procedimientos no nos darán la misma medida. No existe un valor verdadero para el número de defectos en un lote. Hemos visto que el promedio del proceso dependerá del método de muestreo, el método para pruebas y el criterio impuesto. Cambiar el método de muestreo o el de pruebas, cambiará el número de defectos del lote y el proceso promedio. "Entonces no existe valor verdadero para el número de defectos en un lote dado, y tampoco el valor verdadero para el proceso promedio".

Por ejemplo, para mucha gente no existe un valor verdadero para la velocidad de la luz. Porque los resultados obtenidos de la velocidad de la luz dependen del método usado por el experimentador. Más aún, no existe un **método de medición,** al menos que los resultados muestren Control Estadístico.

Si dos métodos concuerdan en los resultados, éstos podrán considerarse como "Estándares Master", mas esto no quiere decir que sea un valor verdadero, pues otro método puede no concordar con los resultados.

Las definiciones de operación son necesarias para la economía llevada con seriedad o veracidad. Sin una definición de operación, por ejemplo: desempleo, contaminación, seguridad de aparatos, efectividad (como la de las drogas), efectos paralelos, no tienen significado, a menos que se definan en términos estadísticos.

El número de muestras a hacer, cómo seleccionarlas, cómo calcular estimaciones, cómo calcular e interpretar su margen de incertidumbre, pruebas de varianzas entre instrumentos, entre operaciones, entre días, entre laboratorios, todos éstos son problemas de gran importancia. Se puede medir la diferencia entre dos métodos de investigación sólo por el diseño estadístico y cálculos.

CAPITULO 16

ESTANDARES Y REGULACIONES

Estándares y regulaciones.

Existen regulaciones hechas por el gobierno, estándares voluntarios hechos por la industria y otros que hacen las compañías e individuos. La distinción entre regulación y estándar voluntario radica esencialmente en los castigos cargados al fallar. Por ejemplo: la obligación de un conductor de parar en una luz roja cuando no vienen más vehículos, implica una pérdida de tiempo; pero si esa regla no fuera tan estricta el número de accidentes en los cruceros sería más alta.

Estándares industriales.

Aparte de las regulaciones, existe una amplia área en donde es deseable para la industria hacer recomendaciones (estándares voluntarios) aplicables en la mayoría de los casos, y en donde las empresas o individuos tienen la libertad de desatender esas recomendaciones en ese caso particular.

Estándares voluntarios

Una de las ventajas de que exista la estandarización es que ayuda a que las autoridades públicas se limiten a que las regulaciones se liguen sólo para casos donde la obligación es esencial. La estandarización economiza hacer regulaciones; el gobierno se libera de la cantidad de trabajo detallado basado en miles de pequeñas decisiones. Por lo tanto, las empresas e individuos se benefician al no estar sujetos a tantas regulaciones que existirían si no existiera la estandarización; por esta razón ellos (gobierno) deben contribuir con tiempo y diseño a la estandarización.

La estandarización es algo que todo el mundo damos por hecho. Nuestra lámpara de buró encuentra el mismo socket en Coahuila, Mérida o en Chiapas. En Monterrey compramos una llanta que fue hecha en Querétaro y le queda a una rueda que fue hecha en Saltillo, de un carro que fue hecho en Puebla y que fue comprado en Guadalajara, etc.

La razón de tener un alto grado de estandarización es para hacer la vida más sencilla. También es cierto que han existido enormes pérdidas humanas por carencia de estandarización, como la pérdida de 400,000 hombres belgas en la Segunda Guerra Mundial que pudieron salvarse, si las balas inglesas hubieran embonado en sus rifles vacíos.

Desarrollo de técnicas y métodos. Seguridad.

En los primeros días de la estandarización, el principal objetivo era sacar volumen de producción sin perder el propósito de reducir costos. Hoy, sin embargo, el gusto del consumidor no sólo está basado en la relación calidad/precio, sino también en la vida, confiabilidad, reparabilidad, facilidad de reemplazo y otras cosas más. Los productores se han dado cuenta de esto y son conscientes no sólo del servicio después de la venta, sino del subsecuente destino del producto y de que los componentes pueden ser reemplazados (como acomplamientos, conexiones, etc.). Por esto los problemas de intercambiabilidad y competitibilidad son los más importantes en la estandarización.

CAPITULO 17

ORGANIZACION PARA TRABAJAR ESTADISTICAMENTE

El conocimiento es un recurso nacional escaso.

El conocimiento en cualquier país es recurso nacional. A diferencia de los materiales raros que no pueden ser repuestos, el conocimiento puede ser incrementado con la educación.

¿Por qué desperdiciar conocimiento?

Desperdicio de conocimientos, en el sentido de la falla de una compañía por no utilizar todo el conocimiento que tiene a su dispersión, es aún más deplorable que tener desperdicio en materiales, tiempo máquina, etc. Ninguna compañía puede darse el lujo de desperdiciar conocimientos.

El punto 9 de los 14 enunciados en el capítulo 2, es una forma de desperdiciar conocimientos. Personas que no trabajan juntas no están contribuyendo a la compañía; la gente, cuando trabaja junta, siente seguridad en su trabajo. Además, el resultado combinado de trabajar juntos es más que la suma de sus habilidades por separado.

Propósito de una organización con trabajo estadístico.

Ningún recurso en ninguna compañía es más escaso que los conocimientos y habilidades estadísticas. Ningún recurso del conocimiento puede influir más en la Calidad, Productividad y Posición competitiva. Por esto es muy importante hacer el uso más efectivo de los recursos en conocimiento estadístico.

El propósito de una organización con trabajo estadístico debe ser servir a los intereses de la compañía. La mejor manera de lograr esto es ayudar a la gente que está trabajando estadísticamente a que mejore continuamente. No es suficiente que la gente sea buena en el trabajo, sino que sean los mejores. Trabajos estadísticos aislados en la compañía, fragmentados, no coordinados, se quedan al mismo nivel o crecen sólo gradualmente y muy seguido se deterioran.

Plan sugerido.

Un diagrama esquemático de una organización para trabajo estadístico en una empresa manufacturera aparece en la Fig. 9. Este tipo de organización: 1) Asegura que cualquier trabajo estadístico hecho en la compañía tenga un beneficio. 2) Asegura que cualquier encargado de trabajo estadístico crezca. Ningún encargado de trabajo estadístico puede, bajo este arreglo,

simplemente permanecer bien; él mejorará mes tras mes. 3) La enseñanza de la estadística y la guía en su continua educación están bajo liderazgo de incuestionable habilidad.

Deberá existir en cada división un estadístico cuyo trabajo es encontrar problemas en esa división y trabajar sobre ellos. Tiene el derecho y obligación de preguntar acerca de cualquier actividad de la división.

El líder estadístico está para asistir al estadístico en la división y al jefe de la división respecto a problemas que aparecen o en cualquier diferencia de opinión. Opera a través de pedagogia y guía.

Aquí no es el lugar de cuestionar las ventajas del plan recomendado, pero les aseguro que funciona. ¿Por qué no funcionan otros planes? Porque bajo otros planes, la compañía perderá su poder estadístico. Las personas capaces se irán y el resto deteriorará su capacidad estadística. Un estadístico* que entre en la compañía no podrá entender todos los problemas de la compañía. Nadie lo hace, ni lo hará. Gente que tiene muchos años en la compañía todavía tiene mucho que aprender para hacer su trabajo más efectivamente.

* Estadístico persona con conocimiento, experto de la estadística, sus métodos y herramientas

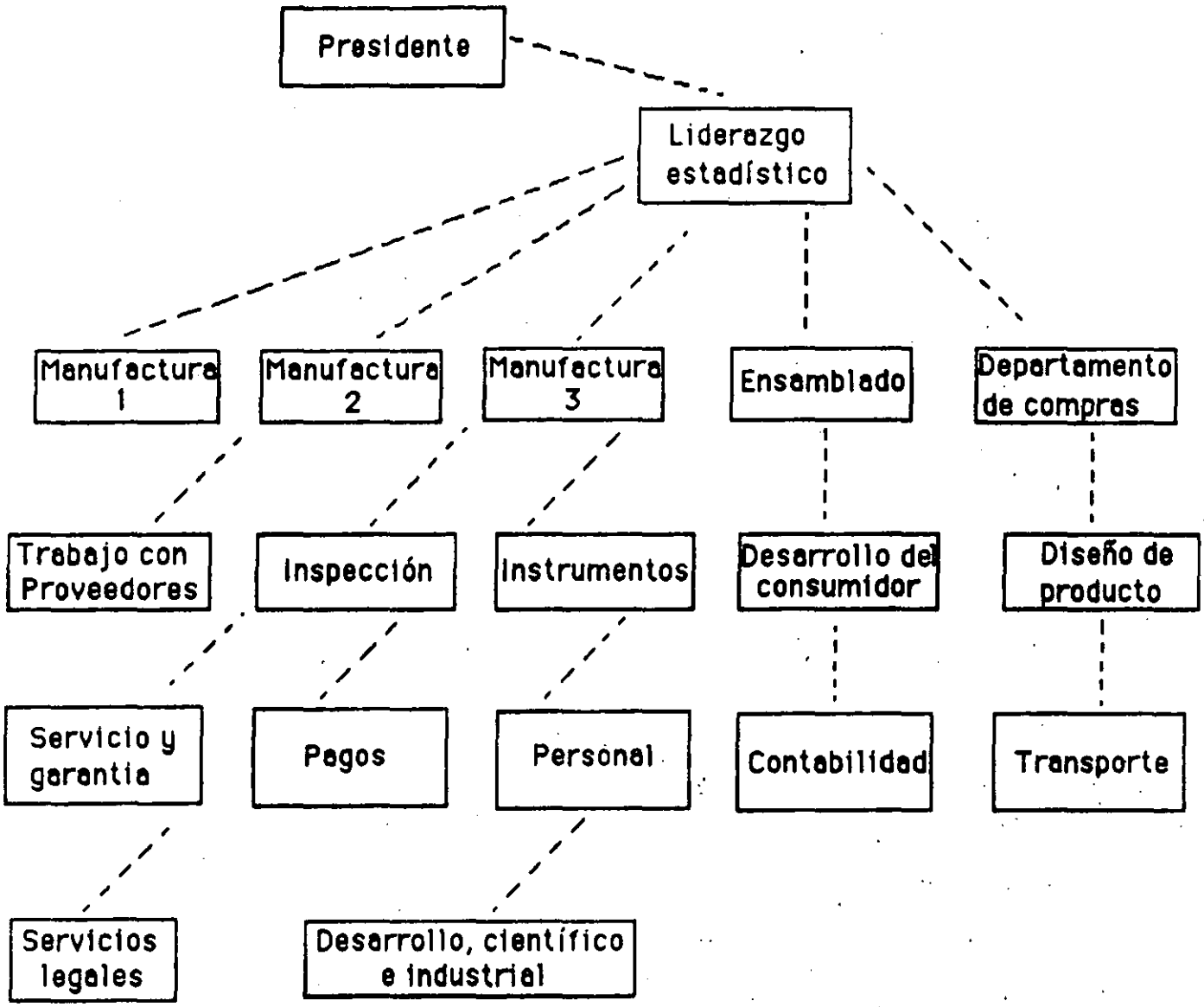


Fig. 9. Plan esquematico para una organización estadística.
No es la intención hacer un diagrama para una compañia en particular.
Este tipo de organización para el trabajo estadístico se originó con el Dr. Morris H. Hansen en el Censo, por 1940.

CAPITULO 18

ALGUNOS PRINCIPIOS ADICIONALES PARA VIVIR

Este capítulo agrega corolarios a principios antes estudiados.

- En la distribución de productos, algunos días se hace más temprano que otros. No existe eso de llegar exactamente a tiempo: de hecho, exactamente a tiempo no puede ser definido.

- Las pruebas que se les hacen a los componentes en etapas de desarrollo del producto no pueden proveer seguridad de que las piezas trabajarán juntas satisfactoriamente en el sistema.

- Ningún sistema, cualquiera que sea el esfuerzo puesto en él, sea manufactura, mantenimiento, operación y servicio, estará libre de accidentes (errores, fallas). Los accidentes están alrededor de nosotros como bacterias. Los accidentes son parte de la vida, por ejemplo, el omitir accidentalmente la impresión de un artículo en el Times.

- Los métodos estadísticos proveen el único método de análisis que sirve como guía para entender los accidentes y su reducción.

- La reacción usual de cualquiera cuando sucede un accidente, es atribuir a alguien su falta de cuidado o a algo no usual en el equipo. No podemos brincar a esta conclusión: podríamos caer en una respuesta incorrecta, una solución incorrecta, continuar el problema o más accidentes. El sistema garantiza una frecuencia promedio de accidentes a ocurrir en lugares y tiempos impredecibles, la estadística es la guía.

- Los ingenieros siempre predicen accidentes. Pero no pueden predecir exactamente cuándo ocurrirán. Los accidentes que resultan de causas comunes (ambientales) al sistema seguirán sucediendo con la frecuencia y variaciones esperadas hasta que se corrija el sistema.

- Los accidentes en las carreteras de Estados Unidos: Fallas en las señales de las carreteras creyendo que son las correctas.

ASEGURAR LA CALIDAD.

¿ Qué significa "asegurar la calidad"? "Hacer que la gente haga mejor todas las cosas importantes que de cualquier forma tiene que hacer" no es una mala definición. "Gente" incluye tanto a la alta dirección como a los niveles más bajos de la organización. Después de todo, parte del trabajo de la alta dirección es asegurarse de que todas las funciones administrativas tengan la oportunidad de desempeñar sus responsabildades. El problema consiste, desde luego, en que todo aquel que llega a un puesto de alta dirección, llega allí haciendo carrera en una división tal como finanzas o ingeniería, la cual tiene una función específica y limitada, por lo que esta persona puede tener o no sus ideas sobre el concepto global de calidad. Los altos directivos pueden o no darse cuenta de lo que es necesario hacer para lograr calidad. O peor aún, pueden sentir, aunque estén equivocados, que sí entienden lo que debe hacerse.Estos directivos son los que causan el mayor daño.

Le corresponde al directivo profesional de la calidad asumir la responsabilidad de instruir a la alta dirección sobre ésta parte de su trabajo. No es necesario ser extremadamente inteligente o valiente para lograrlo; solamente se necesita ser capaz de explicarlo en términos que no se malentiendan.

Aquellos profesionales de cualquier rama que oscurecen sus explicaciones utilizando terminología misteriosa, se perjudican a sí mismos y a sus profesiones. Obtienen cierta satisfacción al constatar confusión en el rostro de sus superiores, pero ésta confusión sólo hace más difícil el trabajo de todos.

Yo empecé en el campo de la calidad como técnico junior, probando sistemas de control de incendios para los aviones B-47. Sin ningún entrenamiento o información, aprendí las sencillas tareas de ajuste y medición sin nunca haberme realmente preguntado por qué se hacía todo esto.

De hecho, durante mis primeros cuatro o cinco años en trabajos de este tipo, jamás se me ocurrió pensarlo. Pero entonces, tuve la oportunidad de familiarizarme con conceptos y prácticas de confiabilidad. La mayoría de ellos eran complicados y expresados en matemáticas, pero me revelaron un elemento que no se me había ocurrido con anterioridad: la prevención.

Esta idea me sugirió una responsabilidad que nunca soñe que existiera: "¿Por qué perder tanto tiempo buscando, componiendo y batallando, pudiéndose prevenir el incidente desde un principio?"

El mundo entero parecería estar convencido de que la prevención - por lo menos a gran escala - era muy deseable, pero por completo inalcanzable e impráctica. Siempre se le hacía alusión como a una especie de sueño al estilo de las perdidas minas de diamantes del Rey Salomón. He tenido largas y

serias conversaciones con personas sinceras. Y convencidas de que no hay forma de lograr calidad a través de la prevención: "Los ingenieros no cooperarán." "No se puede entrenar a los vendedores y, además son un tanto inconstantes." "No se puede hecer llegar estos conceptos a la Alta Dirección." "Los mismos profesionales de la calidad no creen en eso."

Supe de inmediato que ésta era la oportunidad que había estado buscando. Aquí había un problema que todos querían resolver, pero nadie sentía que fuera responsabilidad suya. Todo lo que tenía que hacer era encontrar la forma de comprometer a todos en el mejoramiento, sin tener que revelarles que habían estado equivocados.

En los siguientes años conforme fui aprendiendo más acerca de cómo administrar la calidad, me di cuenta de que el enfonque convencional no era eficaz. Los gerentes de calidad, con orgullo dieron la cara y anunciaron que ellos en lo personal eran los responsables de la calidad de operaciones específicas. Con frecuencia, y no tan orgullosamente, fueron desechados cuando no podían resolver todos los "problemas de calidad" de la compañía.

Cuando era gerente de calidad, en proyectos, cada semana era regañado por el director del programa en la junta con su equipo, por no alcanzar las metas deseadas, mientras que los verdaderos culpables de ingeniería, producción y ventas ocultaban sus bostezos y deseaban que terminara la junta para volver a sus importantes trabajos.

Estaba muy claro el hecho de que algunas creencias están tan arraigadas, que no puden ser modificadas con sólo sugerir que están equivocadas. (Debo hacer notar que mi conocimiento de este hecho es parte de la razón por la cual he apoyado con entusiasmo las actividades de los grupos minoritarios y de las mujeres, que buscan liberarse de los roles que la sociedad les ha asignado y atribuido.) Sin embargo, Mi activa revolución como gerente de calidad no empezó realmente sino hasta el día en que uno de los abogados de la compañía me dijo con toda sinceridad, que no podía entender "lo que hace un tipo brillante como tú en el pequeño callejón sin salida de la calidad". Si alguna vez pensé en abandorar el campo de la calidad, eso me disuadió. Tendrían que hacerse ciertos cambios.

Así que empecé a concentrarme en los verdaderos problemas. Primero, era necesario convencer a la alta dirección y, por tanto, a todos los niveles administrativos, de que consideraran a la calidad como parte directriz del negocio; una parte tan importante como las demás. Segundo, tenía que hallar una forma de explicar en qué consistía la calidad, de tal manera que todo mundo la entendiera y apoyara con entusiasmo. Y tercero, necesitaba colocarme en una posición donde tener una plataforma para conquistar al mundo, en nombre de la calidad.

Creo que todas estas metas han sido alcanzadas. Como miembro de la alta dirección de una de las compañías industriales más grandes del mundo, gano tanto dinero y tengo tantos derechos como cualquier otro alto directivo. Hemos puesto en marcha formas eficaces y rutinarias para entender la

calidad y comunicarnos desde el más alto nivel de la organización hasta el más bajo o viceversa. Por lo menos en los últimos cinco años, no he sido acusado de tener ningún "problema de calidad" respecto al cual debiera hacer algo.

Usted puede hacer lo mismo. Todo lo que tiene que hacer es tomarse el tiempo necesario para entender los conceptos, enseñarselos a otros y mantener el énfasis en la prevención. Le ayudará ejercitarse en expresión oral y le ayudará también el no dejarse afectar emocionalmente por los problemas de los demás. Pero todo lo que aquí planteo es alcanzable y muy práctico.

Este libro está estructurado para familiarizarle de manera directa con todas las acciones requeridas por un programa apropiado de administración de la calidad. Casos auténticos, todos basados en mi experiencia personal, explican casi todo, para que pueda ver cómo otras personas reaccionaron en situaciones de la vida real. Uno de los más interesantes casos se refiere a la ejecución de un programa de administración de la calidad en la corporación ITT. Lo incluyo aquí sin mencionar ninguno de los nombres de los que tomaron parte, porque sencillamente fueron demasiados. Al momento de escribir esto, la ITT emplea a 350 000 personas y tiene ventas anuales por más de $15 000 millones*. Tiene cerca de 2 500 ejecutivos, de los cuales más de 200 son de alto nivel. Usted deberá creerme si le digo que todos participaron. Si mencionara todos los nombres, esto parecería el directorio telefónico de San Francisco.

Contaré esta historia antes que nada para dar pruebas que apoyen la tesis fundamental de este libro. La calidad es una entidad alcanzable, medible y rentable que puede ser incorporada, una vez que se desee hacerlo, se entienda y se esté preparado para un arduo trabajo. Este caso es un testimonio de estrategia y esfuerzo; no un resumen de mis éxitos.

En 1965, la alta dirección de ITT decidió hacer algo a nivel corporativo respecto a la calidad. Era evidente que la calidad era un ingrediente que hacía falta entre las cosas que la corporación consideraba importantes. No era que de manera deliberada no se le diera importancia a la calidad; nadie se oponía a ella. Pero no existía como ingrediente de la industria, tal como lo son personal, producción, ingeniería, etc. Para mí, sin embargo, la calidad es un catalizador muy importante que establece la diferencia entre éxito y el fracaso, y mi primera meta fue hacer que la corporación se preocupara por la calidad. Para ello, había que establecer requisitos absolutamente correctos a los que habría que apegarse con exactitud y además, todos tendrían que querer las cosas bien desde la primera vez. Esta preocupación tenía que convertirse en parte de la vida cotidiana.

* Las cantidades que aparecen en esta obra están dadas en dólares de los Estados Unidos de América, y son ilustrativas. (N. del T.)

LA CALIDAD PUEDE NO SER LO QUE PIENSAS.

No me cabe la menor duda de que quienes toma este libro, lo hacen con la esperanza de que contiene una información específica que les ofrecerá aclaración inmediata y solución final de todos sus problemas con la calidad. Quizá busquen alguna frase sabia y accesible tal como: "La calidad es como el ballet, no como el hockey."

Ojalá así fuera. Por desgracia, la administración de la calidad no es tan sencilla. Tampoco es muy difícil, pero sí requiere algo más que un bocado de filosofía. También requiere dedicación completa, paciencia y tiempo. El problema de la administración de la calidad no esta en lo que la gente desconoce de ella.Más bién, radica en aquello que cree saber. Este problema se agrava por las suposiciones convencionales acerca de la calidad que la gente desarrolla a lo largo de años de trabajar con éxito en otros menesteres ajenos a la administración de la calidad.

En este sentido, la calidad tiene mucho en común con la sexualidad. Todo mundo es partidiario de ella. (Bajo ciertas condiciones, desde luego.) Todo mundo cree que la entiende. (Aun cuando no querrían explicarla.) Todo mundo piensa que para gozar de ella basta con seguir las propias inclinaciones naturales. (Después de todo, de alguna forma nos desenvolvemos.) Y, desde luego, la mayoría de las personas sienten que todos los problemas en estas áreas son ocasionados por otros individuos. (Si sólo se tomaran ellos el tiempo de hacerlo bien.) En un mundo en el que la mitad de los matrimonios acaban en divorcio o separación, estas suposiciones son cuestionables.

Es difícil en la vida real tener una discución objetiva y significativa acerca de la sexualidad, de la calidad, o de otros temas complicados, hasta que algunos supuestos básicos que son erróneos, son examinados y modificados. Por lo general, los únicos dispuestos a dar este paso son aquellos que admiten tener problemas o que tienen un interés intelectual por mejorar.. Através de los años, he tenido cientos de dicusiones con gerentes operativos y puedo afirmar con absoluta certeza que su interés en la calidad es de manera directa proporcional a qué tanto hayan disminuido sus utilidades en ese momento. No puedo hablar de sus actitudes respecto a la sexualidad.

En forma independiente de sus motivos, es posible afiliar la colaboración de personas deseosas de escuchar, si se tiene la oportunidad de explicar lo que es la administración de la calidad. Ninguna otra acción que un gerente pueda tomar mejorará las operaciones, incrementará las utilidades y reducirá los costos tan rápidamente y con tan poco esfuerzo. Pero antes de

Contabilidad:
Porcentaje de reportes retrasados
Alimentación incorrecta de datos a la computadora
Errores en reportes específicos conforme se hacen auditorías

Procesamiento de datos:
Tarjetas perforadas desechadas por error
Tiempo muerto de cómputo debido a errores
Tiempo para volver a correr programas

Ingeniería:
Cambio de pedidos debido a errores
Errores de dibujo encontrados por inspectores
Emisiones tardías

Finanzas:
Errores de facturación (revisar cuentas por cobrar vencidas)
Errores en la nómina
Descuentos perdidos por cuentas por pagar

Recepción de un hotel:
Huéspedes conducidos a habitaciones sin arreglar
Reservaciones no respetadas

Ingeniería de producción:
Avisos de cambios en el proceso debidos a errores
Adaptación de herramientas para corregir diseño
Mejoramiento de métodos

Mercadotecnia:
Errores en los contratos
Errores en la descripción de pedidos

Ingeniería de planta:
Tiempo perdido por fallas en el equipo
Devoluciones de reparaciones

Compras.
Cambios en órdenes de compra debido a errores
Material recibido con retraso
Rechazos debidos a descripción incompleta

Existen innumerables maneras de medir cualquier procedimiento. Quienes hagan el trabajo responderán con gusto a la oportunidad de identificar algunas mediciones específicas para su trabajo. Si una supervisora afirma que su área no se puede medir, es posible ayudarla preguntándole en qué criterio se basa para saber quién hace el mejor trabajo, como sabe a quién conservar y a quién reemplazar.

Logro. Formalizar el sistema de medición de la compañía fortalece las funciones de inspección y prueba asegurando mediciones apropiadas. Hacer que las operaciones de papeleo y servicio se involucren, prepara el campo para prevención efectiva de defectos en donde sea importante. exponer los resultados de la medición en gráficas muy visibles, sienta las bases para un proceso completo de mejoramiento de la calidad.

Paso cuatro: Evaluación del costo de calidad

Acción. Las estimaciones iniciales seguramente no serán muy firmes (aunque bajas), por lo que ahora, es necesario obtener cifras más exactas. La oficina del contralor se encargará de ello. Se le deberá dar una información detallada acerca de los elementos que constituyen el costo de calidad. El costo de calidad no es una medida absoluta del desempeño: es una indicación de dónde será rentable una acción correctiva para la compañía. A mayor costo, más acciones correctivas necesitarán llevarse a cabo.

Logro. Hacer que el contralor determine el costo de calidad, elimina cualquier sospecha de parcialidad en el cálculo. Más importante aún, se implementa un sistema para medir el desempeño de la dirección por calidad.

Paso cinco: Conciencia de calidad

Acción. Es tiempo ahora de comunicar a los empleados las mediciones de lo que cuesta no tener calidad. Esto se hace enfrentando a los supervisores para que orienten a los empleados, y dando evidencias visibles de la preocupación por el mejoramiento de la calidad a través de material de comunicación tal como folletos, películas y carteles. No confunda esto con algún plan "de motivación rápida". Se trata de compartir, y no manipular a la gente. Este es un paso importante. Puede ser el más importante de todos. El personal administrativo y de servicios deberá ser incluido sin distinciones.

Logro. El beneficio real de la comunicación es que fomenta en supervisores y empleados el hábito de hablar positivamente acerca de la calidad. Impulsa a modificar, o tal vez a aclarar actitudes existentes hacia la calidad. Y sienta las bases para los pasos de "acción correctiva" y "eliminación de la causa del error".

Paso seis: Acción correctiva

Acción. Conforme la gente se anima a hablar de sus problemas, salen a relucir oportunidades para remediarlos, incluyendo no sólo a los defectos encontrados por inspección, auditoría o autoevaluación, sino también problemas menos obvios -como los ven los trabajadores por sí mismos- que requieren atención. Estos problemas deben ser llevados a las juntas de supervisión en cada nivel. Aquellos que no pueden ser resueltos serán en debida forma pasados al siguiente nivel de supervisión para ser revisados en su reunión periódica. Si un área funcional no lleva a cabo estas reuniones, el equipo deberá tomar medidas para convocarlas en ese departamento.

Esas herramientas han evolucionado durante siglos y consisten en cosas como: presupuestos, evaluación de rendimientos sobre inversiones, estados de situación financiera, balances, análisis de ventas, reportes de gastos y costos y auditorías. Por medio de esas herramientas los gerentes entrenados pueden planear la guía financiera de la compañía, revisar el desempeño actual y tomar decisiones acertadas.

(Tras esas herramientas financieras existe una infraestructura de conceptos contables, métodos, técnicas y habilidades: la partida doble, catálogos de cuentas, diarios, legajos, registros de tiempos, requisiciones, fondos y depreciaciones. Los contadores y especialistas financieros tienen conocimiento, práctica para preparar presupuestos, reportes, etc., a partir de la infraestructura).

Dentro de la función de calidad existe un correspondiente conjunto de herramientas para gerentes y una correspondiente infraestructura, así como un cuerpo asociado de especialistas. La descomunal diferencia entre los mundos de las finanzas y la calidad está en el grado de entrenamiento en el uso de sus herramientas que tienen unos y otros administradores.

El entrenamiento selectivo.

En occidente el entrenamiento en ciencias de la calidad ha sido grandemente confinado a miembros de departamentos especializados de calidad, como: gerentes de calidad, ingenieros de calidad, ingenieros de confiabilidad, supervisores de inspección y auditores de calidad. Tales categorías constituyen sólo cerca del 5% de las fuerzas administrativas y especialistas en las compañías. En contraste, los japoneses han entrenado casi el 100% de sus administradores y especialistas en ciencias de la calidad. Con tal desbalance en entrenamiento no hay oportunidad para occidente de vencer a los japoneses.

Una vez más la analogía financiera viene al caso. Considere las compañías A y B. En la compañía A los gerentes de línea y especialistas han tenido entrenamiento que los habilita para participar activamente para fijar presupuestos; entender y usar los controles de gastos y costos; evaluar los rendimientos en inversiones, etc. En la compañía B sólo el departamento de Finanzas tiene tal entrenamiento. ¿Cuál compañía tendrá los mejores resultados financieros?

Diferentes necesidades de entrenamiento.

Algunas necesidades de entrenamiento son comunes a muchas categorías de gerentes y especialistas. Las más importantes en común son:

- La secuencia universal de eventos para mejorar la calidad y reducir los costos relacionados con calidad. (Creación del cambio benéfico).
- El ciclo universal de retroalimentación para control. (Prevención del cambio adverso).
- Lo esencial de recolección de datos y análisis.

Otras necesidades de entrenamiento varían ampliamente. Por ejemplo;

- Para producción
  - Análisis de capacidad de proceso.
  - Análisis de costos de calidad.
  - Mantenimiento al equipo.
  - Auditoría de decisiones.
  - Trouble shooting.
  - Control de Procesos.
  - Conceptos de autocontrol y autoinspección por el operador.
  - Medición de error.
  - Diseño de experimentos y análisis de varianza.

Liderazgo de la alta administración en occidente.

Para entender lo que significa tal liderazgo observemos de nuevo, en paralelo, a la función de finanzas.

En occidente es muy común para los altos ejecutivos el estar entrenados en el uso de presupuestos, balances, estados financieros y controles financieros de todas clases. La mayor parte de los altos ejecutivos usan activamente esos dispositivos. Participan activamente en la formulación de metas financieras, en revisar resultados contra metas y en tomar acción con base a esas revisiones. Por esos medios los altos ejecutivos mantienen un liderazgo efectivo del desempeño financiero de su compañía.

En Japón los altos ejecutivos mantienen un liderazgo efectivo no sólo en el desempeño financiero de la compañía sino además en el desempeño de la calidad.

¿Liderazgo para hacer qué?

La necesidad de liderazgo de la alta administración viene de la necesidad de crear cambios mayores:

- Un programa estructurado anual de mejoras de calidad y reducción de costos.
- Un programa masivo de entrenamiento en ciencias de la calidad.

Mas allá de esos cambios necesarios, realmente no sabemos hasta dónde deberán tomar liderazgo de la función de calidad los altos ejecutivos occidentales. Sabemos que la necesidad varía ampliamente de compañía a compañía. También sabemos que la mayoría de los altos ejecutivos occidentales están impedidos para trazar una ruta óptima. Carecen de conocimiento a profundidad acerca de lo que acontece en la función de calidad.

Lo que he recomendado a esos altos ejecutivos es:

> Conduzca una revisión exhaustiva -una auditoría- acerca de lo que pase en la compañía con respecto a calidad. Basado en los resultados de la auditoría, haga las correcciones debidas en las políticas de calidad, organización, relaciones humanas, etc., incluyendo la decisión del grado de liderazgo que debe tomar la alta administración de la función de calidad.

Una auditoría exhaustiva.

El occidente tiene poca experiencia con auditorías de la alta administración a la función de la calidad, por lo que es de esperarse una poca torpeza. Las áreas sujetas a ser auditadas ciertamente deben incluír actividades funcionales importantes como desarrollo del producto, compras y control de suministros, manufactura, inspecciones y pruebas, mercado e ingeniería de servicio.

Una práctica para esas auditorías es programarlas con intervalos de dos meses. Para cada área y antes de la auditoría, una fuerza de trabajo reuna alguna información pertinente que incluya preguntas abiertas de la incumbencia de la alta administración como: formación de políticas, organización, coordinación, etc.

Hay poca necesidad de que las auditorías de la alta administración entren en materias como: adecuación a reglamentos del gobierno, estándares de los productos o procedimientos establecidos. Tales materias por lo general están ya siendo cubiertas por las auditorías normales de la compañía. Lo que hace falta es una revisión de materias amplias para dar respuesta a preguntas como:

- ¿Cuál debe ser la misión de calidad de la compañía?
- ¿Cuáles son las calidades clave según los clientes?
- Respecto a las calidades claves: ¿cuál es nuestra posición de competitividad?
- ¿Qué oportunidades tenemos de mejorar calidad y reducir los costos relacionados con calidad?
- ¿Podemos hacer mejor uso de los recursos humanos de la compañía?
- ¿Qué amenazas se ven venir a futuro?

La misión de calidad de la compañía es un buen caso. Hay una escuela de pensamiento que sostiene que la misión de calidad de la compañía es la de cumplir las especificaciones, tolerancias, etc. Esta propuesta es mayormente válida cuando se aplica a la **misión de individuos y departamentos** en la compañía. Pero existe una seria equivocación en tomarla como **misión de la compañía.** La Misión de Calidad de la Compañía es: **Adecuación para el uso.** (Podemos estar seguros de que los fabricantes de la droga talidomida cumplían todas las especificaciones y estándares).

Más allá de la misión básica de calidad hay otras áreas de políticas que emergen en las auditorías. En muchos países occidentales, ciertos asuntos de alta política son decididos de hecho en los departamentos funcionales, únicamente porque tales asuntos nunca han llegado a la atención de la alta administración; algunos de ellos como:

- ¿Deberían los productos ser diseñados en base a un uso propuesto? o ¿Deberían diseñarse en base a un uso (o abuso) real?

- ¿Deberíamos tratar a los proveedores como adversarios? o ¿Como miembros de nuestro equipo?

Un asunto muy importante que debe atender la alta administración es el de la estructura básica de la compañía para calidad. En Estados Unidos de América esta estructura de organización tiene un Departamento de Calidad central con numerosas funciones de planeación de calidad, coordinación y auditoría. En muchas de esas compañías, ese departamento de calidad tiene el mando directo del personal de pruebas e inspecciones.

Todo esto contrasta grandemente con las formas de organización prevalecientes en el Japón, en donde la mayoría de esas funciones orientadas a calidad son hechas por personal de la línea, que tienen el entrenamiento debido para llevarlas a cabo. Los japoneses tienen departamentos de calidad pero son pequeños en cuanto a número de personas y desempeñan un selecto número de funciones, como: planeación general, auditoría y servicios de consultoría.

A medida que occidente cumente el entrenamiento al personal de línea será inevitable que cambien las estructuras de organización. Habrá un cambio gradual apartándose de las formas prevalecientes en los Estados Unidos, hacia las que usan los japoneses.

Relaciones con trabajadores: los Círculos de Calidad.

Ahora ya occidente sabe que las relaciones empleados en el Japón son muy diferentes a las nuestras. Un aspecto de esa relación ha despertado con tardanza a occidente -el fenómeno de los Círculos de Control de Calidad- (QCC en inglés). Occidente está por hacer pruebas exhaustivas de este concepto y cierta clase de "movimiento" incontrolado está efectuándose. De aquí que aunque las relaciones con trabajadores son desde luego una materia muy amplia, sólo considerará las implicaciones de los círculos al aplicarse este concepto al occidente.

En el Japón un círculo es un grupo de cerca de 10 empleados de un sólo departamento de la compañía, que han estado bajo un entrenamiento para resolver problemas y usan parte de su tiempo (cerca de una hora por semana) estudiando y resolviendo problemas relacionados con su trabajo. Entre el origen del concepto en 1962 y 1981, cerca de 10 millones de trabajadores japoneses han pasado por este entrenamiento. Durante ese mismo tiempo han completado unos 15 millones de proyectos. Un tercio de esos trabajos están orientados a calidad, el resto están orientados a productividad, reducción de costos, seguridad y otros. Las compañías occidentales que están probando el concepto de círculos, esperan generalmente mejorar su efectividad en una o más de las siguientes áreas: calidad, productividad y relaciones humanas. Examinaremos brevemente cada una de ellas.

- Intentos para derrotar a la competencia no en el mercado sino en las cortes, las legislaturas y la prensa.
- Aceptar el estado de las cosas como un destino fatal en lugar de tratarlas como problemas.
- Exhortaciones que urgen a todos a "mejorar" pero que no toman medidas para identificar proyectos, asignar claramente las responsabilidades y proporcionar apoyo.
- Campañas para motivar a la fuerza laboral a resolver los problemas de calidad de la compañía haciendo un trabajo perfecto. Esas campañas han marchado bajo varias banderas, por ejemplo: **"Cero Defectos"**. Generalmente tales campañas fallan en obtener resultados útiles porque están basadas en dos premisas fatalmente defectuosas:

  1. Que los problemas de calidad de la empresa tienen su origen en errores controlables por el trabajador, y
  2. Que los trabajadores saben cómo hacer un trabajo perfecto, pero carecen de la motivación adecuada (o interés, compenetración, etc.).

  Además esas campañas generalmente han fallado en dar respuestas específicas a la ineludible pregunta del trabajador: ¿Qué debo hacer diferente de lo que estoy haciendo ahora?

  De todas las seudo-soluciones **ésta ha hecho el mayor daño a occidente**, porque es la que más ha desviado la atención del camino principal.

- "Traigan al hacedor de milagros". Un segmento de la prensa occidental ha salido con la conclusión de que el milagro japonés, no fue completamente japonés, sino que se debió a dos americanos: Deming y Juran, que aleccionaron a los japoneses tan pronto como terminó la Segunda Guerra Mundial.

Deming tendrá que hablar por sí mismo. En cuanto a Juran, me siento agradablemente halagado pero considero tal conclusión como una broma. Desde luego que dí conferencias en el Japón como se ha informado y les llevé algunas cosas nuevas -un enfoque estructurado de administrar para calidad-. También hice la misma cosa para muchos otros grandes países, pero ninguno de ellos logró los resultados de los japoneses.

Así que: ¿quién hizo el milagro? En ese sentido recuérdese que los japoneses hicieron un arsenal descomunal de sofisticado armamento y lo usaron con efecto devastador durante la II Guerra Mundial -todo ello antes de haber oído hablar de Deming o de Juran. Si eso no fuera suficiente recuérdese que su marina hundió a la marina del Zar en el Estrecho de Tsushima en 1905- en un tiempo en que ni Deming ni Juran contaban mucho.

24

THE LEADING EDGE

This department will be a regular feature of *The Juran Report*. This first issue includes a reprint of the paper "Upper Management and Quality — A New Direction" presented at the Defense Department's "Bottom Line" Conference, Washington, DC, 13 May 1982. The version which follows is in the format used by Motorola, Inc. when they reprinted the paper for internal distribution. We liked their format, and they graciously permitted us to copy it.

Upper Management & Quality

~A New Direction~

by J.M. Juran

Presented at "Bottom Line" Conference, National War College, Ft. McNair, Washington, D.C., 13 May, 1982.

866 United Nations Plaza
New York, NY 10017 USA

Introduction

Running through this "Bottom Line" Conference is the theme that:

We face a gathering crisis in product quality.

Our leadership in quality has been eroding.

Upper management must make a positive response.

I subscribe to this theme, but my mission is to get into the specifics of that response. Just what should the companies — and the government — do different than they have been doing? What should upper management do different?

As it happens, I have some useful experience to share with you. In the last few years upper managers in the USA and in the West generally have exhibited an unprecedented level of interest in product quality. They are attending seminars on the subject, in record numbers. Many companies have held one-day, in-house seminars on the subject, with the very top people in attendance: the chairman, president, vice-presidents. These companies have included industrial giants.

These seminars and the associated studies I have made within some of the companies have provided a good deal of case material from which it is possible to generalize. There is of course much variation in the problems faced by the companies and in the responsive actions required of upper management. But there is also much commonality. Three areas of this commonality are so widespread and critical that I will limit my formal remarks to them.

Three Breaks with Tradition

What I have been proposing to upper managers is that they make three breaks with tradition:

THREE BREAKS WITH TRADITION:

- ANNUAL IMPROVEMENT
- MASSIVE TRAINING
- HANDS-ON LEADERSHIP

Figure 1

1. Launch a program of *annual improvement* in quality: improvement this year, next year, the following year, forever.

2. Undertake a massive program of *training* so that the entire management team, not just the quality department, is trained in how to attain, control and improve quality.

3. *"Hands-on" leadership* by upper management — a personal review by upper managers of the company's approach to quality so as to establish new policies, goals, plans, organization, measures, controls.

Grupo Dia, s.a. de c.v.
consultores

ING. ROGER PEREZ L.

AV. PACIFICO Nº 468 COYOACAN C.P. 04000 MEXICO, D.F. TELS. 544-88-71 554-91-81

The quality disciplines are applicable to all functions in the company. To illustrate:

In *product development* use can be made of: design reviews; quantification of variability; quantification of reliability; failure mode and effect analysis; statistical design of experiment; analysis of variance.

In *vendor relations*, use can be made of: quantification of process capability; statistical sampling tables; vendor surveys, audits and ratings.

In *manufacture*, use can be made of: quantification of process capability; control charts; statistical design of experiment; analysis of variance.

Use of these quality disciplines requires that the managers in the company have the prerequisite training. But much depends on which managers have this training. Consider two companies, A and B.

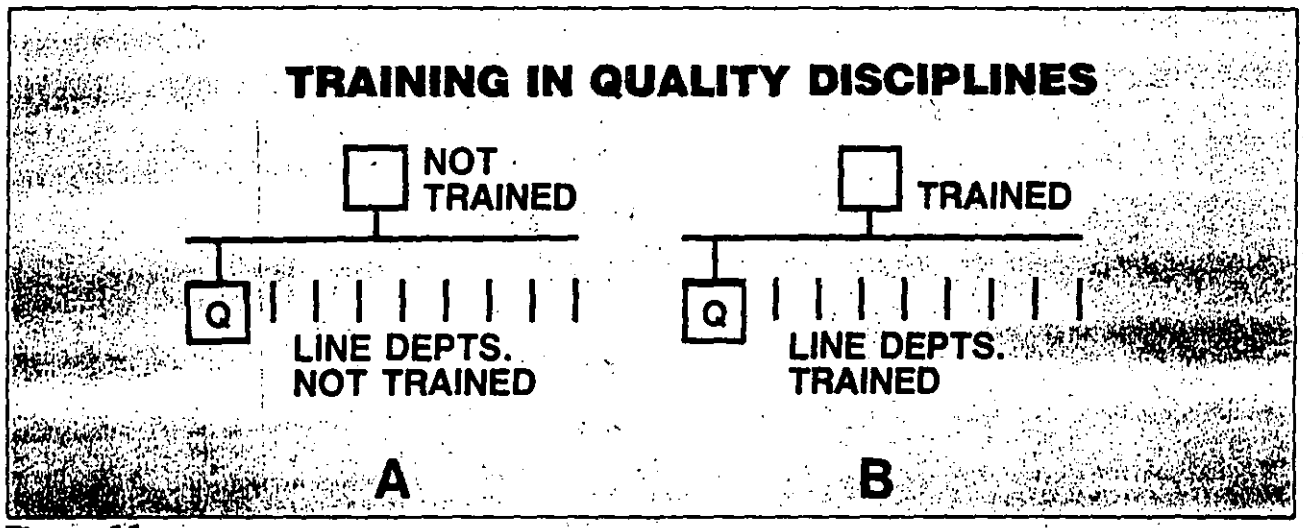


Figure 11

In company A, the quality department is well trained in the quality disciplines. But no one else is — not the line managers, not the upper managers.

In company B, not only does the quality department have such training; so do the line managers and so do the upper managers.

Which company will get the best quality results?

Now let me add a chilling reality: training in American companies follows the pattern of company A; training in Japanese companies follows the pattern of company B.

The Japanese program of formal training in management of quality started in the early 1950's, and it started at the top. They then undertook a massive program to extend this training through the entire hierarchy. It took about 10 years and a big investment. But it made them the best trained managers on earth with respect to managing for quality. I see no way for American companies, with only 5% of their management team trained in the quality disciplines, to be able to compete with Japanese companies which have virtually 100% of the management team trained in the quality disciplines. The disparity is simply too great.

A serious consequence of this disparity in training is the dilemma faced by our top managers. Here we are in a crisis atmosphere with respect to quality. Some top managers feel the need for action now — for choosing a new direction for the company. We saw that in the case of the finance disciplines they are well trained and hence are well poised to choose a sensible direction for the company. But most of them have no such training in the quality disciplines and hence are not nearly as well poised to choose a sensible direction for the company.

I am on the receiving end of a good deal of feedback as to what is going on out there. I can tell you flatly that along with extensive groping, some stampeding is taking place, and some tragedies are in the making. Some highly regarded companies are rushing to apply narrow spectrum remedies without knowing what is the disease. Here is a list of a few narrow spectrum tools which are being most widely adopted as panaceas:

Statistics. The resurgence of statistical quality control is a direct result of the widely viewed NBC videocast: "If Japan Can, Why Can't We?" How many of you would hire a team of NBC journalists and editors to become your management consultants?

QC Circles. This Japanese invention is undergoing an explosive growth in our companies. When well done it has much merit and is cost effective. But it did not make any major contribution to the Japanese quality revolution and it will not do so here.

Quality cost analysis. This is an enlargement of the accounting system to learn with precision how much is the waste and where. But in the absence of an organized approach to annual improvement, such quality cost analysis is a costly, time consuming and futile exercise.

Motivate the work force. This is a rerun of the noisy spectacles of the 1960's, complete with propaganda, posters, banners, slogans and "Zero Defects Day," exhorting everyone to do perfect work.

There is an element of plausibility and value in every one of these things. But each is a narrow use tool, with a limited range of application. When upper managers adopt such tools as panaceas, the real problems just go on and on. In due course the upper managers mend their ways and change direction. But meanwhile they have lost a few years of time and much credibility in the eyes of the rest of their management team.

A Planned Approach to Training

How should a company go at it to train the entire management team in the quality disciplines? Let us first note that it took the Japanese 10 years and that it will likely take us from five to ten years to carry out such training for the entire hierarchy. Such an undertaking merits thorough planning.

A PLANNED APPROACH TO TRAINING

INTERDEPARTMENTAL TASK FORCE:

- IDENTIFIES THE TRAINING NEEDS
- PROPOSES A PROGRAM, INCLUDING:
  - SOURCES OF TRAINING MATERIALS
  - SOURCES OF LEADERS
  - BUDGET
  - TIMETABLE

Figure 12

My proposals to companies have been that they set up a task force to do this planning. The task force membership should include the training manager, the quality manager, and representatives from the major line and staff departments. The task force then has the mission to:

Identify the training needs — the curriculum — for each category of manager

Propose a program for meeting these needs, including

Sources of training materials

Sources of leaders

The budget

The time table.

We are talking of a massive training program — an order of magnitude beyond our efforts to date. The investment will in any case be substantial. We can minimize the logistical and budgetary problems by preparation of in-house training materials — books and video cassettes. These can be supplemented by such selected outside materials as the task force finds appropriate.

Hands-On Leadership

In our discussion on training I noted that some tragedies are in the making because some of our companies are applying remedies without first knowing what are the diseases. Some upper managers protest this. They feel that they have ample information about diseases: high cost of poor quality; declining market share; etc. The point is that their information relates to symptoms. They don't know what are the root causes. When they try to find out they are confronted with numerous conflicting theories. In their efforts to resolve these conflicts they are handicapped by their limited understanding of the quality function and their limited training in the quality disciplines.

What I have been recommending to upper managers is that they become personally involved in the quality function to an extent which qualifies them to take the leadership and to choose a new direction for the company. I have stressed three forms of this involvement:

1. Training in the quality disciplines
2. Participation in improvement projects
3. An audit of the quality function.

1. UPPER MANAGEMENT TRAINING IN THE QUALITY DISCIPLINES

The content of such training is exemplified by the topics listed in the 1980 Japanese Union of Scientists and Engineers (JUSE) training course for top management.

JUSE 1980 TRAINING COURSE FOR TOP MANAGEMENT

ROLE OF TOP MANAGEMENT	1.5
NEW PRODUCT DEVELOPMENT	2.0
STATISTICAL METHODS	3.5
QC MANAGEMENT	3.5
QC IN MANUFACTURE	3.5
QC IN PURCHASING AND SALES	3.5
QUALITY ASSURANCE	3.5
QC IN JAPAN AND IN THE WORLD	3.5
GROUP DISCUSSIONS	3.0
REPORTS ON GROUP DISCUSSIONS	3.0
TOTAL (HOURS)	30.5

Notice the length of the course — four days.

Notice also the content of the course. About 40% of the time is devoted to study of the quality-oriented activities of those departments which have major impacts on quality: product development, quality control, manufacture, purchasing, sales.

Courses on managing for quality have long been available in the USA. (The Japanese courses evolved from American seeds.) More recently there have emerged some courses specially oriented to the needs of upper management. Demand for these courses is burgeoning.

2. PARTICIPATION IN IMPROVEMENT PROJECTS

The company's approach to quality improvement is deficient unless upper management is personally involved in improvement projects.

In part, this involvement is an essential display of leadership in the best sense of that word — leadership by setting an example.

Of even greater importance is the fact that some very important improvement projects are seriously handicapped unless upper management does become involved. We will look at some examples, but first we will set the stage.

THE SPIRAL OF PROGRESS IN QUALITY.

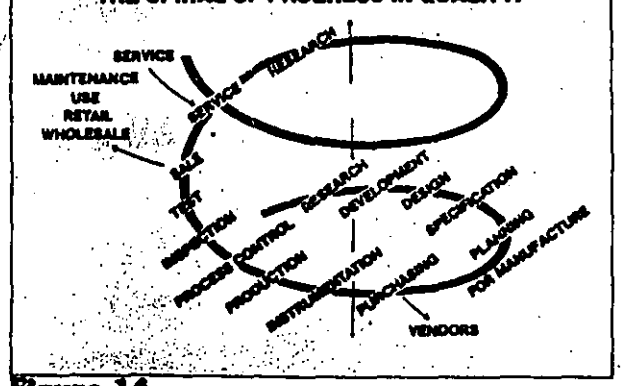


Figure 14

This model of the "Spiral" shows the familiar progression of activities through which we bring a product to market. These activities are collectively known as the quality function. In large organizations these activities are departmentalized, and the resulting departments all have an impact on quality.

Our biggest quality problems usually have their origin in some failure to coordinate these departmental activities so as to optimize overall performance. The realities are that in most companies there is no positive provision for this coordination, and only upper management has the legitimacy needed to fill that vacuum.

Now let's look at some projects which clearly require upper management participation. Our first example deals with allocation of resources.

Years ago the M company brought out a new, patented product which was inherently superior to anything then on the market. The product was widely accepted by industrial users, so sales grew. In addition, the M company was aggressive in designing new features to adapt their basic design to more and more applications. So sales kept growing.

However, the basic M design was prone to field failures, resulting in much client dissatisfaction. Instead of solving the basic design problems, the M company built up a field service force. The clients remained dissatisfied, but they had no choice. The M company's product, despite its failure proneness, was superior to all the competing systems.

It didn't stay that way. In due course the competitors found ways to bypass the patents. They offered high reliability products, and these began to erode the M company's sales.

At the time I had a look, about 85% of the M company's product development force was busy on new design features to create more sales. Meanwhile the company was losing sales at an even greater rate due to lack of allocation of designers to solve the long standing failure proneness. Nothing short of intervention by upper management could get rid of the cancer

which was destroying the business.

A second example involves balance among quality parameters.

Not long ago I was asked to give the opening address at the triannual NATO symposium on quality assurance, here in Washington. In preparation for that address I undertook a research study to compare military and civilian approaches to quality on comparable systems. I chose the aircraft engine as a case in point. As things turned out I was unable to secure enough hard data to support a published paper. So I aborted the research and gave a paper on something else. But I learned a good deal all the same. What was most intriguing to me was the contrast in how those two worlds — military and civilian — balanced the competing parameters and closed the essential feedback loops.

Military and civilian upper managers alike are faced with striking a balance among competing parameters, notably performance and operational readiness. In my observation, the forces urging performance — speed, payload, altitude, etc. — had in the military prevailed over the forces urging operational readiness. The resulting engines did indeed have high performance but, in my judgment, too heavy a price had been paid in operational readiness. In contrast, it seemed to me that the airlines had arrived at high engine performance without paying a heavy price in operational readiness.

My conclusions were open to debate — there are important differences in the environments and manner of use of the respective engines. However, there was little room for debate as to the respective approaches to decision making. The airlines had established practical and effective data systems for closing the feedback loop from field performance and maintenance back to the designers and upper management. In my judgment this closing of the loop plus the participation of upper management were decisive in providing the airlines with their balance among the competing parameters.

Yet another type of project for upper management participation involves the concept of historical review of repetitive major undertakings such as development of new products. The purpose is to discover *repetitive* weaknesses and to take remedial action. What is under study is not product quality, but the *process* for launching new products.

THE HISTORICAL REVIEW

LIST OF PROBLEMS ENCOUNTERED

- SYMPTOMS
- CAUSES
- REMEDIES
- COSTS

FOR EACH PROBLEM

- AT WHAT STAGE WAS IT FOUND?
- AT WHAT STAGE COULD IT HAVE BEEN FOUND?

WHAT ARE THE NEEDED CHANGES IN THE SYSTEM?

Figure 15

The approach is to appoint an historian whose work is supervised by an interdepartmental team of managers. The historian studies a number of prior projects of new product development. For each he identifies the problems encountered. For each of these problems he logs the symptoms, the causes and the remedies. For the major problems he also estimates the cost incurred due to the problem. The resulting logs may list several hundred problems.

For each problem the historian also logs the associated time frame:

At what stage in the progression of events was the problem first discovered?

At what stage could it have been discovered had things been different?

What changes in the *system* for launching new designs would have enabled us to avoid the problem altogether or to discover it earlier?

The summary of the logs then points to the major roads for improvement.

It is an exciting concept. It offers a new way to improve some important processes which to date have not been properly studied. In one reported case the time required to bring new products to market was cut in two over a period of five years.

3. AN AUDIT OF THE QUALITY FUNCTION

My third recommendation for upper management hands-on involvement is an audit of the quality function — a walk around that Spiral.

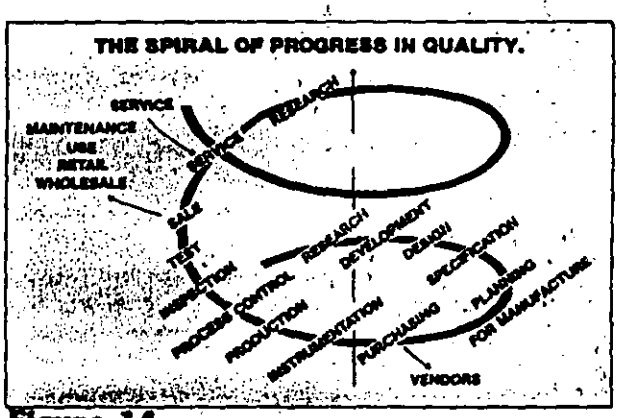


Figure 14

This audit consists of a series of reviews of the quality-related activities of the major functions of the company: market research; product development; process development; production; quality control; marketing; field service. Still another such review concerns the company's approach to coordinating all these functions so as to optimize results.

Each of such audits requires advance preparation. This is best done by an interdepartmental task force whose mission includes:

Evaluate the performance of the function under review, based on available information

Identify information which is needed but is unavailable

Recommend the principal topics which merit examination in depth by upper management

Identify the questions which require resolution by upper management

Such audits can serve multiple purposes. They provide:

A form of hands-on leadership by upper management

Training in the quality disciplines

Identification of major opportunities which have in the past received low priority.

The Government-Industry Relationship

Now let me conclude by an observation on the government-industry relationship.

The background of this conference is properly one of a gathering crisis. The problem is real.

The main response must be a revolutionary change in the pace of annual improvement in quality. We can meet this year's budget without improvement in quality, but at the end of the year we will have fallen one year behind each competitor who did make improvements in

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

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

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

10. Uso de métodos estadísticos

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

Reporte sobre el Método Taguchi

Los norteamericanos han recopilado una larga lista de explicaciones para dar la razón del éxito japonés, incluyendo métodos administrativos de control estadístico del proceso (CEP), de inventarios justo a tiempo y de círculos de calidad. Todas éstas son legítimas explicaciones parciales. La lista no está completa, sin embargo, sin incluir el papel de la ingeniería de calidad japonesa, específicamente en el diseño de experimentos con aplicación del Método Taguchi. Como los otros métodos de la lista, el de Taguchi es una parte esencial, aunque no suficiente, del éxito japonés. ¿Por qué, entonces, este método es poco conocido en los Estados Unidos? En primer lugar, los ingenieros norteamericanos no han tenido acceso al Método Taguchi debido a que toda la literatura está en japonés. La traducción del material al inglés ha sido muy reciente. En segundo lugar, los fabricantes norteamericanos no han percibido la necesidad del tipo de beneficios que ofrece el Método Taguchi. El uso reciente del CEP ha realzado la necesidad de formas eficientes de estudiar y reducir la variación en productos y procesos de manufactura.

Aunque está basado en la metodología del diseño de experimentos convencional, el Método Taguchi se desvía en forma radical de las prácticas estadísticas comúnmente aceptadas hoy día en los Estados Unidos. Por consiguiente, el Dr. Taguchi ha sido blanco de críticas de parte de los estadísticos. Superficialmente, estas críticas son legítimas, sin embargo, el Dr. Taguchi ha incorporado muchos elementos de comprobación a su método para controlar los riesgos que se encuentran al violar principios estadísticos. Los estadísticos profesionales de los Estados Unidos deberían de examinar abiertamente el Método Taguchi, dando una crítica justa y honrada a la cual el Dr. Taguchi y sus colegas puedan responder abiertamente. De este diálogo podrían resultar mejores métodos de experimentación para todos.

El Dr. Taguchi viola algunos principios estadísticos porque es impráctico, a veces hasta imposible, observarlos en el medio real de la manufactura con sus cuotas de producción y fechas límites. El profesor Yuin Wu, el ponente principal del Método Taguchi en los Estados Unidos y traductor de la obra del Dr. Taguchi, cita a la reproductibilidad de resultados como la validación fundamental del Método Taguchi. Lo que los ingenieros de calidad que utilizan el Método Taguchi descubren en el laboratorio concuerda con los resultados obtenidos en la planta: el Método Taguchi funciona.

Cuando le preguntan al profesor Wu por qué promueve el Método Taguchi, da tres razones: (1) costo, (2) costo y (3) costo. Igual que la metodología convencional de diseño de experimentos, el Método Taguchi tiene una capacidad altamente eficiente para extraer relativamente grandes cantidades de información de experimentos a escala pequeña. Lo anterior significa un costo menor de material de prototipos, menos tiempo de experimentación y menos tiempo dedicado al análisis de los resultados. El Método Taguchi, no obstante, rebasa los métodos norteamericanos tradicionales porque fue desarrollado en un medio económico donde sólo se encontraban materiales

y componentes de calidad inferior y donde el capital era limitado. En respuesta a esas condiciones, el Dr. Taguchi desarrolló su método, intentando fabricar productos de alta calidad con materiales, componentes y equipo de procesamiento inferiores. Preocuparse por mejorar la calidad sin incurrir en incrementos de costo de capital sigue siendo el principio básico del Método Taguchi. De hecho, se puede citar muchos casos donde el mejoramiento de la calidad llega a reducir el costo de un producto o proceso. Si a esta reducción se le agrega el costo de menos desperdicio y trabajo repetido, el ahorro en costos se vuelve aun más notable.

A diferencia de la percepción convencional de la actividad de calidad en los procesos de manufactura en los Estados Unidos, el Método Taguchi es una herramienta ingenieril que se usa antes de poner en producción un producto o proceso. Tradicionalmente, los profesionales norteamericanos de la calidad han utilizado herramientas para controlar la calidad durante la producción. Aunque el control de calidad durante la producción es indispensable, el Método Taguchi busca minimizar la necesidad de control de calidad en línea, reduciendo la variablilidad en los productos y procesos e incrementando, por tanto, su "robustez al ruido", o sea, las muchas condiciones cambiantes e incontrolables que se encuentran durante la producción o del uso.

La adopción del Método Taguchi implica nuevos papeles para las funciones de aseguramiento (o sea, staff) y de control de calidad (o sea, planta). El aseguramiento de calidad tiene la responsabilidad en pre-producción de desarrollar productos y procesos con la mínima variación posible. El control de calidad tiene la responsabilidad de mantener el proceso en el valor proyectado o nominal de la especificación. El Dr. Taguchi llama a estas funciones control de calidad fuera de línea y control de calidad en línea, respectivamente. Para expresar estas responsabilidades en la terminología de control estadístico del proceso, control de calidad mantiene la gráfica X-barra centrada en la media mientras que aseguramiento de calidad trabaja en función de reducir la R-barra, minimizando la variación. Quizás esto es lo que quiere decir el Dr. Deming cuando afirma que la administración tiene la responsabilidad de mejorar el sistema mediante la reducción de la variabilidad.

EL METODO TAGUCHI SE DESVIA EN FORMA FUNDAMENTAL DE LOS ESFUERZOS CONVENCIONALES DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS ESTADOS UNIDOS. LOS FABRICANTES NORTEAMERICANOS INTENTAN REDUCIR LA VARIACION Y POR LO TANTO MEJORAR LA CALIDAD ELIMINANDO LA CAUSA DE LA VARIACION. EL METODO TAGUCHI REDUCE LA VARIACION ELIMINANDO EL EFECTO DE LA CAUSA.

Por ejemplo, suponga que el diámetro terminado de un eje muestra un excesivo cambio en el nivel promedio de vez en cuando. En una planta norteamericana, se analizarían las causas posibles. ¿Es causado por diferentes lotes de materiales? ¿Diferentes operadores? ¿Condiciones del medio ambiente cambiantes como la temperatura o la potencia? Suponga que la causa fue detectada en los cambios de temperatura. La repuesta

norteamericana podría ser controlar la temperatura del proceso o de la planta lo cual sería una solución costosa. La estrategia del Método Taguchi sería indiferente a la causa pero intentaría eliminar su efecto. Posiblemente el resultado del experimento según el Método Taguchi fuera sustituir el material por otro que tuviera un coeficiente menor de expansión lineal y por tanto, no reaccionara a fluctuaciones en la temperatura ambiente. El resultado sería menos variación a un costo igual o sólo ligeramente incrementado. Puede parecer trillado el ejemplo pero en muchos problemas de producción, tal vez nunca se sepa la causa o tal vez nunca se pueda eliminarla aun cuando se descubra. En esta área, el Método Taguchi hace una aportación singular.

El Método Taguchi recomienda un proceso de diseño de tres etapas: (1) diseño del sistema, (2) diseño de parámetros y (3) diseño de tolerancias.

En el desarrollo de cualquier producto o proceso nuevo, el ingeniero empieza con el diseño del sistema. Aquí, el ingeniero diseña un sistema con una función específica. Según el modo de pensar de la mayoría de los norteamericanos, el diseño del sistema constituye el proceso total del diseño. En el Método Taguchi, sin embargo, el diseño de sistemas es solamente el primero de tres pasos.

El segundo paso, el diseño de parámetros, intenta optimizar el desempeño del sistema mediante la experimentación. Se modifican los diferentes parámetros del sistema para la experimentación, utilizando los materiales más económicos. A diferencia de los métodos estadísticos norteamericanos convencionales, que se preocupan casi exclusivamente por el desempeño promedio, la optimización busca tanto el nivel del desempeño (el promedio o media) como la robustez del producto en cuanto a variables extrañas (la variabilidad). Desde el punto de vista de la calidad, el diseño de parámetros es el aspecto más importante de la etapa de diseño. Cuando el diseño de parámetros se ha terminado, el sistema está en su nivel más alto de desempeno al costo más bajo. Entonces se puede comparar el sistema con sus requerimentos (especificaciones de ingeneria) para averiguar si falta labor adicional de desarrollo.

Enriquece el diseño de parámetros otra característica del Método Taguchi. La experimentación tradicional intenta controlar los factores extraños que pudieran afectar los resultados experimentales. El Método Taguchi introdujo los factores extraños de una manera controlada. Taguchi llama a estos factores, "ruido", y los clasifica en tres tipos. El primero, ruido interno, abarca factores dentro del producto, tal como el deterioro. El segundo, ruido externo, incluye factores incontrolables que son ajenos al producto o al proceso, tales como la temperatura o el suministro de energía; el tercero, entre el ruido del producto o la variación manufacturera.

Según el Método Taguchi, la etapa final del diseño del proceso es el diseño de tolerancias. Se considera el diseño de tolerancias sólo en caso de que el producto no sea aceptable en su nivel óptimo. A diferencia del diseño de parámetros, en el diseño de tolerancias se consideran los materiales de

alta calidad o procesos más caros con tolerancias más cerradas. El Método Taguchi tiene métodos específicos para encontrar las tolerancias óptimas. En el trabajo de desarrollo típico de los Estados Unidos, de no ser adecuado el sistema con el diseño inicial, luego se considera mejorar los materiales y ajustar las tolerancias sin optimizar el sistema mediante el uso del diseño de parámetros. ¿Cuántas veces ha sido innecesario hacer mejoras de esta manera?

Es posible, inclusive, optimizar productos y procesos durante el diseño del sistema, ya que se puede usar el Método Taguchi en experimentos de simulación relacionados con el desempeño del sistema lo cual se puede describir bastante bien con fórmulas matemáticas. La simulación con el Método Taguchi ofrece una manera económica de descubir cuáles son los factores de control y cuál es el nivel óptimo para cada factor del diseño.

Un concepto importante en el Método Taguchi es la relación del señal al ruido (signal-to-noise, s/n). La razón s/n es una de las técnicas de Taguchi que permite el análisis que toma en cuenta la variabilidad causada por un factor o variable independiente. En la estadística convencional, generalmente los factores son analizados para determinar el efecto sobre la media en el desempeño de alguna característica de calidad o parámetro funcional. El Método Taguchi demuestra, sin embargo, que algunos factores tienen un efecto en el cambio de la media mientras otros tienen en efecto en el cambio de la variabilidad. El papel de los factores que afectan la variabilidad sencillamente se pierde en los métodos experimentales convencionales.

Por ejemplo, en el circuito de potencia de un televisor el voltaje de salida es una característica crítica de calidad. Debe estar a un nivel específico (115 Volts C.D) con la menor variación posible alrededor del valor buscado. En un experimento, se cambiaron varios componentes para observar su efecto en el nivel y la variabilidad del circuito de potencia. Se descubrió que dos resistencias, A y B, tenían un efecto importante en el desempeño del circuito. La resistencia A tenía un efecto fuerte en el nivel de salida del circuito sin afectar la cantidad de variación. Por otro lado, la resistencia B afectaba mucho la variación pero no tenía un efecto tan fuerte en el nivel de salida del circuito como la resistencia A. Por consiguiente, cambiar el valor de la resistencia de A no afecta la razón s/n. A es considerado como un factor de señal. Por otro lado, algún nivel de la resistencia B tiene una razón s/n más alta que otros niveles. Con este producto, la estrategia del Método Taguchi sería ajustar la resistencia (factor de control) a un valor que minimice la variación total en la salida del circuito y luego ajustar la resistencia A (factor de ruido) para obtener el voltaje deseado de 115 Volts C.A sin afectar en forma adversa la variabilidad. Lo anterior es un ejemplo de diseño de parámetros. La aplicación más distintiva de la razón s/n es su capacidad de evaluar características dinámicas.

También se puede usar la razón s/n para evaluar equipo de pruebas, estándares de medición y para desarrollar especificaciones y pruebas para nuevos productos. La razón s/n es una característica potente del Método Taguchi.

Otra ventaja del Método Taguchi es su capacidad para manejar varios tipos de datos. En los E.E.U.U. normalmente se dividen los datos en dos categorías generales: variables y atributos. El Método Taguchi maneja eficazmente datos por atributos y lo que él llama datos por categorías. Los datos por categorías tienen que ver con la ordenación de los resultados experimentales en tres categorías o más, como por ejemplo, malo, aceptable y bueno. Además, con datos por variables, Taguchi distingue en forma importante entre "menor es mejor", "mayor es mejor" y "nominal es mejor" y características dinámicas. Cada uno de estos tipos de datos tiene características especiales y recibe un tratamiento diferente en el análisis matemático.

En conclusión, la ingeniería de calidad que utiliza el Método Taguchi, con su énfasis en la reducción de la variabilidad, ofrece muchas ventajas potenciales para los fabricantes de los EEUU. El método busca los máximos resultados con el menor gasto de tiempo y dinero. Su estrategia consiste en hacer productos y procesos que sean "robustos contra el ruido", primeramente eliminando los efectos de las causas en vez de eliminar las causas mismas. Por consiguiente, los productos pueden ser fabricados con mayor uniformidad y tendrán un desempeño más consistente bajo una amplia variedad de condiciones.

CULTURA Y CALIDAD

Un Problema Político

Por: JOAQUIN PEON ESCALANTE

Esta vez me voy a centrar en el tema de la CALIDAD, que se está volviendo, cada vez más, tema central y obsesivo de nuestro trabajo, junto al de la cultura, al de la participación en las organizaciones y al de la calidad de vida en el trabajo.

La revista "Business Week" relata cómo hace poco una empresa importante invitó al doctor Kennedy, autor del libro "Culturas Corporativas", a hablar sobre sus interesantes conceptos. La conferencia fué un éxito y el director entusiasmado llamó a uno de sus directores y le ordenó: "Señor Fulano de Tal: estas ideas me gustan mucho, así que para el próximo lunes quiero una cultura en nuestra organización".

Casi todos los días vivo demandas parecidas: "Joaquín, no tenemos calidad", "Joaquín ayúdenos a mejorar la productividad". "Joaquín, deseamos tener una gerencia participativa", etcétera, etcétera, "¡Pero la queremos ya! ¡Y sobre todo queremos resultados de in-me-dia-to!".

A esto le llaman los norteamericanos la mentalidad del "Quick Fix", lo que podríamos traducir como "la talacha rápida" o "la solución mágica": "Señores y señoras, aquí tenemos una empresa improductiva; aquí aprieto este botón y ¡zas! ya es productiva".

El buscar soluciones fáciles a problemas complejos es algo que todos buscamos. Desde niños todos quisiéramos encontrar atajos para aprender matemáticas u ortografía. Pero todos sabemos que, en realidad, esto lleva mucho esfuerzo y es un lento proceso. Sin embargo, en el mundo de la capacitación de adul-

tos lo mercadeable son precisamente las "SOLUCIONES MAGICAS": "¡Venga a nuestro curso; páseie, páseie!! y en dos días Usted será todo un supergerente!", "¡Venga a nuestro seminario y será Usted poderoso, sabio, feliz, eficiente!", "¿Quiere bajar su estrés, adelgazar, enriquecerse rápido, aprender a exportar, tener más pegue, entender de un golpe toda la filosofía oriental?- ¡Venga a nuestros cursos!", "¡Páseie, páseie!".

La excelencia es cuestión sencilla, asequible, fácil; al menos, así parece: tome 2 cucharadas de Peters, agréguele 3 gramos de Ouchi y 2 gotas de Druker; mézcielo con tantito Kopner; déjelo reposar y para una buena presentación, adórnelo con laccocca y ¡listo!.

Los griegos en vez de un Aristóteles y un Platón lo que hubieran necesitado era un Dale Carnegie o unos consejos de Naney Austin, de Perters y de Waterman. Lástima que eran muy poco prácticos y por eso decayeron. Si Ulises hubiera tomado un curso de asertividad, no hubiera sufrido tanto por Helena de Troya.

También la cultura romana hubiera sido más permanente si Nerón hubiera conocido sus "zonas erróneas". Tal vez todavía persistiría el Imperio Romano, ¿no creen?. Lo que pasa es que a ellos les faltaron unas cuantas ideas prácticas y sencillas como las que nosotros manejamos, ¿o no?.

Ahora pensemos en esos ingleses locos que mandaban a sus hijos a Eton, o a Oxford, y se gastaban miles de libras esterlinas tan sólo para que sus hijos aprendieran en 8 ó 10 largos años valores tan absurdos como el sentido del honor. Así construyeron su sociedad, basados en esa idea de que debo hacer las cosas bien y con sobriedad, poque ése es "mi honor" y "mi dignidad". El objetivo, cierto es, era la formación de una élite que infundiera un sentido de orgullo nacional y de autoaprecio en todo el pueblo inglés, y que con efecto multiplicador esto se manifestara en sus manufacturas y en sus servicios. Hoy estas ideas nos parecen imprácticas, y es un hecho que Inglaterra ya no es lo que fué; pero incluso en México su influencia persistu-

en gente que tal vez algunos definirían como obsoleta o que sigue pensando que el sentido del honor es algo en sí valioso.

No quiero afirmar que las instituciones capacitadoras o los instructores inventaron la ideología vigente del entrenamiento "chatarra". Creo que la mayoría de adquirientes de capacitación, las empresas contratantes, que dictan o indican las necesidades del mercado, son las causantes reales de que los capacitadores ofrezcamos mas bien "ideas prácticas","fórmulas mágicas ", "cursos chatarra" o "talachas rápidas". La mayoría de las empresas mexicanas no buscan en el capacitador externo a un profesional serio o a un agente de cambio, sino sólo quieren una capita de barniz para disque estar al día.

Pero volvamos a Europa y pensemos en la cultura francesa, recordemos esa magnífica calidad urbana de París, o la estupenda arquitectura en muchísimos pueblos pequeños de la provincia gala. Sintamos el sabor de sus mejores vinos o intentemos imaginariamente oler el delicioso y sensual aroma de sus mejores perfumes. Visualicemos por un momento la Catedral de Chartres o el formidable y atrevido Museo de Arte Moderno de Beaubourg.

Ustedes dirán: "¡Joaquín!, nosestás quitando el tiempo. Lo que estás hablando no es práctico. Mejor dinos cómo elevar la productividad de in-me-dia-to en la manufactura de clavos o de ropa". Y entonces me pregunto: ¿Acaso Francia no tiene el liderazgo mundial -junto con Italia- en el diseño y creación de trajes y vestidos de primerísima calidad? ¿Por qué Francia tiene el cuarto o quinto ingreso por cápita en el mundo? ¿Por qué asociamos lo europeo, en general, con la idea de calidad?.

"¿Tiene algo qué ver eso con el banco donde trabajo?". "La calidad en mi industria, en mi oficina, ¿acaso tiene algo qué aprender de los griegos, romanos o europeos?". "¿Es la calidad algo cultural?" "¿Donde dejar a Deming, a Crosby y a Ishikawa?". "¿Qué no es cierto que la sabiduría de la calidad se la debemos a los norteamericanos y los japoneses?". "¿Qué no es cierto que la calidad es cuestión de técnicas, de controles y de

Nuestra cultura, nuestros valores, nuestras creencias, ya no funcionan. Ya ni podemos soñar en tener productos de calidad, y no digamos en tener una economía o un sistema socio-político de calidad.

En otros países se vé el cambio y una democracia creciente. Aquí no. Y yo pienso que el GATT no nos va a salvar. Ni Crosby. Ni los mucho más profundos "14 puntos de Deming". Ni tampoco los 29 puntos de Juran. Ni siquiera si nombrámos a Ishikawa asesor de la Presidencia nos íbamos a transformar, porque ya no funciona nuestra mentalidad mágica, que busca milagros, porque la calidad es un asunto cultural, no técnico. La calidad es cuestión de valores, no de tecnologías; éstas son necesarias, pero la calidad es ante todo cuestión de personas, y no sólo de equipos o de estadísticas avanzadas, que ayudan, pero no sustituyen.

Como dijeron Salvador Sánchez y Horacio Andrade: "Los valores sirven para definir lo que es importante y las creencias indican cómo deben de funcionar las cosas, tomando en cuenta experiencias pasadas, costumbres y tradiciones". Voy a insistir: según estas ideas, los valores son concepciones compartidas de lo que es deseable: ideales que aceptan, implícita o explícitamente, los miembros de un grupo social y que, por consiguiente, influyen en el comportamiento de los miembros del grupo.

Una cultura común:

- refuerza la cohesión
- incrementa la habilidad de comunicación.
- permite que el espíritu, más que la letra, de las reglas sea observado.
- es el mejor antídoto contra la burocratización y los peligros de la disgregación implícita en la especialización de tareas.
- incrementa la habilidad de una organización para actuar de una manera uniforme.

Así se dá un círculo virtuoso donde a partir de la idealización se dá la experiencia colectiva de éxito, el ejercicio de es

ta competencia distintiva produce una mayor cohesión y eficiencia organizacional, lo que a su vez conduce a la estabilidad de los valores. Por eso es importante comprender cómo se dá la génesis de un valor organizacional, según Cagliardi:

1).- El líder tiene una creencia (la idea de una relación causa-efecto) que usa como criterio de evaluación para definir objetivos y asignar tareas.

2).- La creencia del líder es confirmada por la experiencia y por lo tanto aceptada por todos los miembros de la organización.

3).- Los miembros se sienten satisfechos y gratificados por el éxito: su atención se desvía de los "efectos" y se concentra más en identifcarse a sí mismo con la "causa", la que se convierte en un ideal deseable en sí mismo.

4).- El valor adoptado se dá por sentado y orienta la conducta organizacional automáticamente'

Con este esquema tendríamos suficiente información como para hacernos dos preguntas básicas respecto a la calidad y las culturas en las organizaciones mexicanas:

1).- ¿Dónde empezó la idealización equivocada?

2).- ¿Cómo podríamos modificar esto?

Es mi intención sugerir o intentar dar algunas respuestas iniciales a estas dos preguntas; pero no olvidemos que la realidad organizacional y la realidad del país total están completamente entrelazadas. Piensen Ustedes, por ejemplo, en una fábrica donde todo funciona bien. No obstante afuera las calles que la rodean están llenas de baches; la luz tiene apagones frecuentes; las materias primas llegan tarde y con un alto nivel de fallas de acuerdo a los estándares preestablecidos. Por otra parte, la gente que trabaja en esta industria se transporta en autobuses sobrecargados, come mal y duerme peor y creo que podríamos seguir extendiendo este ejemplo bastante normal, pero tal vez no sea indispensable para probar un punto sencillo: el cambio dentro de las organizaciones es necesa--

taba en manos de quienes ostentaban el poder; de que el dinero llama más poder y más dinero, y de que hacer las cosas bien no producía aprontemente ningún éxito en lo económico; si a caso, la propia satisfacción u orgullo por lo bien hecho. Lo que es peor, esto tal vez sólo servía para atrer a los explotadores a que lo usen a uno. Creo que los zapatistas llegaron a esta conclusión. Por eso Womack comienza su estupendo libro alfrmando que "hicieron una revolución simplemente para que nada cambiara", es decir, para que los dejaran trabajar en paz y bien... pero la lección histórica siglos atrás ya había estado dada. Luego vino la independencia. Y después 75 años de guerras civiles, cuatro mutilaciones al territorio nacional, 12 constituciones y 95 cambios al Poder Ejecutivo. Y, en medio, uno que otro mexicano excepcional, casi heroico, trabajando a contracorriente, a contracultura, para hacer algo bien sólo, o con otros tan idealistas o desadaptados como él.

Tan sólo de 1810 a 1876 hubo 66 cambios del Poder Ejecutivo. 166 veces que algún mexicano emulaba al virrey español con todo y algunos rasgos de autoritarismo y abuso! (Es obvio que hubo algunas visibles excepciones). Desde luego que el personaje más arquetípico del México independiente en su primera etapa es don Antonio López de Santa Ana, uno de los grandes traidores que México ha tenido, y desafortunado ejemplo "cultural" para muchas generaciones posteriores, como lo prueba el sorprendente hecho de haber ocupado la presidencia del país no menos de once veces. Parece ser que el inocentísmo y muy manipulable pueblo mexicano ya desde entonces había perdido por completo el más mínimo criterio de calidad, al menos en lo que se refiere al aspecto político. Pero como una sociedad es un todo y más aún es un sistema donde todas las partes están íntimamente relacionadas entre sí, entonces sucede que desde el inicio perdió la capacidad de votar por dirigentes de calidad. ¡Cuánto menos iba a poder producir servicios o artículos de calidad!. La mentira es contagiosa y la pasividad se paga cara. "Aceptamos lo que nos den los líderes" es bastante similar a decir: "Aceptemos lo que nos den en productos y servicios, y al precio que por allá decidan". Las

coincidencias no son sólo casuales; son causales.

Así describe el historiador José Iturriaga a Santa Anna: -- "Abrazó todos los idearios; fué realista e independentista; (...) centralista fanático y aguerrido federalista; filonorteamericano obsecuente y antiyanki de utilería; monárquico adherido a Maximiliano y republicano con Juárez, para convertirse en furibundo antijuarista. Personaje de ópera tragicómica o de gran guiñol, Santa Anna está esperando un estudio serio de nuestros modernos psicoanalistas; (...pero) este personaje es, en cierta forma, un símbolo del México insosegado de los primeros lustros de vida independiente".

La cultura es algo que esencialmente se manifiesta a través de símbolos. Santa Anna, más que un personaje histórico, viene a ser un símbolo o modelo a imitar, a copiar, a reproducir.- El camino para tener éxito en México ya estaba esbozado antes de él, pero su "éxito" ha servido a muchas generaciones posteriores. Y aunque como dice el mismo Iturriaga, "los mexicanos somos muy desmemoriados" (por aquello de volver a elegir a personajes funestos), el inconsciente colectivo se forma con este -- tipo de experiencias. Así se crean los valores que rigen a una familia, a una comunidad o a una nación.

La fórmula aprendida más o menos reza así: "Para triunfar- en este medio el camino NO es trabajar bien, sino adquirir e incrementar el poder. Por tanto, hay que volverse explotador,- cacique, hay que ser "TRANZA", audaz, discretamente ladrón. Con el dinero que obtengas podrás adquirir reputación social.- Pero no lo olvides: el trabajo es lo que hacen los tontos.... -- los ricos viven de los tontos y los tontos de su trabajo".

En este sentido, el ejemplo de un presidente extraordinario como es Benito Juárez o el de otros mexicanos ilustres en las - artes, en las letras o en actividades productivas de diversa índole, no trasciende mucho.

En las sociedades sajonas el trabajo era redención y la ayuda mutua un requisito indispensable para sobrevivir ante climas -- fríos y condiciones ambientales adversas; pero en nuestro con--

texto, para sobrevivir lo más sencillo era (y es todavía para un gran número de gente) estar cerca o estar junto a algún político, a algún hacendado, a algún personaje religioso, etcétera. Lo que se retribuía desde entonces (y todavía ocurre así en un gran número de organizaciones, sin duda) era la fidelidad al jefe, no el hecho de hacer un trabajo bien hecho.

Entrado el siglo XX, con todo y los 35 "exitosos" años del porfiriato, el modelo para triunfar en la vida y ascender socialmente se vuelve a confirmar una y otra vez: ¿A quiènes "hace justicia" la Revolución Mexicana? ¿A los aguerridos y sacrificados campesinos zapatistas?. No. ¿A sus hijos y descendientes?. Tampoco. ¿A Francisco Madero y a sus herederos ideológicos que luchan porque haya una verdadera democracia en México?. De ninguna manera. Son los obsesivos en acumular y acrecentar el poder quienes reciben los beneficios económicos más visibles de "la primera revolución social del Siglo XX".

De 1933 a la fecha ha habido en México 12 administraciones, 12 presidentes. Sin necesidad de presentar pruebas concretas, es evidente que con la sola excepción de Lázaro Cárdenas el modelo se ha repetido. No es ningún secreto afirmar que administraciones como la de Alemán o la de López Portillo fueron inmensamente corruptas. Así, el máximo liderazgo nacional ha vuelto a confirmar una y otra vez a la inmensa mayoría de los mexicanos cuál es el camino para triunfar en nuestro país.

Y desde luego que si hablamos de corrupción, ésta también se dá en un gran número de empresas y de empresarios, muchos de los cuales sólo sobreviven gracias a sus múltiples triquiñuelas fiscales o en los productos que ofrecen, que son de pésima, yo diría de una vergonzosa calidad.

Y cuando observamos de cerca al movimiento obrero, fuera de muy contadas y loables excepciones (al igual que en los otros grupos mencionados de la sociedad mexicana) lo que vemos es una corrupción escandalosa y que sería intolerable aún en el más subdesarrollado de los países.

Pero como ésta es una enfermedad social y cultural sumamente

contagiosa, sólo uno que otro heroico periodista se atreve a denunciar hechos concretos. Y por eso se dice que el país está empantanado. Y por eso todas las exhortaciones presidenciales hacia incrementar la productividad o mejorar la competitividad de nuestros productos, para poderlos exportar, son totalmente inútiles.

Y ya que estamos hablando del actual sexenio; quisiera hacer un comentario técnico, no político: si bien el señor presidente y algunos de los funcionarios de primer nivel se refieren seguido al tema de la eficiencia y de la productividad, ni en el Plan Nacional de Desarrollo, ni en el Programa Nacional de Capacitación y Productividad se dá la más mínima importancia al asunto de la calidad. Ni siquiera se le menciona en ambos documentos. Y si siguen Ustedes con cuidado la información periodística notarán lo poco que se habla de calidad en México con conocimiento causa. (Exhortos hay al por mayor; pero como decíamos y como opina el doctor Deming, éstos no sirven para nada).

En cambio, de lo que sí se habla todos los días es de los exorbitantes precios que padecemos. (Hace unos días la Wharton-Econometrics predijo que en los próximos 5 años la inflación sería siempre superior al 65% anual). Eso sí, cuando se habla de "carestía de la vida" y demás tragedias cotidianas, en vez de contrarse el problema donde está, que es nuestra semi-incapacidad de producir bueno y barato a nivel de cada empresa productora, de lo que se habla es de castigos, de inspectores y de no sé cuántas idiotecas más, que históricamente no han servido para controlar la inflación ni un ápice.

Y no es que no existan en México gentes capaces de hacer las cosas bien. En todas las empresas a las que he dado asesoría hay una mayoría de personas dispuestas a trabajar bien; pero los sistemas burocratizantes que por parejo existen en empresas públicas y privadas y esa cultura caciquil que siempre premia al más "grillo" y no al mejor, acaban con las mejores intenciones y con los mejores sistemas operativos. Y el malestar empieza arriba, a nivel de los empresarios, ya que a la mayoría lo que le interesa es el volumen y el costo (de adquisición, no de-

venta) y no la calidad.

En fin, estamos hablando de calidad y de cultura desde una nueva perspectiva, y lo que aquí estoy platicando puede incomodar a algunos oídos, pero, ni modo.

El gran problema cultural respecto a la calidad en México es que estamos rodeados de mentiras y que ya no sabemos distringuir entre lo que es genuino, lo que es excelente y lo que no lo es. Alguien dijo que una mentira dicha cien veces se convierte en verdad. Y la publicidad es precisamente lo que está logrando. Y esto se dá en productos, en servicios, en la publicidad y el control de los medios de (des)información y sobre todo en la televisión, tanto privada como pública. Todos estamos metidos en este juego de mutuo engaño, y es sólo a nivel internacional donde se vuelven palpables algunos de los auto-engaños que cotidianamente nos hacemos los mexicanos.

Así que, ¿cómo podríamos empezar a cambiar nuestra cultura anti-calidad?.

La pregunta es demasiado amplia ya de por sí, por eso sólo quiero dar unas sugerencias iniciales, referidas casi exclusivamente al ámbito de la capacitación.

Por tanto, quisiera reubicar esta misma inquietud preguntándoles a los educadores de adultos qué es lo que podemos comenzar a hacer ya con nuestros modestos recursos para empezar a cambiar esos valores ancestrales que nos están derrotando respecto a nosotros mismos y respecto al mundo económico y de las exportaciones, donde, como se dice, no damos una. (Países de un similar desarrollo al nuestro, como Brasil y Corea, nos están dando una lección muy dura en este sentido de que sí se puede).

Yo quisiera dar 8 proposiciones sencillas:

1).- Lo primero es reconocer que algunos de los valores en nuestras organizaciones, como el concepto del trabajo mismo que muchas personas tienen, ya no son adecuados a las necesidades de un país que necesita exportar. Estos valores "caciquiles" que antes hemos mencionado son obsoletos, son anti-económicos y debemos decir:

cernos de ellos.

2).- Lo segundo es dejar de ser tan superficiales e ingenuos en nuestro trabajo (como el medio nos lo impuso durante los últimos años del auge). Debemos terminar ya con "las talachas rápidas" y también con "las soluciones mágicas". Ya es absurdo ofrecer o contratar cursos espectáculo y ya basta de que nuestros clientes contraten a brujos, magos, alquimistas y demás figuras típicas de la capacitación para la calidad, que pretende solucionar en sólo dos días todos los malestares de una organización cualquiera. Sería fácil mencionar a dos o tres instituciones capacitadoras que se han vuelto millonarias gracias a esta estrategia. Creo que a nosotros no nos toca señalarlos, sino a las autoridades correspondientes de la Secretaría del Trabajo.

3).- También es conveniente reconocer que nuestro trabajo se ubica en un país tercermundista y "en la orilla (del desastre)" como recientemente afirmó Jorge Castañeda. Por tanto, debemos darnos cuenta que nuestras empresas no son islas, sino que están inmersas en un medio ambiente muy deteriorado tanto en lo económico, como en lo social, y en lo político... y hasta en lo ecológico, que cada día está peor.

Reconocidos estos tres aspectos que podríamos llamar "negativos" (lo cual no va a ser fácil, ya que a los mexicanos nos encanta negar o evadirnos de la realidad), los siguientes pasos serían:

4).- Convencer al Director General de que necesita realizarse un cambio cultural y no sólo técnico si desea mejorar la calidad de su empresa. Si no se cuenta con su apoyo y el del grupo de gerentes del siguiente nivel que le reporta, es inútil tratar de mejorar la calidad. En nuestra cultura la acción es muy dependiente del liderazgo.

5).- Debe conceptualizarse una estrategia de calidad total; deben establecerse herramientas estadísticas y estándares a lo largo y a lo ancho de toda la organización, incluyendo a sus proveedores; debe establecerse una nueva organización,

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

CURSOS ABIERTOS

TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD

EN PROCESOS INDUSTRIALES

2.- IDENTIFICACION Y ANALISIS

M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

AGOSTO-SEPTIEMBRE 1992

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

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

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

FACTOR	CROSSBY	FEIGENBAUM
1.- Involucrar la Alta Dirección	No dice como involucrarla, más aún la justifica por estar cargada de trabajo y debe delegar a 2o y 3o - personas el desarrollo (Hiveloe). Para Crosby y la Alta Adm.ón. sola dirige y supervisa los planes.	Es indispensable que la Alta Adm.ón - este involucrada en la implementación y control del sistema de Calidad ya que ella es quién le va a dar seguimiento y control del mismo.
2.- Técnicas Estadísticas. - 7 herramientas. - Control Estadístico de Cal. - Diseño de Exp. - Pareto.	Es un medio y no un fin. (Crosby es más motivacional).	Para Feigenbaum si hay que poner mucho énfasis en las técnicas estadísticas.
3.- Cambio Cultural.	Si hace énfasis en un cambio cultural para que la motivación encuentre Eco.	No lo menciona pero de hecho en su - filosofía sistémica implica un cambio en la actitud de la gente. (Pero no un cambio cultural).
4.- Estilos de Liderazgo.	Si hay un Líder aprox. el 3er nivel (Líder autocrático).	También habla de responsables e implica la existencia de un líder en el -- Sistema de Calidad.
5.- Tecnología	Crosby no toca para nada la cuestión de Tecnología.	Feigenbaum habla mucho de tecnología pero la ve como un conjunto de conocimientos técnicos para el diseño y control del proceso.
6.- Métodos y Sistemas Administrativos.	Habla sobre la creación de un equipo interdepartamental de segundo y tercer nivel para el mejoramiento de la calidad y otra contribución es que resulta la necesidad de tener un buen sistema de costos de - calidad.	Su mejor aportación en esta variable es el enfoque sistemático dirigido - por la Alta Administración.

Guía de Control de Calidad

Dr. Kaoru Ishikawa

UNIPUB
InfoSource International

Nueva York

Indice

CAPITULO 1

Cómo reunir datos

1.1 El propósito de reunir datos

En el ámbito fabril se reúnen muchísimos datos. Consideremos en primer lugar cuál es el propósito de reunir esos datos.

Cuando se comienza a utilizar cierto método de trabajo, es lógico considerar si el método es adecuado o no. Habitualmente, la decisión se basa en los resultados y la experiencia anteriores, o quizás en métodos convencionales. Sin embargo, cuando se trata de un trabajo fabril, en el cual los datos se reúnen durante el mismo proceso de fabricación, los métodos se adoptan tomando como base la información obtenida. El procedimiento de fabricación sólo resultará correcto si se realiza una evaluación adecuada; y para que la evaluación sea adecuada, los datos recogidos en el lugar de trabajo son esenciales.

Puesto que servirán de base para adoptar medidas y decisiones, los datos que se deban recoger de las operaciones de la fábrica dependerán del procedimiento industrial de que se trate. He aquí una clasificación de esos datos según los distintos propósitos que sirven.

(1) Datos para ayudar a comprender la situación real

Estos datos se recogen para verificar la dispersión del tamaño de las piezas que salen de la maquinaria, o para examinar el porcentaje de piezas defectuosas que contienen los lotes recibidos. Cuando aumenta la cantidad de datos, se los puede ordenar estadísticamente a fin de facilitar la comprensión, como se explicará más adelante. Se podrá entonces hacer estimaciones sobre el estado de los lotes recibidos y sobre el proceso de fabricación, mediante comparaciones con cifras especificadas, cifras estándar, cifras fijadas como objetivo, etc.

(2) Datos para el análisis

Los datos analíticos pueden emplearse, por ejemplo, para el examen de la relación entre un defecto y su causa. Se reúnen datos examinando resultados previos y haciendo nuevas pruebas. Para obtener informaciones correctas, se recurre en este caso a diversos métodos estadísticos.

(3) Datos para el control del proceso

Una vez investigada la calidad del producto, se puede utilizar este tipo de datos para

determinar si el proceso de fabricación es normal o no. Para esta evaluación se emplean gráficos de control y, sobre la base de esos datos, se adoptan las medidas del caso.

(4) Datos de regulación

Son los datos que sirven de base, por ejemplo, para aumentar o disminuir la temperatura de un horno eléctrico a fin de mantener un nivel térmico estándar. Según cada dato obtenido, se prescriben las medidas que es preciso adoptar.

(5) Datos para aceptación o rechazo

Este tipo de datos se utiliza para aprobar o rechazar piezas o productos después de la inspección. Hay dos métodos: inspección total y muestreo. La información obtenida permite decidir qué se debe hacer con las piezas o productos.

1.2 La corrección en los datos

Como se ha explicado, los datos sirven de base para adoptar medidas. Tras evaluar las condiciones imperantes, puestas de manifiesto por los datos, se pueden adoptar las medidas apropiadas. De ahí que lo primero y más importante sea determinar si los datos representan o no condiciones típicas. El problema puede enunciarse de este modo:

1) ¿Reflejan los datos reunidos la situación real?

2) La recolección, el análisis y la comparación de los datos ¿se llevan a cabo de forma tal que pongan de manifiesto la situación real?

El primero atañe a los métodos de muestreo; el segundo es un problema de procesamiento estadístico.

Lo fundamental del muestreo es saber con exactitud para qué se utilizan los datos: estar seguros del propósito. Por ejemplo, si el problema que plantea un producto es la dispersión de la impureza, no bastará tomar sólo una muestra por día para averiguar la tasa de dispersión diaria. O bien, para comparar los defectos causados por los trabajadores A y B, es esencial tomar dos muestras individuales de los productos de ambos operarios. O sea que es preciso tener plenamente en cuenta el objeto de reunir los datos, las técnicas de muestreo adecuadas y la estratificación. No se debe recoger cierta clase de datos en forma desproporcionada por la simple razón de que es fácil recolectarlos. Por lo demás, puede haber datos parciales fáciles de reunir que no sean necesariamente eficaces.

Pero tampoco es suficiente emplear técnicas de muestreo adecuadas. Es menester cerciorarse de que los datos representen la realidad y de que el método estadístico adoptado permita efectuar una evaluación objetiva.

Por ejemplo, aunque se cuente con 100 datos sobre la dureza de un material X, en general es imposible llegar a una conclusión solamente a base del valor numérico. La decisión sólo tendrá fundamento si se comparan los datos con la situación general, como en un histograma o planilla de inspección. Y al comparar la dureza del material Y con la del material X, también hay que emplear técnicas estadísticas, después de considerar la dispersión que presentan las muestras de cada uno.

1.3 Clases de datos

Aunque se dé por sentado que se comprende la necesidad de disponer de datos, no faltará un jefe de grupo que afirme: "No puedo encontrar ningún dato en mi trabajo", o bien "No puedo recolectar datos". Por supuesto, a menudo es difícil conseguir en nuestros trabajos datos con valores numéricos claros. Si se trata de medir la suavidad de un paño, el brillo de un platinado o la blancura de un papel, naturalmente será imposible obtener valores numéricos tan concretos como los que resultan de medir el tamaño y el peso.

Supongamos que hay que determinar la suavidad de tres clases de paños. Aun cuando no se pueda medir la suavidad con precisión, es factible recoger datos excelentes ordenando los paños por grado de suavidad. Sería difícil medir sólo con la ayuda de instrumentos simples cuánto vibra un automóvil o cuánto oscila una película de 8 mm durante su proyección. Pero se puede hacer que cinco personas conduzcan el automóvil o vean la película e informen de lo que han observado durante las pruebas, con lo cual se obtendrán buenos datos.

Como ya se dijo, el propósito de reunir datos no consiste en traducir todo en cifras concretas, sino en suministrar una base para adoptar medidas. Los datos pueden expresarse en cualquier forma.

En general, los datos se pueden dividir en los siguientes grupos:

A. Datos de medición: datos continuos
Longitud, peso, tiempo, etc.

B. Datos sobre cantidades: datos de recuento
Cantidad de productos defectuosos, cantidad de defectos, porcentaje de piezas defectuosas, etc.

Pero también existen:

C. Datos sobre méritos relativos

D. Datos sobre series

E. Datos sobre niveles de gradación

Muchos jefes de fábrica y de grupo de vasta experiencia recurren frecuentemente a estos datos, de los que pueden extraer las conclusiones apropiadas.

1.4 Análisis de los datos

Una vez reunidos los datos, se los analiza y se extrae información mediante métodos estadísticos. Por ese motivo, es menester recoger los datos de forma que se simplifique el análisis ulterior.

En primer término, se debe registrar claramente la índole de los datos. Si transcurre cierto tiempo entre la recolección y el análisis, nadie estará en condiciones de recordar el origen de los datos. Hay muchísimos datos en un establecimiento fabril; pero muy frecuentemente se vuelven obsoletos porque no se deja clara constancia de su índole. Hay que registrar no sólo el propósito de la medición y sus características, sino también la fecha, los instrumentos utilizados, la persona que llevó a cabo la tarea, el método empleado, etc.

Asimismo, el registro debe efectuarse de manera que se facilite la utilización de los datos. Dado que a menudo se calculan luego totales generales, promedios y amplitudes, la tarea se simplifica si ello se tiene presente en el momento de registrar los datos. Si se toman 100 datos al mismo tiempo, lo probable es que sirva cualquier tipo de planilla de registro; pero si se toma un

dato 5 veces por día a las 9, 11, 13, 15 y 17 horas, a lo largo de 20 días, la planilla de registro debe indicar la hora horizontalmente y la fecha verticalmente. Si se procede así, será posible calcular el total diario al pie de cada columna y el total horario al fin de cada renglón. El secreto del éxito del análisis radica en la habilidad con que se aprovechen, en forma tanto vertical como horizontal, las planillas de registro. Si la fábrica dispone normalmente de planillas de registro o de inspección, es probable que se hayan contemplado ya los elementos que acabamos de mencionar. Con todo, siempre vale la pena volver a cerciorarse de que la recolección de datos resulta sencilla y que su análisis se puede llevar a cabo automáticamente.

1.5 Recordatorios sobre la recolección de datos

Al reunir datos, preste atención a los siguientes puntos:

(1) Acuérdese de adoptar medidas de conformidad con los datos

Siempre es preciso recordar que los datos deben servir como base de acción; de lo contrario, no se los compilará de manera positiva. Acostúmbrese a encarar los problemas tomando los datos como base y a respetar la realidad que los datos ponen de manifiesto.

(2) Aclare el propósito de reunir datos

Además de lo anterior, todavía es necesario dejar en claro el objetivo. Sólo entonces se podrá determinar qué comparaciones se necesitan y qué tipo de datos hay que recoger. Es importante reexaminar el propósito de los datos que se están reuniendo y comprobar si en realidad se los utiliza eficazmente.

(3) Acuérdese de incluir todo en los datos

No por haber determinado qué tipo de datos es menester reunir será automáticamente factible recolectarlos. No es raro tropezar con problemas de falta de instrumentos o de personal, dificultades de cuantificación, etc. Lo esencial en esta etapa es tener voluntad e ingenio para recolectar los datos. La clave de la solución depende de la habilidad que se tenga para reunirlos. Y aquí se hace evidente la diferencia que existe entre jefes de fábrica y de grupo eficientes y deficientes. Los primeros se esmeran en obtener datos y a menudo idean métodos originales.

CAPITULO 2

Histogramas

2.1 Los datos tienen dispersión

En el capítulo 1 estudiamos cómo reunir datos. Consideremos ahora cómo ordenarlos.

En un establecimiento fabril, diariamente se reúnen datos en diversas formas. Por ejemplo, recogemos datos sobre rendimiento, porcentaje de rubros defectuosos, régimen de operaciones, ausentismo, diámetro de postes, solidez de cables y peso o concentración de productos, con el fin de registrarlos en informes diarios, cuadros y gráficos de control.

La recolección de todos estos datos persigue un objetivo. Piense cuál es el motivo de llevar a cabo esa tarea en su establecimiento. ¿Es claro el propósito? Supongamos, por ejemplo, que se han tomado y medido 10 muestras de un lote. Basándose en los datos obtenidos merced a muestras, escogidas al azar, podemos hacer inferencias acerca de la medición de los artículos de todo el lote de donde se recogieron los datos, o acerca del proceso de producción, y adoptar entonces alguna decisión (ver figura 2.1).

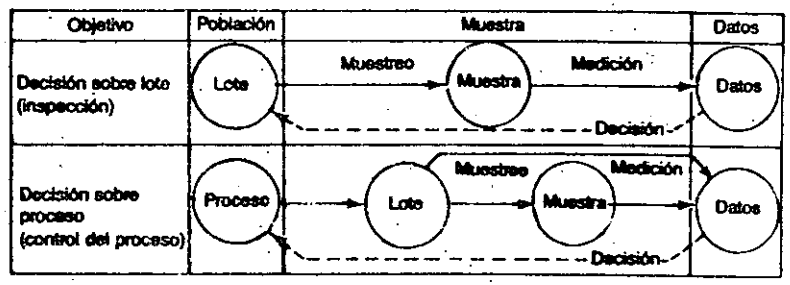


Figura 2.1 Población y muestra

Se necesitan los datos para obtener las dimensiones medias y el grado de dispersión, a fin de determinar si corresponde recibir o despachar el lote, y si resulta adecuado el proceso de producción empleado para fabricarlo, o si es preciso adoptar alguna medida. *En otras palabras, estamos por tomar decisiones con relación a un lote o proceso a base de los datos que nos proporcionan las muestras extraídas.*

Es habitual que los artículos que salen de una misma línea de producción difieran ligeramente en dimensión , dureza u otras características. Si, después de calibrar 10 muestras, el resultado es que todas miden 10.0, 10.0, 10.0 ... 10.0, hay motivos de duda. Cabría sospechar que el instrumento de medición era deficiente, o incluso preguntarnos si en realidad se han medido las piezas. Viajamos al trabajo diariamente y, aunque utilicemos siempre la misma ruta e idéntico vehículo, suele haber días en que el viaje dura menos. Exigiría un esfuerzo enorme tratar de recorrer todos los días ese trayecto exactamente en el mismo tiempo. De igual forma, al considerar cierto grupo de datos, se detecta alguna dispersión. De hecho, vivimos en un *mundo de dispersión*. Para averiguar la calidad de una cantidad dada de productos, debemos utilizar promedios y dispersión.

Tomemos por ejemplo la vida de un artefacto eléctrico. Aunque en promedio la "vida" del artefacto sea larga, si existe mucha dispersión algunos ejemplares se gastarán rápidamente. Esto entraña una merma en la confiabilidad del producto. O sea que un criterio para juzgar la calidad de los productos consiste en que, como promedio, la vida sea larga y al mismo tiempo la dispersión sea pequeña.

Supongamos que durante un mes tomamos de la línea de producción cuatro muestras diarias de cierta pieza y efectuamos las mediciones correspondientes. Hay dos formas de considerar los datos obtenidos de las 100 muestras:

1) Apariencia general de las piezas como grupo.

2) Cambios en las mediciones diarias a lo largo del mes.

Para el caso (1), podemos construir una tabla de frecuencias que indique la cantidad de piezas de cada dimensión. Luego, mediante la ayuda de un histograma, será fácil determinar la forma, el valor central y las modalidades de la dispersión que presenta la medición de los tamaños. Para el caso (2), a fin de apreciar cronológicamente la variación de los datos, a menudo se utilizan cuadros o gráficos de control que incluyen la fecha en sentido vertical y las dimensiones en sentido horizontal. Tomemos el caso (1) y veamos cómo construir y utilizar un histograma.

2.2 Cómo preparar un histograma

Los datos de la tabla 2.1 representan el grosor, en milímetros, de 100 bloques de metal que forman parte de instrumentos ópticos. Cuando hay tantos datos --100 en este caso-- es difícil determinar cuál es su distribución leyendo simplemente las cifras. En tal situación, si disponemos los datos en orden de sucesión, mostrando cuántas cifras son de magnitud semejante (ver tabla 2.1), y luego trazamos un gráfico, podremos percibir la tendencia general. Hay muchas clases de gráficos, pero uno de los más comunes es el *histograma* (figura 2.2). Examinemos el método para confeccionar un histograma.

(1) Cuente los datos. N = *100*.

(2) Como se indica en la tabla 2.1, divida los datos aproximadamente en 10 grupos. Registre los valores más altos de cada grupo en la columna X_L y los más bajos en la columna X_S (como en una elección local). Luego registre el mayor X_L y el menor X_S de la totalidad de datos (como en una elección nacional). $X_L = 3.68$; $X_S = 3.30$.

(3) La amplitud *(R)* de la totalidad de los datos es: $R = X_L - X_S = 0.38$. Se puede dividir esta amplitud en clases e investigar cuántos datos pertenecen a cada clase. La cantidad de clases (la cantidad de barras del histograma) puede determinarse tomando como base la

Tabla 2.1 Grosor de bloques de metal (en mm)

Datos										X_L	X_S
3.56°	3.46	3.48	3.50	3.42ˣ	3.43	3.52	3.49	3.44	3.50	3.56	3.42
3.48	3.56°	3.50	3.52	3.47	3.48	3.46	3.50	3.56	3.38ˣ	3.56	3.38
3.41	3.37ˣ	3.47	3.49	3.45	3.44	3.50°	3.49	3.46	3.46	3.50	3.37
3.55°	3.52	3.44ˣ	3.50	3.45	3.44	3.48	3.46	3.52	3.46	3.55	3.44
3.48	3.48	3.32	3.40	3.52°	3.34	3.46	3.43	3.30ˣ	3.46	3.52	3.30ˣ
3.59	3.63°	3.59	3.47	3.38	3.52	3.45	3.48	3.31ˣ	3.46	3.63	3.31
3.40ˣ	3.54	3.46	3.51	3.48	3.50	3.68°	3.60	3.46	3.52	3.68°	3.40
3.48	3.50	3.56°	3.50	3.52	3.46ˣ	3.48	3.46	3.52	3.56	3.56	3.46
3.52	3.48	3.46	3.45	3.46	3.54°	3.54	3.48	3.49	3.41ˣ	3.54	3.41
3.41	3.45	3.34ˣ	3.44	3.47	3.47	3.41	3.48	3.54°	3.47	3.54	3.34

o: Mayor valor de la fila

x: Menor valor de la fila

$N = 100$, $X_L = 3.68$

$X_S = 3.30$

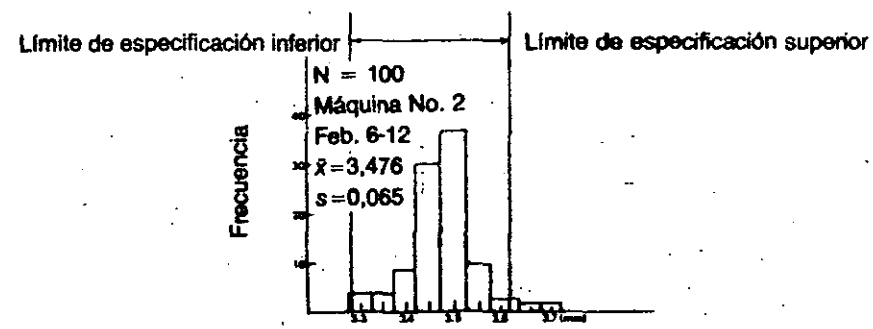


Figura 2.2 Grosor de bloques de metal

Tabla 2.2 Tabla de frecuencias

Clase No.	Límites de clases	Valor medio	Cómputo de frecuencias	Frecuencia
1	3.275 – 3.325	3.30	///	3
2	3.325 – 3.375	3.35	///	3
3	3.375 – 3.425	3.40	~~////~~ ////	9
4	3.425 – 3.475	3.45	~~////~~ ~~////~~ ~~////~~ ~~////~~ ~~////~~ //	32
5	3.475 – 3.525	3.50	~~////~~ ~~////~~ ~~////~~ ~~////~~ ~~////~~ ~~////~~ ~~////~~ ///	38
6	3.525 – 3.575	3.55	~~////~~ ~~////~~	10
7	3.575 – 3.625	3.60	///	3
8	3.625 – 3.675	3.65	/	1
9	3.675 – 3.725	3.70	/	1

$N = 100$

tabla 2.3. Sin embargo, se puede obtener una cantidad aproximada de clases haciendo $K = 10$ y dividiendo la amplitud R por esta cifra:

$$h = \frac{X_L - X_S}{K} = \frac{0.38}{10} = 0.038$$

Tabla 2.3

Cantidad de datos (N)	Cantidad de clases (K)
Menos de 50	5 - 7
50 - 100	6 - 10
100 - 250	7 - 12
Más de 250	10 - 20

(4) Este intervalo de clase, h, que se utilizará como unidad de graduación horizontal del histograma, debe expresarse como múltiplo de un número entero (los datos asumen valores como, por ejemplo, 3,56, de modo que las unidades de medida son de 0,01). Aquí se puede considerar que h es igual a 0,04, pero para facilitar la división en clases lo fijaremos en 0,05.

(5) El valor que limita la clase, y que debemos determinar para trazar un gráfico de barras, se fija comenzando en un extremo de la amplitud. El problema que se plantea cuando los valores reales caen sobre el límite de la clase puede evitarse tomando como unidad del límite de las clases la mitad de la unidad de medida de los valores reales. En este caso, es 0.0005. Es decir, que los límites --el ancho de las barras-- serán 3.275~3.325; 3.325~3.375; etc. Con marcas del tipo /, //, ///, ////, ~~////~~, etc., como se indica en la tabla 2.2, se cuentan los datos que pertenecen a cada clase y se construye una tabla de frecuencias. El total debe ser igual a N, mencionado en el paso (1). (En esto hay que prestar mucha atención porque suelen cometerse errores).

(6) El examen de la tabla de frecuencias permite formarse una idea del panorama general; pero éste resulta mucho más claro si se elabora un gráfico. Sobre un papel cuadriculado, marque los límites de las clases en el eje horizontal y la frecuencia en el vertical, como en el histograma de la figura 2.2. En las partes en blanco, indique los antecedentes de los datos, N, la media, la desviación típica, etc. También conviene indicar, si existe, la norma de la empresa o la norma industrial. En este ejemplo, los límites de las especificaciones de los bloques de metal son 3.28~3.60 mm, que por tanto se indican en el gráfico.

Así se confecciona un histograma. Puesto que un histograma es un gráfico en forma de barras, o rectángulos, también se lo llama gráfico de barras. Cada barra se denomina clase. El ancho de la barra es el intervalo de clase; los valores numéricos correspondientes a los extremos de las barras son los límites de las clases; el valor central de cada clase se llama valor representativo o valor medio. La simple preparación de una tabla de frecuencias y un histograma puede suministrar un gran caudal de información, como se explicará en la sección siguiente. En nuestro ejemplo, la media $\bar{x}$ y la desviación típica s serían: $\bar{x} = 3.476$ y $s = 0.065$. (El método de cálculo se expone en el ejercicio práctico 2).

2.3 Cómo utilizar un histograma

En esta sección veremos cómo interpretar y utilizar histogramas.

(1) ¿Cuál es la forma de la distribución?

Procuremos responder las siguientes preguntas observando el histograma de la figura 2.2.

¿Cuál es el grosor más común de los bloques de metal? ¿Cuán grande es la dispersión? ¿Es la distribución simétrica? ¿Es sesgada? ¿Hay un solo pico? ¿Es escarpada? ¿Se asemeja a una rueda dentada? ¿Hay barras aisladas? En otras palabras, ¿cuáles son las características del producto?

De acuerdo con la figura 2.2, la mayoría de los bloques de metal están en la gama de grosor de 3.425 a 3.525. La cantidad de bloques fuera de esta gama que son más gruesos o más delgados decrece en ambas direcciones. Existe una distribución simétrica y una dispersión de 3.3 mm a 3.7 mm. Los datos no presentan valores anormales aislados.

Ejemplo 1

Un círculo de CC de la empresa A se abocó al problema de reducir los desechos de metal recortado durante la fabricación de un producto. Los resultados de su labor se indican en la figura 2.3, que es un histograma en que se compara el metal recortado antes y después de la mejora. No sólo se redujo la cantidad de metal recortado (disminución de $\bar{x}$), sino que además tuvo lugar una baja de la dispersión (disminución de s). Este efecto se puede observar en el histograma.

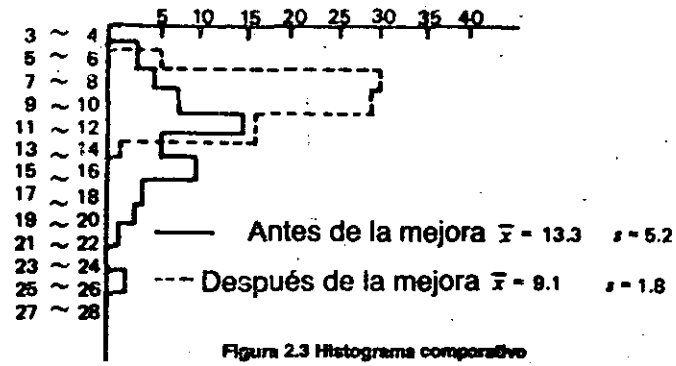


Figura 2.3 Histograma comparativo

Ejemplo 2

Después de medir las piezas enviadas por la empresa B, se obtuvieron los resultados que muestra la figura 2.4. Este histograma tiene el borde izquierdo escarpado y, por lo tanto, parece extraño. Es factible que todas las piezas hubiesen sido inspeccionadas en la empresa B antes de su despacho y que se hubieran separado las que no alcanzaban a cierto valor de medición. En lo sucesivo, será menester inspeccionar acabadamente todas las piezas recibidas y asimismo

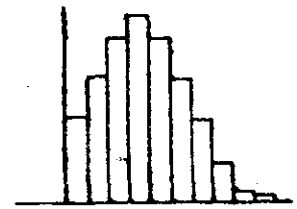


Figura 2.4 Histograma escarpado

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.

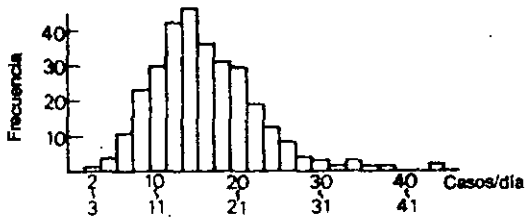


Figura 2.5 Histograma dentado

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%.

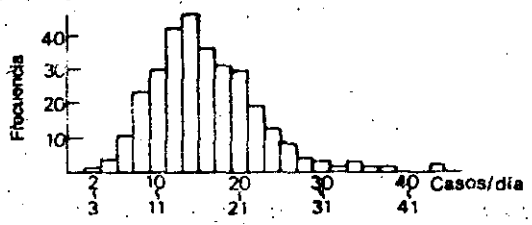


Figura 2.6 Distribución de fallas ocurridas

(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.

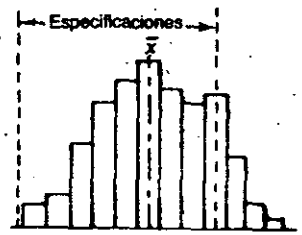


Figura 2.7 Histograma de características de carga

(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).

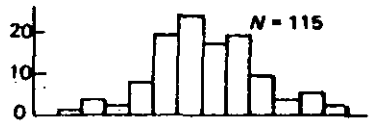


Figura 2.8 Histograma de dureza de chapas metálicas

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.

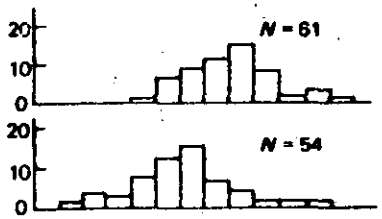


Figura 2.9 Histogramas de dureza del material para empresas A y B

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.

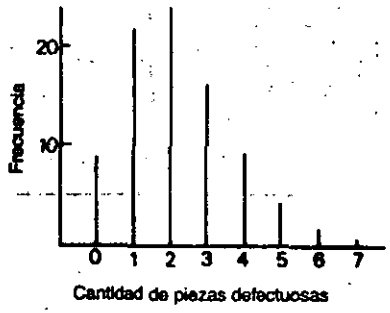


Figura 2.10 Distribución de la aparición de piezas defectuosas (gráfico de barras)

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).

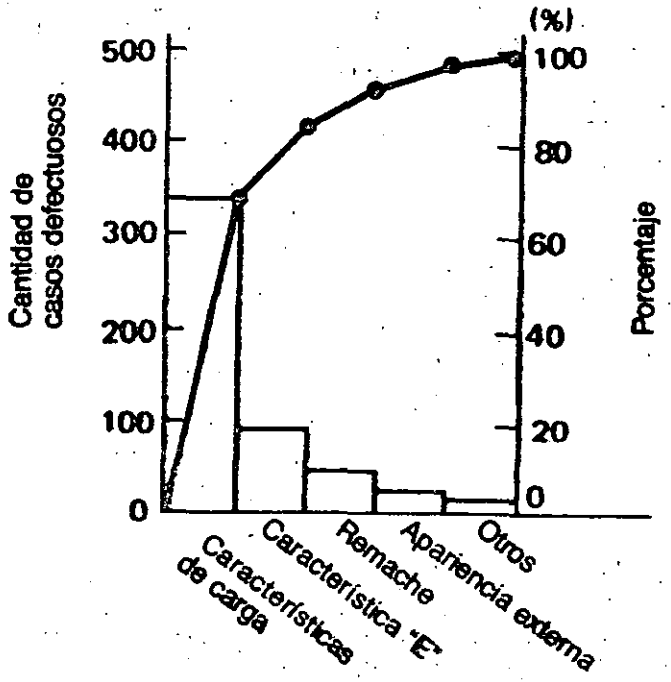


Figura 2.11 Diagrama de Pareto de defectos en microinterruptores

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.

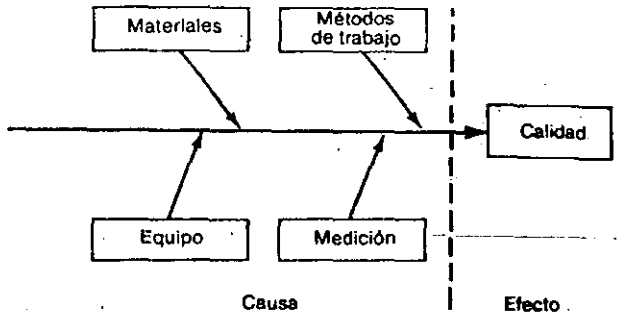


Figura 3.1 Diagrama de causa y efecto

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).

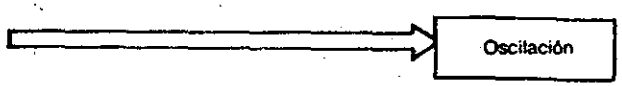


Figura 3.2

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

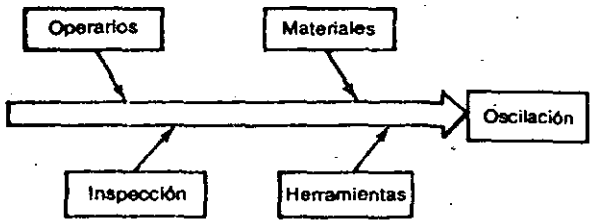


Figura 3.3

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.

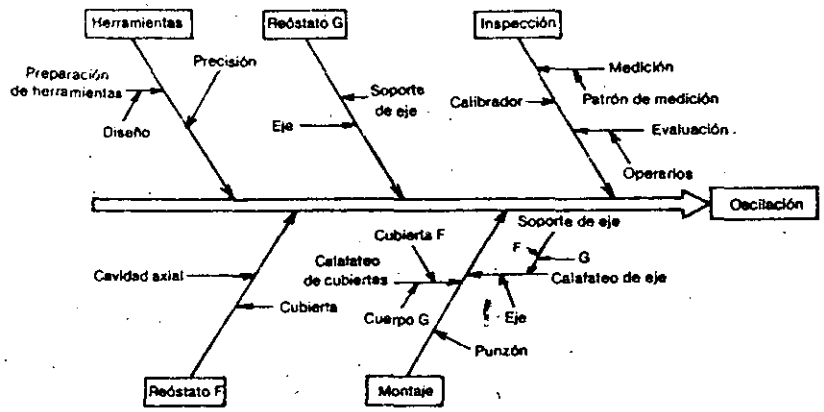


Figura 3.6 Diagrama de causa y efecto para oscilación (clasificación según el proceso)

(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

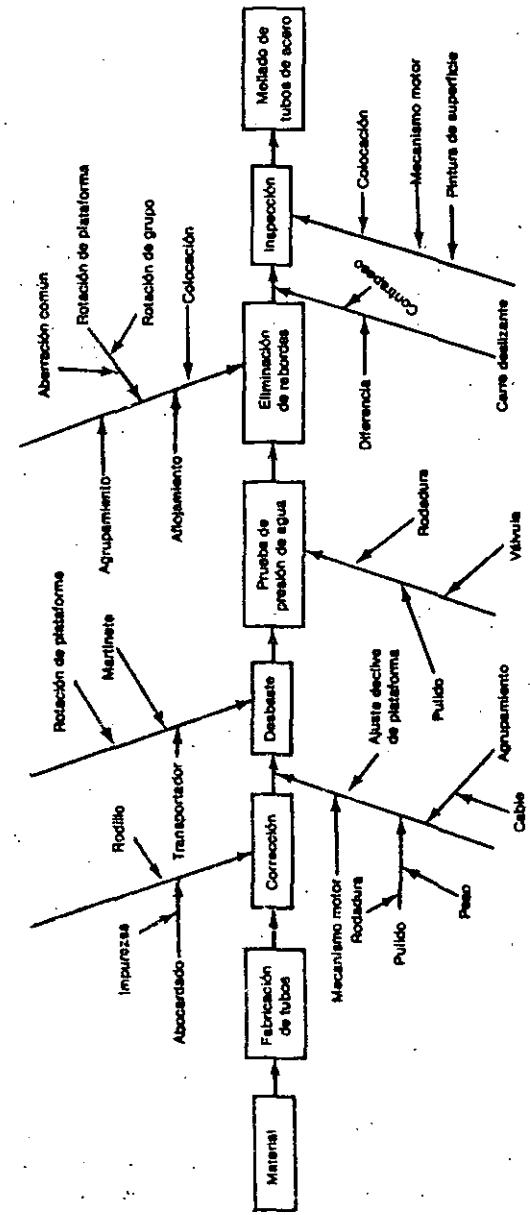


Figura 3.7 Diagrama de causa y efecto para mellado de tubos de acero (clasificación según el proceso)

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.

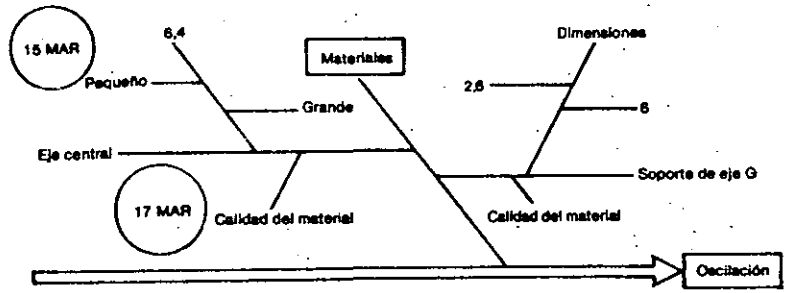


Figura 3.8

(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.

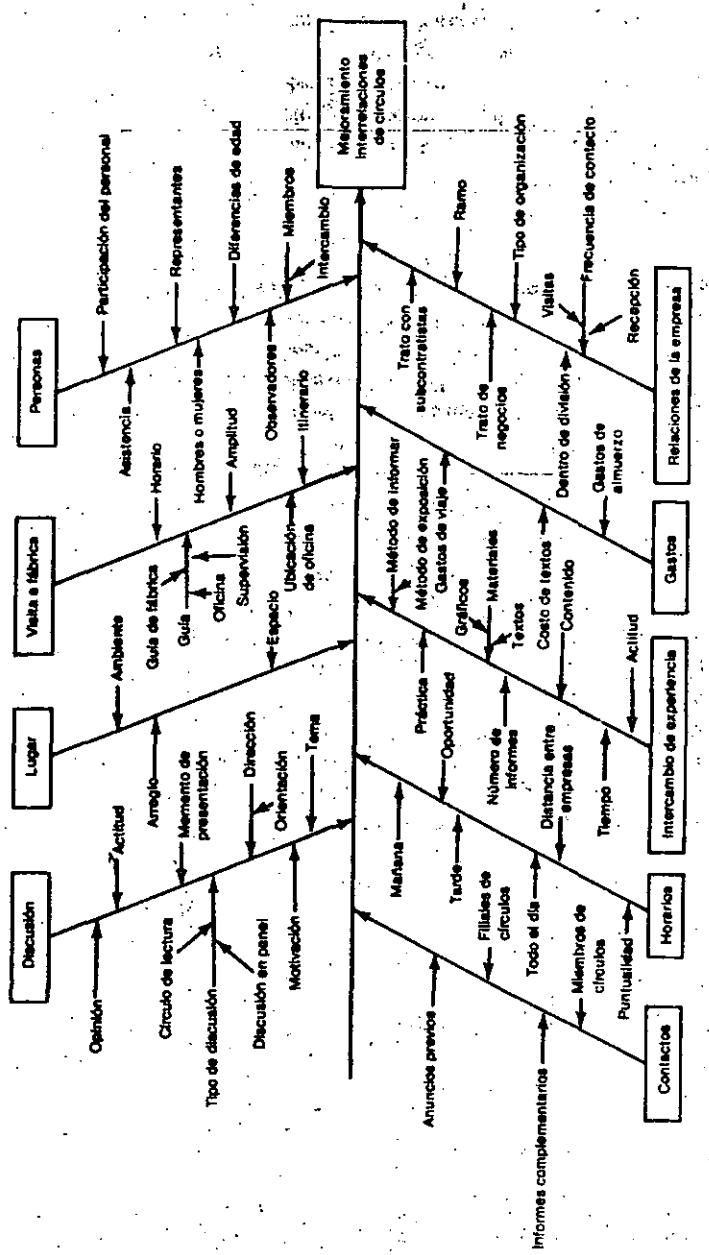


Figura 3.9

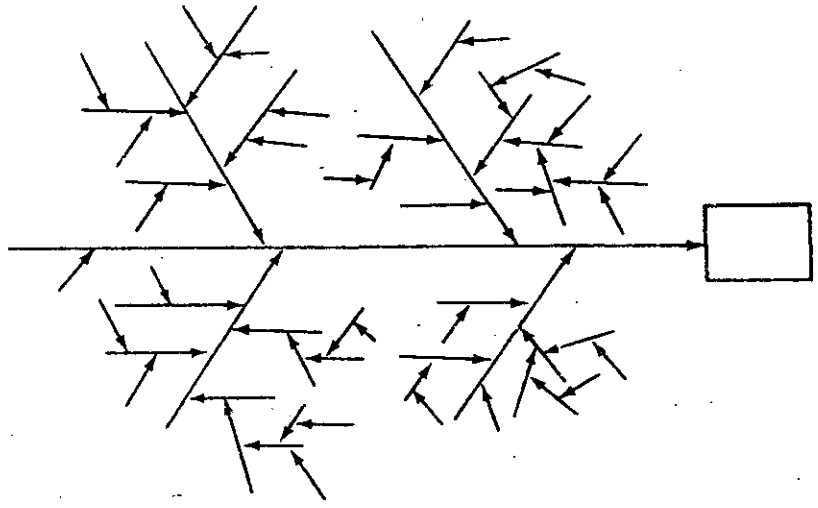


Figura 3.10

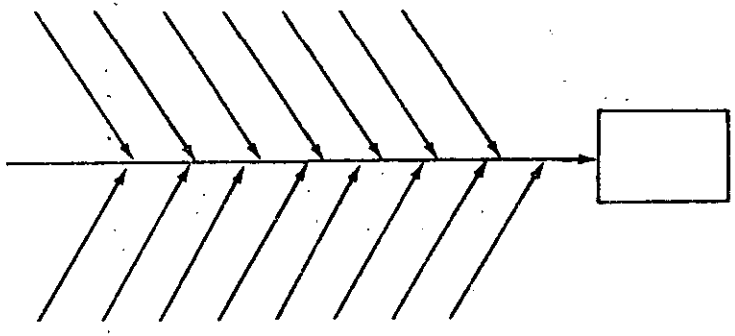


Figura 3.11

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

Planilla de inspección

Producto:

Etapa de fabricación: insp. final

Tipo de defecto: rayado, incompleto, deformado

No. total inspeccionado: 2530

Observaciones: se inspeccionaron todos los artículos

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

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

Figura 4.2 Planilla de inspección de productos defectuosos

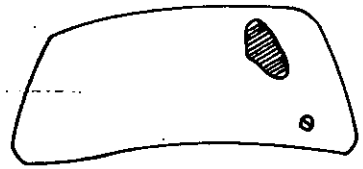
importante examinar varias planillas siguiendo el orden cronológico en que se han completado para determinar qué tendencia presenta la aparición de defectos. Si de pronto el defecto más importante comienza a aparecer con menor frecuencia, se sabrá que las medidas adoptadas han sido eficaces. Si disminuyen 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.

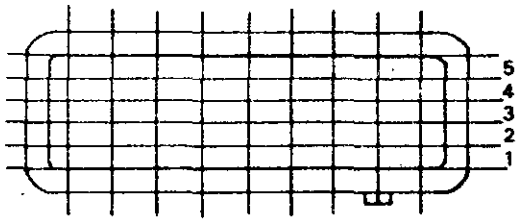
No. de defectos

Marque anormalidades con X

Tanque superior

Panel superior

Admisión de agua

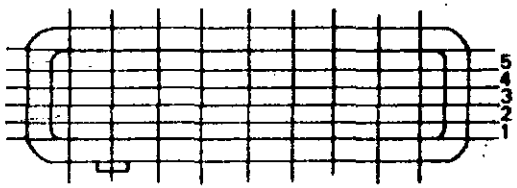


Tapa de salida

Tanque inferior

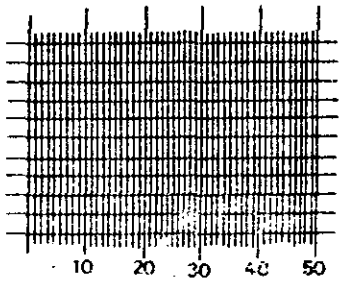
Panel inferior

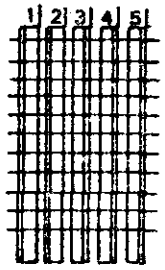
Tapa de admisión



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 4.5, 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 línea 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 líneas 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 líneas de pruebas de automóviles

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.

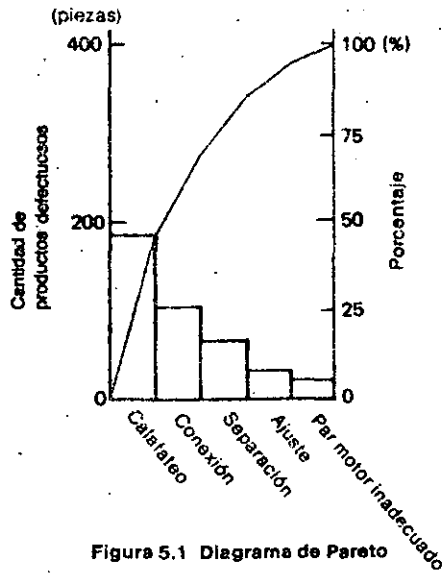


Figura 5.1 Diagrama de Pareto

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.

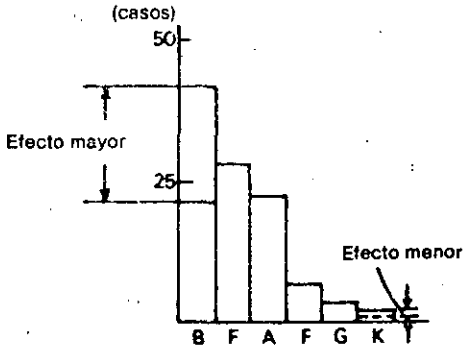


Figura 5.2 Esfuerzos por mejorar y sus efectos

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 ejecución 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.

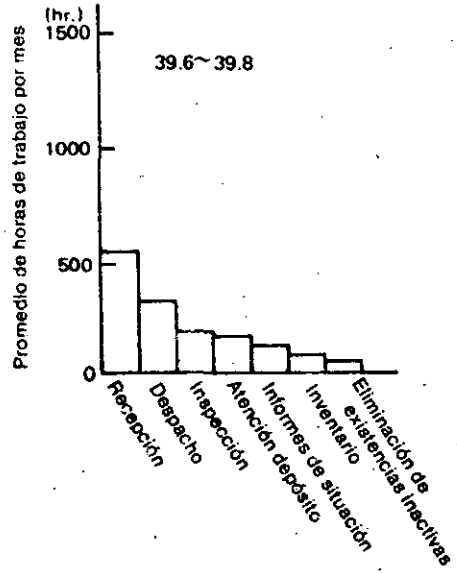


Figura 5.3 Diagrama de Pareto: horas acumuladas, según las tareas realizadas por los empleados de un depósito

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.

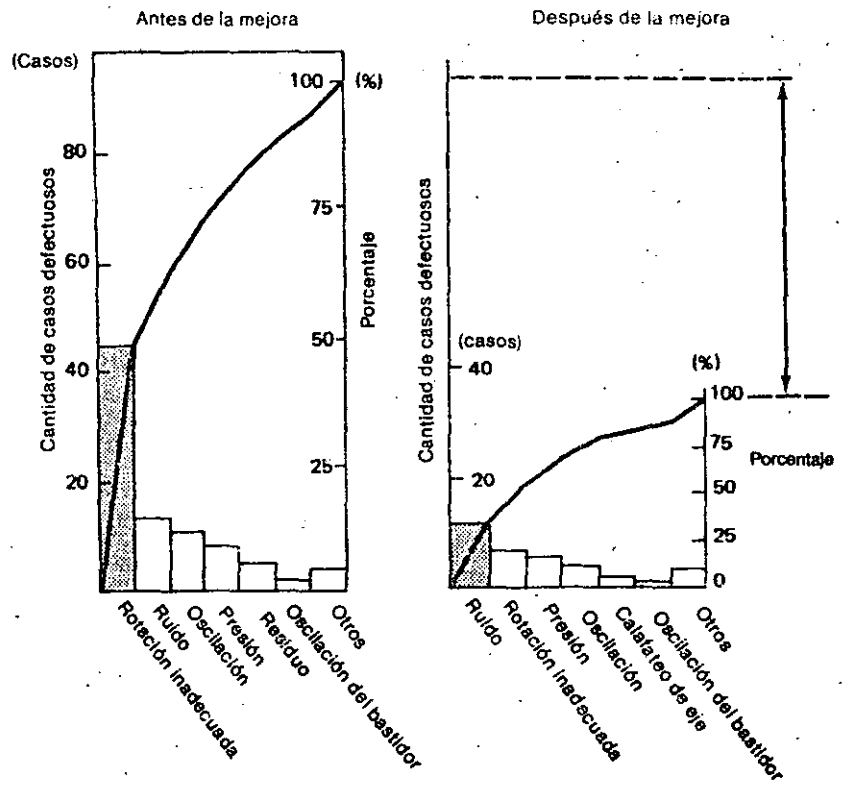


Figura 5.7 Diagrama de Pareto: defectos en el proceso

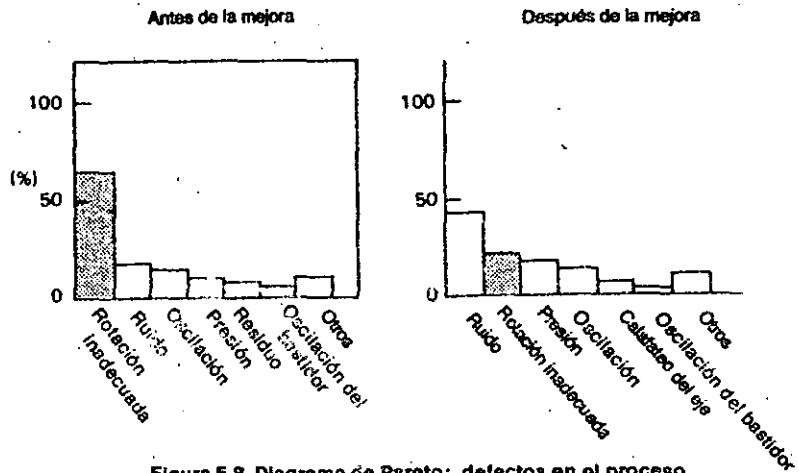


Figura 5.8 Diagrama de Pareto: defectos en el proceso (mal ejemplo)

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.

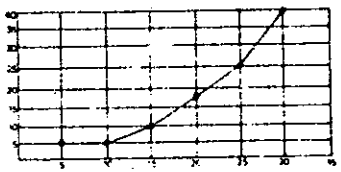


Figura 6.1
Aumento de la temperatura del agua

Gráfico de capataz de fábrica

1 Gráfico de líneas quebradas (gráfico de transición)

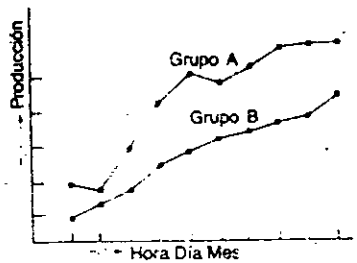
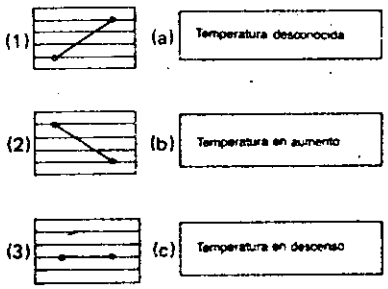


Figura 6.2 Cantidad producida por cada grupo

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.

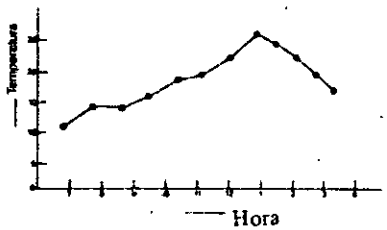


Figura 6.5

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?

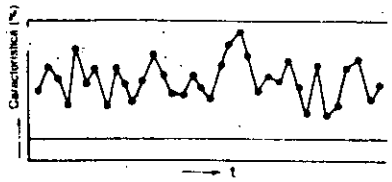


Figura 6.3 Eficiencia de la producción

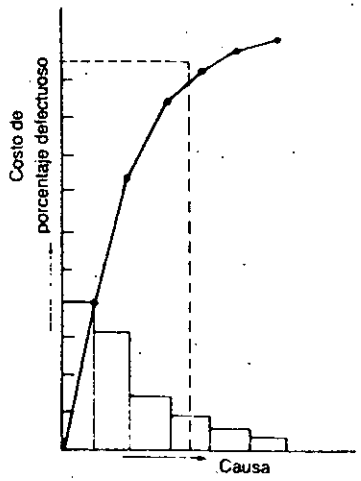


Figura 6.6

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?

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?

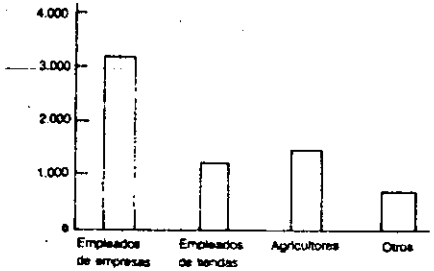


Figura 6.7

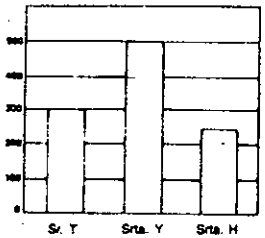


Figura 6.8

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.

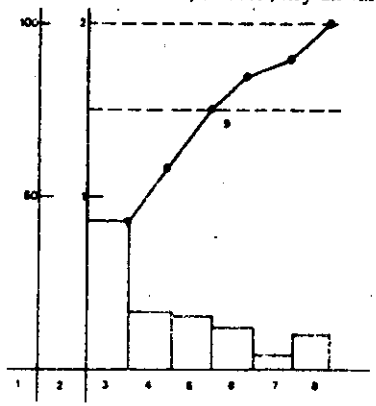


Figura 6.9 Diagrama de Pareto

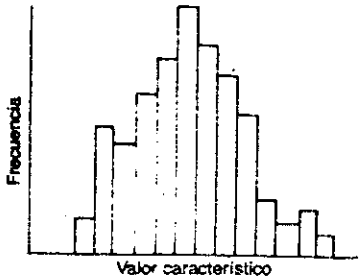


Figura 6.10 Histograma

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

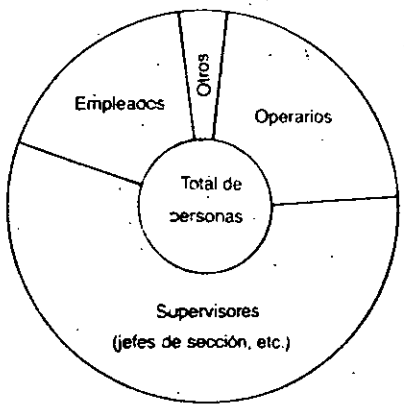


Figura 6.12 Participantes en el Círculo de CC

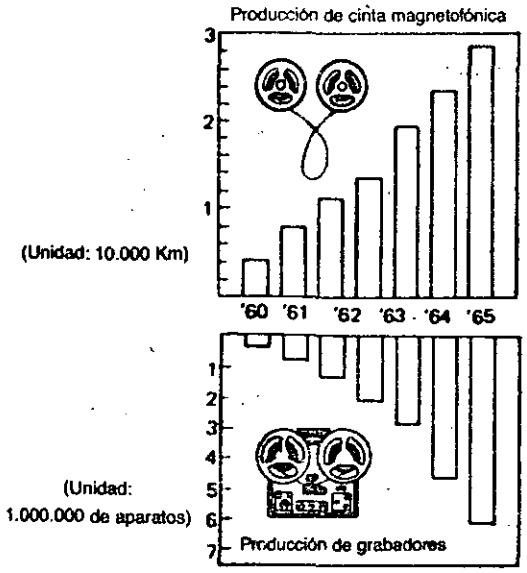


Figura 6.14

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.

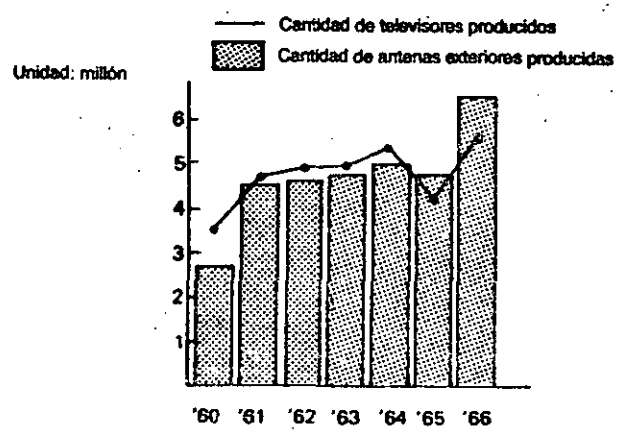


Figura 6.15 Producción de televisores y antenas exteriores

(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).

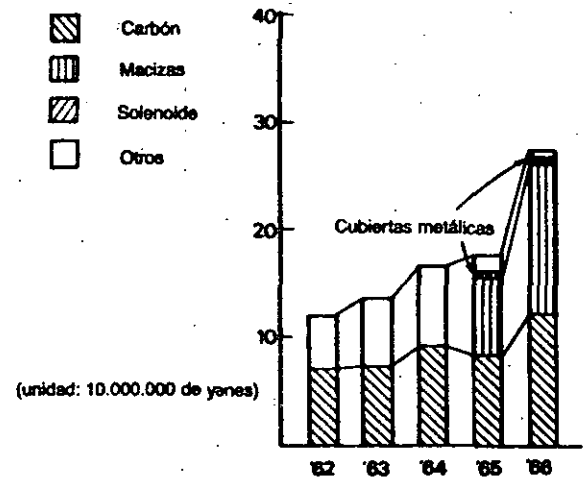


Figura 6.16 Cambios en la producción de resistencias fijas

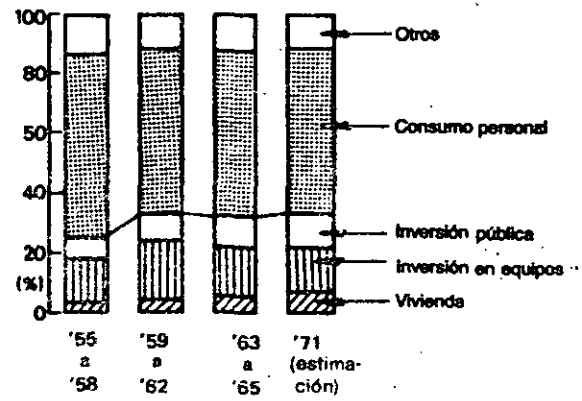


Figura 6.17 Cambios estructurales en el producto nacional bruto

(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.

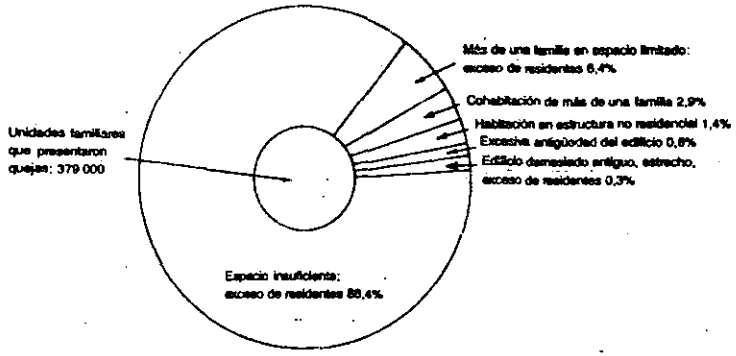


Figura 6.18 Causas de quejas en materia de vivienda (Osaka)

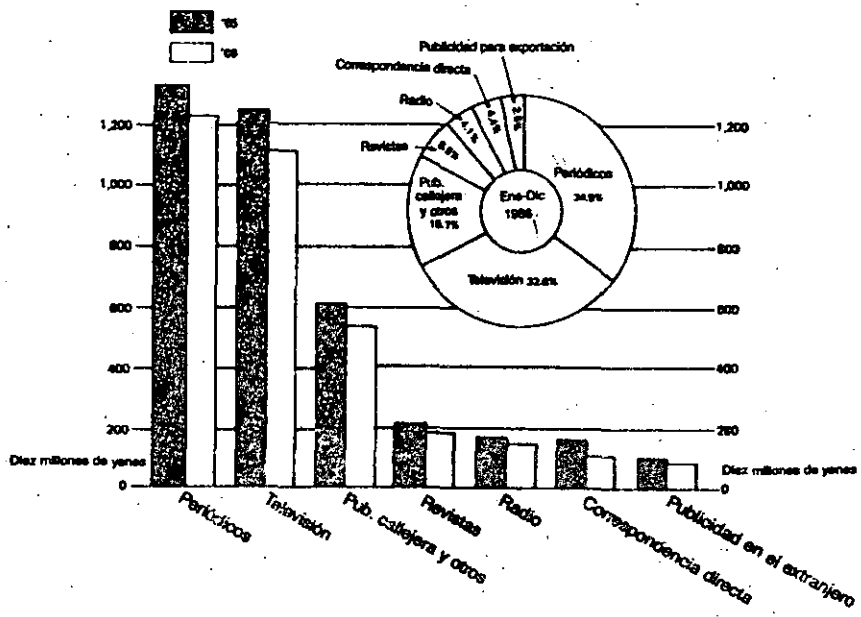


Figura 6.19 Composición de los gastos de publicidad en los diferentes medios informativos

(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.

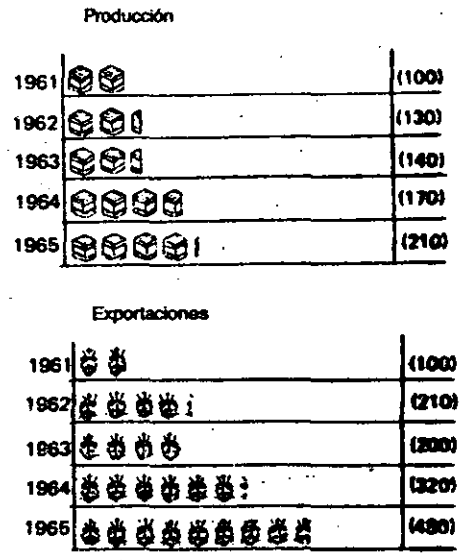


Figura 6.20

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 graficos 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).

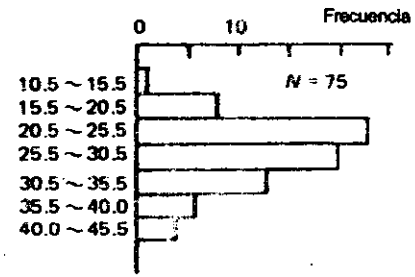


Figura 7.1

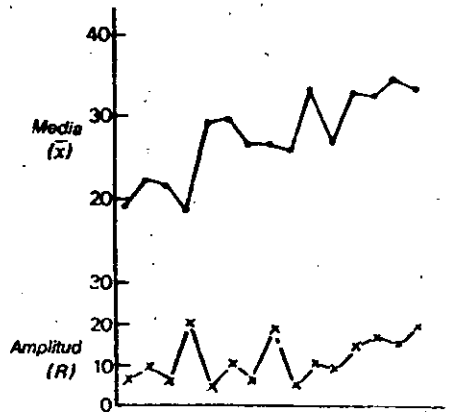


Figura 7.2

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.

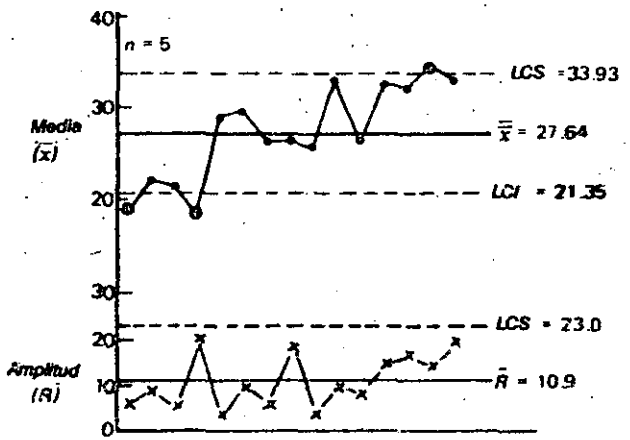


Figura 7.3

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.

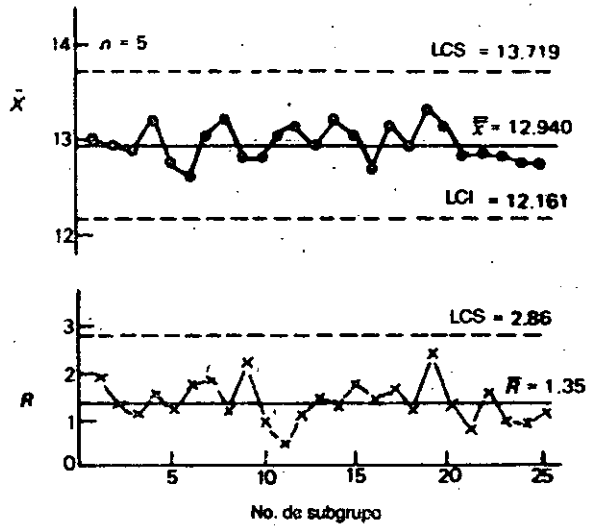


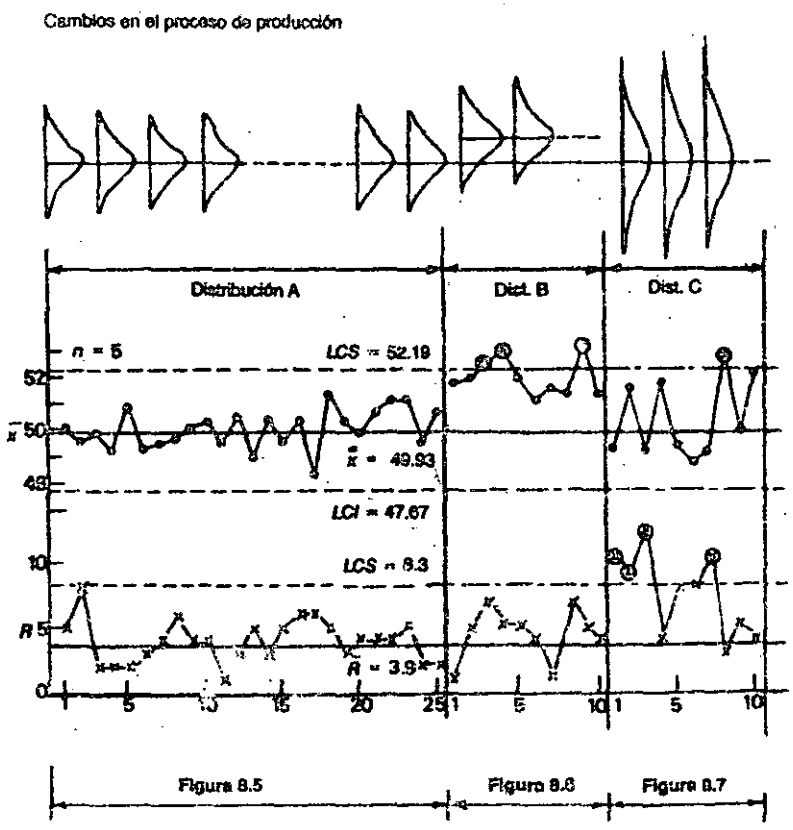
Figura 7.4

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.

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.

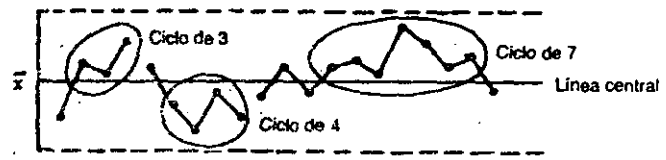


Figura 8.8 Ciclos

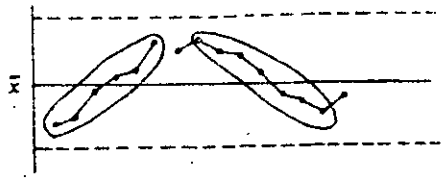


Figura 8.9 Tendencia

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.

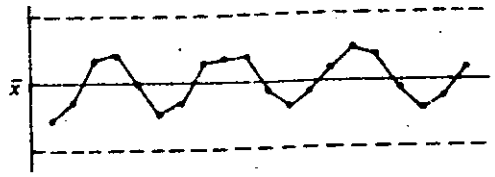


Figura 8.10 Periodicidad

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).

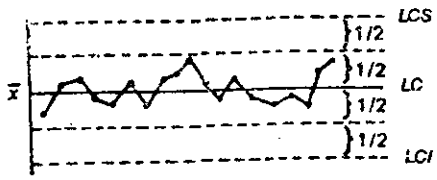


Figura 8.11 Adherencia a la línea de control

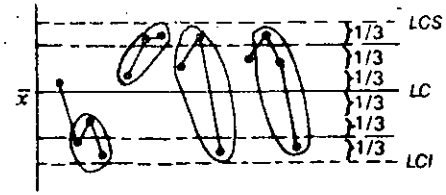


Figura 8.12 Adherencia a las líneas de límites de control

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.

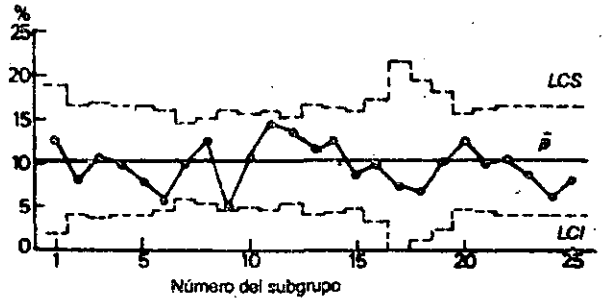


Figura 8.13 Gráfico de control *p*

(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)

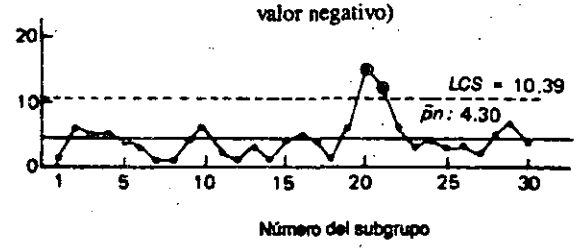


Figura 8.14 Gráfico de control *pn*

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

Sub-grupo No.	Tamaño del sub-grupo 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 $= \bar{u} = 2{,}95$

$$\text{Límite de control superior: LCS} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$$

$$= 2.95 + \frac{5.15}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Límite de control inferior: LCI} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$$

$$= 2.95 - \frac{5.15}{\sqrt{n}}$$

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.

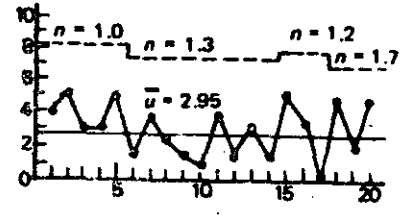


Figura 8.15 Gráfico de control u

(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 $\bar{c}$.)

Línea central: LC $= \bar{c} = 82/20 = 4.1$

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

$= 4.1 + 3\sqrt{4.1}$

$= 10.17$

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

$= 4.1 - 6.07$

$= -1.97$ (no se toma en cuenta un valor negativo)

Un gráfico de control basado en los datos de la tabla 8.5 aparece en la figura 8.16.

Tabla 8.5 Defectos por metro cuadrado de tela

Número de la muestra	Cantidad de defectos	Número de la muestra	Cantidad de defectos
1	7	11	6
2	5	12	3
3	3	13	2
4	4	14	7
5	3	15	2
6	8	16	4
7	2	17	7
8	3	18	4
9	4	19	2
10	3	20	3
		Total	82

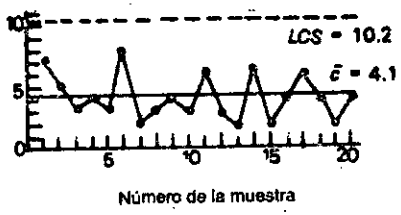


Figura 8.16 Gráfico de control c

8.5 Cómo utilizar los gráficos de control

Se deben seguir los siguientes pasos básicos para utilizar los gráficos de control del proceso de producción.

1 Seleccione los rubros que deben controlarse. Primero decida qué problemas han de encararse y con qué fin. A base de tal decisión, debe quedar en claro qué datos se requerirán.

2 Decida qué gráfico de control ha de utilizar. Determine cuál resulta apropiado: $\bar{x}$-R, p, pn, u o c.

3 Construya un gráfico de control para el análisis del proceso. Para ello, reúna datos correspondientes a cierto período de tiempo o recurra a datos anteriores. Si aparecen puntos anormales, investigue la causa y adopte las medidas pertinentes. La causa de un cambio en la calidad se estudia reordenando los subgrupos, la estratificación de los datos, etc.

4 Construya un gráfico de control para el control del proceso. Suponiendo que se han tomado medidas para tratar la causa del cambio en la calidad y que el proceso de producción está bajo control, determine ahora si el producto satisface las normas correspondientes a esa situación. Sobre la base de estas conclusiones, estandardice los métodos de trabajo (o modifíquelos, de ser necesario). Prolongue consignando los datos diarios. Prolongue las líneas de control del gráfico a partir de la situación de estabilidad y siga consignando los datos diarios.

5 Controle el proceso de producción. Si se mantienen los métodos de trabajo estandardizados, el gráfico de control debe reflejar la situación bajo control en que se encuentra el proceso. Si aparece alguna anomalía en el gráfico, investigue la causa de inmediato y adopte las medidas apropiadas.

6 Vuelva a calcular las líneas de control. Esto es necesario cuando cambian el equipo o los métodos de trabajo. Si el proceso de producción es objeto de un control sin tropiezos, el nivel de calidad que muestra el gráfico de control debe seguir aumentando. En este caso, efectúe revisiones periódicas de las líneas de control. Al volver a calcular las líneas de control, es preciso respetar las siguientes reglas:

i. Los datos correspondientes a puntos que denotan una anomalía y cuya causa se ha encontrado y corregido no deben incluirse en el nuevo cálculo.

ii. Se deben incluir los datos sobre puntos anormales cuya causa no se ha podido hallar o respecto de los cuales no se han adoptado medidas.

Los gráficos de control son fáciles de construir y por eso su empleo está muy difundido. Pero es sorprendente la escasa cantidad de gráficos realmente útiles. Espero que después de haber estudiado esta sección, el lector se encuentre en condiciones de construir gráficos de control realmente eficaces.

CAPITULO 9

Diagramas de dispersión

9.1 Relación entre causa y efecto

Los gráficos de control están pasando a formar parte del proceso de producción en las fábricas. En cierta oportunidad en que visitaba una planta industrial, vi un diagrama de causa y efecto fijado en la pared junto al gráfico de control correspondiente a cierto proceso de producción. Interrogué al capataz acerca de ese diagrama y me respondió, orgulloso: "Yo sólo pude indicar diez causas descubiertas por mi cuenta, mientras que una investigación hecha por los integrantes del círculo de CC permitió determinar nada menos que 40 rubros". Le pregunté si había estudiado la relación entre causa y efecto, a lo que respondió: "Hemos hecho conjuntamente un estudio aproximado, y creo que tiene bases firmes, pero no llegué hasta el punto de ...". Esto significa que a lo sumo contará con una lista de "causas comprendidas" o una enumeración de "muchas causas", pero los esfuerzos hechos por los integrantes del círculo de CC por poner de manifiesto las causas no se han aprovechado en forma suficiente. También se debe estudiar la relación entre causa y efecto, manteniendo presentes las causas reales o pertinentes y descartando las irrelevantes o aisladas. Si aparece una nueva causa, añádala a la lista. Sólo merced a este proceso tendrá verdadero valor el diagrama de causa y efecto (ver figura 9.1). Claro está que el capataz de que hablamos sabía perfectamente que la mera enumeración de las causas carecía de todo significado a menos que se le diera el uso adecuado, pero ignoraba cómo estudiar la relación entre pares de datos. En todo lo que hemos estudiado hasta ahora, nos limitamos a manejar un tipo de datos a la vez. Explicaremos a continuación los diagramas de dispersión, con los que se examina la relación entre pares de datos. Con ello se evitará el problema mencionado.

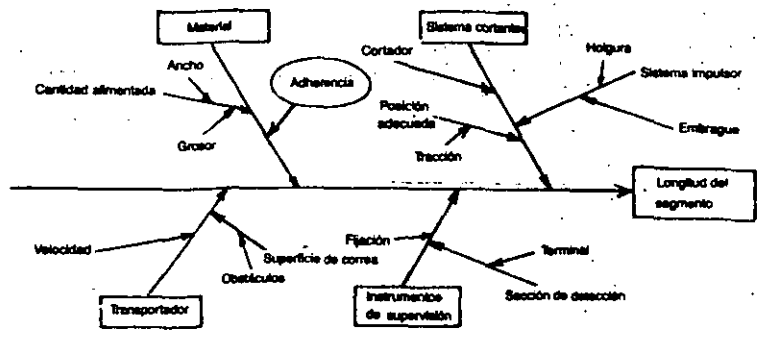


Figura 9.1 (A) Diagrama de causa y efecto que incluye todas las causas posibles.

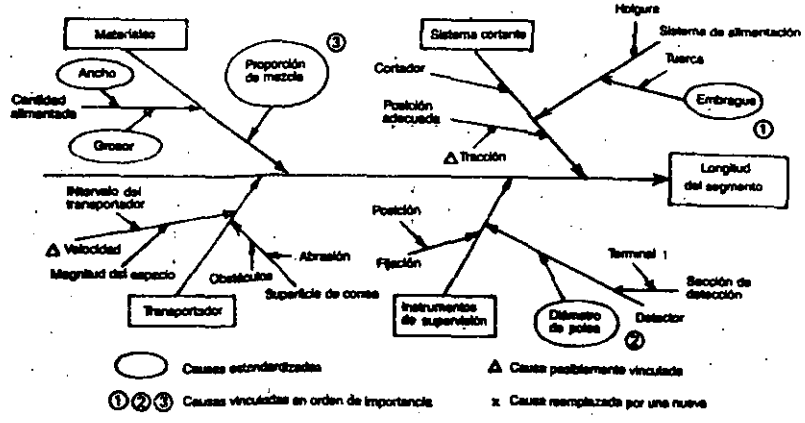


Figura 9.1 (B) Diagrama de causa y efecto después de un nuevo estudio

9.2 ¿Qué es un diagrama de dispersión?

En general, cuando hablamos de la relación entre dos tipos de datos nos referimos en realidad, o bien, (1) a una relación de causa y efecto, (2) a una relación entre una causa y otra, o (3) a una relación entre una causa y dos causas. Por ejemplo, la relación entre el contenido de humedad de los hilos y su estiramiento, la relación entre un componente y la dureza de un producto, la relación entre la velocidad de corte y las variaciones de longitud de las piezas, la relación entre grados de iluminación y errores de inspección, etc. En la tabla 9.1 aparecen datos sobre contenido de humedad de hilos y su estiramiento. Si representamos el estiramiento en el eje vertical y el contenido de humedad en el horizontal, y luego incorporamos los datos, obtendremos un diagrama como el de la figura 9.2. De este gráfico surge que cuanto más elevado sea el contenido de humedad, mayor es el estiramiento.

Este tipo de gráfico se denomina diagrama de dispersión. En este caso, hubo que recolectar los valores de contenido de humedad y estiramiento para 50 hilos; para la muestra No. 1, el par de datos resulta 1.5% de contenido de humedad y 8.5% de estiramiento. El grupo de datos recogidos de la misma muestra forma una unidad (como en este ejemplo) que se denomina "datos correspondientes". Así, mediante un diagrama de dispersión, se reúnen varios grupos de datos correspondientes, se ordenan los dos tipos de datos y luego se los representa en un gráfico corriente.

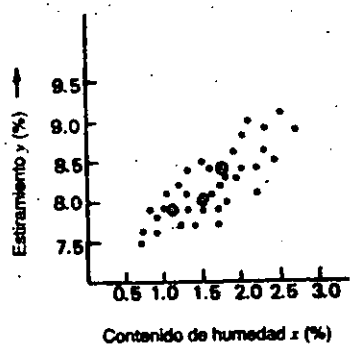


Figura 9.2 Diagrama de dispersión

Tabla 9.1 Planilla de registro de datos

Número de la muestra	Contenido de humedad x (%)	Estiramiento y (%)	Número de la muestra	Contenido humedad x (%)	Estiramiento y (%)
1	1.5	8.5	20	1.9	8.6
2	1.3	8.1	21	1.6	8.1
3	1.9	8.3	22	1.7	8.2

Nota: Se omite la posición inferior

9.3 Cómo construir un diagrama de dispersión

El procedimiento es el siguiente:

Paso 1. Reúna entre 50 y 100 muestras de pares de datos cuya relación desea investigar y consígnelos en una planilla de registro de datos (ver tabla 9.2).

Tabla 9.2 Planilla de registro de datos

Número	Velocidad del transportador (cm/seg)	Longitud del segmento (mm)	Número	Velocidad del transportador (cm/seg)	Longitud del segmento (mm)
1	8.1	1046	26	8.0	1040
2	7.7	1030	27	5.5	1013
3	7.4	1039	28	6.9	1025
4	5.8	1027	29	7.0	1020
5	7.6	1028	30	7.5	1022
6	6.8	1025	31	6.7	1020
7	7.9	1035	32	8.1	1035
8	6.3	1015	33	9.0	1052
9	7.0	1038	34	7.1	1021
10	8.0	1036	35	7.6	1024
11	8.0	1026	36	8.5	1029
12	8.0	1041	37	7.5	1015
13	7.2	1029	38	8.0	1030
14	6.0	1010	39	5.2	1010
15	6.3	1020	40	6.5	1025
16	6.7	1024	41	8.0	1031
17	8.2	1034	42	6.9	1030
18	8.1	1036	43	7.6	1034
19	6.6	1023	44	6.5	1034
20	6.5	1011	45	5.5	1020
21	8.5	1030	46	6.0	1025
22	7.4	1014	47	5.5	1023
23	7.2	1030	48	7.6	1028
24	5.6	1016	49	8.6	1020
25	6.3	1020	50	6.3	1026

Nota: Esta planilla muestra los resultados de investigar la velocidad del transportador (causa) y la longitud del segmento (efecto), como se indica en la figura 9.1.

Paso 2. Trace los ejes horizontal y vertical del gráfico. Indique las cifras más altas en la parte superior del eje vertical y hacia la derecha del eje horizontal. La lectura del diagrama se verá facilitada si ambos ejes tienen aproximadamente la misma longitud. Si la relación entre los dos tipos de datos es de causa y efecto, habitualmente se representan los valores que corresponden a la causa en el eje horizontal y los que corresponden al efecto en el vertical.

Paso 3. Marque los datos en un gráfico (ver figura 9.3). Si los valores de los datos se repiten y caen sobre un mismo punto, trace círculos concéntricos, que pueden llegar a dos o tres si es necesario. Si tiene una gran cantidad de datos o si éstos incluyen muchos del mismo valor, resulta engorroso indicar cada uno en el gráfico; en ese caso, recurra a la técnica para construir histogramas (capítulo 2) y confeccione una tabla de frecuencias con una escala vertical y otra horizontal. Este es otro tipo de diagrama de dispersión que se denomina tabla de correlación (ver tabla 9.3).

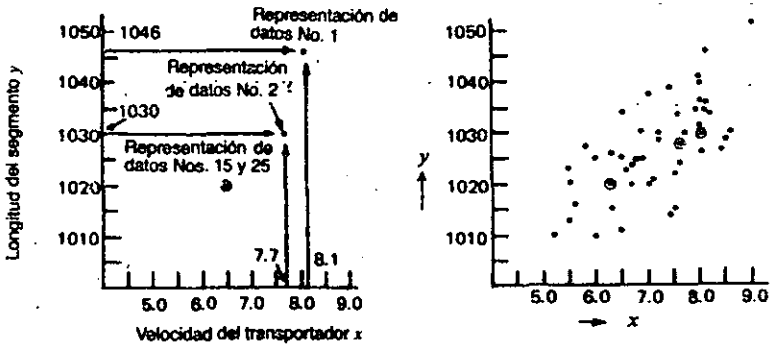


Figura 9.3 Representación de los datos en un diagrama de dispersión

Tabla 9.3 Tabla de correlación

Longitud del segmento y	1	4	3	10	8	9	12	2	1	50
1050									/	1
1045							/			1
1040					/	/	//			4
1035				/		/	~~////~~			7
1030					///	///	///	//		11
1025		/	//	////	//	/	/			11
1020		/		///	//	/				7
1015		//		/		//				5
1010	/		/	/						3
1005										
	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	

Velocidad del transportador x

9.4 Interpretación de los diagramas de dispersión

Como se observa en la figura 9.3 y la tabla 9.3, a medida que aumenta la velocidad del transportador, mayor es la longitud de la pieza cortada. La dispersión en la longitud del segmento para idénticas velocidades del transportador responde a otras causas. Una interpretación correcta de los diagramas de dispersión debe dar lugar a la adopción de las medidas adecuadas. Para adquirir esta capacidad de interpretarlos correctamente, en la figura 9.4 presentamos ejemplos de los diagramas de dispersión más comunes. A continuación se incluyen algunas explicaciones.

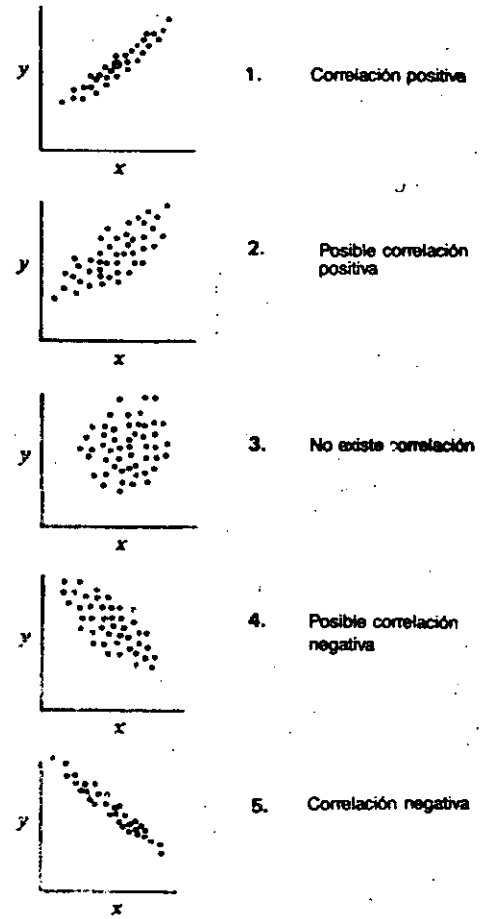


Figura 9.4 Diversos casos típicos de diagramas de dispersión

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).

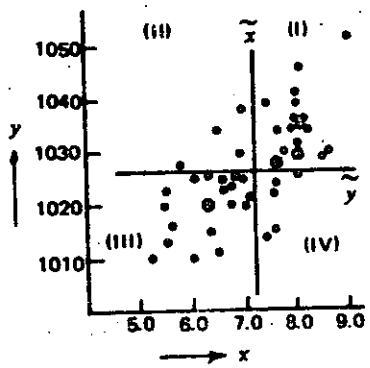


Figura 9.5 Trazado de las medianas

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.

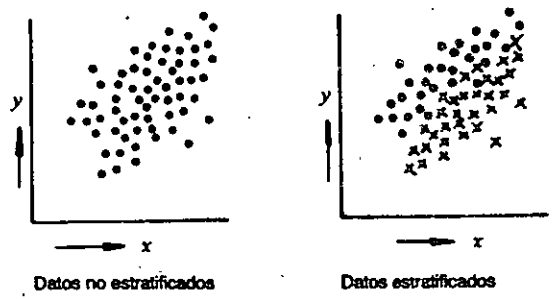


Figura 9.6 Estratificación en un diagrama de dispersión

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.

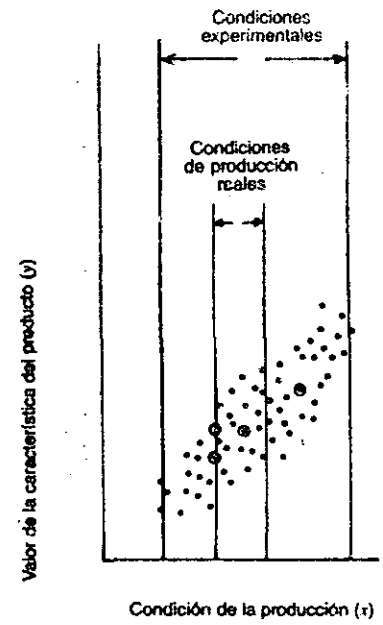


Figura 9.7 Límites del ámbito de la correlación

(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 $(n - r, r)$, $(n - r, r + l)$ y $l\,(n - r + l, r)$. 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).

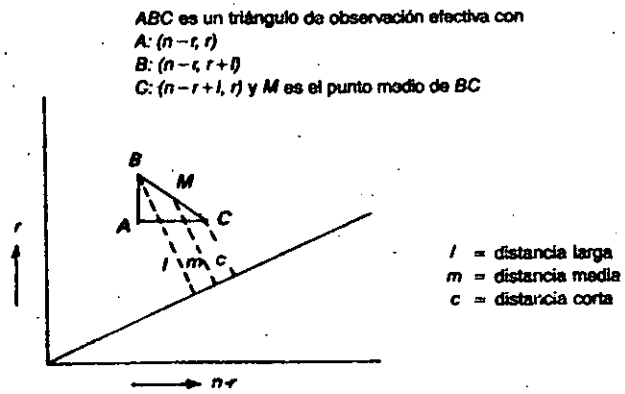


Figura 10.1 Explicación de las distancias

(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).

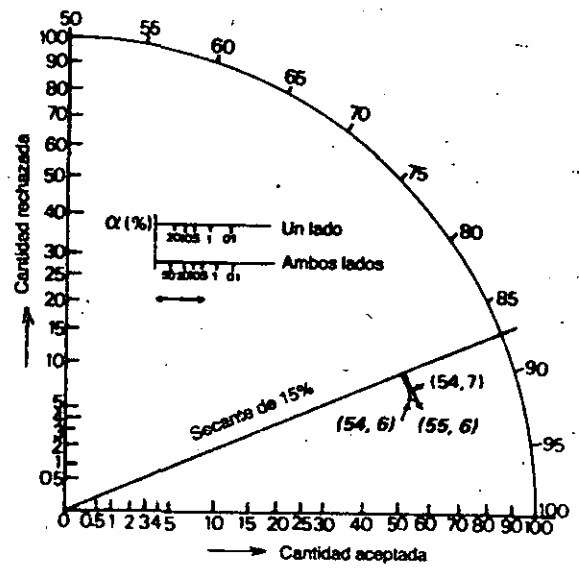


Figura 10.2

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 y R figuran 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.

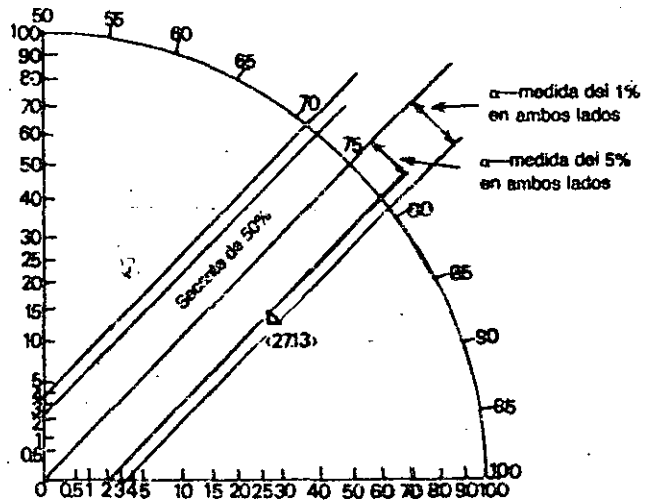


Figura 10.3

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).

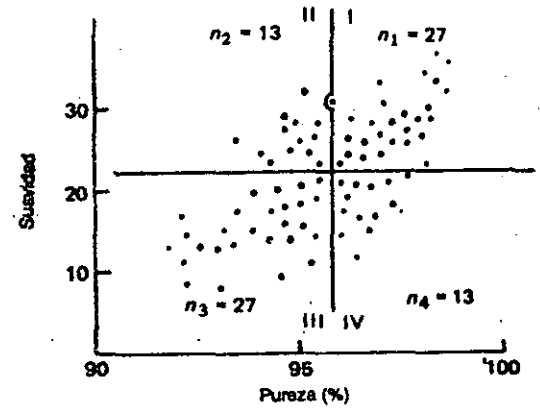


Figura 10.4

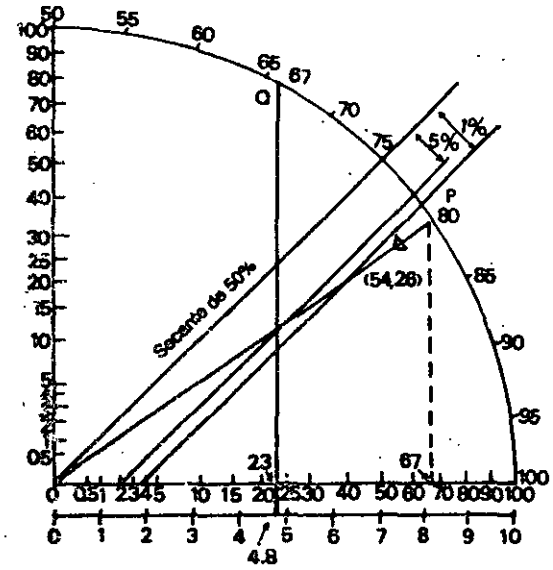


Figura 10.5

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).

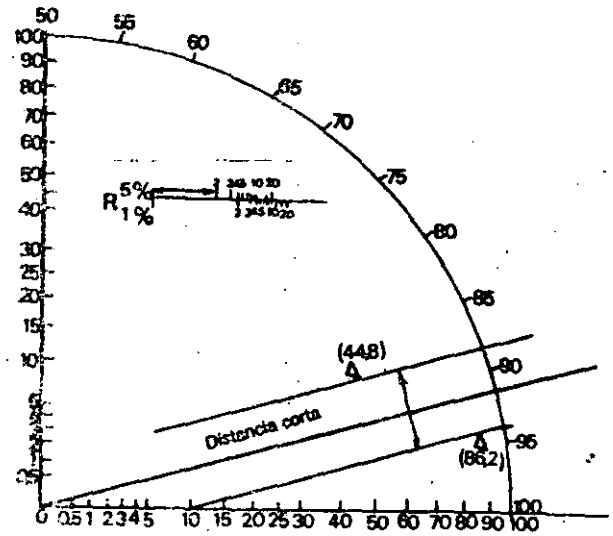


Figura 10.6

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?

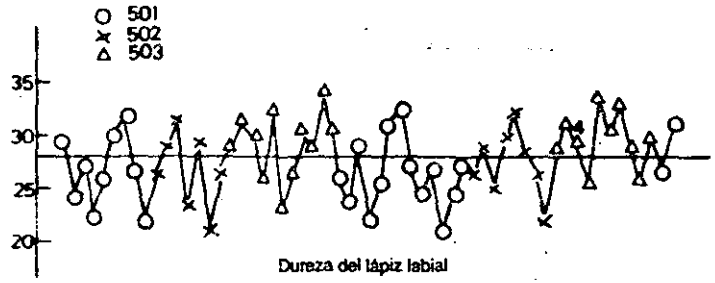


Figura 10.7

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.

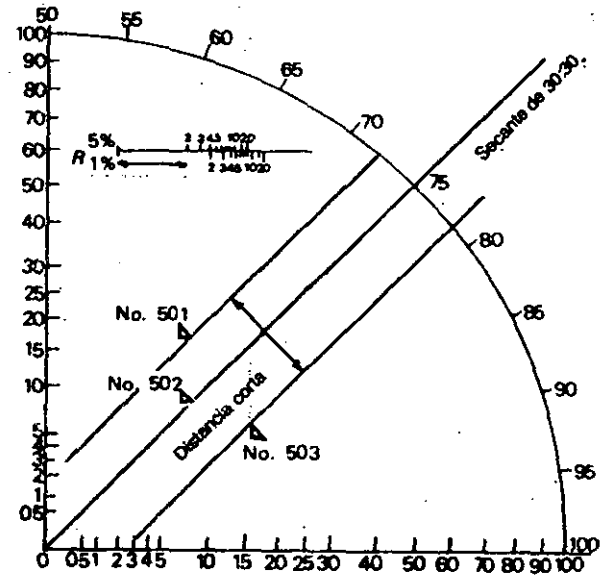


Figura 10.8

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

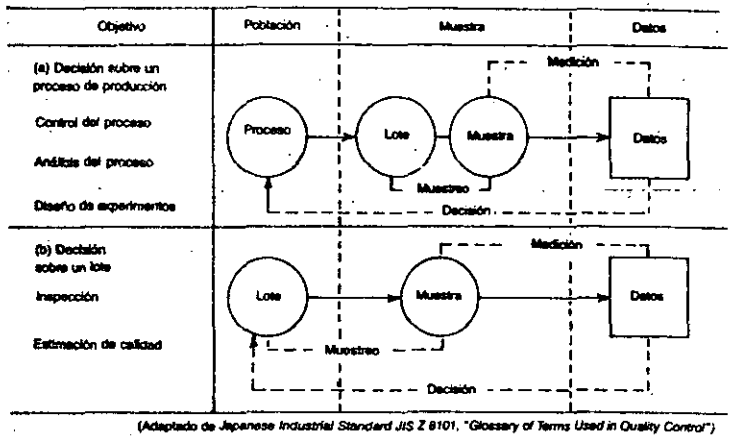
Muestreo

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 caso en 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 referirnos al 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~~, ~~94~~, ~~85~~, 04,
05, ~~72~~, 01, 32, ~~90~~, ~~70~~, 14, ~~53~~, ~~80~~,
~~74~~, ~~90~~, 41,

En otros términos, 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 Nippon 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.

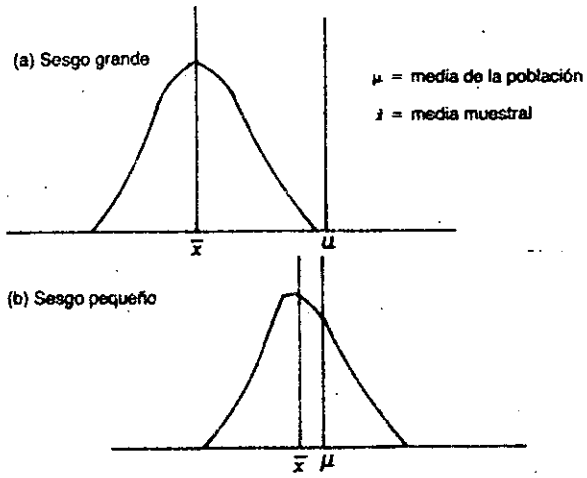


Figura 11.2 Sesgo

(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.

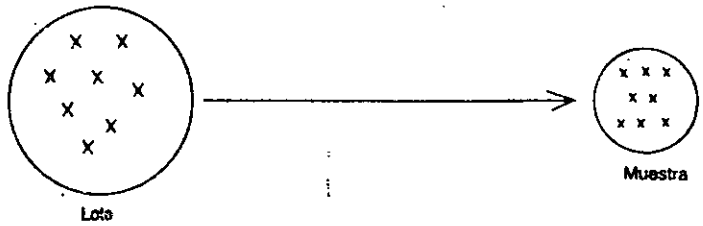


Figura 11.3 Muestreo aleatorio

(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).

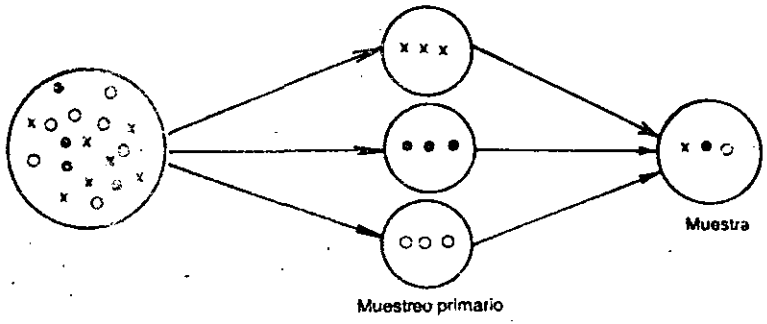


Figura 11.4 Muestreo en dos etapas

(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).

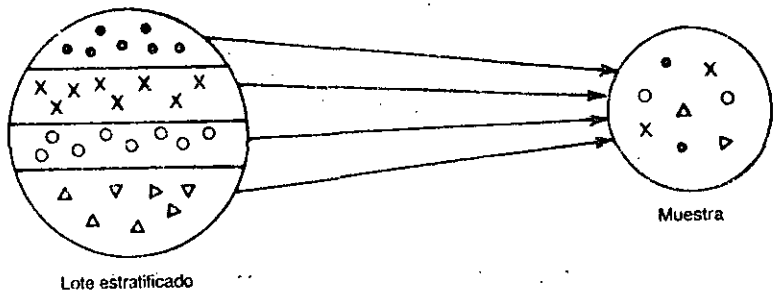


Figura 11.5 Muestreo estratificado

(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.

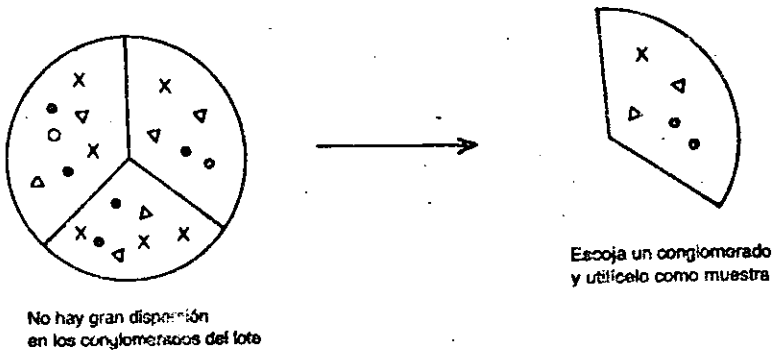


Figura 11.6 Muestreo por conglomerados

(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 [illegible] vez, nadie está exento de omitir ocasionalmente algunos rubros. La inspección racional exige tener conocimiento [illegible] 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%.

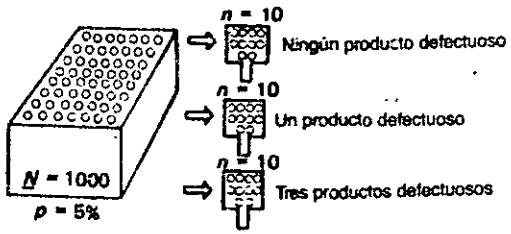


Figura 12.1

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

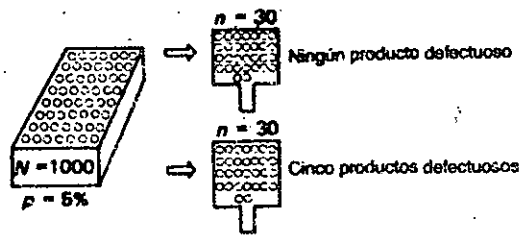


Figura 12.2

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

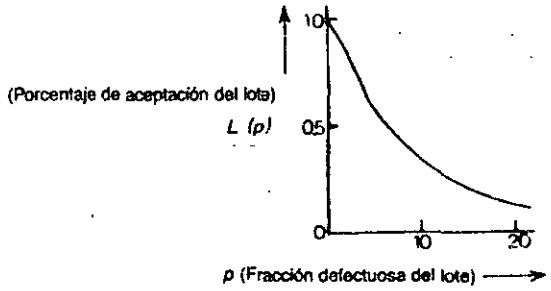


Figura 12.3 Curva CC

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).

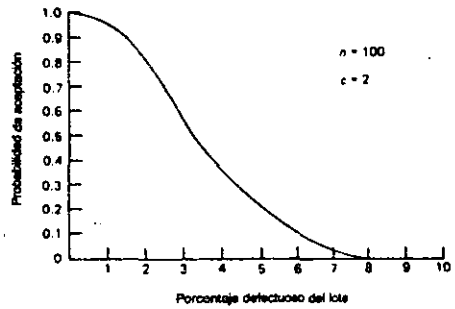


Figura 12.4

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)

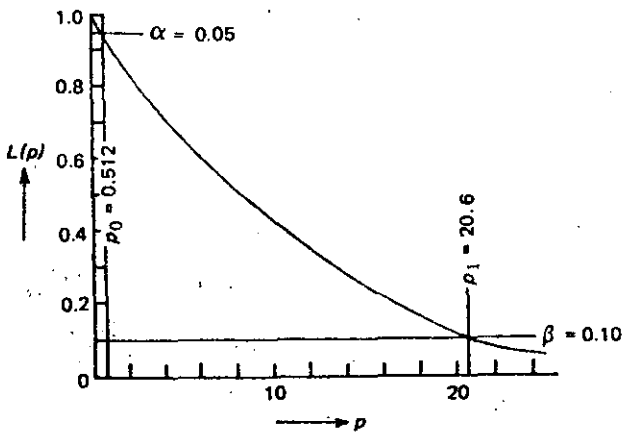


Figura 12.5

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
11.3–14.1													•	•	•	•	60 10
14.1–18.1														•	•	•	•
18.1–22.5															•	•	•
22.5–28.1																•	•
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.

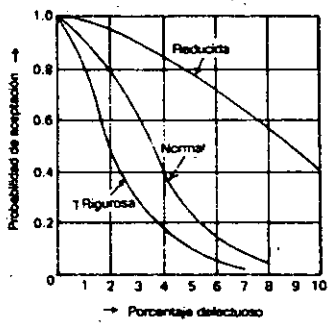


Figura 12.6

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
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	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
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	↑															

↓ = 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 Observac s 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 pr. áticos 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 fabricaci. , etc.

Cuando las inspecciones por muestreo resultan erróneas o arrojan resultados insatisfactorios, la causa a menudo radica en los factores b) o d).

* Estas tablas no se proporcionan.

Naturalmente, existe la posibilidad de que haya productos defectuosos otes aceptado: Qué hacer en tal situación ha sido objeto de prolongados debates. Si en la muestra aparece productos defectuosos es menester descartarlos. Pero ocurre en la práctica que se restituyen a lote aceptado productos aparecidos en la muestra que se sabe que son defectuosos. Nunca ha que proceder así. También hay que descartar, en cuanto aparezca, cualquier producto defec tuoso 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 utilizar

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	2	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

Para llevar a cabo la investigación, utilice las siguientes reglas:

i. Construya histogramas para A y B y para ambas combinadas.
ii. Sobre la base de los tres histogramas, verifique la distribución e investigue su relación con los límites.
iii. Calcule las medias y la desviación típica, y efectúe la investigación.

a) Construcción de los histogramas

En esta explicación emplearemos los valores correspondientes a la línea A para ilustrar la construcción de los histogramas.

Paso 1. Cuente la cantidad total de datos (N). $N_A = 60$.

Paso 2. En la tabla de datos, determine el valor mayor X_L y el menor X_S. Para la línea A, son $X_L = 7$ y $X_S = -2$.

Paso 3. Determine la amplitud de los datos (R).

$$\begin{aligned} R &= X_L - X_S \\ &= 7 - (-2) \\ &= 9 \end{aligned}$$

Paso 4. Decida el ancho de la clase. El total de datos es 60; la unidad de medida es 1; la amplitud es 9. Si el ancho h de la clase es 1, puede haber 9 clases.

Paso 5. Marque la cantidad de datos que pertenecen a cada clase (/, //, ///, etc.). Construya una tabla de distribución de frecuencias para B, y otra para A y B combinadas. Ello aparece en la tabla 13.1.

Tabla 13.1 Tabla de distribución de frecuencias

Valor representativo de la clase	Línea A		Línea B		A + B
	Cómputo	Frecuencia	Cómputo	Frecuencia	Frecuencia
−6			//	2	2
−5			//	2	2
−4			////	4	4
−3			~~////~~ /	6	6
−2	/	1	~~////~~ ///	8	9
−1	////	4	~~////~~ ~~////~~ /	11	15
0	~~////~~ /	6	~~////~~ ~~////~~ //	12	18
1	~~////~~ ////	9	~~////~~ ///	8	17
2	~~////~~ ~~////~~ /	11	~~////~~	5	16
3	~~////~~ ~~////~~ ///	13	//	2	15
4	~~////~~ ////	9			9
5	~~////~~	5			5
6	/	1			1
7	/	1			1
		60		60	120

Paso 6. El histograma construido según la tabla de distribución de frecuencias aparecerá como el de la figura 13.1. Consigne las diversas líneas, la cantidad de datos, la media, la desviación típica y los límites.

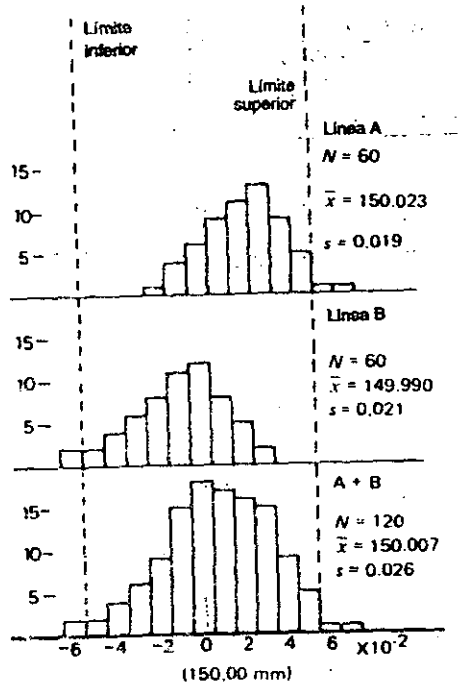


Figura 13.1 Histogramas

La tabla de distribución de frecuencias para la línea B puede elaborarse de la misma manera que la correspondiente a la línea A; pero la que incluye A y B combinadas debe construirse utilizando la tabla A y B. Si hay una gran discrepancia entre las medias de A y B, aumentará la cantidad de clases de la tabla de distribución de frecuencias elaborada para ambas.

b) Relación entre distribución y especificación

Línea A: En la medición de las piezas hay un pico entre 2 y 3 (150.02 a 150.03 mm) y las 60 cifras de los datos se hallan dentro de la amplitud −2 a 7 (149.98 a 150.07 mm). Hay un desplazamiento hacia los valores más altos a partir del centro de los límites, y la cantidad de productos defectuosos en la dirección de este desplazamiento es de 2. La distribución se extiende hacia el límite inferior, pero no se observan cifras aisladas.

Línea B: En tanto los valores de A tendían hacia el límite superior de las especificaciones, los de B presentan un sesgo hacia el límite inferior. Hay un modo (pico) alrededor de −1 a 0 (149.99 a 150.00 mm) y luego los valores se extienden hacia el límite inferior. La amplitud de los datos de las 60 piezas va de −6 a 3 (149.94 a 150.03 mm). La dispersión es más o menos la misma que la de A. B presenta dos productos defectuosos.

Distribución general (A más B): A partir de los resultados anteriores, el valor central general se ubica aproximadamente en el centro de los límites. Sin embargo, a raíz de la disparidad entre las medias de A y B, existe una gran dispersión. Además, la forma del histograma es un poco desproporcionada. (Obsérvese que, aun cuando exista esta gran diferencia entre las medias de las líneas A y B, el histograma de los valores conjuntos no siempre presenta dos picos o modos.)

c) Cálculo de la media $\bar{x}$ y la desviación típica s

Utilice los siguientes problemas como referencia al calcular estos valores.

Construya la tabla necesaria para efectuar el cálculo correspondiente a la línea A (tabla 13.2).

Tabla 13.2 Tabla de cálculo para la línea A

Valor representativo de la clase	Frecuencia f_i	u_i	f_iu_i	$f_iu_i^2$
−2 (149.98)	1	−2	−2	4
−1 (149.99)	4	−1	−4	4
0 (150.00)	6	0	(−6)	0
1 (150.01)	9	1	9	9
2 (150.02)	11	2	22	44
3 (150.03)	13	3	39	117
4 (150.04)	9	4	36	144
5 (150.05)	5	5	25	125
6 (150.06)	1	6	6	36
7 (150.07)	1	7	7	49
Total	60		(144) 138	532

Calcule $\bar{x}$ y s a partir de la tabla.

$$\bar{x} = 150.00 + \frac{138}{60} \times 0.01 = 150.023 \text{ (mm)}$$

$$s = 0.01\sqrt{\frac{532}{60} - \left(\frac{138}{60}\right)^2}$$

$$= 0.019$$

Los cálculos correspondientes a la línea B, y a las líneas A y B combinadas, pueden efectuarse de la misma forma. El resultado aparece en la tabla 13.3 y se consigna en el histograma de la figura 13.1. Construya primero un gráfico para facilitar el cálculo de estos valores.

Tabla 13.3 Media y desviación típica

Línea	A	B	General
Cantidad de datos N	60	60	120
Media $\bar{x}$	150.023	149.990	150.007
Desviación típica s	0.019	0.021	0.026

Con especificaciones como 150 ± 0.05 mm, el ancho de la clase, o intervalo de clase, es 0.10 mm, o sea cinco veces la desviación típica (s) de A y B, aproximadamente 0.020 mm, o casi cuatro veces la desviación típica general. Para que los productos se mantengan dentro de las 4 especificaciones, el ancho de la clase debe ser por lo menos seis veces la desviación típica. En términos del índice de eficacia del proceso (C_p), podemos expresarlo así: $C_p = \frac{\text{ancho de la clase}}{6_s}$ > 1. Para cualquiera de las líneas, A o B, C_p = 0.83; y al tomar la s general de A y B, C_p = 0.64. Ambos índices son < 1, de manera que si bien los productos están cerca del centro de las especificaciones, aún habrá algunos defectuosos.

Para eliminar los productos defectuosos:

i) Halle el motivo de la diferencia entre A y B y luego procure eliminarlo;

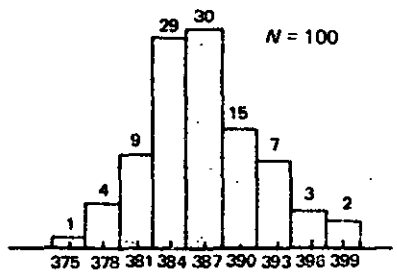
ii) Determine cómo reorientar A y B hacia el centro de las especificaciones;

iii) Determine cómo disminuir la dispersión de A y B. Examine los materiales, la maquinaria, los operarios, los métodos de trabajo y las mediciones;

iv) Si no se puede controlar la dispersión dentro de las especificaciones, efectúe un examen técnico para ver si se pueden ampliar los límites de las clases.

Estas actividades son necesarias para mejorar la eficacia del proceso.

(2) El histograma que figura a continuación indica el peso en gramos de 100 muestras de cierto alimento. Halle el peso medio de este alimento y la desviación típica.



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.

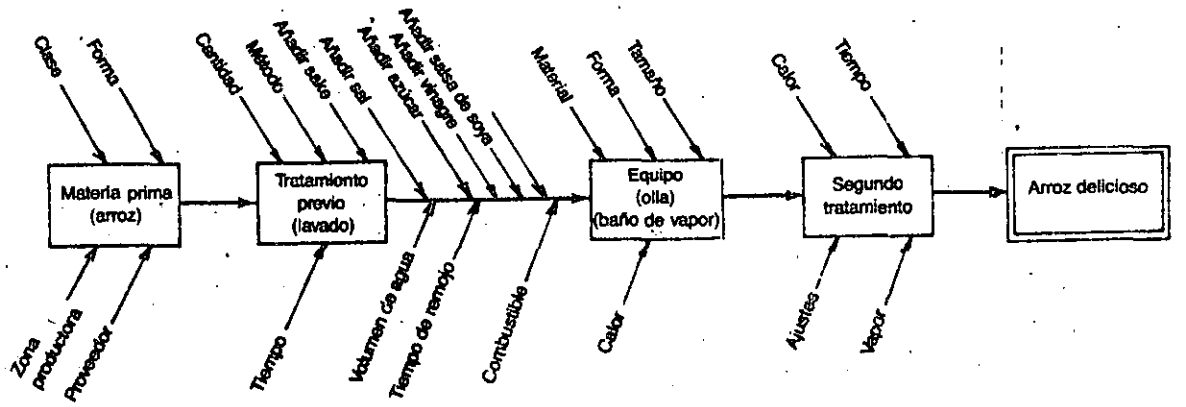


Figura 13.2 Modelo de clasificación según el proceso

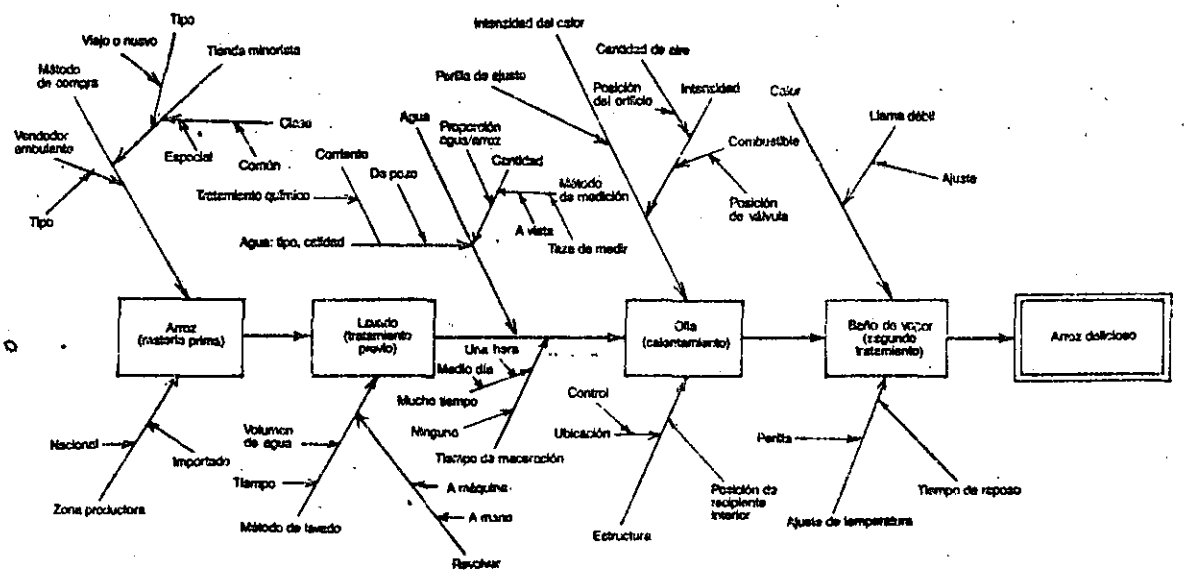


Figura 13.3 Modelo de clasificación según el proceso

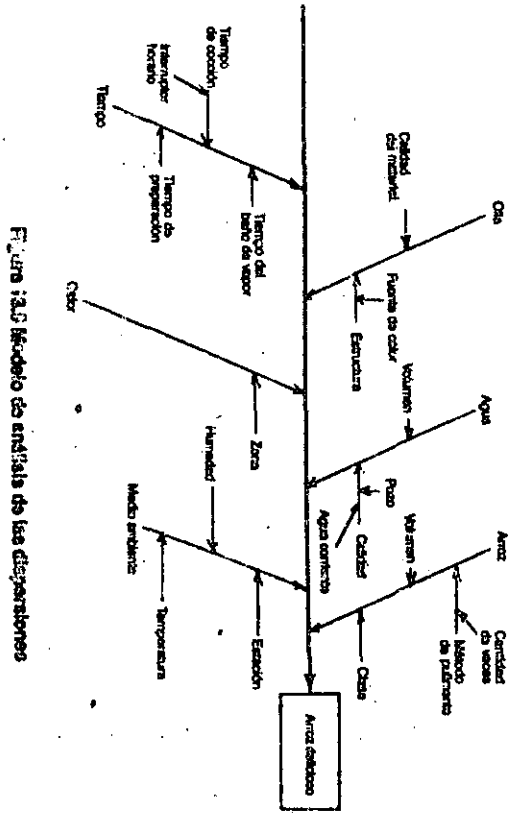


Figura 13.5 Modelo de análisis de las dispersiones

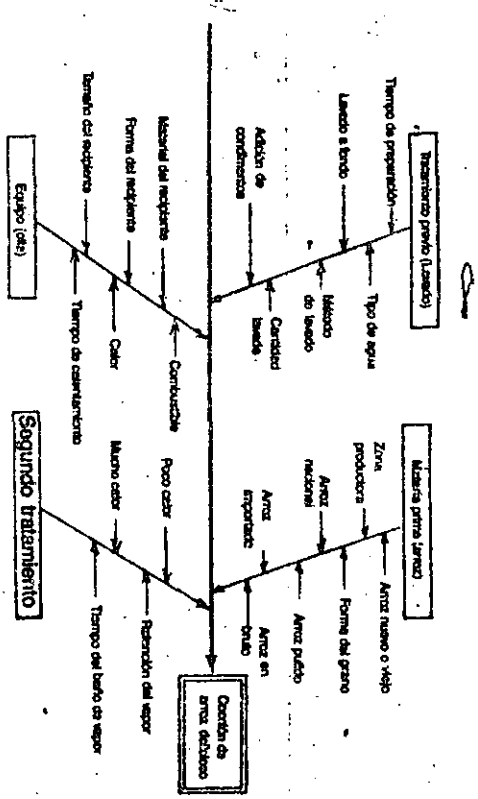


Figura 13.4 Modelo de clasificación según el proceso

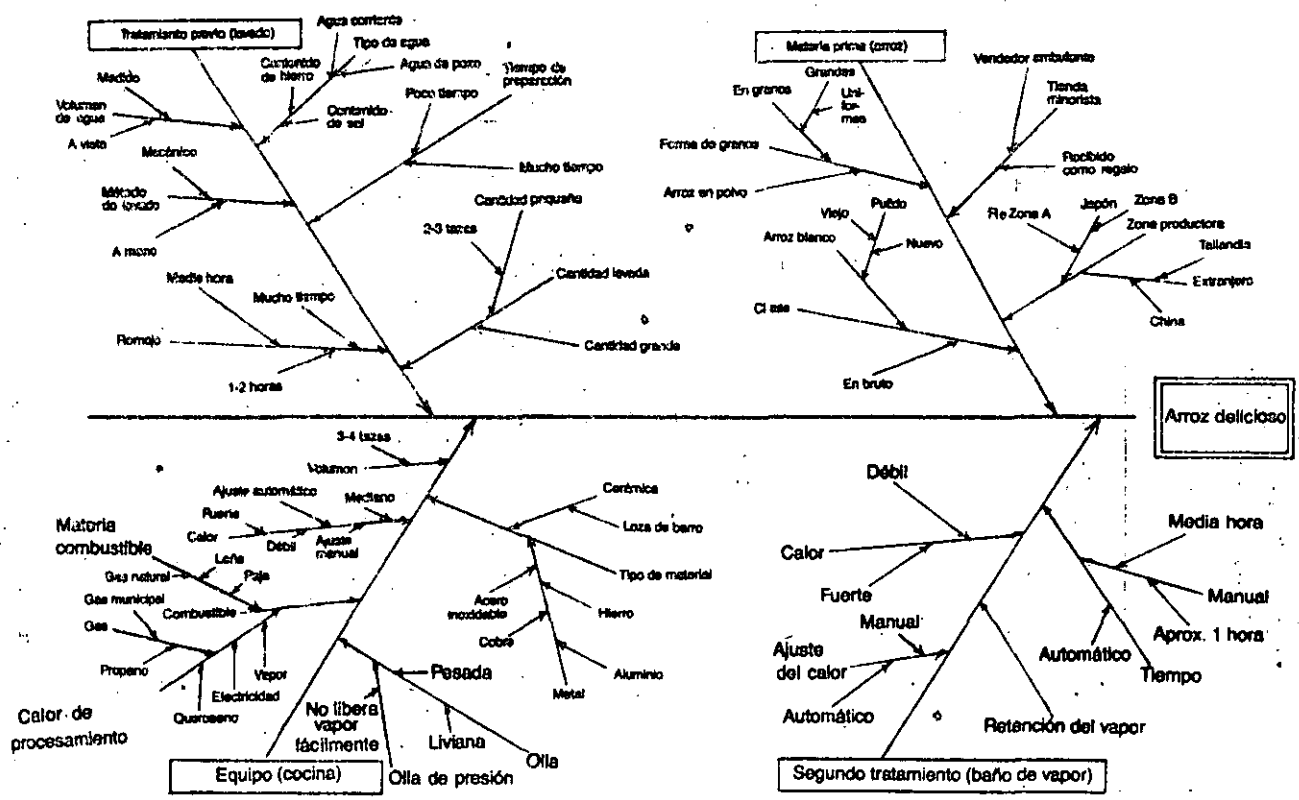


Figura 13.6 Modelo de enumeración de las causas

La figura 13.2 es un diagrama del proceso en que se han agregado las causas. Corresponde al modelo de clasificación según el proceso de producción.

La figura 13.3 fue construida de manera análoga a la figura 13.2, con la diferencia de que hay una enumeración más completa de las causas.

La figura 13.4 también corresponde al modelo de clasificación según el proceso de producción, pero las etapas del proceso no se indican sobre la flecha central.

La figura 13.5 corresponde al modelo de análisis de las dispersiones. Aquí el "tiempo" ha pasado a ser una causa principal, mientras que en los otros diagramas se lo incluía como tiempo de "calentamiento", tiempo del "baño de vapor", etc.

La figura 13.6 corresponde al modelo de enumeración de las causas. Se llegó a pormenorizar las causas en una reunión de discusión intensa.

Es difícil decidir cuál de estos diagramas es el mejor. Eso lo verá quien lo utilice, y será el que resulte más fácil de usar y sirva como guía para la adopción de medidas.

Las preguntas y respuestas siguientes ayudarán a ilustrar la construcción de diagramas de causa y efecto.

Pregunta: En los diagramas, tanto "arroz delicioso" como "cocinar arroz delicioso" aparecen como efectos finales; ¿cuál es mejor?

Respuesta: Este problema se refiere a "cocinar arroz en la casa". El resultado deseado es "arroz delicioso", de modo que con respecto al método de obtenerlo empleamos la palabra "cocinar". "Arroz delicioso" es la característica de calidad (efecto) y la cocción es la razón (causa). Ver figura 13.7.

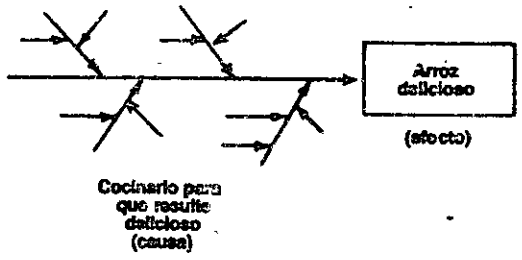


Figura 13.7

Como en la figura 13.7, las flechas correspondientes a "arroz delicioso" y la causa se han combinado para formar la unidad "cocinar arroz delicioso", del lado derecho (efecto) será mejor escribir "arroz delicioso".

Pregunta: Las figuras 13.2, 13.3 y 13.4 corresponden al modelo de clasificación según el proceso de producción. ¿Cuál es la mejor?

Respuesta: Como ya mencionamos, ello dependerá de quién utilice el diagrama. Sin embargo, las causas siempre están íntimamente relacionadas entre sí. Si se simplifican muchas causas complejas, como se ha hecho en la figura 13.2, resultará difícil adoptar cualquier medida. En ese sentido, la figura 13.3 es mejor que la 13.2; y la 13.6, mejor que la 13.4.

La longitud del proceso de producción influirá sobre la comodidad con que podamos utilizar un diagrama de causa y efecto. Nuestra experiencia indica que si la línea es prolongada y hay muchas causas similares, un diagrama con la línea del proceso (figuras 13.2, 13.3) es más fácil de leer. Sin embargo, en un proceso simple como la cocción de arroz, probablemente la figura 13.4 o la 13.6 sea la mejor.

Pregunta: ¿Qué diferencias hay entre los diagramas correspondientes a los modelos de clasificación según el proceso de producción y de análisis de las dispersiones?

Respuesta: El modelo de análisis de las dispersiones responde a la pregunta: ¿por qué hay dispersión? Si se piensa que la causa radica en el proceso de producción, las causas principales (factores) se incluyen como ramas largas, como en las figuras 13.4 y 13.6. En la figura 13.5, las causas se clasificaron en términos generales como arroz, agua, olla, tiempo, calor y medio ambiente.

Como se ha dicho antes, en las figuras 13.4 y 13.5 todos los factores relativos al tiempo se han incluido en el rubro "tiempo". Pero el tiempo también interviene en cada etapa: lavado, calentado y baño de vapor, etc. Se plantea entonces el interrogante de cómo clasificar una causa que se repite.

Pregunta: Si se emplea una olla eléctrica, el calor y el tiempo están controlados automáticamente. ¿Qué haría usted en ese caso?

Respuesta: Para construir la figura 13.5 se tomó como base una olla automática. La figura 13.6 se aplica a cualquier olla o método de cocción. Debemos considerar las causas de dispersión dentro de las limitaciones existentes. Si sólo tenemos una olla automática, debemos hallar el mejor modo de trabajar con esa limitación, omitiendo consideraciones atinentes a ollas de gas o de otro tipo.

Pregunta: ¿No es demasiado complicado trabajar con un diagrama como el de la figura 13.6?

Respuesta: Sí. Y es preciso eliminar totalmente cualquier causa que no tenga consecuencias reales sobre el resultado. Un diagrama es bueno si es fácil de usar y orienta a la adopción de medidas prácticas.

> (2) Construya un diagrama de causa y efecto para mejorar el grupo de control de calidad de su fábrica.

Para la solución de este problema, hicimos intervenir a muchas personas. Aquí se exponen los diagramas representativos. Aplíquelos a su grupo y vea cuál es el mejor (figuras 13.8 y 13.9).

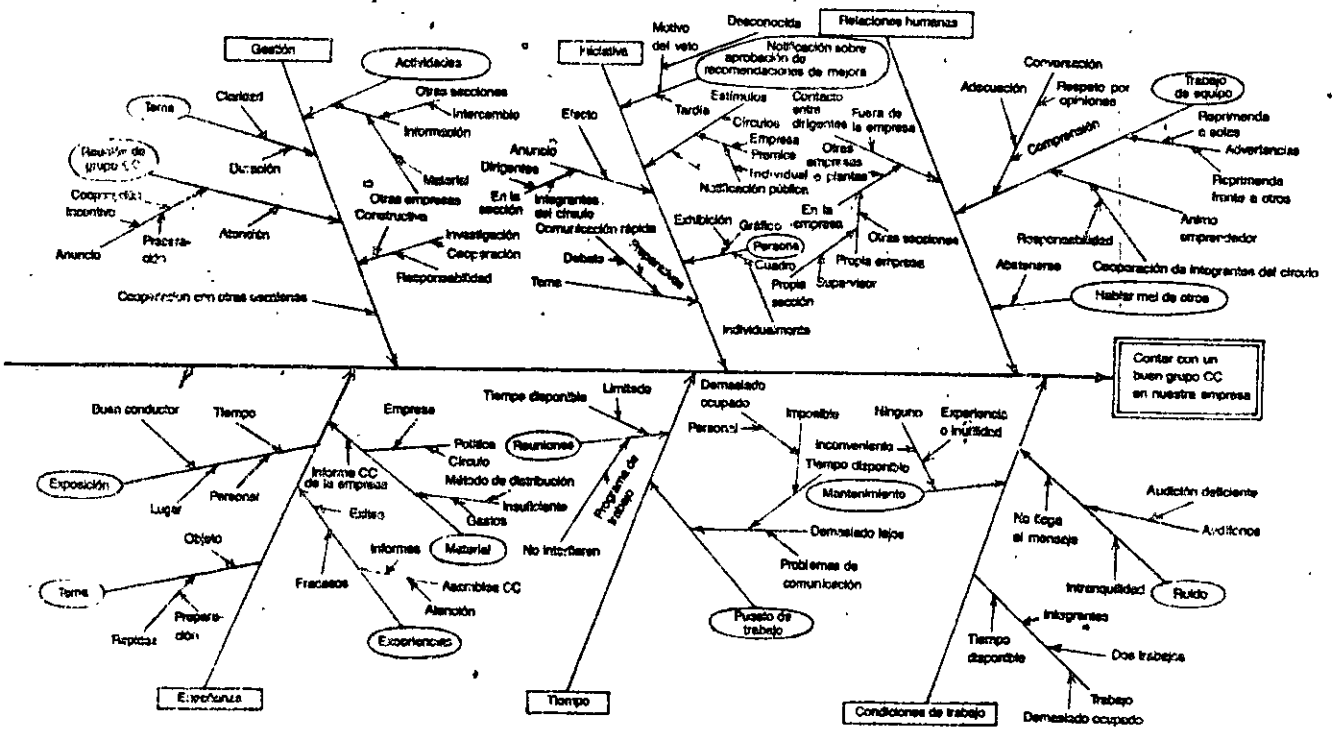


Figura 13.8

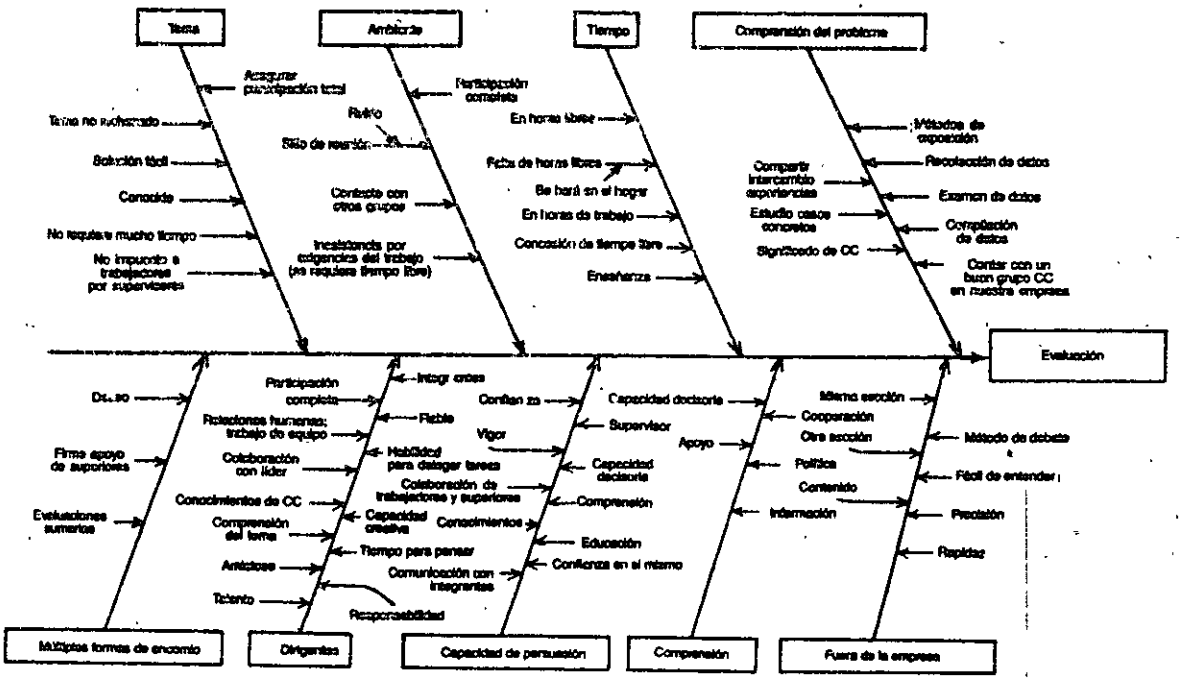


Figura 13.9

13.4 Planillas de inspección

(1) ¿Qué factores requieren nuestra atención al diseñar una planilla de inspección?

a) Comprender plenamente el propósito

Como se vio en el capítulo 4, las planillas de inspección pueden servir muchos fines. Pero es posible dividirlas en dos grupos principales: planillas de inspección para el proceso de producción y planillas de inspección para verificación y confirmación. Puesto que se utilizan por motivos básicamente diferentes, podemos tratarlas por separado. Consideremos primero la planilla de inspección para el proceso de producción.

i. ¿ Qué desea saber y qué necesita investigar Ud.?

ii. En base a los resultados, ¿qué medidas tomará?

Si se comprenden estos dos elementos, se sabrá automáticamente cómo reunir datos.

b) Las planillas de inspección deben contener información estratificada en detalle

Si se comprende cabalmente el propósito, se sabrá cómo estratificar la información. En el caso de una planilla de inspección para analizar el proceso, se necesitará información estratificada sobre lo siguiente: trabajadores, máquinas, equipo, materiales, turnos, horarios, fechas, productos, etc. Todos estos factores deben estar claramente enumerados en la planilla de inspección. Se los puede registrar en cada planilla, o bien se puede hacer constar por separado la información en papeles de colores diferentes. Las planillas de inspección para el control del proceso tienen un uso similar. Cuando aparecen condiciones anómalas en el proceso, se necesita contar con información estratificada para hallar la causa: qué tipo de materiales se utilizaban, qué máquinas, cuáles operarios, etc. Si la planilla de inspección puede ofrecer este tipo de información, no será tan difícil rastrear el problema.

c) Facilite todo lo posible la recolección de datos

Las planillas de inspección son herramientas destinadas a simplificar la recolección de datos. Si se trata de incluir en ellas demasiada información, serán sumamente difíciles de utilizar. Una planilla de inspección debe presentar sólo la información más esencial. Esta frase parece contradecir lo anterior, pero no es así. En primer término, estudie solamente lo que usted considera más importante y luego, si no es suficiente, amplíe su campo de estudio. Pero, en todas las etapas, es preciso comprender claramente los propósitos de la estratificación.

Para verificar y aprobar planillas de inspección, recuerde lo siguiente:

i) Asegúrese de que la planilla no omite ninguna inspección ni prueba. La planilla misma debe ser exacta y completa, puesto que será la base de la inspección.

ii) Ordene cuidadosamente los rubros por verificar de acuerdo con la planilla.

Cerciórese de que en la planilla de inspección todos los rubros aparecen en el mismo orden que siguen los procesos en la realidad, con lo que ahorrará tiempo y trabajo. En las planillas de inspección para mantenimiento del equipo, reúna todos los rubros de inspección diarios, por otro lado todos los semanales, y así sucesivamente, ya que la frecuencia de la inspección será diferente en cada caso. También puede ser útil encerrar en un círculo los rubros más importantes.

(2) Analice los datos de la figura 13.10.

a) En primer lugar, en base a la información de la figura 13.10 se puede construir un diagrama de Pareto como el de la figura 13.11. Como se observa, más de la mitad de los defectos son rayas en la superficie.

	Operario	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
Máquina 1	A	○○××	○×	○○○	○××	○○○× ×××	○○○○ ×××	○○○○ ×××	○○×	○○○○	○○	○	×××
Máquina 1	B	○×××	○○○× ××	○○○○ ○○××	○○○× ×	○○○○ ○○×× ○	○○○○ ○○××	○○○○ ○××	○○○× ××	○○×× ×	○○○○ ○	○○×	○○○× ×○×
Máquina 2	C	○○×	○×	○○	×	○○○○ ○	○○○○ ○○×	○○	○×	○○△	○○○	△○	○○
Máquina 2	D	○○×	××	○○△	○○○×	○○○× △	○○○○ ○×	○○○	○○△△ ○	○○△	○○○	○○○×	××○

Figura 13.10

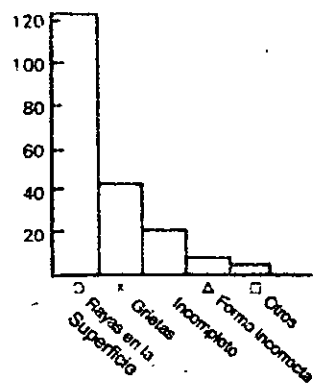


Figura 13.11

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.

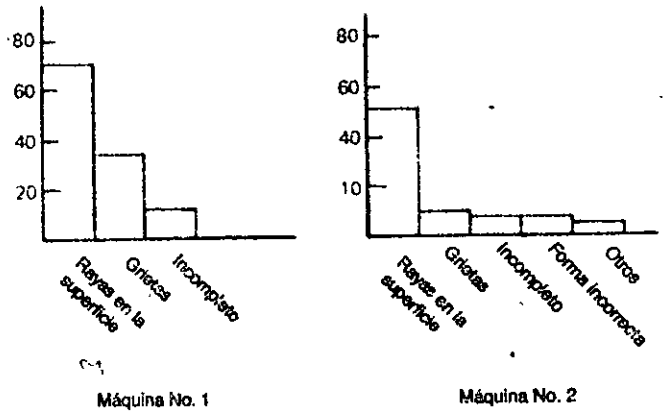


Figura 13.12

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.

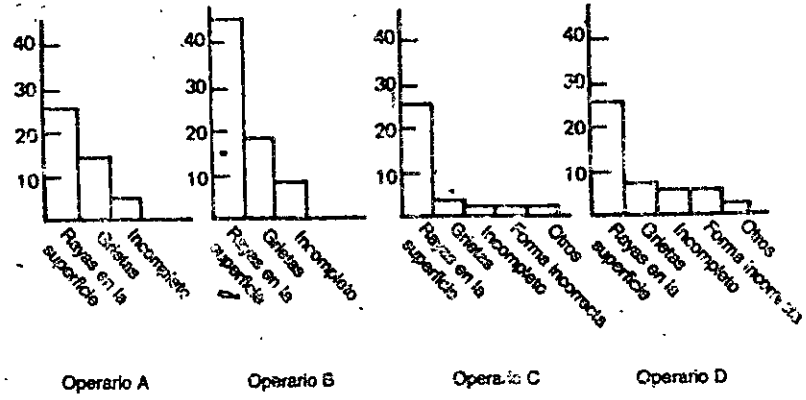


Figura 13.13

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.

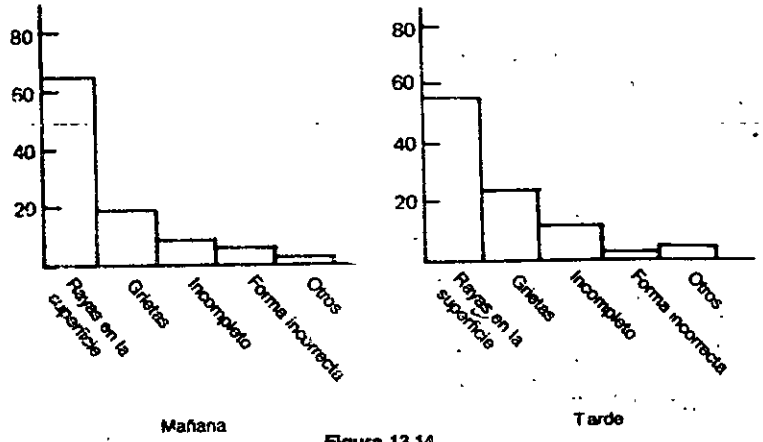


Figura 13.14

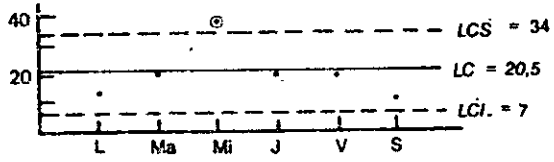


Figura 13.15 Gráfico de control c

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).

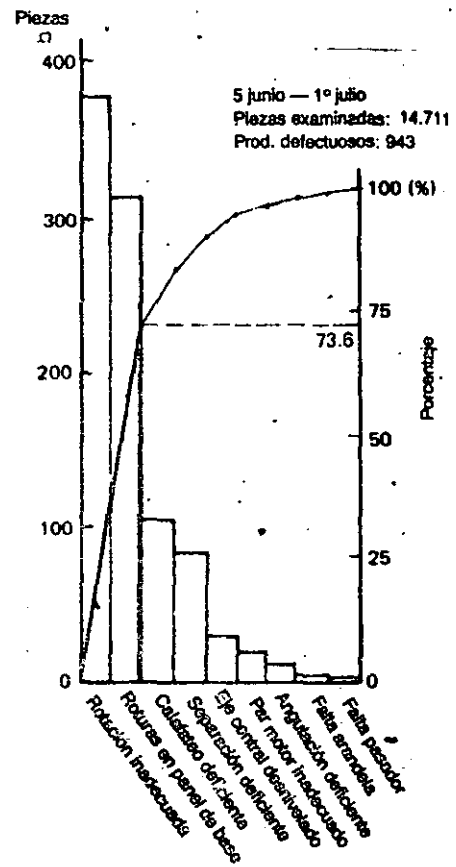


Figura 13.16 Diagrama de Pareto: rechazos en un mes (cuatro semanas)

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: Calafateo 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	4	2				1	1	1		
Separación deficiente	5	1	4	4	1	3	5	6	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 pesador) 1												1 (Falta arandela)						1 (Falta pesador)			
Total	33	34	33	52	46	41	30	36	44	39	54	52	36	41	29	34	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: Calafateo 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	6	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 pesador) 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

Fecha	Junio 3	6	7	8	9	10	Total
Calafateo deficiente	3		6	14	18	16	56
Rotación inadecuada	15	18	14	14	19	13	93
Tor motor							
Inf. [illegible]		3			1		4
Separación deficiente							
Eje [illegible]	5	1	4	4	1	3	10
Fal. [illegible]							
[illegible] de [illegible]	8	11	7	16	6	9	57
Angulación deficiente			1		2		3
Eje central desnivelado	2	1	4	3			10
Otros				1 (Falta pasador)			1
Total	33	34	33	52	48	41	242
Calidad producida	616	631	617	621	589	611	3634

Tabla 13.8 Segunda semana

	12	13	14	15	16	17	Total
	2	4	3	3	4	2	18
	14	16	20	23	19	17	109
	2				5		7
	5	8	6	3	3	7	32
	7	7	13	10	21	26	84
			1		1		2
		1	1		1		3
							0
	30	36	44	39	54	52	255
	610	616	611	640	606	603	3642

Tabla 13.9 Tercera semana

	18	20	21	22	23	24	Total
	3	5	2	6	2	2	20
	17	13	12	16	16	17	89
			4	2			6
	3	7	2	3	1		16
	10	14	9	8	16	8	64
	1	1					2
	2						2
				1 (Falta arandela)			1
	36	41	29	34	33	27	260
	620	621	615	613	620	614	3703

Tabla 13.10 Cuarta semana

	26	27	28	29	30	1º julio	Total
			1	3	3	4	11
	13	19	11	12	15	14	87
		1	1	1			3
	3	2	6	4		2	17
	8	31	19	23	16	12	109
		2		1	1	1	4
	3	3	1	4	2	1	14
				1 (Falta arandela)			1
	27	58	40	48	39	34	246
	628	607	608	622	615	601	3612

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.

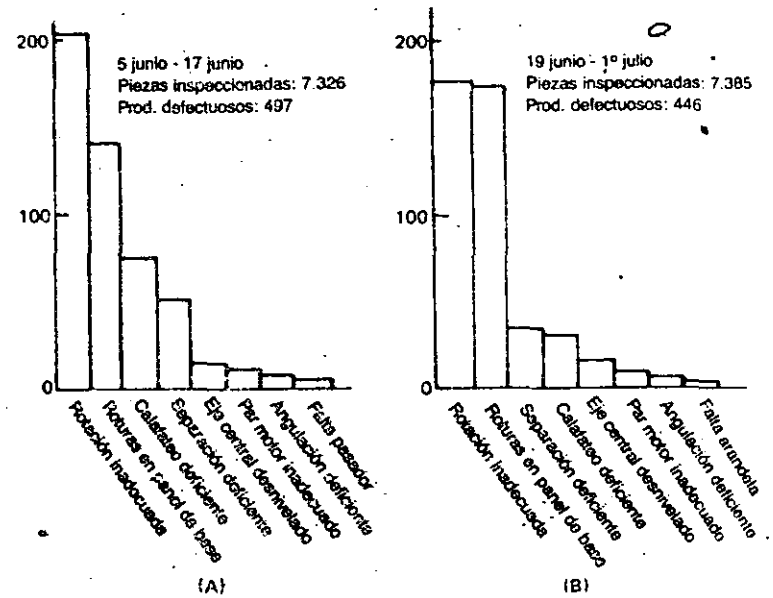


Figura 13.17 Diagramas de Pareto para períodos de dos semanas

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).

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.

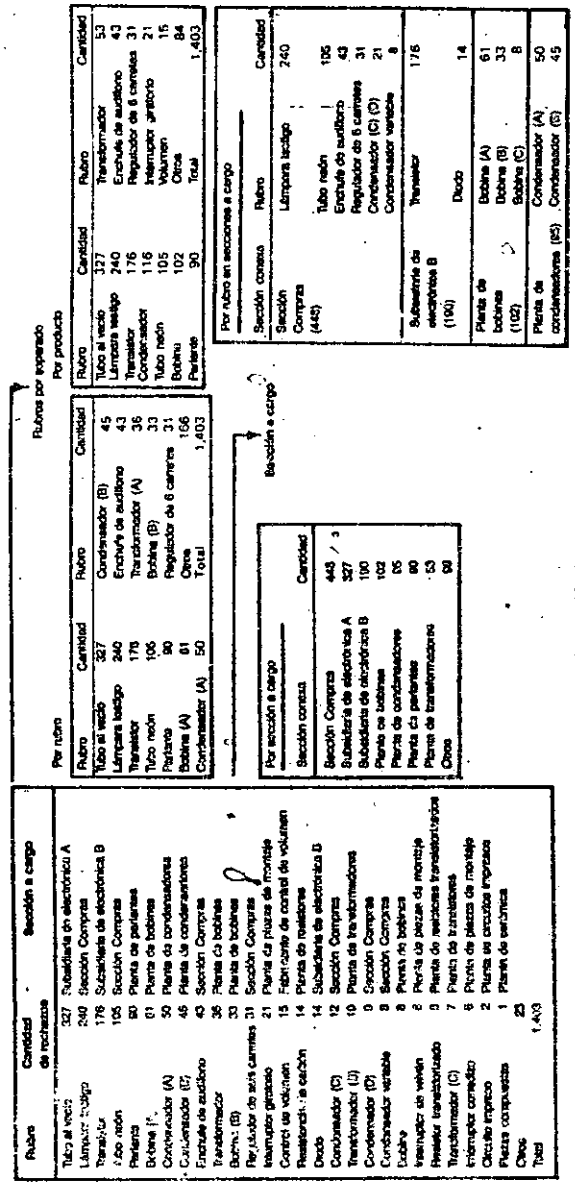
13.6 Gráficos

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	



Rubro	Cantidad de rechazos	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
Perlanita	80	Planta de perlanitas
Bobina (B)	61	Planta de bobinas
Condensador (A)	50	Planta de condensadores
Condensador (B)	45	Planta de condensadores
Enchufe de auditorio	43	Sección Compras
Transformador	36	Planta de bobinas
Bobina (A)	33	Planta de bobinas
Regulador de 6 carriles	31	Sección Compras
Interruptor giratorio	21	Planta de piezas de montaje
Control de volumen	15	Fábrica de control de volumen
Resistencia de carbón	14	Planta de resistencias
Diodo	14	Subsidiaria de electrónica B
Condensador (C)	12	Sección Compras
Transformador (U)	10	Planta de transformadores
Condensador (D)	9	Sección Compras
Condensador variable	9	Sección Compras
Bobina	8	Planta de bobinas
Interruptor de válvula	6	Planta de piezas de montaje
Resistor transistorizado	5	Planta de resistores transistorizados
Transformador (C)	7	Planta de transformadores
Interruptor complejo	6	Planta de piezas de montaje
Circuito impreso	2	Planta de circuitos impresos
Piezas compuestas	1	Planta de cerámica
Otros	23	
Total	1,403	

Rubros por separado

Por rubro

Rubro	Cantidad
Tubo al vacío	327
Lámpara testigo	240
Transistor	176
Tubo neón	105
Perlanita	80
Bobina (A)	61
Condensador (A)	50
Condensador (B)	45
Enchufe de auditorio	43
Transformador (B)	43
Transformador (A)	36
Bobina (B)	33
Regulador de 6 carriles	31
Otros	156
Total	1,403

Por producto

Rubro	Cantidad
Tubo al vacío	327
Lámpara testigo	240
Transistor	176
Condensador	116
Tubo neón	105
Bobina	102
Perlanita	90
Transformador	53
Enchufe de auditorio	43
Regulador de 6 carriles	31
Interruptor giratorio	21
Volumen	15
Otros	84
Total	1,403

Por sección a cargo

Sección consulta	Cantidad
Sección Compras	445
Subsidiaria de electrónica A	327
Subsidiaria de electrónica B	190
Planta de bobinas	102
Planta de condensadores	95
Planta de perlanitas	80
Planta de transformadores	53
Otros	90

Sección a cargo

Por rubro en secciones a cargo

Sección consulta	Rubro	Cantidad
Sección Compras (445)	Lámpara testigo	240
	Tubo neón	105
	Enchufe de auditorio	43
	Regulador de 6 carriles	31
	Condensador (C) (D)	21
	Condensador variable	9
Subsidiaria de electrónica B (190)	Transistor	176
	Diodo	14
Planta de bobinas (102)	Bobina (A)	61
	Bobina (B)	33
	Bobina (C)	8
Planta de condensadores (95)	Condensador (A)	50
	Condensador (B)	45

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.

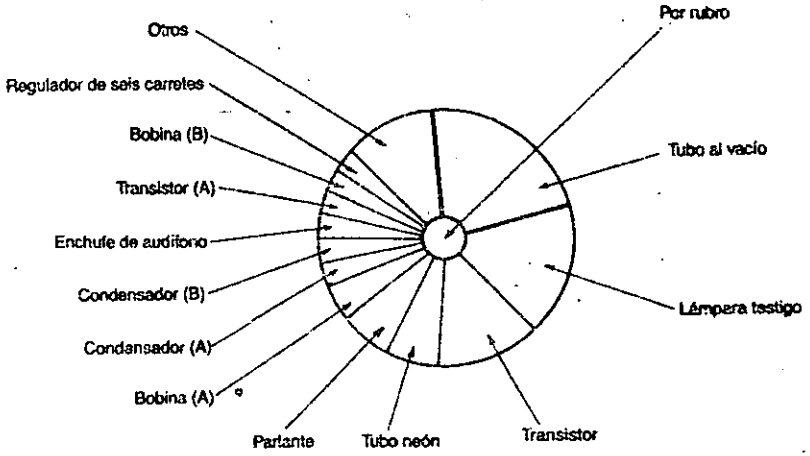


Figura 13.20

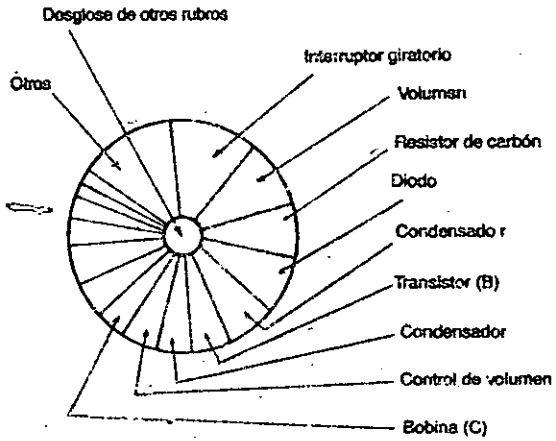


Figura 13.21

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.

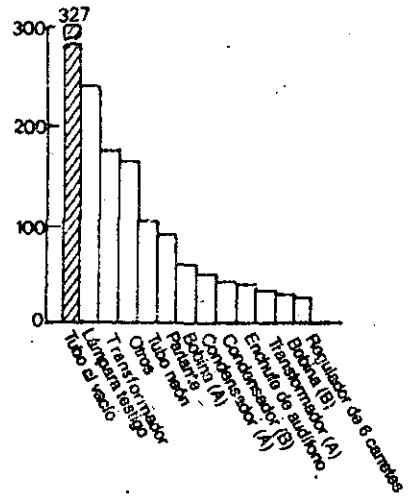


Figura 13.22 Gráfico de barras por rubro

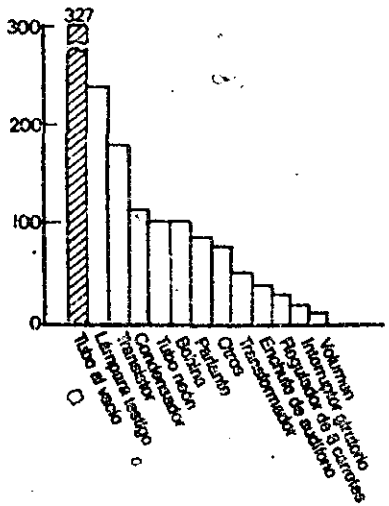


Figura 13.23 Gráfico de barras por producto

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).

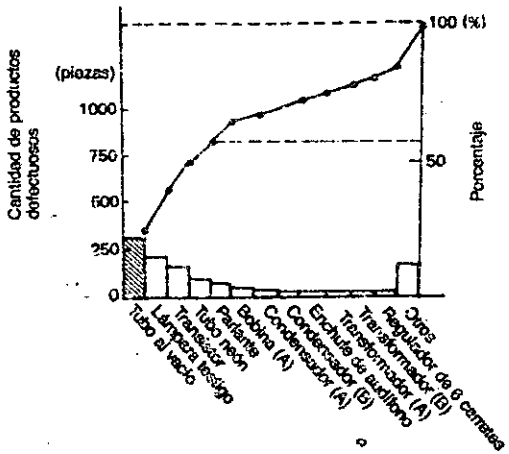


Figura 13.24 Diagrama de Pareto por rubro

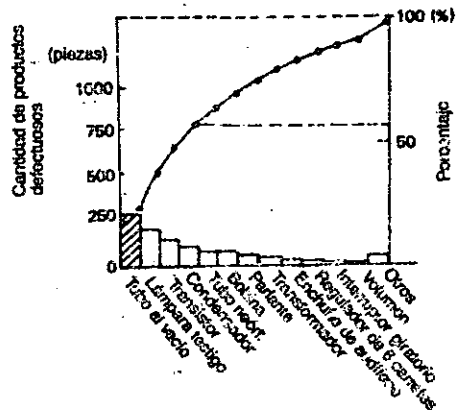


Figura 13.25 Diagrama de Pareto por producto

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.

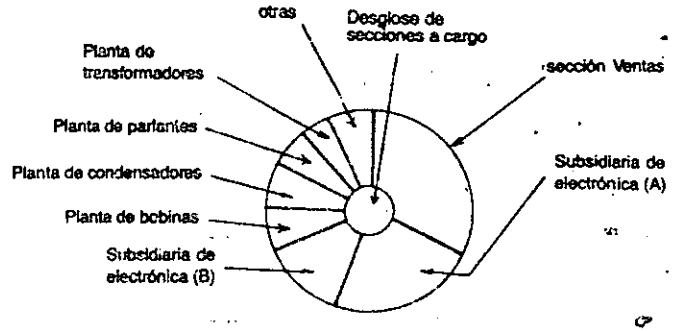


Figura 13.26 Gráfico de sectores

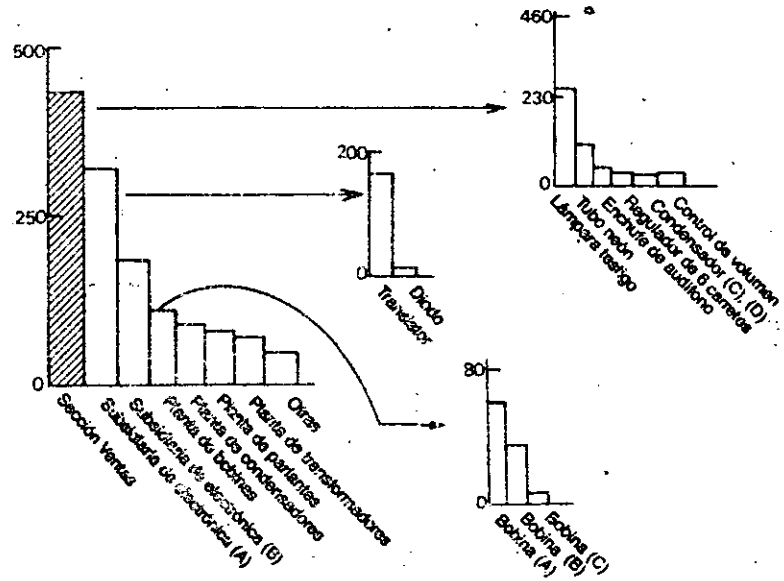


Figura 13.27 Gráfico de barras

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.

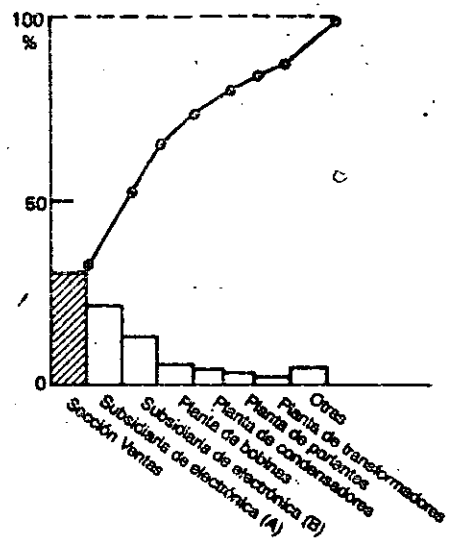


Figura 13.28 Diagrama de Pareto según sección a cargo

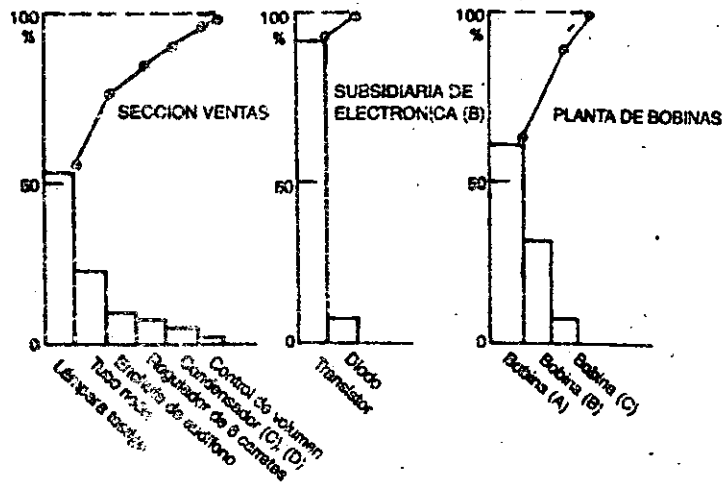


Figura 13.29 Rubros correspondientes a las diferentes secciones

Tabla 13.12 Planilla de registro de datos

Fecha		Material	Diámetro de orificios (unidad: 0,001 mm)					Total	$\bar{\bar{x}}$	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	55	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)

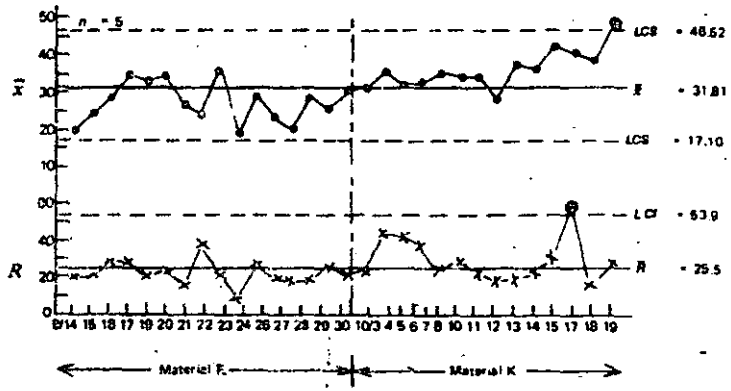


Figura 13.30 Gráfico de control construido con datos totales

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.

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).

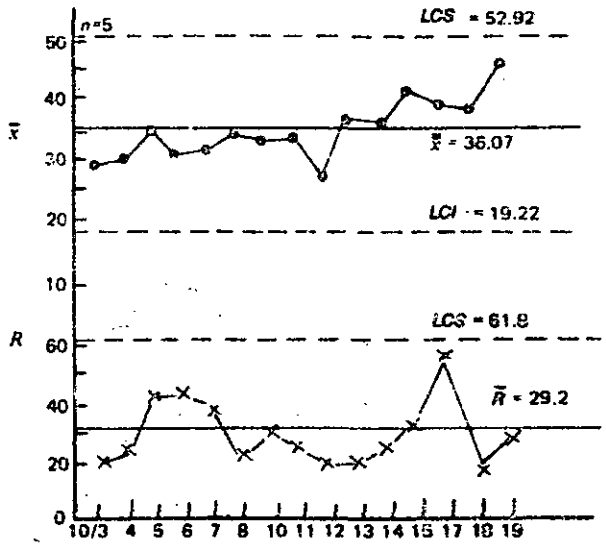


Figura 13.32 Gráfico de control para el material K

c) 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.

a) Gráfico de control para las bolillas verdes

Paso 1. Determine la fracción defectuosa, p, en cada subgrupo. Por ejemplo, en el subgrupo inicial, $p = 9/50 = 0{,}18$.
También determine p en los subgrupos siguientes y escríbalo en la planilla de registro de datos (ver tabla 13.13A).

Paso 2. Calcule la fracción defectuosa media:

$$\bar{p} = \frac{187}{1250} = 0.1496 \doteq 0.150$$

Bolillas verdes

Tabla 13.13A

Subgrupo No.	Tamaño del subgrupo (n)	Cant. prod. defectuosos (pn)	Fracción defectuosa (p)	Subgrupo No.	Tamaño del subgrupo (n)	Cant. prod. defectuosos (pn)	Fracción defectuosa (p)
1	50	9	0.18	14	50	9	0.18
2	"	8	0.16	15	"	7	0.14
3	"	12	0.24	16	"	3	0.06
4	"	6	0.12	17	"	8	0.16
5	"	8	0.16	18	"	3	0.06
6	"	8	0.16	19	"	5	0.10
7	"	10	0.20	20	"	4	0.08
8	"	13	0.26	21	"	10	0.20
9	"	9	0.18	22	"	10	0.20
10	"	5	0.10	23	"	9	0.18
11	"	13	0.26	24	"	4	0.08
12	"	3	0.06	25	"	6	0.12
13	"	5	0.10	Total	1250	187	—

Bolillas amarillas

Tabla 13.14A

Subgrupo No.	Tamaño del subgrupo (n)	Cant. prod. defectuosos (pn)	Fracción defectuosa (p)
26	50	9	0.18
27	"	14	0.28
28	"	12	0.24
29	"	7	0.14
30	"	10	0.20
31	"	6	0.12
32	"	17	0.34
33	"	11	0.22
34	"	12	0.24
35	"	8	0.16

Bolillas rojas

Tabla 13.15A

Subgrupo No.	Tamaño del subgrupo (n)	Cant. prod. defectuosos (pn)	Fracción defectuosa (p)
36	50	5	0.10
37	"	3	0.06
38	"	6	0.12
39	"	1	0.02
40	"	3	0.06
41	"	7	0.14
42	"	4	0.08
43	"	6	0.12
44	"	3	0.06
45	"	4	0.08

Paso 3. Determine los límites de control.

Línea central: $LC = \bar{p} = 0{,}150$

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

$$= 0.150 + 0.42 \times 0.357$$
$$\doteq 0.150 + 0.150$$
$$= 0.300$$

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

$$\doteq 0.150 - 0.150$$
$$= 0$$

Paso 4. Trace las líneas de control y marque p en el gráfico (ver figura 13.33).

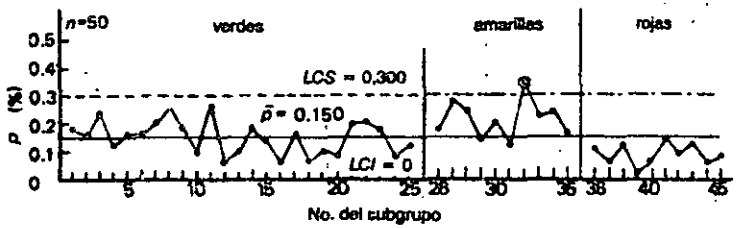


Figura 13.33

Como surge obviamente del ejercicio, los puntos correspondientes a las bolillas verdes forman un gráfico de control para un proceso en que la fracción defectuosa es constante al 15%. Aunque la fracción defectuosa sea constante, es evidente que los puntos del gráfico muestran dispersión. Sin embargo, cuando la fracción defectuosa se mantiene fija durante el proceso de producción, no aparecen puntos fuera de la línea de control ni la posición de los puntos asume una forma particular. En otras palabras, se trata de una situación bajo control.

b) Gráfico de control para las bolillas amarillas

Paso 1. Determine la fracción defectuosa en cada subgrupo (ver tabla 13.14).

Paso 2. Prolongue el gráfico de control de las bolillas verdes y marque los valores de p (ver figura 13.33).

Como resultado, los datos del subgrupo No. 32 sobrepasan el límite de control superior. Asimismo, aunque la posición de los puntos no está en desorden, observamos que en general muestra una tendencia ascendente en dirección del límite superior.

El gráfico de control de la figura 13.33 es similar al que refleja un cambio de la fracción defectuosa del 15 al 20%. Las variaciones en el proceso de producción se ponen de manifesto por la presencia de un punto fuera de la línea límite del gráfico, con tendencias indeseables. Pero en este caso la magnitud del cambio no es tan grande y no se advierte la anomalía en los puntos que corresponden a los subgrupos 26 a 31. Por lo tanto, existe cierto riesgo de no percibir el cambio en el proceso de producción. Para modificar el gráfico de control de manera tal que pueda observarse rápidamente cualquier cambio, por pequeño que sea, aumente n y reduzca la separación entre las líneas de control superior e inferior.

c) Gráfico de control para las bolillas rojas

Paso 1. Determine la fracción defectuosa p en cada subgrupo (ver tabla 13.15).

Paso 2. Prolongue el gráfico de control para las bolillas verdes y marque los valores de p (ver figura 13.33).

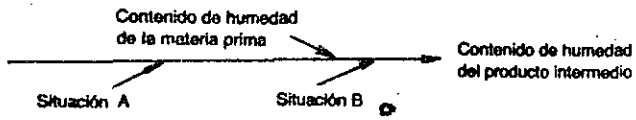
El resultado es que todos los puntos del gráfico se ubican debajo de $\bar{p}$, lo que indica que ha disminuido la fracción defectuosa durante el proceso de producción. Los puntos correspondientes a las bolillas rojas equivalen al caso en que la fracción defectuosa del proceso de producción mejora, pasando del 15 al 7%. Los puntos del gráfico revelan una modificación incluso de esta magnitud, poniendo de manifiesto un cambio evidente en la situación del proceso de producción.

Experimentar con bolillas para estudiar las tendencias de los puntos de un gráfico de control, como hemos hecho aquí, constituye una forma excelente de determinar la eficiencia del gráfico de control.

Deben llevarse a cabo otros experimentos similares tomando como base situaciones diversas de esta índole.

13.9 Diagramas de dispersión

Durante ciertos procesos de producción es necesario disminuir la humedad que contienen los productos intermedios. El problema que se plantea se vincula entonces al contenido de humedad de la materia prima.



Los datos siguientes representan en porcentaje el contenido de humedad de la materia prima (x) y el contenido de humedad del producto intermedio (y) elaborado con aquélla (unidad: por ciento). x e y constituyen un par de datos correspondientes.

Ejercicio:

1. Estudie los procedimientos pertinentes al análisis de la situación actual y a la forma de controlar el proceso.
2. Suponiendo que se debe mantener el valor de y por debajo del 1.8%, determine el valor de x que se debe mantener bajo control. En este caso, se utilizan dos tipos de instrumentos para medir y: A y B. Cuando se mide con el instrumento B, el sesgo es aproximadamente +0.4% comparado con A. (La marca ▲ en la tabla indica mediciones efectuadas con el instrumento B).

No.	x	y	No.	x	y	No.	x	y	No.	x	y
1	1.10	1.40	14	1.85	2.10▲	27	1.35	1.70	39	1.80	1.70
2	1.25	1.70	15	1.40	2.00▲	28	1.15	2.00▲	40	1.35	1.80▲
3	1.05	1.85▲	16	1.50	1.50	29	1.05	1.85▲	41	1.65	1.55
4	1.60	2.05▲	17	1.60	2.30▲	30	1.20	1.40	42	1.05	1.70▲
5	1.05	1.30	18	1.80	1.90	31	1.35	2.10▲	43	1.30	1.50
6	1.55	2.30▲	19	1.10	1.60▲	32	1.00	1.35	44	1.30	2.30▲
7	1.75	1.75	20	1.60	1.75▲	33	1.60	2.10▲	45	1.45	1.55
8	1.40	2.00▲	21	1.85	2.40▲	34	1.40	1.30	46	1.20	1.55
9	1.30	1.30	22	1.70	2.30▲	35	1.60	1.60	47	1.45	1.80▲
10	1.30	1.90▲	23	1.50	1.40	36	1.50	1.85	48	1.90	1.90
11	1.15	1.20	24	1.40	1.50	37	1.45	2.20▲	49	1.30	1.70▲
12	1.70	1.40	25	1.55	1.90▲	38	1.20	1.80▲	50	1.65	1.70
13	1.60	1.95	26	1.45	2.15▲						

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:

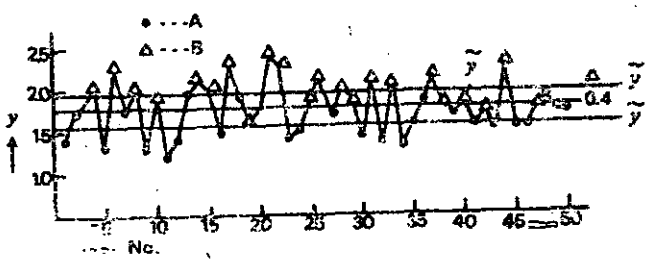


Figura 13.34 Contenido de humedad de un producto intermedio, en porcentajes

Tabla 13.16

	●	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).

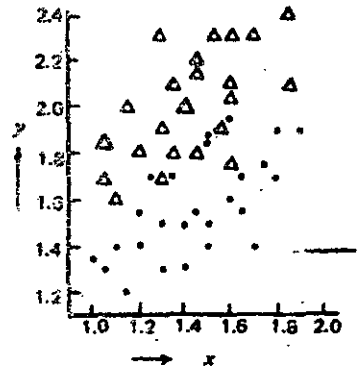


Figura 13.35 Diagrama de dispersión

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.

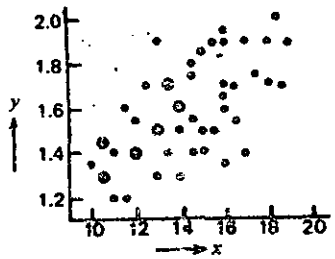


Figura 13.36 Diagrama de dispersión con datos corregidos

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).

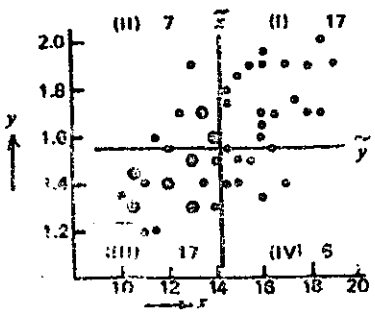


Figura 13.37 Examen de la correlación con el empleo de medianas

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.)

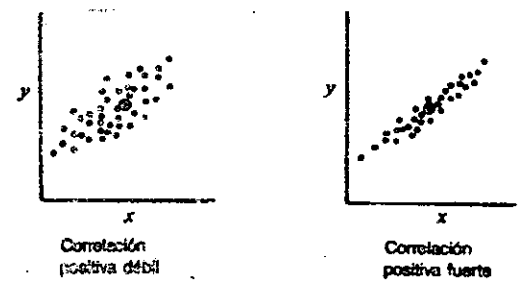


Figura 13.38 Grado de correlación

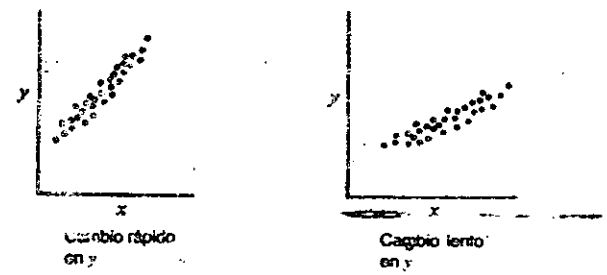


Figura 13.39 Cambios en el valor de y con relación a cambios en el valor de x

Para los puntos situados a la derecha de $\bar{x}$ en la figura 13.40, obtenga $\bar{x}_R$ e $\bar{y}_R$ sobre el gráfico y denote con la letra R el punto de intercepción. Para los puntos situados a la izquierda de $\bar{x}$, obtenga $\bar{x}_L$ e $\bar{y}_L$ 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.

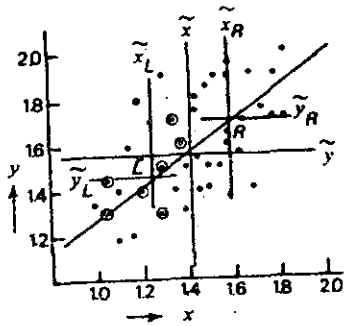


Figura 13.40 Obtención de la línea de regresión

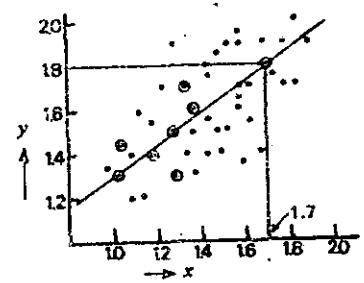


Figura 13.41 Obtención del valor límite de x

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	"	73.5	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 programamiento.

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	●	■	▲

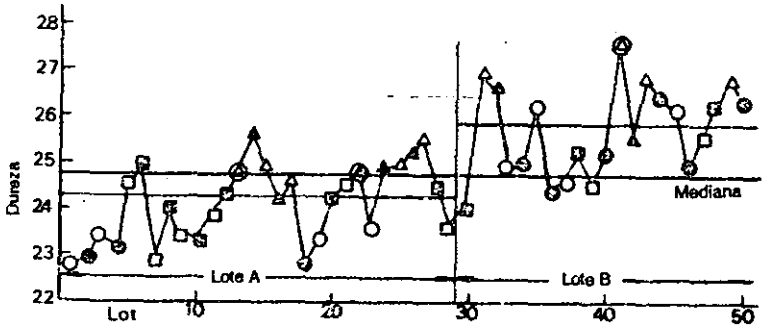


Figura 13.42

Tabla 13.19

	Material del lote A	Material del lote B	Total
Encima de la mediana	7	17	24
Debajo de la mediana	20	4	24
Total	27	21	48

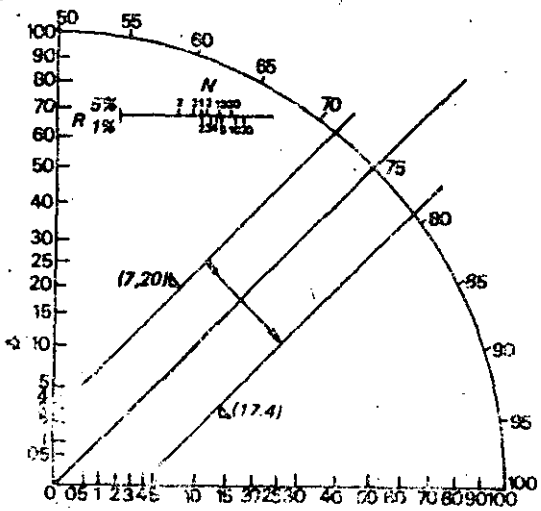


Figura 13.43

El material del lote B es evidentemente distinto del material normal del lote A. La dureza normal del lápiz labial es 24 ± 3, y entre los lápices labiales producidos con el material del lote B sólo una muestra no satisface las normas de dureza. Afortunadamente, pudo obtenerse material de lotes normales y se decidió, por tanto, mezclar el material B con lotes normales para la producción futura.

Cuando los materiales presentan discrepancias sustanciales, es difícil apreciar la diferencia entre otros factores estratificados. Trataremos entonces de ajustar el gráfico con este propósito. En la figura 13.44 aparece el gráfico en el que se han trazado las medianas para los lotes A y B y donde el lote B está corregido al nivel del lote A.

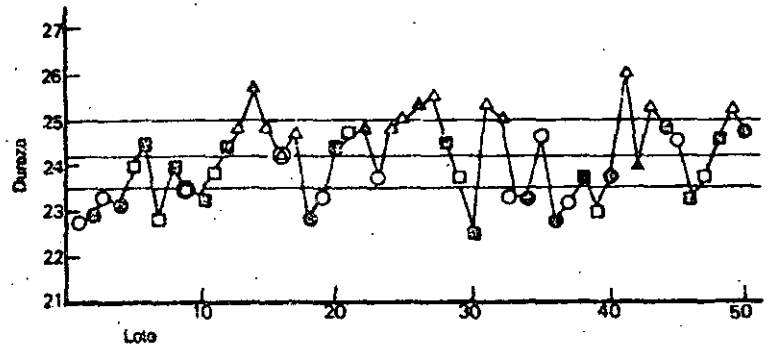


Figura 13.44

Las tablas 13.19 y 13.20 se obtienen construyendo la tabla de contingencia para tandas y matices respectivamente, de la misma manera como se hizo para los materiales. En cuanto a la tabla 13.18, sin necesidad de efectuar más pruebas resulta claro que no existe diferencia alguna entre los dos grupos. En cuanto a la estratificación por colores, hay un alto nivel de significación, como lo indica la figura 13.45, donde la diferencia es obvia. La dureza del No. 503 es distinta de la de los otros. Cuando se ponen a prueba los Nos. 501 y 502 separados del 503, no aparece una diferencia significativa. Podemos controlar el proceso de producción del No. 503 mediante un gráfico por separado y el de los Nos. 501 y 502 combinándolos en un solo gráfico.

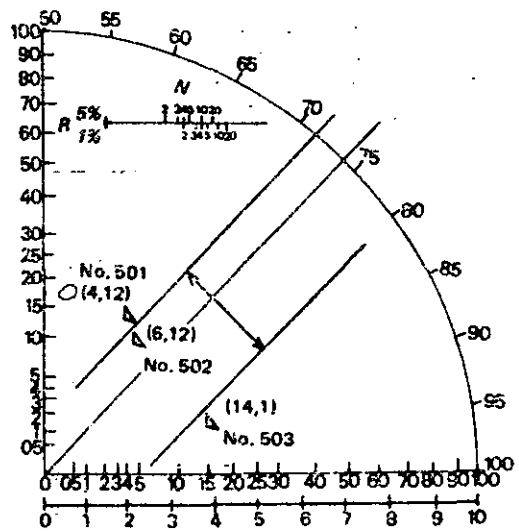


Figura 13.45

Tabla 13.19

	Tanda 1	Tanda 2	Total
Encima de la mediana	12	12	24
Debajo de la mediana	13	12	25
Total	25	24	49

Tabla 13.20

	501	502	503	Total
Encima de la mediana	4	6	14	24
Debajo de la mediana	12	12	1	25
Total	16	18	15	49

Analicemos, por último, la relación entre la temperatura de vertido y la dureza. Para observar la correlación entre dureza y temperatura, debemos construir un gráfico en el que se haga caso omiso de las diferencias de matices. En el gráfico correspondiente a la dureza (figura 13.46) se han efectuado correcciones para considerar las diferencias de dureza de los Nos. 503, 502 y 501. Denotaremos entonces la dureza con la letra x, y la temperatura con la letra y.

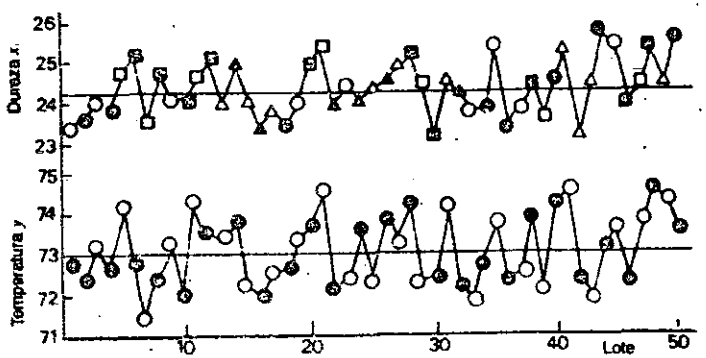
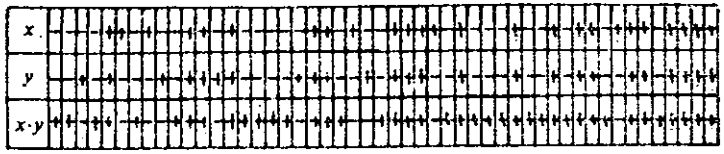


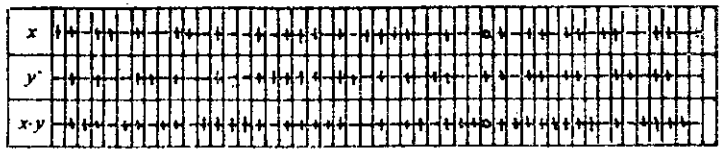
Figura 13.46

Si para determinar la correlación empleamos el método que distingue entre los puntos que están encima o debajo de la mediana, vemos que $n_+ = 40$ y $n_- = 10$ ("B"). Asimismo, con el método basado en la dirección de las líneas que unen los puntos, $n_+ = 36$ y $n_- = 12$ ("A"). Como se observa en la figura 13.47, existe un alto nivel de significación. El coeficiente de correlación r es 0.81 para "B" y 0.68 para "A", mientras que el coeficiente de contribución r^2 es 0.65 en el caso de "B" y 0.47 en el de "A".

"B" Correlación mediante mediana $n_+ = 40$ $n_- = 10$



"A" Correlación mediante dirección $n_+ = 36$ $n_- = 12$ $n_0 = 1$



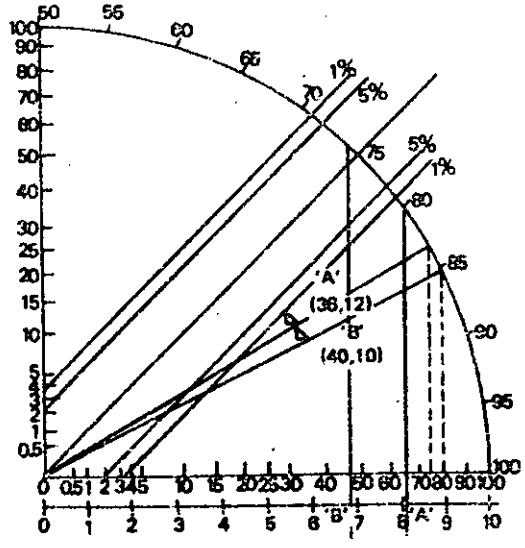


Figura 13.47

Como se esperaba, hemos demostrado que la temperatura de vertido está estrechamente correlacionada con la dureza. Mediante un análisis minucioso del gráfico de la dureza, también puede demostrarse la correlación con la temperatura. No habríamos podido llegar a ese resultado mediante el primer gráfico (figura 13.42) solamente. La gama de la temperatura en el vertido del lápiz labial fundido se hallaba dentro de las normas y la dureza del producto era la apropiada. Por lo tanto, el proceso de producción puede realizarse con arreglo a las mismas normas.

13.11 Muestreo

(1) Para efectuar un muestreo correcto, deben considerarse varios principios. Enumere por lo menos cuatro principios y los motivos de cada uno.

a) Aclare el propósito y las medidas

Siempre debe ser claro el propósito que se persigue al investigar las características de los lotes mediante métodos de muestreo. Las propiedades que son objeto de medición pueden ser la composición, el contenido de humedad, la distribución del tamaño, etc., y los métodos de muestreo, el tratamiento de las muestras, la rapidez del muestreo y las medidas consiguientes variarán según cada característica particular.

Las medidas que será preciso adoptar en base a los datos obtenidos en las mediciones deben estar aclaradas de antemano.

Existen fundamentalmente dos áreas distintas en la recolección de datos: la que se relaciona con los lotes, como la inspección, y la que atañe a los procesos de producción, como el control y el análisis del proceso.

b) Estratificación

Determine cuál será el lote; es decir, al considerar la población estudie minuciosamente cómo se debe efectuar el muestreo.

Si hay un gran error de muestreo, pueden adoptarse medidas incorrectas. Por eso, para estimar con precisión las características del lote, debemos saber cómo elegirlo, teniendo presente la estratificación. Por ejemplo, en lugar de considerar lisa y llanamente un lote que se ha comprado, podemos profundizar la estratificación según el productor, las máquinas empleadas en la elaboración o la época de fabricación. Y al tener en cuenta las dispersiones presentes en los sublotes, estaremos en condiciones de aumentar la precisión y reducir los costos. Un método que resulta muy eficaz para el muestreo consiste en tener en cuenta datos anteriores (los límites de control del gráfico de control o la dispersión de los sublotes), o en controlar la dispersión de antemano mediante experimentación. En ambos casos, es evidente la importancia de considerar ante todo la estratificación.

c) Muestreo aleatorio

Cuando se lleva a cabo el muestreo, los parámetros de un lote (media o dispersión) pueden calcularse midiendo el tamaño de la muestra. En tales cálculos, por lo tanto, el sesgo debe reducirse al mínimo y la precisión afinarse al máximo. Con este fin, todas las unidades del lote deben tener la misma posibilidad de aparecer en las muestras. En otras palabras, es esencial que el muestreo sea aleatorio. Como hay varios métodos de realizar el muestreo aleatorio, es importante adoptar el más adecuado a las propiedades que se estudian y a las condiciones de trabajo.

d) Prevención contra errores de muestreo

Para evitar errores de muestreo, se deben aplicar todos los puntos enumerados en los párrafos que hablan de la estratificación y el muestreo aleatorio.

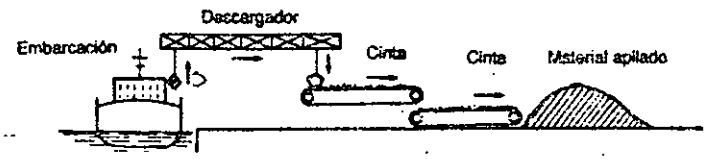
Además, es importante mantener bajo control el trabajo de muestreo. Para que el muestreo sea preciso, es indispensable controlar los factores que generan errores, merced al análisis y estandardización de las diversas causas, el mantenimiento de los instrumentos de muestreo y la capacitación del personal.

e) Elección de los métodos de muestreo

El muestreo debe efectuarse teniendo en cuenta todas las condiciones técnicas y económicas. No siempre es conveniente el muestreo aleatorio. Si, por ejemplo, tomamos muestras del extremo de un producto enrollado (acero o papel), lo hacemos con fines de economía. Por tanto, es menester escoger muestras significativas para controlar y evaluar en qué medida el método de muestreo entraña un sesgo entre el extremo y el resto del rollo.

Nota: El ejercicio siguiente, (2), trata del modo de realizar el muestreo al recibir una carga de mineral de hierro importado para determinar su aceptación o rechazo. El mismo ejercicio se puede aplicar a otros productos minerales, como cabón, cemento, etc. Las reglas generales para el muestreo de mineral en polvo y aterronado se especifican en la Japan Industrial Standard M8100 y la ISO Standard IS 3081.

(2) Como se muestra en el dibujo, el material está siendo transportado al proceso de producción. En su opinión, ¿cómo debería efectuarse el muestreo?
Se descarga el mineral de hierro del acarreador, se lo desplaza en una cinta transportadora y se lo apila en el corralón. ¿Cuál es el mejor método de extraer muestras para analizar el material?



a) Procedimiento de muestreo

En términos generales, el procedimiento de muestreo y preparación de las muestras es el siguiente:

i) Determine qué lote será objeto del muestreo.

ii) Tome muestras aleatorias de la cantidad requerida de adiciones (volumen unitario de mineral en polvo o aterronado que se extrae del lote o sublote).

iii) Recoja las adiciones para las muestras brutas.

iv) Si es necesario, prepare la muestra que se va a examinar triturando o condensando la muestra bruta. En la figura 13.48 aparece un ejemplo de este procedimiento.

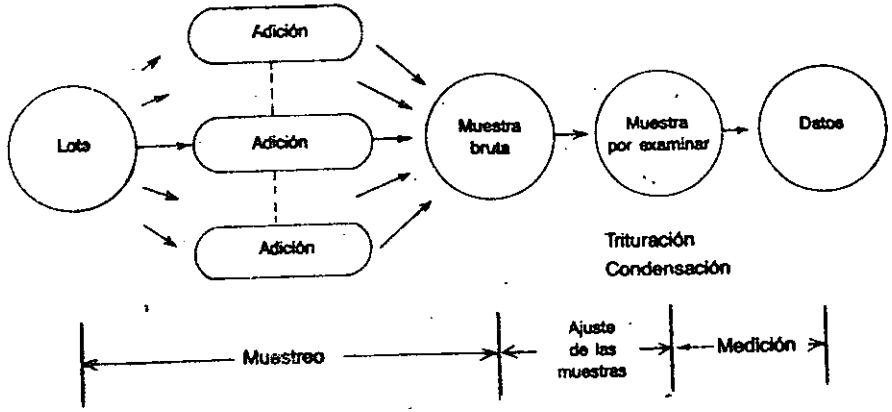


Figura 13.48

b) Tipos de muestreo

Hay cuatro tipos de muestreo, según la forma del lote, el medio de transporte y el método de tomar las adiciones.

- *i)* Muestreo sobre la cinta transportadora: Cuando los lotes se desplazan por cinta transportadora, las adiciones pueden extraerse directamente de la cinta o del extremo de la cinta.
- *ii)* Muestreo por las escotillas: Método para extraer adiciones de las escotillas durante la carga o descarga cuando se desplazan los lotes.
- *iii)* Muestreo sobre el vehículo transportador: Este método se emplea cuando los lotes se desplazan en camión o camioneta; pero no se aplica al presente ejercicio.
- *iv)* Muestreo en el recipiente: Este método se utiliza cuando los lotes se desplazan en sacos y cilindros u otros recipientes; tampoco se aplica al presente ejercicio.

Cuando la carga o descarga se efectúa mediante cinta transportadora, el primer método es el más recomendable porque:

- Por regla general, el muestreo se realiza mientras el lote se desplaza.
- Las adiciones deben tomarse cerca del momento de pesar el lote.
- Es imposible tomar adiciones de una pila de muestras al azar.

c) Tamaño del lote

La determinación del tamaño del lote debe tener en cuenta los siguientes fines:

- *i)* Determinar la calidad media del lote.
- *ii)* Adoptar las medidas necesarias sobre cada lote.

En nuestro caso, la meta es tomar conocimiento de la materia prima despachada. Por lo tanto, una embarcación debe considerarse equivalente a un lote, siempre que la materia prima sea esencialmente la misma. En general, es aconsejable ordenar los lotes de tal forma que tengan la mayor homogeneidad posible. Cuando ha de inspeccionarse un lote para determinar precios, bonificaciones o multas con fines comerciales, es preciso que el fabricante y el usuario decidan, mediante acuerdo previo, acerca de los criterios y procedimientos que van a seguir.

Para convenir en esos elementos es menester tener en cuenta cuestiones tales como la experiencia anterior y los conocimientos técnicos, instalacions y requisitos de procesamiento del usuario, costo de muestreo y preparación de las muestras, eficacia del proceso del fabricante, antecedentes del lote y la dificultad o precisión que presenta el muestreo.

d) Tamaño y cantidad de las adiciones

Una vez decidido cuál será el tamaño del lote, se deben determinar el tamaño y la cantidad de las adiciones. Cuanto mayor sea su tamaño, menor será la dispersión de sus valores característicos. Esta relación se presenta en forma asintótica, de modo que es factible lograr más precisión aumentando la calidad de adiciones en lugar de incrementar su tamaño. Además, puesto que queremos que el tamaño de la adición sea 5 a 10 veces mayor que el tamaño máximo del terrón del lote, el tamaño de la adición deberá depender del tamaño máximo del terrón del mineral.

Luego, la cantidad de adiciones debe ser tal que satisfaga plenamente la precisión requerida de cada característica del lote de acuerdo con su tamaño, calidad y dispersión.

e) Muestreo sobre la cinta transportadora

Con este método, el muestreo se efectúa tomando muestras de la cinta transportadora en movimiento. Se deben determinar de antemano los intervalos entre las muestras, a fin de poder extraer del lote la cantidad prescripta de adiciones. El muestreo sistemático resulta más preciso que el aleatorio, y es más fácil de aplicar como norma de trabajo en las instrucciones y automatización del muestreo. En este caso, respete los siguientes puntos:

- *i)* Comienzo al azar. Determine dónde (cuándo) ha de tomarse al azar la primera adición.
- *ii)* Determine el intervalo entre las muestras, teniendo en cuenta el mineral que no se transporta sobre la cinta a intervalos regulares.
- *iii)* Tome nota cuidadosamente de la periodicidad del lote transportado sobre la cinta.
- *iv)* Puesto que la distribución de material granulado es distinta a la derecha y a la izquierda, así como en la parte superior e inferior, del producto transportado, extraiga la cantidad requerida a todo lo ancho y a toda profundidad del material en desplazamiento.

f) Sacamuestras automático

El sacamuestras automático representa un método sumamente eficaz de llevar a cabo el muestreo sobre la cinta transportadora de manera rápida y exacta. Este sacamuestras utiliza generalmente una canaleta en el mecanismo transportador. Al emplearlo, tenga presente lo siguiente:

- *i)* Realice investigaciones y experimentos previos para lograr el uso más eficaz.
- *ii)* Insista en la confiabilidad (limpieza rápida, ausencia de fallas mecánicas y sesgo).
- *iii)* El tamaño de la adición y el intervalo del muestreo deben ser flexibles.

g) Cómo obtener las adiciones

Al extraer adiciones de un lote, o bien obtenga muestras que se van a examinar de cada adición (figura 13.49), o reúna todas las adiciones para el muestreo bruto (figura 13.50).

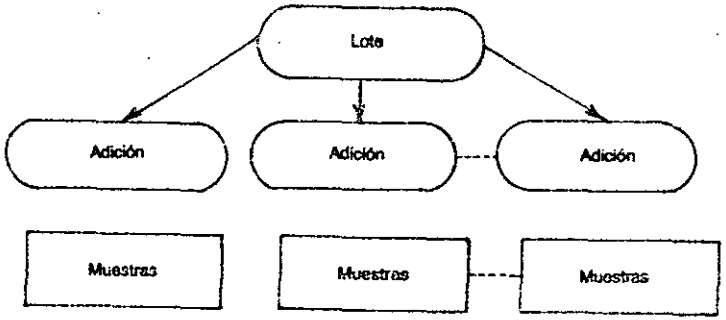


Figura 13.49

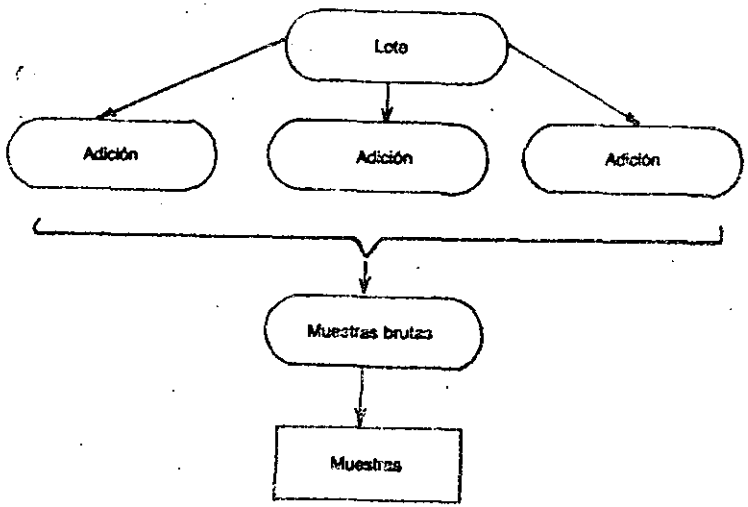


Figura 13.50

13.12 Inspección por muestreo

(1) Cuando están dados $p_0 = 2{,}5\%$, $\alpha \approx 0{,}05$, $p_1 = 15\%$ y $\beta \approx 0.10$, halle un plan de inspección por muestreo simple (n, c) por atributos.

$p_0 = 2.5\%$, $p_1 = 15\%$, $\alpha \approx 0.05$, $\beta \approx 0.10$.

Utilice la Tabla de inspección normal por muestreo simple por atributos ($\alpha \approx 0.05$, $\beta \approx 0.10$) de la página 121 (tabla 12.4). (La tabla 13.21 está abreviada.)

Paso 1. El valor $p_1 = 15(\%)$ está incluido en la columna correspondiente a valores de $p_1(\%)$ entre 14.1 y 18.0.

Paso 2. El valor $p_0 = 2.5(\%)$ está incluido en el renglón correspondiente a valores de $p_0(\%)$ entre 2.25 y 2.80.

Paso 3. En la intersección de la columna y el renglón indicados, hallamos $n = 30$ y $c = 2$.

Tabla 13.21

p_0 (%) \ p_1 (%)	0.71 … 0.90		14.1 … 18.0
0.080 … 0.112			
⋮			⋮
2.25 … 2.80			30 … 2

(2) Adapte una inspección por muestreo simple basada en las tablas de la MIL-STD-105D, con AQL = 1.2%, tamaño del lote 3700 y nivel de inspección II, dispuesta para una inspección de compra, y prepare tres tipos de planes de inspección por muestreo, como inspección normal, inspección rigurosa e inspección reducida. Sugerencia: Como AQL = 1.2(%) no aparece en las tablas, utilice AQL = 1.5(%).

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% ($\alpha \approx 0.05$ y $\beta \approx 0.10$), 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(%), $\alpha \approx 0.05$ y $\beta \approx 0.10$, 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

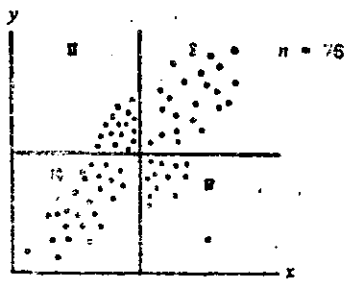
La columna de la izquierda indica el tamaño de la muestra n, y Pr denota el nivel de significación en relación con los límites superior e inferior. La cantidad de ocurrencias de r de cualquiera de los dos signos aparece en los espacios correspondientes.

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	59

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	σ	Escala α (cm)	$1/\sqrt{10} - \alpha$ (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

CONTROL TOTAL DE CALIDAD

CONTENIDO

CONTROL TOTAL DE CALIDAD

OBJETIVOS DEL CURSO

- DESCRIBIR QUE ES CONTROL TOTAL DE CALIDAD.
- APRENDER UNA METODOLOGIA QUE NOS PERMITA MEJORAR CONTINUAMENTE LOS PROCESOS RELACIONADOS CON NUESTRO TRABAJO.
- DESCRIBIR LA APLICACION DE ALGUNAS TECNICAS ESTADISTICAS PARA LA IDENTIFICACION, ANALISIS Y SOLUCION DE PROBLEMAS.
- IDENTIFICAR PARAMETROS DE MEDICION DE LOS PROCESOS

I. CONTROL TOTAL DE CALIDAD

INTRODUCCIÓN

EL MUNDO ESTA VIVIENDO LA ETAPA MAS DINAMICA DE SU HISTORIA. LA VELOCIDAD CON QUE SUCEDEN LOS CAMBIOS EN SUS DIFERENTES AMBITOS ES, EN OCASIONES, TAN GRANDE, QUE EL HOMBRE NO DISPONE SUFICIENTE TIEMPO PARA ENTENDER LO QUE SUCEDE A SU ALREDEDOR.

LA EVOLUCION ECONOMICA Y LA TECNOLOGIA REPRESENTAN, PROBABLEMENTE, LOS CASOS MAS SIGNIFICATIVOS DE DICHA DINÁMICA. UNA DE LAS CONSECUENCIAS PRINCIPALES QUE ESTE FENOMENO HA IMPUESTO A LAS EMPRESAS PRODUCTIVAS, ES LA NECESIDAD DE CONOCER EL ENTORNO EN EL QUE OPERAN Y AJUSTARSE A LOS REQUERIMIENTOS Y DEMANDAS DEL MISMO.

CONCEPTOS COMO: MERCADO, SATISFACCION DE LOS CLIENTES, COMPETENCIA BASADA EN LA CALIDAD DE PRODUCTOS Y SERVICIOS, PRODUCTIVIDAD Y MORAL DE TRABAJO, JUEGAN UN PAPEL FUNDAMENTAL PARA EL PROGRESO DE LAS ORGANIZACIONES.

EL EXITO EXTRAORDINARIO QUE HA TENIDO EL PUEBLO JAPONES DURANTE LAS ULTIMAS TRES DECADAS, SE DEBE, EN GRAN MEDIDA, AL ENFASIS QUE HA PUESTO POR MEJORAR CONTINUAMENTE LA CALIDAD DE LOS BIENES Y SERVICIOS QUE PRODUCE, APOYANDOSE FUNDAMENTALMENTE EN SU FUERZA DE TRABAJO. ESTO LO HA LOGRADO CONCIENTIZANDO A LA GENTE DE LA IMPORTANCIA Y BENEFICIOS QUE IMPLICA HACER LAS COSAS BIEN DESDE LA PRIMERA VEZ, PROPORCIONANDO A LOS EMPLEADOS EL ENTRENAMIENTO NECESARIO PARA INCREMENTAR SU PRODUCTIVIDAD Y PERMITIENDOLES PARTICIPAR ACTIVAMENTE EN LA TOMA DE DECISIONES Y PROCESO EVOLUTIVO DE SU TRABAJO.

LA APLICACION DEL CONCEPTO CONTROL TOTAL DE CALIDAD, COMO FORMA DE TRABAJO, HA DEMOSTRADO SER UNA EXCELENTE ALTERNATIVA PARA LA SUBSISTENCIA Y DESARROLLO DE LAS ORGANIZACIONES, INDEPENDIENTEMENTE DE SU GIRO Y DEL ENTORNO (SOCIEDAD, CULTURA, PAIS, AREA GEOGRAFICA, ETC.) EN EL QUE OPERAN.

CONTROL TOTAL DE CALIDAD

* F I L O S O F I A

  - CUALQUIER OPERACION O ACTIVIDAD DE TRABAJO DEBE VERSE Y CONCEPTUALIZARSE COMO UN PROCESO

  - EL ELEMENTO MAS IMPORTANTE RELACIONADO CON UN PROCESO ES EL CLIENTE, Y ESTE, PUEDE SER UNA PERSONA, O BIEN, EL SIGUIENTE PROCESO DENTRO DEL SISTEMA O CICLO PRODUCTIVO DE BIENES Y/O SERVICIOS

* D E F I N I C I O N

  - EL ESTILO DE TRABAJO QUE, BASADO EN UNA METODOLOGÍA SISTEMÁTICA, ORIENTA Y COORDINA LOS ESFUERZOS DE TODOS LOS INTEGRANTES DE UNA ORGANIZACIÓN HACIA EL LOGRO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS DE BUENA CALIDAD, PARA GARANTIZAR LA SATISFACCIÓN ABSOLUTA DE DE SUS CLIENTES

IMPORTANCIA DE LA CALIDAD

* REPUTACIÓN DE TENER PRODUCTOS DE ALTA CALIDAD

* MAYORES EXPECTATIVAS DE LOS CLIENTES EN CUANTO A PRECIO Y A CALIDAD

* FEROZ COMPETENCIA EN EL AREA DE CALIDAD

* INCREMENTO EN LOS COSTOS POR MALA CALIDAD

CALIDAD

TRADICIONALMENTE, CALIDAD SE ENTENDÍA COMO "CUMPLIMIENTO CON ESPECIFICACIONES". POR EJEMPLO: UN PRODUCTO ERA DE BUENA CALIDAD SI SU COLOR, DIMENSIONES, CONSISTENCIA, VIDA UTIL, ETC., COINCIDIAN CON LA DESCRIPCION QUE EL FABRICANTE HACIA DE DICHO PRODUCTO.

LA CALIDAD SE RELACIONABA MAS CON LOS PRODUCTOS (POR SU PRESENTACIÓN, TERMINADO Y DURACIÓN) QUE CON LOS SERVICIOS.

HOY EN DÍA, EL SIGNIFICADO DEL TÉRMINO ES MUCHO MAS AMPLIO. CALIDAD SE INTERPRETA COMO "**SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES**", Y PARA LOGRARLA, SE REQUIERE QUE TANTO LOS PRODUCTOS COMO LOS SERVICIOS ASOCIADOS (ENTREGA, FACTURACIÓN, REPARACIÓN) CUMPLAN (Y EN OCASIONES EXCEDAN) LAS NECESIDADES Y EXPECTATIVAS DE LOS CLIENTES.

ESTO NO SE DA POR ACCIDENTE O CASUALIDAD, SINO QUE REQUIERE DE BUENAS INTENCIONES, ESFUERZOS SINCEROS Y UN SISTEMA DE TRABAJO BIEN ORGANIZADO.

<u>CONCEPCIÓN TRADICIONAL</u>

"CUMPLIMIENTO CON ESPECIFICACIONES"

<u>CONCEPCIÓN MODERNA</u>

"SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES"

LA CALIDAD NUNCA SE DA POR ACCIDENTE

SIEMPRE ES EL RESULTADO DE:

- BUENAS INTENCIONES
- ESFUERZOS SINCEROS
- UN SISTEMA DE TRABAJO BIEN ORGANIZADO

DEFINICION DE CONTROL TOTAL DE CALIDAD

UNA FILOSOFÍA OPERATIVA Y GERENCIAL TOTALMENTE ORIENTADA A LOGRAR LA CALIDAD.

* ENFOCADA EN: UNA MEJORA CONTINUA DE LOS PROCESOS.
  - TODO ES UN PROCESO
  - UTILIZA MÉTODOS CIENTÍFICOS PARA LA OBTENCION Y ANÁLISIS DE DATOS
  - PERFECCIÓN ES LA META

* REQUIERE PARTICIPACIÓN UNIVERSAL
  - DE TODOS
  - EN TODAS PARTES
  - TRABAJO DE EQUIPO

* RESULTA EN: SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES
  - IDENTIFICA LAS NECESIDADES DE CLIENTES INTERNOS Y EXTERNOS
  - EXCEDE LAS EXPECTATIVAS DE DICHOS CLIENTES

QUE ES EL CONTROL TOTAL DE CALIDAD

ES	NO ES
UNA FILOSOFÍA OPERATIVA GERENCIAL	UN NUEVO PROGRAMA
RAZONAMIENTO ANALÍTICO	MIMA = MISMO MÉTODO
UN MÉTODO BIEN ESTRUCTURADO PARA IDENTIFIC., ANÁLISIS Y SOLUCÓN DE PROBLEMAS E INSTITUCIONALIZACIÓN DE LAS MEJORAS LOGRADAS	APAGA FUEGOS
TRANSMITIDO POR MEDIO DE ACCIONES Y RESULTADOS	MANEJADO POR LEMAS
A LARGO PLAZO	A CORTO PLAZO
APOYADO POR ESTADÍSTICAS	DIRIGIDO POR ESTADÍSTICAS

UNA SOLUCIÓN PERMANENTE, UN ESTILO DE VIDA

UNA REPARACIÓN RÁPIDA Y PROVISIONAL

II MODELO PARA EL MEJORAMIENTO CONTINUO DE LOS PROCESOS

EN EL SIGUIENTE MODELO SE MUESTRA LA SECUENCIA TEORICA O IDEALIZADA DE PASOS PARA LOGRAR EL MEJORAMIENTO CONTÍNUO DE ALGÚN PROCESO. EN UNA SITUACIÓN REAL, ES PROBABLE QUE SE REQUIERA UTILIZAR SOLAMENTE UNA PARTE DEL MODELO, APLICARLO CON UNA SECUENCIA DIFERENTE, INICIAR EN UNA DE SUS ETAPAS INTERMEDIAS, O BIEN, REPETIR ALGUNOS PASOS HASTA OBTENER RESULTADOS SATISFACTORIOS.

POR TODAS ESTAS RAZONES, EL MODELO DEBE CONSIDERASE COMO UNA GUIA SUSCEPTIBLE DE SER ADAPTADA PARA SU APLICACIÓN EN CADA CASO PARTICULAR.

LA REPRESENTACIÓN UTILIZADA SE DENOMINA DIAGRAMA DE FLUJO Y SERA DESCRITA DETALLADAMENTE EN EL CAPITULO V, POR SER UNA DE LAS HERRAMIENTAS VALIOSAS PARA EL CONTROL TOTAL DE CALIDAD.

III IDENTIFICACION DE CLIENTES Y DE SUS REQUERIMIENTOS

LA EVIDENCIA MAS CLARA DE QUE EXISTE UN PROBLEMA Y, POR ENDE, LA NECESIDAD DE MEJORAR UNO O VARIOS PROCESOS, SE MANIFIESTA CUANDO EL CLIENTE NO ESTA CONFORME CON EL CUMPLIMIENTO DE SUS NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS. POR ELLO, ES DE VITAL IMPORTANCIA MANTENER UN CONTACTO CONTÍNUO CON LOS CLIENTES, PARA CONOCER SU NIVEL DE SATISFACCIÓN.

CLIENTE

LA PERSONA O EMPRESA QUE COMPRA NUESTROS PRODUCTOS Y SERVICIOS.

TODO INDIVIDUO O PROCESO QUE UTILIZA LOS RESULTADOS DE NUESTRO TRABAJO

LA PERSONA O GRUPO DE PERSONAS QUE ESPERAN ALGO DE NOSOTROS

CLIENTE INTERNO

SON LAS PERSONAS Y PROCESOS QUE PERTENECEN A LA MISMA EMPRESA EN DONDE LABORAMOS.

CLIENTE EXTERNO

ES AQUEL QUE NO PERTENECE A LA EMPRESA EN DONDE LABORAMOS. NOTAR QUE UN CLIENTE EXTERNO NO ES UNICAMENTE EL QUE NOS COMPRA ALGÚN PRODUCTO O SERVICIO. POR EJEMPLO, EL GOBIERNO ES UN CLIENTE EXTERNO, YA QUE ESPERA DE HP EL CUMPLIMIENTO DE LAS POLITICAS DE COMERCIALIZACION. UNA PERSONA QUE SOLICITA INFORMACIÓN DE NUESTROS PRODUCTOS (AUNQUE NO LOS COMPRE), ES TAMBIEN UN CLIENTE EXTERNO.

PREGUNTAS FUNDAMENTALES DEL CONTROL TOTAL DE CALIDAD

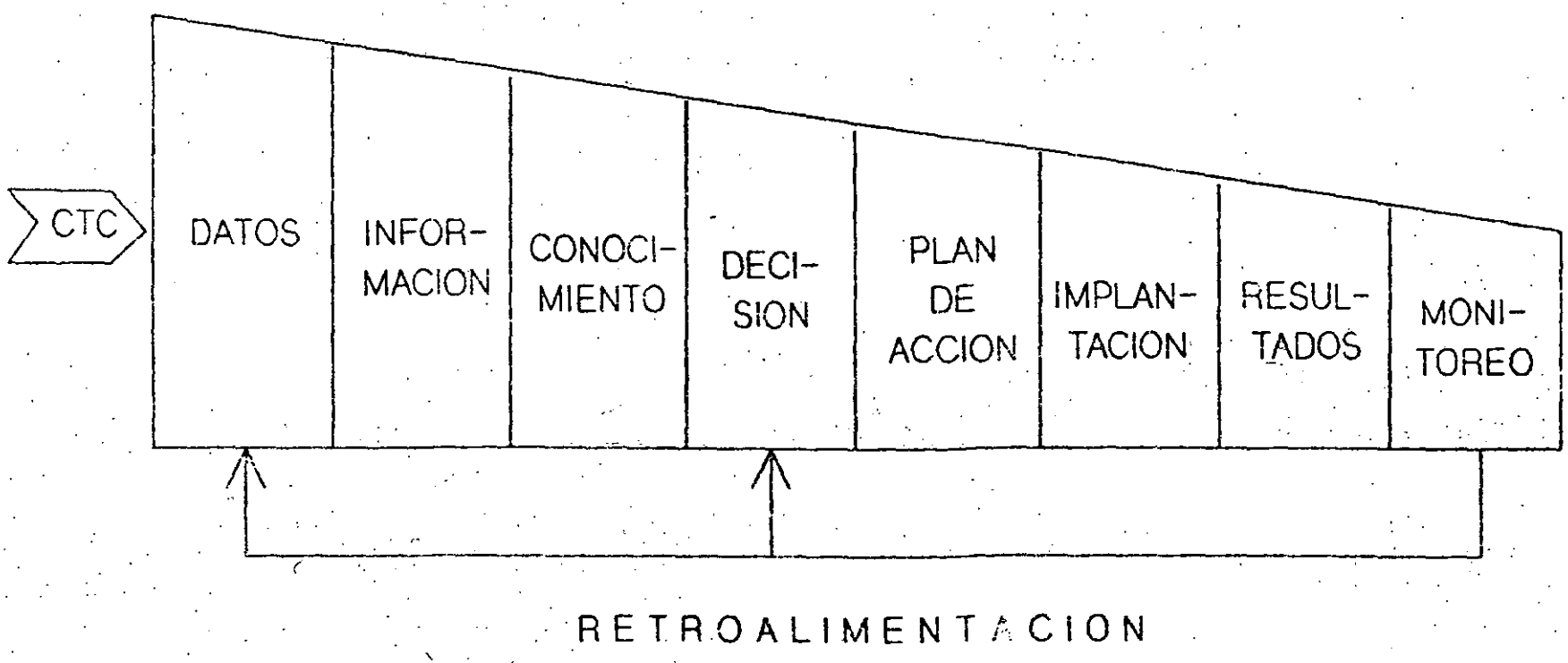
1. QUIENES SON NUESTROS CLIENTES?
2. CUALES SON SUS NECESIDADES?
3. QUÉ PRODUCTOS Y/O SERVICIOS ESTAMOS PROPORCIONANDOLES PARA SATISFACER DICHAS NECESIDADES?
4. CUÁLES SON LAS EXPECTATIVAS DE CALIDAD DE NUESTROS CLIENTES RESPECTO A DICHOS PRODUCTOS Y/O SERVICIOS?
5. ESTAMOS CUMPLIENDO ESAS EXPECTATIVAS?
6. QUE PROCESOS LLEVAMOS A CABO PARA GENERAR LOS PRODUCTOS Y/O SERVICIOS IDENTIFICADOS?
7. QUE ACCIONES NECESITAMOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE NUESTROS PROCESOS Y, POR ENDE, LA DE NUESTROS PRODUCTOS Y/O SERVICIOS?

UNA FORMA EFECTIVA DE CONOCER LA OPINION DE LOS CLIENTES EN CUANTO A LA CALIDAD DE NUESTROS PRODUCTOS Y SERVICIOS, Y DE CONTAR CON SUS SUGERENCIAS AL RESPECTO, ES MEDIANTE LA APLICACION PERIODICA DE ENCUESTAS SENCILLAS Y BIEN ESTRUCTURADAS.

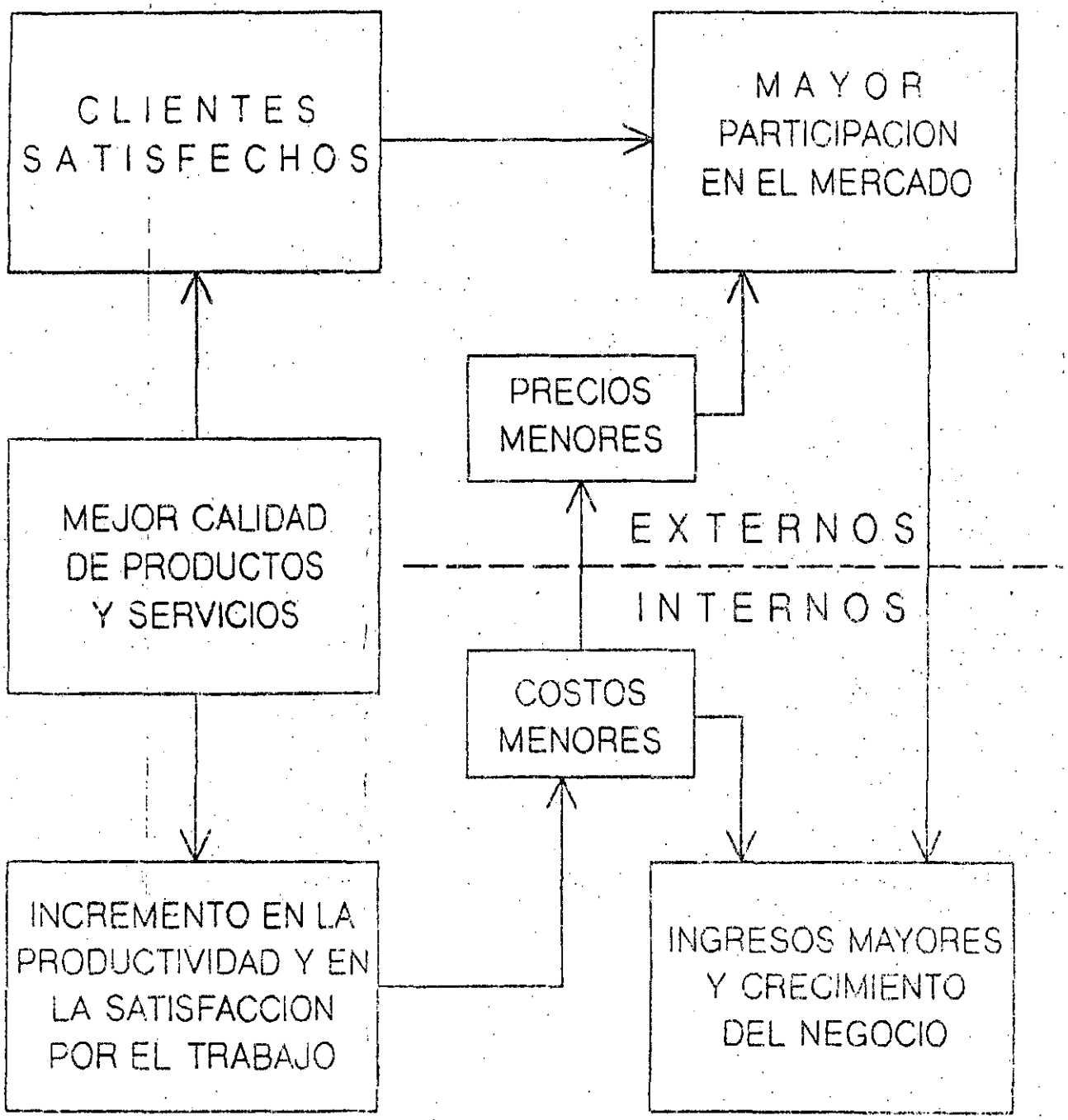
ALGUNAS IDEAS QUE SIRVEN COMO GUIA PARA ELABORAR DICHAS ENCUESTAS SON:

- ESPECIFICAR LOS PRODUCTOS Y SERVICIOS QUE RECIBE EL CLIENTE

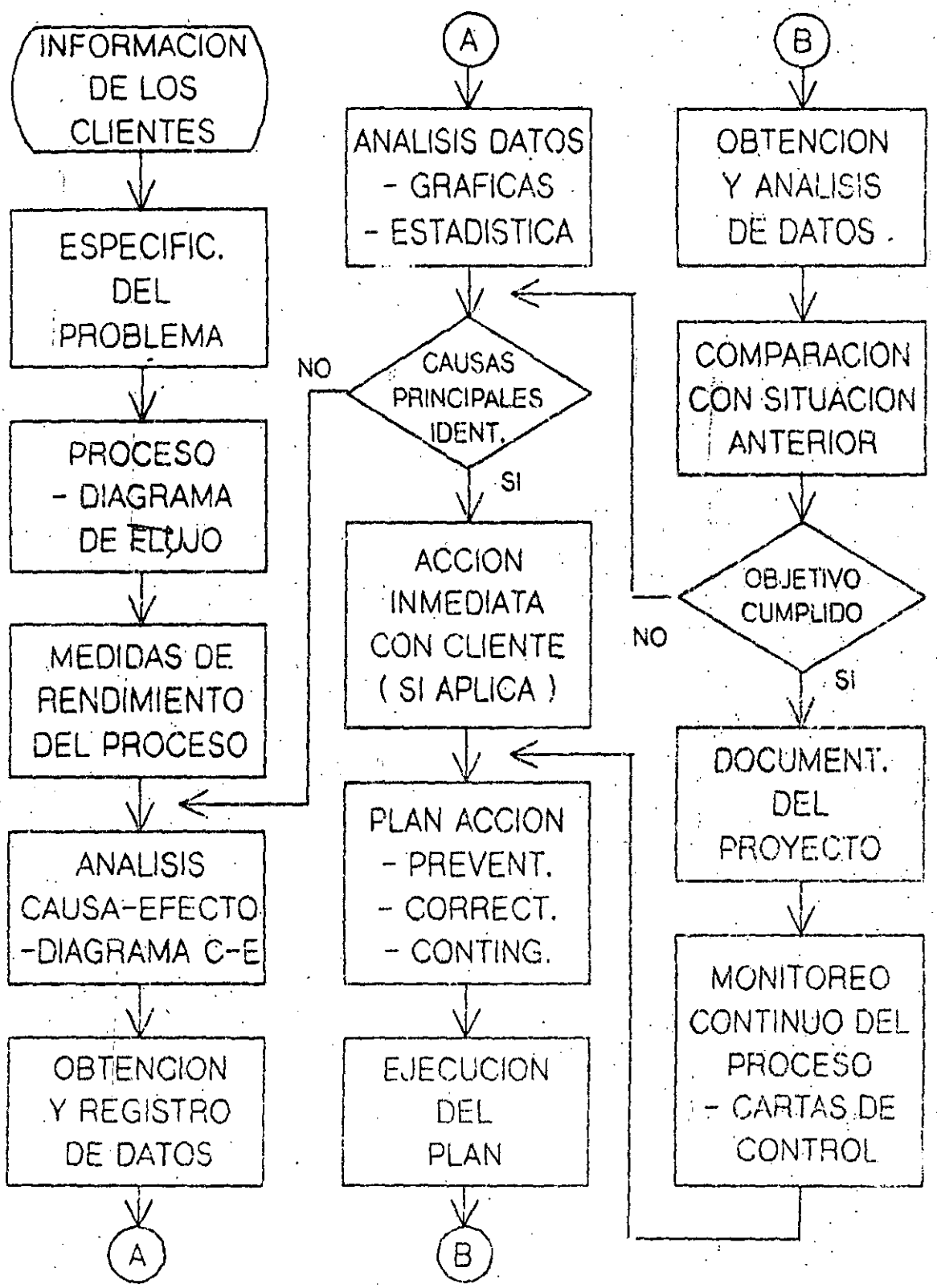
CICLO DE APLICACION DEL CTC



BENEFICIOS DEL CTC



MODELO CTC


INFORMACION DE LOS CLIENTES
ESPECIFIC. DEL PROBLEMA
PROCESO - DIAGRAMA DE FLUJO
MEDIDAS DE RENDIMIENTO DEL PROCESO
ANALISIS CAUSA-EFECTO -DIAGRAMA C-E
OBTENCION Y REGISTRO DE DATOS
A
A
ANALISIS DATOS - GRAFICAS - ESTADISTICA
CAUSAS PRINCIPALES IDENT.
NO
SI
ACCION INMEDIATA CON CLIENTE (SI APLICA)
PLAN ACCION - PREVENT. - CORRECT. - CONTING.
EJECUCION DEL PLAN
B
B
OBTENCION Y ANALISIS DE DATOS
COMPARACION CON SITUACION ANTERIOR
OBJETIVO CUMPLIDO
NO
SI
DOCUMENT. DEL PROYECTO
MONITOREO CONTINUO DEL PROCESO - CARTAS DE CONTROL

- SOLICITARLE EL PORCENTAJE DE OCASIONES QUE SUS EXPECTATIVAS NO SON CUMPLIDAS.

- PEDIRLE QUE INDIQUE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS QUE PERCIBE Y SU TENDENCIA CONFORME TRANSCURRE EL TIEMPO (EMPEORAN, SE ESTABILIZAN O MEJORAN)

- SOLICITARLE QUE EXPRESE ABIERTAMENTE SUS SUGERENCIAS PARA ELIMINAR DICHOS PROBLEMAS Y ASI MEJORAR SU NIVEL DE SATISFACCIÓN.

IV ESPECIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE PROBLEMAS

LA IDEA CENTRAL DE ESTA FASE ES DEFINIR EL PROBLEMA (O PROBLEMAS) CON LA MAYOR CLARIDAD POSIBLE, DE TAL SUERTE QUE TODAS LAS PERSONAS LO ENTIENDAN Y PERCIBAN DE LA MISMA FORMA.

OBJETO CON DEFECTO

UN PROBLEMA DEBE ESPECIFICARSE COMO "UN OBJETO CON DEFECTO" PARA EVITAR LA FRECUENTE COSTUMBRE DE INDICAR LA CAUSA O SOLUCIÓN AL MOMENTO DE ENUNCIARLO.

A CONTINUACIÓN SE DAN ALGUNOS EJEMPLOS PARA CLARIFICAR LO ANTERIOR

OBJETO CON DEFECTO	VS	CAUSA O SOLUCIÓN IMPLICITA
1. LA OFICINA ESTA FRIA		LA OFICINA REQUIERE CALEFACCIÓN
2. EL SERVICIO DE REPARACIÓN ES MUY LENTO		SE NECESITAN MAS EMPLEADOS PARA DAR UN SERVICIO OPORTUNO
3. EL ÍNDICE DE ERRORES ES ELEVADO		HACE FALTA MAYOR AUTOMATIZACIÓN PARA DISMINUIR LOS ERRORES
4. LA INFORMACIÓN NO SE RECIBE OPORTUNAMENTE		ES NECESARIO INCREMENTAR LAS LÍNEAS DE COMUNICACIÓN
5. EL ENTRENAMIENTO ES DEFICIENTE		HAY QUE ACTUALIZAR EL MATERIAL AUDIOVISUAL DEL ENTRENAMIENTO
6. LAS VENTAS ESTÁN DISMINUYENDO		LA MALA PUBLICIDAD ESTA AFECTANDO A LAS VENTAS
7. EL TIEMPO DE ENTREGA DE LOS EQUIPOS NO SE CUMPLE		LOS PERMISOS DE IMPORTACIÓN RETRASAN LAS ENTREGAS
8. LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO ES LENTA		LA NO DISPONIBILIDAD DE PARTES AFECTA LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO
9. SE VENDEN PRODUCTOS NO SOPORTADOS POR INGENIERIA		SE REQUIEREN MAS INGENIEROS DE SERVICIO

10. LAS FACTURAS MUESTRAN ERRORES — EL SISTEMA DE FACTURACIÓN NO PERMITE CORRECCIONES

ES IMPORTANTE ESTABLECER "**LO QUE ES**" Y "**LO QUE NO ES**" EL PROBLEMA, Y PARA ELLO, RESULTA DE UTILIDAD TRATAR DE DAR RESPUESTA A LAS PREGUNTAS: **DÓNDE**? **CUÁNDO**? **CUÁNTO**? **CUAL ES SU TENDENCIA**? **ETC.**, CON EL PROPÓSITO DE VISUALIZARLO Y EXPLORARLO DESDE VARIOS ANGULOS.

EN EL SIGUIENTE PARRAFO SE SUGIERE UN FORMATO QUE PUEDE SERVIR DE GUIA PARA CONSEGUIR DICHO PROPÓSITO.

PROBLEMA

* OBJETO CON DEFECTO
* DIFERENCIA ENTRE "LO QUE ES" Y "LO QUE DEBE SER"

PROBLEMA:	ES	NO ES	DIFERENCIAS
OBJETO			
DEFECTO			
DONDE			
CUANDO			
CUANTO			
TENDENCIA			

TECNICAS DE SELECCION

ES MUY PROBABLE QUE COMO CONSECUENCIA DE LOS COMENTARIOS Y OBSERVACIONES DE LOS CLIENTES SE IDENTIFIQUEN VARIOS PROBLEMAS, Y, QUE POR DIVERSAS RAZONES NO SE PUEDEN RESOLVER SIMULTANEAMENTE. POR LO TANTO, ES NECESARIO REALIZAR UN PROCESO DE SELECCIÓN PARA DETERMINAR LA PRIORIDAD CON QUE DEBE CONSIDERARSE LA SOLUCIÓN DE CADA UNO DE ELLOS.

NO EXISTE, A SABER, UN PROCESO DE SELECCIÓN ESPECÍFICO QUE PUEDA APLICARSE A TODOS LOS CASOS, SIN EMBARGO, ES RECOMENDABLE CONSIDERAR LAS SIGUIENTES SUGERENCIAS:

- LOS PROBLEMAS QUE AFECTAN A CLIENTES EXTERNOS, GENERLAMENTE DEBEN RESOLVERSE ANTES QUE LOS QUE AFECTAN A CLIENTES INTERNOS.
- CONVIENE CALIFICAR A LOS PROBLEMAS DE ACUERDO AL GRADO DE URGENCIA QUE TIENE SU SOLUCIÓN, UTILIZANDO LA ESCALA QUE SE CONSIDERE MÁS ADECUADA. POR EJEMPLO:

UA	URGENCIA ALTA
UM	URGENCIA MEDIA
UB	URGENCIA BAJA

- DE IGUAL FORMA, CONVIENE CALIFICARLOS, DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA. POR EJEMPLO:

IA	IMPORTANCIA ALTA
IM	IMPORTANCIA MEDIA
IB	IMPORTNACIA BAJA

- OTRO CRITERIO UTIL PARA LA SELECCIÓN ES LA TENDENCIA QUE MUESTRAN LOS PROBLEMAS CON EL TRANSCURSO DEL TIEMPO

TE	TENDENCIA A EMPEORAR
TS	TENDENCIA A ESTABILIZARSE
TM	TENDENCIA A MEJORAR

CON LA COMBINACIÓN DE ESTOS, Y OTROS CRITERIOS DE SELECCIÓN SE PUEDE ELABORAR UNA MATRIZ COMPARATIVA QUE FACILITE LA ASIGNACIÓN DE PRIORIDADES.

RESULTA EVIDENTE QUE **LOS PROBLEMAS MAS CRITICOS SON AQUELLOS QUE AFECTEN A CLIENTES EXTERNOS, TENGAN UNA URGENCIA ALTA, TENGAN UNA IMPORTANCIA ALTA Y MUESTREN UNA TENDENCIA A EMPEORAR.** A CONTINUACIÓN SE MUESTRA UN EJEMPLO HIPOTETICO.

MATRIZ DE SELECCION DE PROBLEMAS

PROBLEMA	TIPO DE CLIENTE	URGENCIA	IMPORTANCIA	TENDENCIA	PRIORIDAD DE SOLUCIÓN
A	I	UA	IA	TE	5
B	E	UA	IA	TS	2
C	I	UM	IM	TE	7
D	I	UB	IB	TS	8
E	E	UB	IB	TS	6
F	I	UB	IM	TM	10
G	E	UA	IA	TE	1
H	E	UM	IA	TS	4
I	E	UA	IM	TE	3
J	I	UM	IB	TM	9

IV PROCESO

PREMISA DEL CONTROL TOTAL DE CALIDAD

UNA VEZ SELECCIONADO EL PROBLEMA A RESOLVER, SE DEBE IDENTIFICAR EL PROCESO EN DONDE OCURRE DICHO PROBLEMA.

EL DR. DEMING AFIRMA QUE EL 85% DE LOS PROBLEMAS QUE SE GENERAN EN UN GRUPO DE TRABAJO SE DEBEN AL SISTEMA O CONJUNTO DE PROCESOS QUE MANEJA DICHO GRUPO, Y UNICAMENTE EL 15% ESTA RELACIONADO CON LA GENTE. POR ELLO, EL CONTROL TOTAL DE CALIDAD SE ENFOCA HACIA EL MEJORAMIENTO CONTINUO DE LOS PROCESOS.

"GENERALMENTE LAS PERSONAS NO HACEN MAL SU TRABAJO PORQUE ASI SE LO PROPONGAN"

EN ESTE MOMENTO CONVIENE ENFATIZAR UNA DE LAS PREMISAS EN QUE SE FUNDAMENTA EL CONTROL TOTAL DE CALIDAD:

"CUALQUIER OPERACION O ACTIVIDAD DE TRABAJO DEBE VERSE Y CONCEPTUALIZARSE COMO UN PROCESO"

DEFINICION DE UN PROCESO

UNA SERIE DE ACTIVIDADES O ACCIONES DIRIGIDAS A OBTENER UN RESULTADO ESPECIFICO

ALGUNOS EJEMPLOS DE PROCESOS SON:

- UN PROCEDIMIENTO DE CUENTAS POR PAGAR
- SELECCION Y CONTRATACION DE PERSONAL
- HACER UNA INVESTIGACION DE MERCADO
- DAR MANTENIMIENTO A UN EQUIPO
- SESIONES DE ENTRENAMIENTO
- ESTABLECIMIENTO DE CUOTAS

CARACTERISTICAS DE UN PROCESO

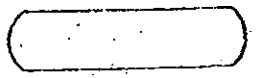
1. PUEDE SER REPRESENTADO GRAFICAMENTE CON UN DIAGRAMA DE FLUJO.
2. PUEDE MEDIRSE SU DESEMPEÑO O RENDIMIENTO
3. PUEDE MEJORARSE MEDIANTE LA ALTERACION DE SUS COMPONENTES Y RELACIONES, UNA VEZ QUE SE CONOCE OBJETIVAMENTE (MEDIDAS DE RENDIMIENTO) SU SITUACION ACTUAL.

DIAGRAMA DE FLUJO DE UN PROCESO

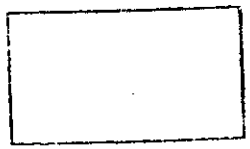
* REPRESENTACION GRAFICA DE LA SECUENCIA DE PASOS QUE CONSTITUYEN DICHO PROCESO

* DIAGRAMA QUE ESPECIFICA LAS ETAPAS DEL PROCESO

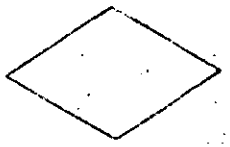
ELEMENTOS DE UN DIAGRAMA DE FLUJO



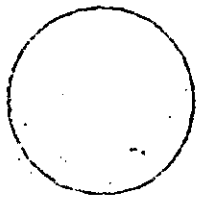
: INICIO/FIN



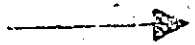
: PASO/ETAPA
ACCION DE PROCESO



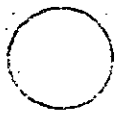
: DECISION (SI/NO)



: PERIODO DE ESPERA
PARA CONTINUAR CON EL
PROCESO



: SECUENCIA DEL PROCESO



: CONECTORES DEL DIAGRAMA

OBSERVACIONES IMPORTANTES

1. AL CONSTRUIR UN DIAGRAMA DE FLUJO DEBE TENERSE ESPECIAL CUIDADO EN REPRESENTAR "LA SITUACION ACTUAL" DEL PROCESO, CON EL OBJETO DE NO DISTORSIONAR EL ANALISIS POSTERIOR. VALE LA PENA HACER ESTA ACLARACION PORQUE EXISTE LA TENDENCIA NATURAL DE REFLEJAR INCONSCIENTEMENTE EN EL DIAGRAMA LOS CAMBIOS QUE, A JUICIO DEL RESPONSABLE, AYUDARIAN A ELIMINAR LA PROBLEMATICA BAJO ESTUDIO, ES DECIR, SE ESTARIA SUGIRIENDO UNA SOLUCION PARCIAL O TOTAL ANTES DE COMPLETAR EL ANALISIS PROPUESTO POR LA METODOLODIA DEL CONTROL TOTAL DE CALIDAD.

2. ES COMUN ENCONTRAR LA SITUACION DE QUE NO TODAS LAS PERSONAS REALIZAN EL MISMO PROCESO EXACTAMENTE DE LA MISMA FORMA (CON LOS MISMOS PASOS, SECUENCIA, ETC.). EN TAL CASO DEBERA REPRESENTARSE EN EL DIAGRAMA LA FORMA EN QUE LA MAYORIA LLEVA A CABO EL PROCESO Y TOMAR NOTA DE LAS DIFERENCIAS, PUES PUEDEN SER UTILES POSTERIORMENTE.

VI PARAMETROS DE MEDICION DE LOS PROCESOS

INTRODUCCION

DESPUES DE HABER VERIFICADO EL DIAGRAMA DE FLUJO, ES NECESARIO ESTABLECER LOS INDICADORES DE CALIDAD QUE PERMITAN CONOCER EL RENDIMIENTO O ESTADO DEL PROCESO. EN OTRAS PALABRAS, SE REQUIERE SABER OBJETIVAMENTE EN QUE MEDIDA EL PROCESO ESTA CUMPLIENDO CON LAS NECESIDADES DE LOS CLIENTES, Y ESTO SE LOGRA MEDIANTE LOS PARAMETROS DE MEDICION.

"MI OPINION ES QUE CUANDO ALGUIEN PUEDE MEDIR Y REPRESENTAR NUMERICAMENTE LO QUE EXPRESA, ESA PERSONA SABE Y CONOCE UN POCO ACERCA DE LO QUE ESTA EXPRESANDO; PERO CUANDO NO LO PUEDE HACER, SU CONOCIMIENTO AL RESPECTO ES POBRE E INSATISFACTORIO"

LORD KELVIN (1824-1907)

EJEMPLOS DE PARAMETROS DE MEDICION DE PROCESOS POBRES

- ERRORES EN PROCESAMIENTO DE ORDENES (NO TIENE UNA REFERENCIA DE COMPARACION)
- # DE CANCELACIONES
- VALOR ($) DE INVENTARIO (NO CONSIDERA ANTIGUEDAD)

VII **DIAGRAMA CAUSA** EFECTO

ANALISIS CAUSA-EFECTO

LA PRINCIPAL TECNICA UTILIZADA PARA LA IDENTIFICACION, ORGANIZACION Y PRESENTACION DE LAS CAUSAS POTENCIALES DE UN PROBLEMA CONSISTE EN LA CONSTRUCCION E INTEPRETACION DEL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO, INVENTADO POR EL **DR. KAORU ISHIKAWA** A PRINCIPIOS DE LA DECADA DE LOS 50"S. DURANTE ALGUNOS AÑOS; ESTA HERRAMIENTA SE APLICO FUNDAMENTALMENTE EN EL AMBIENTE DE PROCESOS DE MANUFACTURA, SIN EMBARGO, SU CONTRIBUCION HA SIDO TAN SIGNIFICATIVA QUE, HOY EN DIA ES UTILIZADA PARA LA SOLUCION DE CUALQUIER TIPO DE PROBLEMA.

EL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO (CONOCIDO TAMBIEN, POR SU APARIENCIA COMO "ESQUELETO DE PESCADO") ES UNA REPRESENTACION GRAFICA DE LAS RELACIONES QUE TIENE UN PROBLEMA (EFECTO) CON SUS POSIBLES CAUSAS, CLASIFICADAS POR TIPOS O CATEGORIAS.

EL BENEFICIO PRINCIPAL DE SU APLICACION, CONSISTE EN DISMINUIR CONSIDERABLEMENTE EL RIESGO DE ANALIZAR CAUSAS QUE NO SON LAS DE MAYOR IMPACTO, Y DARSE CUENTA DE ELLO CUANDO EL PROCESO DE SOLUCION ESTA MUY AVANZADO. INDUDABLEMENTE, HABRA CASOS DONDE LA IDENTIFICACION DE LA CAUSA PRINCIPAL RESULTE OBVIA, NO OBSTANTE, LA CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA AYUDA A DISEÑAR LA ESTRATEGIA DE OBTENCION Y ANALISIS DE DATOS. ALGUNAS PERSONAS LO UTILIZAN COMO UN EXCELENTE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES PUES PERMITE QUE LOS INVOLUCRADOS COMPARTAN LA MISMA INFORMACION RELACIONADA CON EL PROBLEMA BAJO ESTUDIO.

DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

* REPRESENTACION GRAFICA DE LAS RELACIONES QUE TIENE UN PROBLEMA (EFECTO) CON SUS POSIBLES CAUSAS, CLASIFICADAS EN DIFERENTES CATEGORIAS

- **REPRESENTACION GRAFICA DE LOS FACTORES POTENCIALES (CAUSAS) QUE PRODUCIRAN EL RESULTADO DESEADO (EFECTO)**

- **B E N E F I C I O S:**

  - **DISMINUYE EL RIESGO DE ANALIZAR CAUSAS QUE NO SON LAS REALES**
  - **UNIFORMIZA EL ENTENDIMIENTO DEL PROBLEMA AL PRESENTAR LA MISMA INFORMACION A TODOS LOS INVOLUCRADOS**
  - **FACILITA LA CREACION DE UNA ESTRATEGIA ADECUADA PARA LA OBTENCION Y REGISTRO DE DATOS.**

FORMA DE ELABORAR UN DIAGRAMA CAUSA - EFECTO

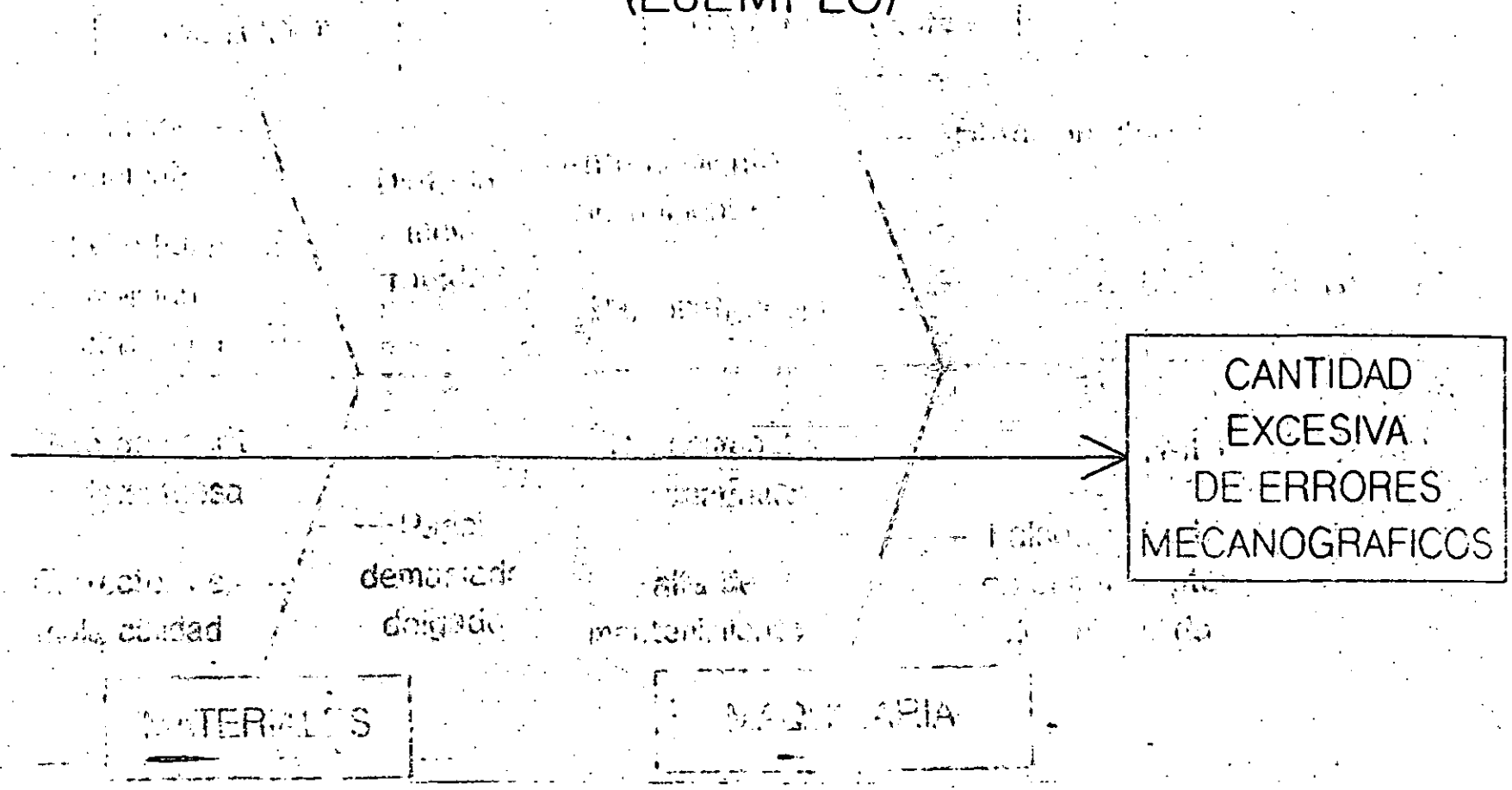
1. REGISTRA EL EFECTO (PROBLEMA O RESULTADO DESEADO)
2. REALIZA UNA LLUVIA DE IDEAS SOBRE LAS CAUSAS POTENCIALES
3. IDENTIFICA LAS CAUSAS PRINCIPALES Y CLASIFICALAS POR CATEGORIAS
4. DIBUJA UN DIAGRAMA CAUSA EFECTO.
5. TRANSFIERE AL DIAGRAMA LAS CAUSAS POTENCIALES UBICANDOLAS EN SUS RESPECTIVAS CATEGORIAS
6. IDENTIFICA CUALQUIER OTRA CAUSA O SUB-CAUSA ADICIONAL
7. ADICIONA EL ENCABEZADO.

DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

1. ESTA EL EFECTO CORRECTAMENTE DEFINIDO?
2. ENUMERASTE TODAS LAS CAUSAS POTENCIALES EN LAS QUE PUEDES PENSAR EN ESTE MOMENTO?
3. ESTAN LAS CAUSAS CLASIFICADAS EN LAS CATEGORIAS CORRESPONDIENTES?

DIAGRAMA CAUSA - EFECTO

(EJEMPLO)



POR QUE HACER MUESTREO?

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

IX DIAGRAMA DE PARETO

PRINCIPIO DE PARETO

SEGUN LA OPINION DE LOS EXPERTOS (DEMING, ISHIKAWA, JURAN, ETC) DESPUÉS DEL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO, LA APLICACION DEL PRINCIPIO DE PARETO HA SIDO LA HERRAMIENTA MAS PODEROSA UTILIZADA POR LOS CIRCULOS DE CALIDAD, PARA LA INTERPRETACION Y ANALISIS DE DATOS.

EN EL SIGLO XIX, UN ECONOMISTA DE NOMBRE **ALFREDO PARETO** CONCLUYO EN SUS ESTUDIOS SOCIO-ECONOMICOS QUE, "LA MAYOR PARTE DE LA RIQUEZA ESTABA EN MANOS DE UN PORCENTAJE PEQUEÑO DE LA POBLACION, MIENTRAS QUE LA MAYORIA DE LOS INDIVIDUOS VIVIAN EN CONDICIONES MISERABLES". DESDE ENTONCES, MUCHOS AUTORES E INVESTIGADORES HAN COMPROBADO QUE ESTE FENOMENO SE PRESENTA EN DIVERSOS ASPECTOS DE LA NATURALEZA Y DE LA SOCIEDAD.

POR LA PROPORCION NUMERICA QUE EXISTE ENTRE LOS EVENTOS RELACIONADOS POR ESTE FENOMENO, AL PRINCIPIO DE PARETO SE LE CONOCE TAMBIEN CON EL NOMBRE DE "**LA REGLA 80-20**". CABE ACLARAR QUE SU APLICACIÓN ES VALIDA A PESAR DE QUE NO SE CUMPLA RIGUROSAMENTE DICHA PROPORCION.

EN EL CONTEXTO DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS Y LOS PROBLEMAS QUE EN ELLOS SE PRESENTAN, EL PRINCIPIO DE PARETO PUEDE ENUNCIARSE DE VARIAS FORMAS, POR EJEMPLO:

- EL 20% DE LAS CAUSAS PROVOCAN EL 80% DE UN PROBLEMA
- LAS MEJORAS MAS SIGNIFICATIVAS A UN PROCESO SE LOGRAN MODIFICANDO EXCLUSIVAMENTE UN GRUPO PEQUEÑO DE PASOS O PARTES DE DICHO PROCESO.
- APROXIMADAMENTE EL 20% DE LOS PROBLEMAS DE UN GRUPO DE TRABAJO PRODUCEN EL 80% DEL IMPACTO TOTAL (PROBLEMATICA).

EL DIAGRAMA DE PARETO ES DE MUCHA UTILIDAD EN VARIOS PASOS DE LA METODOLOGIA DEL CONTROL TOTAL DE CALIDAD. DONDE SE APLICA CON MAYOR EXITO Y FRECUENCIA ES EN LA SELECCION DEL PROBLEMA, EN LA DETERMINACION DE LAS CAUSAS QUE PRODUCEN EL MAYOR IMPACTO Y EN LA DECISION DE LA SOLUCION MAS APROPIADA, ES TAMBIEN UNA HERRAMIENTA UTIL PARA REPRESENTAR LOS RESULTADOS O MEJORAS QUE PRODUCE LA SOLUCION Y COMPARARLOS CON LA SITUACION ORIGINAL, ES DECIR, PERMITE OBSERVAR CON FACILIDAD LOS CAMBIOS EN EL PROCESO, ORIGINADOS POR LA SOLUCION.

BENEFICIOS

- USO OPTIMO DE RECURSOS (HUMANOS Y MATERIALES)
- OBTENCION DE RESULTADOS EN EL MENOR TIEMPO POSIBLE
- FACILIDAD PARA LA TOMA DE DECISIONES POR CONSENSO
- ASIGNACION DE PRIORIDAES CON UN ALTO GRADO DE CONFIANZA

PROCESO DE ELABORACION

LOS PASOS PARA CONSTRUIR UNA GRAFICA O DIAGRAMA DE PARETO SON:

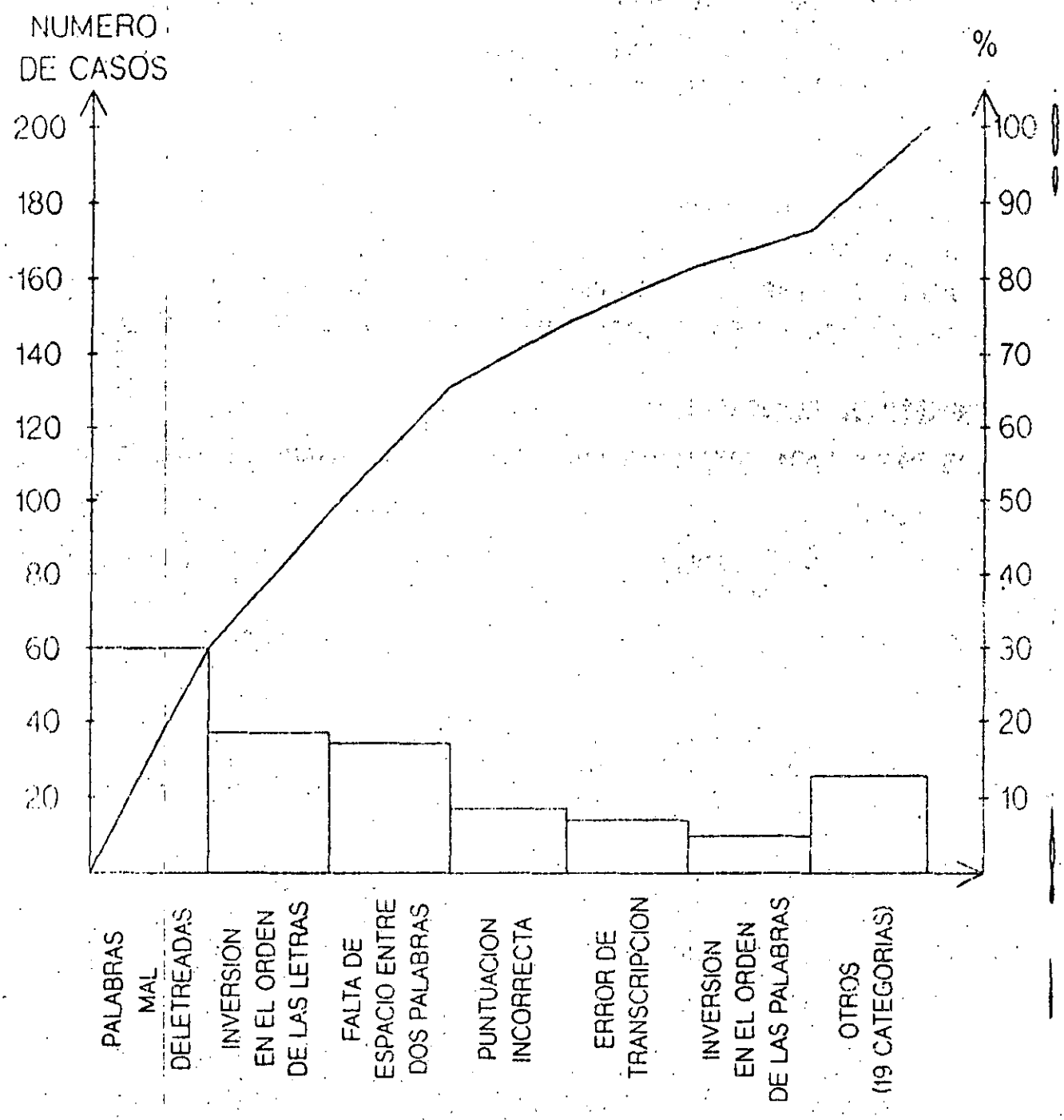
1. CLASIFICA ADECUADAMENTE TU INFORMACION Y ESPECIFICA CON CLARIDAD LAS CATEGORIAS QUE DESEAS REPRESENTAR EN LA GRAFICA. POR EJEMPLO: TIPOS DE DEFECTOS, TIPOS DE PRODUCTOS, PASOS O ETAPAS DE UN PROCESO, TIPOS DE ERRORES, ETC.

2. REGISTRA EL PERIODO DE TIEMPO CUBIERTO POR EL DIAGRAMA. ESTO ES IMPORTANTE PARA PODER COMPARAR CORRECTAMENTE DOS O MAS DIAGRAMAS QUE REPRESENTEN EL MISMO FENOMENO. LO ANTERIOR TAMBIEN ES VALIDO CUANDO EN LUGAR (O ADEMAS) DEL PERIODO DE TIEMPO CUBIERTO, SE UTILICE EL NUMERO TOTAL DE CASOS COMO CRITERIO IMPORTANTE EN EL PROCESO DE OBTENCION DE DATOS, YA SEA MEDIANTE UN EXPERIMENTO DE OBSERVACION O DE MEDICION.

3. DIBUJA LOS EJES DEL DIAGRAMA USANDO LA ESCALA Y UNIDADES APROPIADAS E INDICANDO SUS TITULOS. SE ACOSTUMBRA UTILIZAR EL EJE HORIZONTAL PARA UBICAR LAS DIFERENTES CATEGORIAS, REPRESENTADAD POR BARRAS DEL MISMO ANCHO, Y EL EJE VERTICAL PARA INDICAR LA VARIABLE DE MEDICION (COSTO, TIEMPO, NUMERO DE CASOS, ETC.)

4. DIBUJA LAS BARRAS ORDENANDOLAS DE IZQUIERDA A DERECHA EN FUNCION DE SU TAMAÑO, COMENZANDO POR LA DE MAYOR ALTURA Y DIBUJALAS EN EL PLANO DELIMITADO POR LOS EJES, INDICANDO SU ROTULO O DESCRIPCION.

APLICACION DEL DIAGRAMA DE PARETO



CUANDO EXISTAN VARIAS CATEGORIAS (BARRAS) PEQUEÑAS, ES RECOMENDABLE AGRUPARLAS BAJO EL RUBRO "OTROS" Y DIBUJAR SU BARRA EN LA POSICION EXTREMA DERECHA DEL EJE. NO IMPORTA QUE EL TAMAÑO DE ESTA BARRA RESULTE MAYOR QUE EL DE ALGUNAS QUE LE ANTECEDAN. PARA LOGRAR UN DIAGRAMA CLARO, SE ACONSEJA NO MANEJAR MAS DE DIEZ CATEGORIAS (BARRAS).

5. EN OCASIONES, RESULTA DE UTILIDAD DIBUJAR EN LA MISMA GRAFICA LA FUNCION ACUMULADA DEL HISTOGRAMA. CON EL OBJETO DE FACILITAR LA LECTURA DE ESTA FUNCION, SE PUEDE AGREGAR EN EL DIAGRAMA OTRO EJE VERTICAL (UBICADO EN EL EXTREMO DERECHO DEL HORIZONTAL) QUE MUESTRE LA ESCALA PORCENTUAL (0-100%)

6. FINALMENTE, ESCRIBE TODA LA INFORMACION RELEVANTE PARA LA CORRECTA INTERPRETACION Y FUTURAS REFERENCIAS DEL DIAGRAMA, INCLUYE: FECHAS, CONDICIONES DEL EXPERIMENTO, INSTRUMENTOS UTILIZADOS, FUENTES DE DATOS Y PERSONAS RESPONSABLES DE SU OBTENCION, PERIODO DE TIEMPO CUBIERTO POR EL DIAGRAMA, TAMAÑO DE LA MUESTRA, METODO DE MUESTREO, ETC.

<u>OBSERVACION IMPORTANTE</u>

CUANDO UN TIPO DE DEFECTO O ERROR REPRESENTA MAYOR COSTO QUE OTRO, ES MUY PROBABLE QUE SU FRECUENCIA NO SEA LA VARIABLE ADECUADA PARA MEDIR SU INFLUENCIA SOBRE EL PROBLEMA. POR EJEMPLO: SI 100 DEFECTOS DEL TIPO "A" REPRESENTAN UN COSTO DE $5'000,000.00, MIENTRAS QUE 60 DEFECTOS DEL TIPO "B" IMPLICAN UN COSTO DE $6'200,000.00, RESULTA EVIDENTE LA CONVENIENCIA DE ELIMINAR PRIMERO LOS DEFECTOS DEL TIPO "B". EN ESTA SITUACION, PARA QUE EL DIAGRAMA DE PARETO SEA DE UTILIDAD, DEBE CONSTRUIRSE EMPLEANDO LA VARIABLE COSTO ($) PARA COMPARA EL IMPACTO DE LAS DIFERENTES CAUSAS O FACTORES. EN GENERAL, SE RECOMIENDA QUE, CUANDO EL CRITERIO DE MEDICION (HORAS TRABAJADAS, DE CASOS, CANTIDAD DE ERRORES, ETC.) NO ESTE DIRECTAMENRE RELACIONADO CON EL COSTO QUE REPRESENTAN LAS CUASAS, SE CONSTRUYA LA GRAFICA DE PARETO UTILIZANDO LA VARIABLE MONETARIA.

EJERCICIO 1

EN EL ESPACIO QUE SE PROPORCIONA A CONTINUACION MENCIONA LOS NOMBRES DE CINCO CLIENTES INTERNOS Y LOS PRODUCTOS O SERVICIOS PRINCIPALES QUE RECIBEN DE TI.

	N O M B R E	PRODUCTO/SERVICIO
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

REPITE EL EJERCICIO ANTERIOR CONSIDERANDO AHORA CLIENTES EXTERNOS

	N O M B R E	PRODUCTO/SERVICIO
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

EJERCICIO 2

BASANDOSE EN TU EXPERIENCIA DE TRABAJO Y EN LOS COMENTARIOS QUE PROBABLEMENTE HAN EXTERNADO TUS CLIENTES, ESPECIFICA TRES PROBLEMAS QUE, A TU JUICIO, PERCIBEN TUS CLIENTES INTERNOS.

1. _____
2. _____
3. _____

[illegible]

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

CURSOS ABIERTOS

TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD

EN PROCESOS INDUSTRIALES

CONTROL CONTINUO DEL PROCESO Y MEJORAS A LA HABILIDAD DEL PROCESO

FORD. MOTOR CO.

EXPOSITOR:

M. EN I. RUBEN TELEZ SANCHEZ

AGOSTO-SEPTIEMBRE 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 OPERACIÓN DE FORD MOTOR COMPANY

1.1 ANTECEDENTES

Ford Motor Company, a nivel corporativo, ha venido enfatizando cada vez más la importancia de producir vehículos de alta calidad. De hecho, en varios estudios realizados recientemente por la Compañía se ha venido haciendo evidente el que la calidad es el aspecto más relevante para que un cliente se decida a adquirir un automóvil nuevo.

Este cambio en la Empresa se está llevando a cabo con una marcada influencia del Dr. W. Edwards Deming, norteamericano a quien los japoneses acreditan muchos de sus éxitos para mejorar la calidad y productividad.

En este manual describiremos los principios en que se basa este cambio y las técnicas de estadística que han demostrado ser una herramienta importante para obtener mejoras constantes en la calidad y productividad de nuestras operaciones.

1.2 CONCEPTOS DEL DR. W. EDWARDS DEMING PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD

En junio de 1980, cuando empezaba a reconocerse la importancia de las técnicas de estadística, la NBC—TV proyectó un documental titulado "Si Japón puede . . . ¿por qué nosotros no?", en el que el corresponsal de la NBC, Lloyd Dobyns, comparó los enfoques norteamericano y japonés en lo referente a la calidad y productividad. El documental destacaba la participación del Dr. W. Edwards Deming, quien introdujo las técnicas de estadística en el Japón después de la 2a. Guerra Mundial.

En años recientes, el Dr. Deming ha pasado la mayor parte de su tiempo trabajando con compañías norteamericanas. Ford Motor Company recibe su asesoría desde 1981.

El Dr. Deming maneja una serie de conceptos que se relacionan con el uso de métodos de estadística para mejorar la calidad y la productividad. Los más importantes de estos son:

1.2.1 La filosofía fundamental asociada con la producción económica de bienes, debe basarse en la **prevención** de defectos en lugar de su **detección**. Este enfoque requiere un sistema de **control del proceso**, el cual únicamente puede ser implementado con efectividad a través de las **técnicas de estadística**. Las decisiones para modificar o ajustar un proceso deben basarse en los datos que se deriven de las gráficas de control.

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

1.2.3. La interpretación de información estadística a través de técnicas tales como las gráficas de control pueden ayudar a distinguir entre las **causas comunes** y las **causas especiales** de los problemas:

* Las **causas comunes** se atribuyen a fallas del sistema y sólo pueden corregirse con la participación de todos los niveles de la organización que forman el sistema. El sistema incluye a to-

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

Tenemos una serie de elementos que influyen en el proceso y obtenemos un cierto resultado de ese proceso, algún producto, y una función de inspección que separa el producto bueno del malo. Con base en lo que se encuentre en el producto malo, podemos ajustar el proceso. Esos productos se retrabajan o se desechan. Desafortunadamente, este enfoque propicia el que haya desperdicio, ya que significa que tenemos que hacer el producto y luego revisar lo que tenemos que hacer para corregirlo. Toma tantos recursos el hacer un mal producto como el producir un producto bien hecho; e incluso, en el caso del primero, necesitamos regresarnos para repararlo o desecharlo. En este enfoque la energía está concentrada en la inspección masiva, en inspeccionar el producto terminal en lugar del proceso. Así, cuando el producto ha estado saliendo mal, la reacción general que se ha tenido, es incrementar la inspección masiva. La energía no se ha concentrado en el proceso, aún cuando ahí fue donde se produjo el producto defectuoso.

El énfasis en el enfoque de detección de defectos ha sido la inspección después de los hechos; en este sentido, se ha pensado que lo importante es que el producto cumpla con las especificaciones. Después de todo, si íbamos a inspeccionar necesitábamos tener ciertos estándares contra los cuales podíamos comparar el producto. Entonces, se da por hecho que una vez que se ha alcanzado la especificación ya no puede haber posibilidades de mejora. Este punto de vista impide que se busquen mejoras constantes en la calidad del producto.

Otro aspecto del sistema de detección de defectos es el que involucra la relación de Ford con sus proveedores. Implica un mayor énfasis en el precio que en la calidad y otros aspectos del servicio del proveedor. En este sentido, el rol tradicional se centra en disponer de una muestra inicial, hacer seguimiento a los problemas con los proveedores y utilizar la Especificación de Calidad Ford (Q-101, versión 1978) basada en la inspección y en el muestreo de lotes, en otras palabras, en la detección de defectos.

Hay muchos aspectos de nuestra organización en los que se refleja el enfoque a la detección. Con esta apreciación se dá la impresión de que la calidad es responsabilidad del departamento de Control de Calidad y con frecuencia el personal de producción se hace responsable del volumen. La tendencia es mantener líneas rígidas que separan a los departamentos, con lo que no se favorece el trabajo en equipo.

La alternativa diferente que propone Ford Motor Company es el enfoque de sistemas llamado **Prevención de Defectos.**

El enfoque hacia la prevención puede esquematizarse de la siguiente manera:

2.4. 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-

2. INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

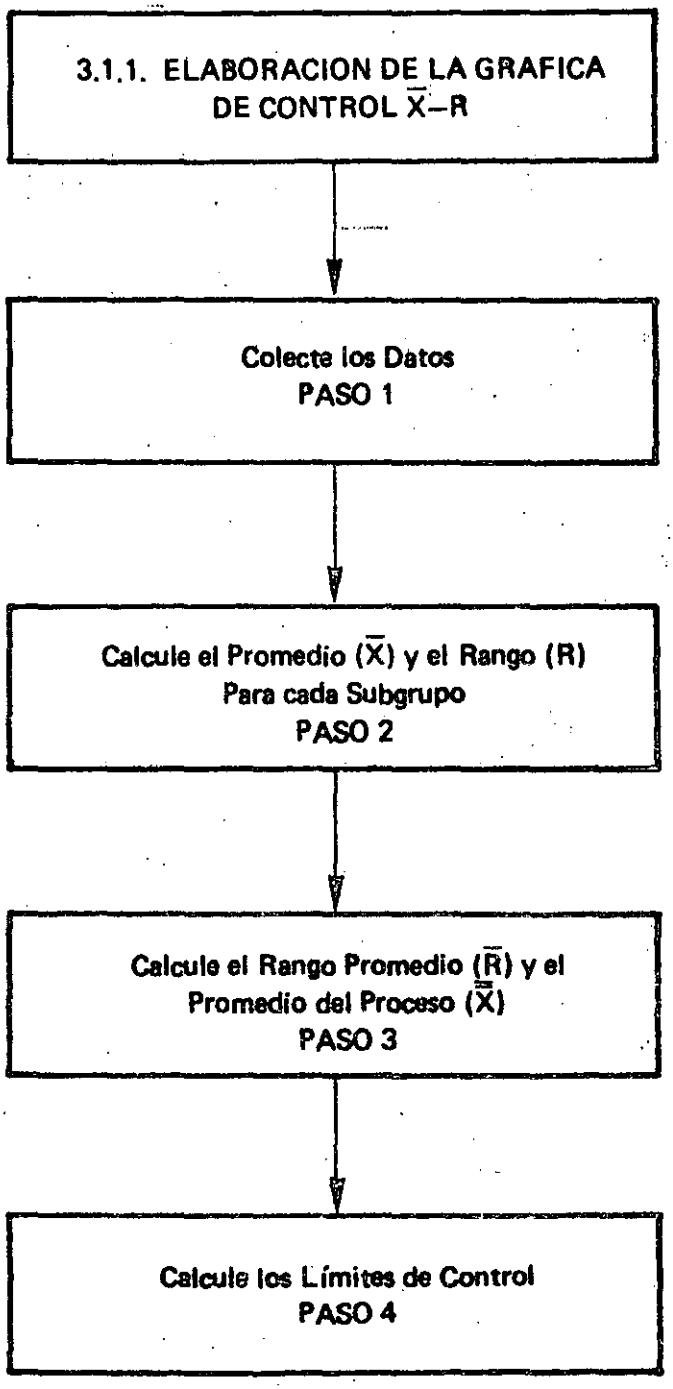
- Las gráficas de control, al distinguir entre las causas especiales y las causas comunes de variación, dan una buena indicación de cuándo algún problema debe ser corregido localmente y cuándo se requiere de una acción en la que deben participar todos los niveles de la organización. Esto minimiza la 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

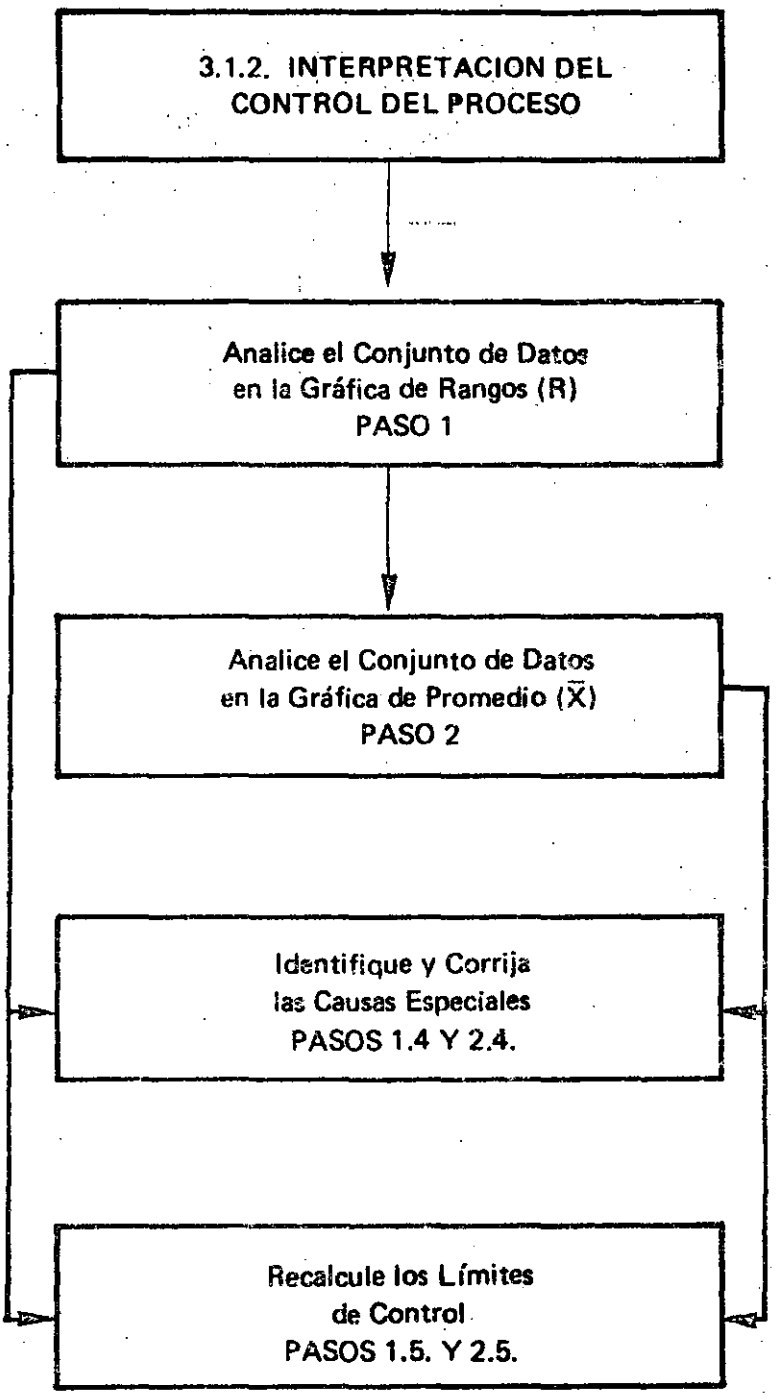
Diagrama de Flujo



3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

3.1. GRAFICA DE CONTROL $\bar{X}$–R

Diagrama de Flujo



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 Retén
CARACTERISTICA MEDIDA	**ESPECIFICACION**	**ITEM CRITICO** SI ☐ NO ☒
RANURA DIAM. "A"	0.50 a 0.90 mm.	

$\bar{\bar{X}}$ = .716 LSC = .819 LIC = .613

TAMAÑO DE MUESTRA 5

FRECUENCIA CADA 2 Horas

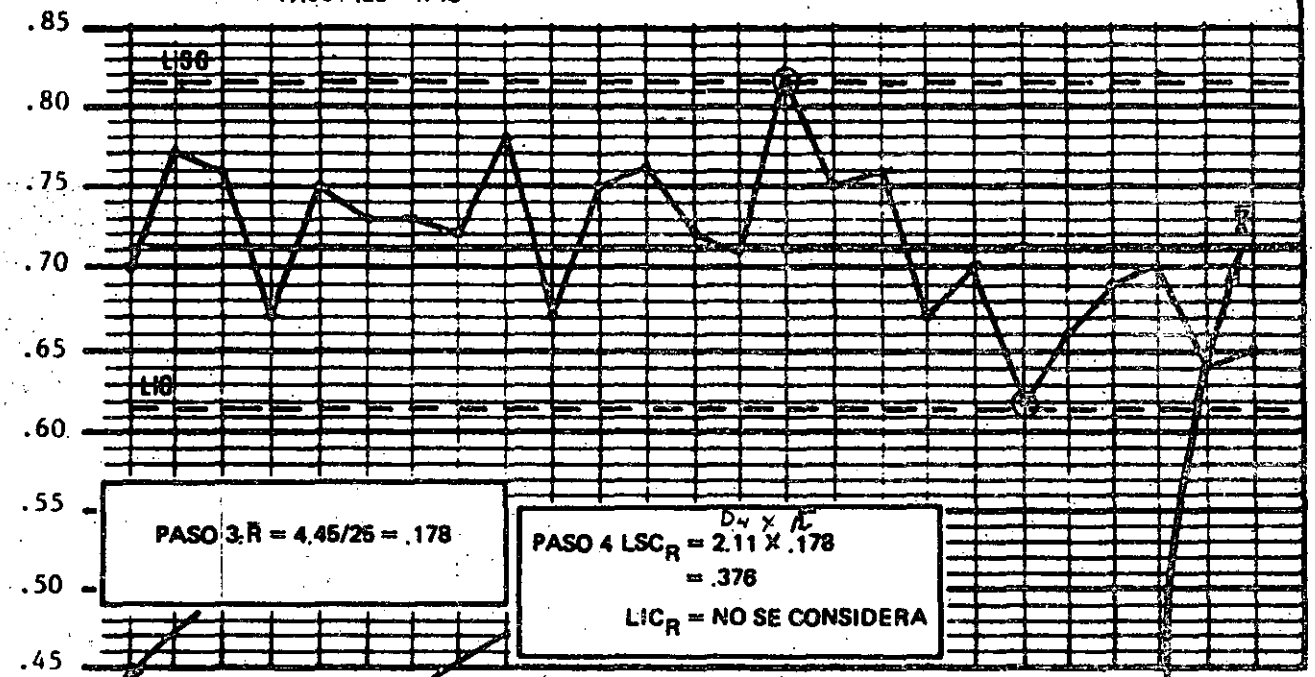
PROMEDIOS

PASO 3. $\bar{X} = \frac{(.70 + .77 + .76 + \ldots + .66)}{25}$

$= 17.90 / .25 = .716$

PASO 4 $LSC_X = .716 + (.58 \times .178) = .819$

$LIC_X = .716 - (.58 \times .178) = .613$



PASO 3. $\bar{R}$ = 4.45/25 = .178

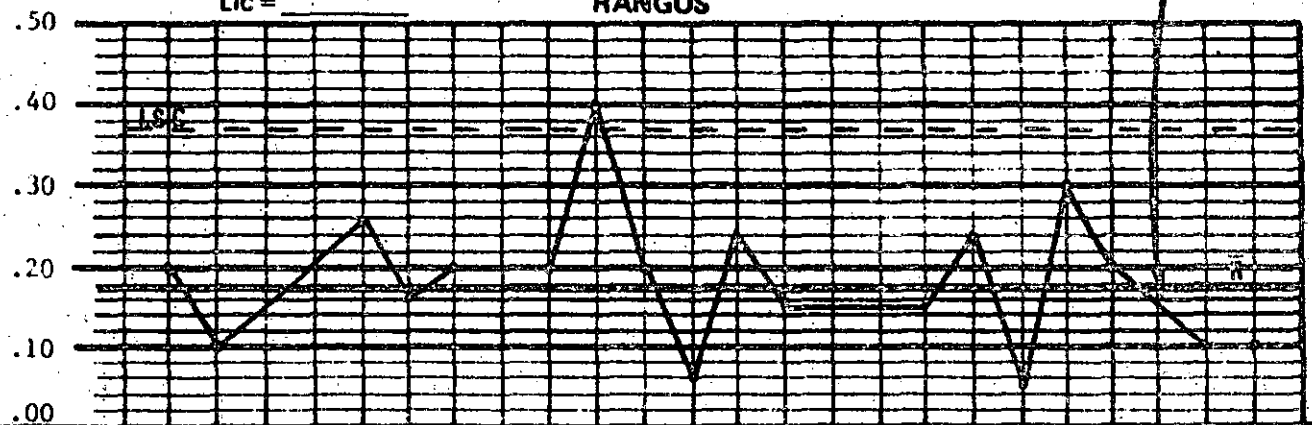
PASO 4 $LSC_R = 2.11 \times .178$ ($D_4 \times \bar{R}$)
= .376

LIC_R = NO SE CONSIDERA

$\bar{R}$ = .178 LSC = .376 LIC = _____

RANGOS

PASO 4.1



FECHA/HORA	8-8				8-9				8-10				8-11				8-12				8-15				8-16
1	.85	.75	.75	.80	.70	.60	.15	.60	.85	0.65	0.60	.85	.70	.65	.80	.75	.75	.75	.65	.60	.50	.60	.60	.65	.65
2	.70	.85	.60	.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	.60	.70	.65	.75	.65	.80	.85	.60	.60	.85	.75	.85	.80	.75	.85	.60	.85	.65	.65	.85	.75	.65	.70
4	.85	.85	.70	.75	.85	.85	.75	.75	.85	.80	.50	.85	.75	.75	.75	.8	.7	.7	.65	.60	.60	.85	.65	.60	.60
5	.85	.65	.75	.65	.80	.70	.70	.75	.75	.65	.60	.70	.70	.60	.85	.65	.60	.6	.7	.65	.60	.75	.65	.70	.65
SUM.	3.5	3.30	3.00	3.4	.75	3.05	3.65	3.6	3.9	3.35	3.75	3.8	3.6	3.55	4.1	3.75	3.6	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	.70	.67	.70	.62	.65	.69	.70	.64	.66
R	.20	.20	.10	.15	.20	.25	.15	.20	.20	.20	.40	.20	.05	.25	.15	.15	.15	.15	.20	0.5	.30	.20	.15	.10	.10

Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control 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.

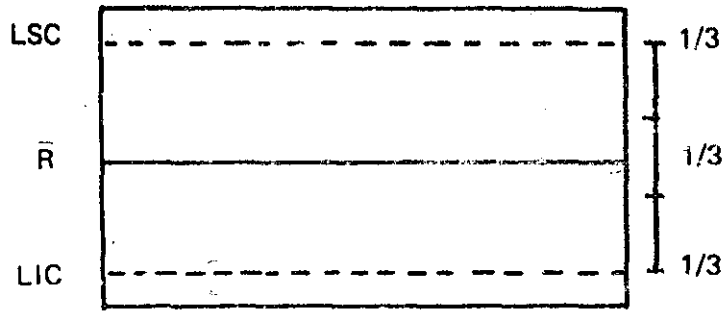
Un punto fuera de los límites de control es una señal de:

– El límite de control está mal calculado o los puntos están mal agrupados.

1.2. Adhesión a las Líneas de Control

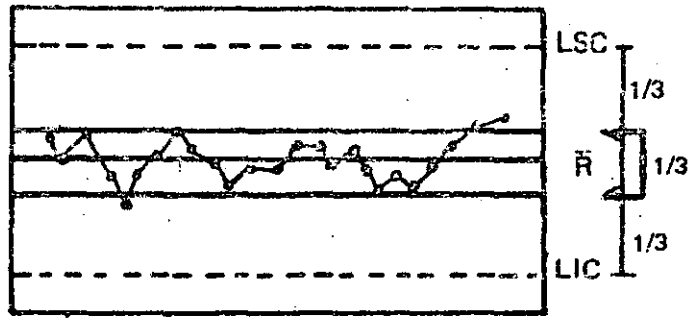
Cuando en la gráfica de control los puntos se agrupan junto a la línea central o junto a las líneas de control, hablamos de adhesión.

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.

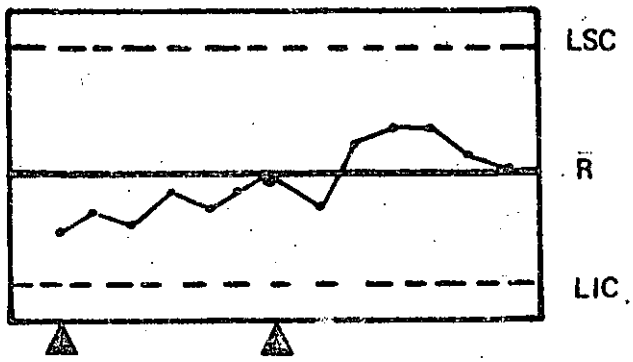
1.3. Series

Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento del proceso.

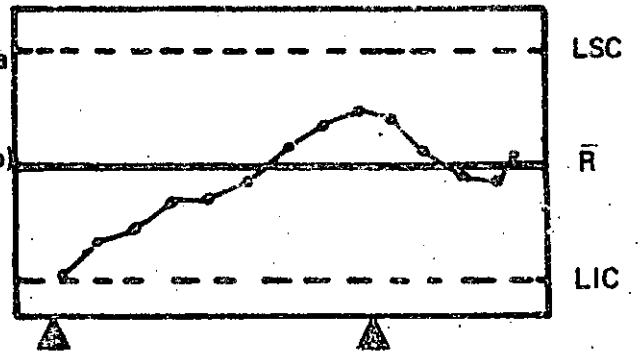
Cuando 7 ó más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del promedio, la serie recibe el nombre de Corrida.

Si 7 ó más intervalos consecutivos se presentan con valores crecientes o decrecientes, la serie recibe el nombre de Tendencia.

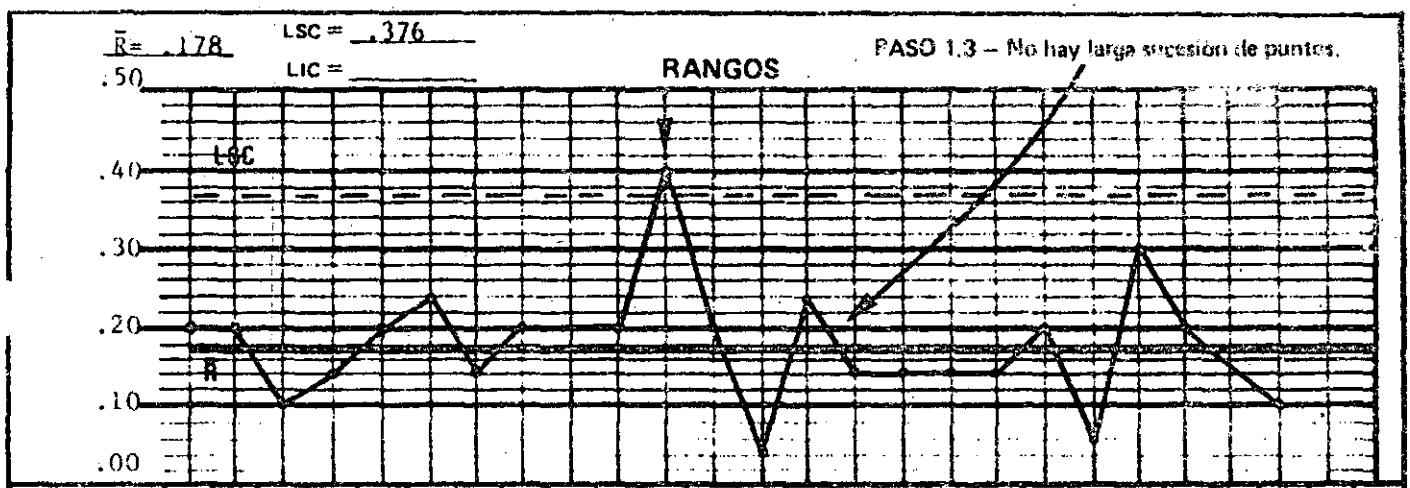
Este proceso presenta una corrida de 8 puntos abajo de $\bar{R}$



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	.00	.85	.70	.65	.80	.75	.75	.75	.65	.80	.50	.60	.60	.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	.80	.50	.65	.75	.75	.75	.60	.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	.60	.70	.65	.60	.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	

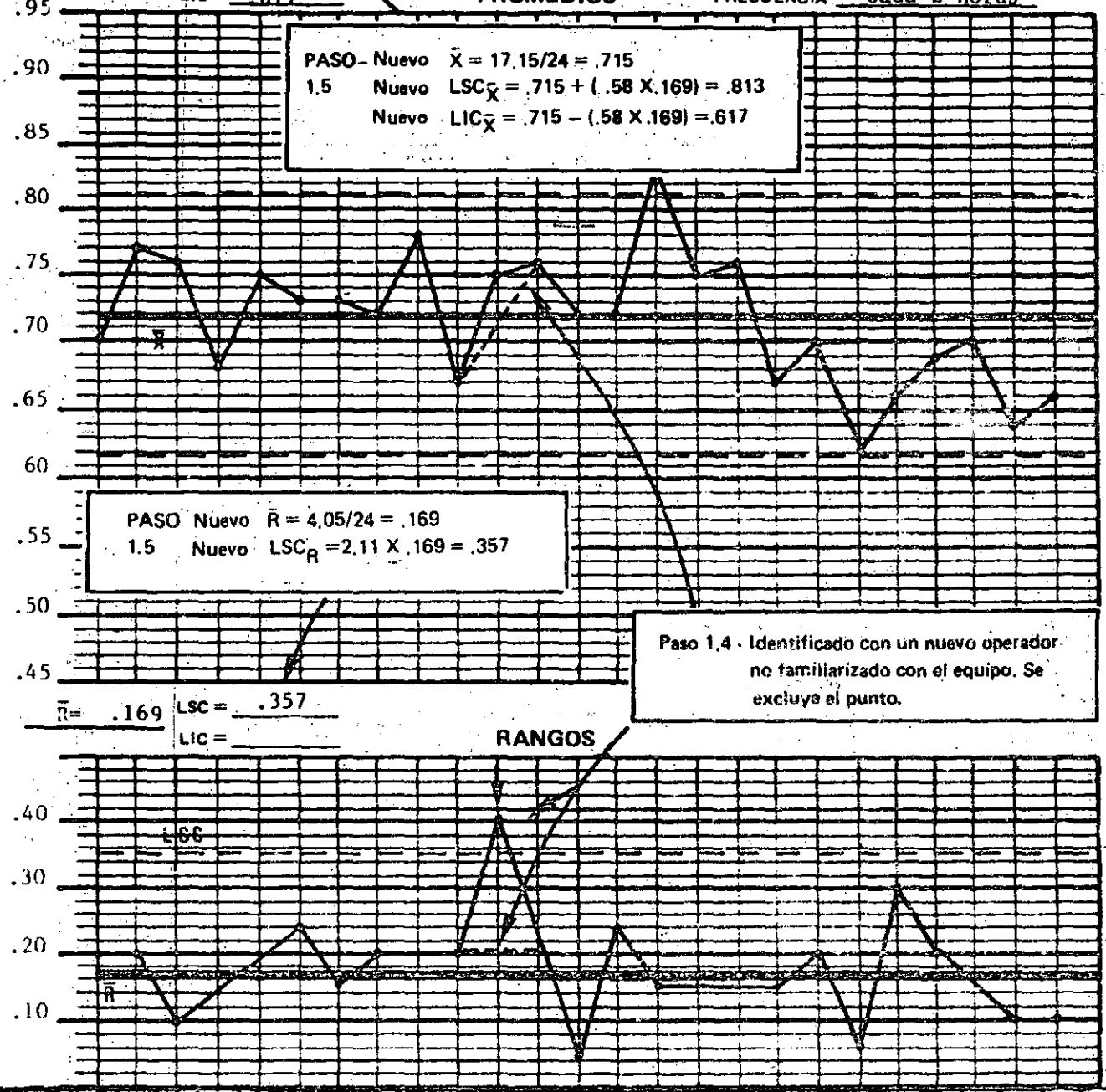
Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

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
Ranura Diam. "A"	.50 a .90 mm.	SI ☐ NO ☒

$\bar{\bar{X}}$ = .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	.60	.65	.30	.70	
3	.65	.75	.80	.70	.65	.75	.65	.60	.85	.60	.90	.85	.75	.85	.80	.75	.85	.60	.85	.65	.65	.85	.75	.65	.70	
4	.65	.85	.70	.75	.65	.85	.75	.75	.85	.80	.50	.65	.75	.75	.75	.90	.70	.70	.65	.60	.60	.65	.85	.60	.60	
5	.85	.65	.75	.85	.80	.70	.70	.75	.75	.65	.80	.70	.70	.80	.85	.65	.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	3.70	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	

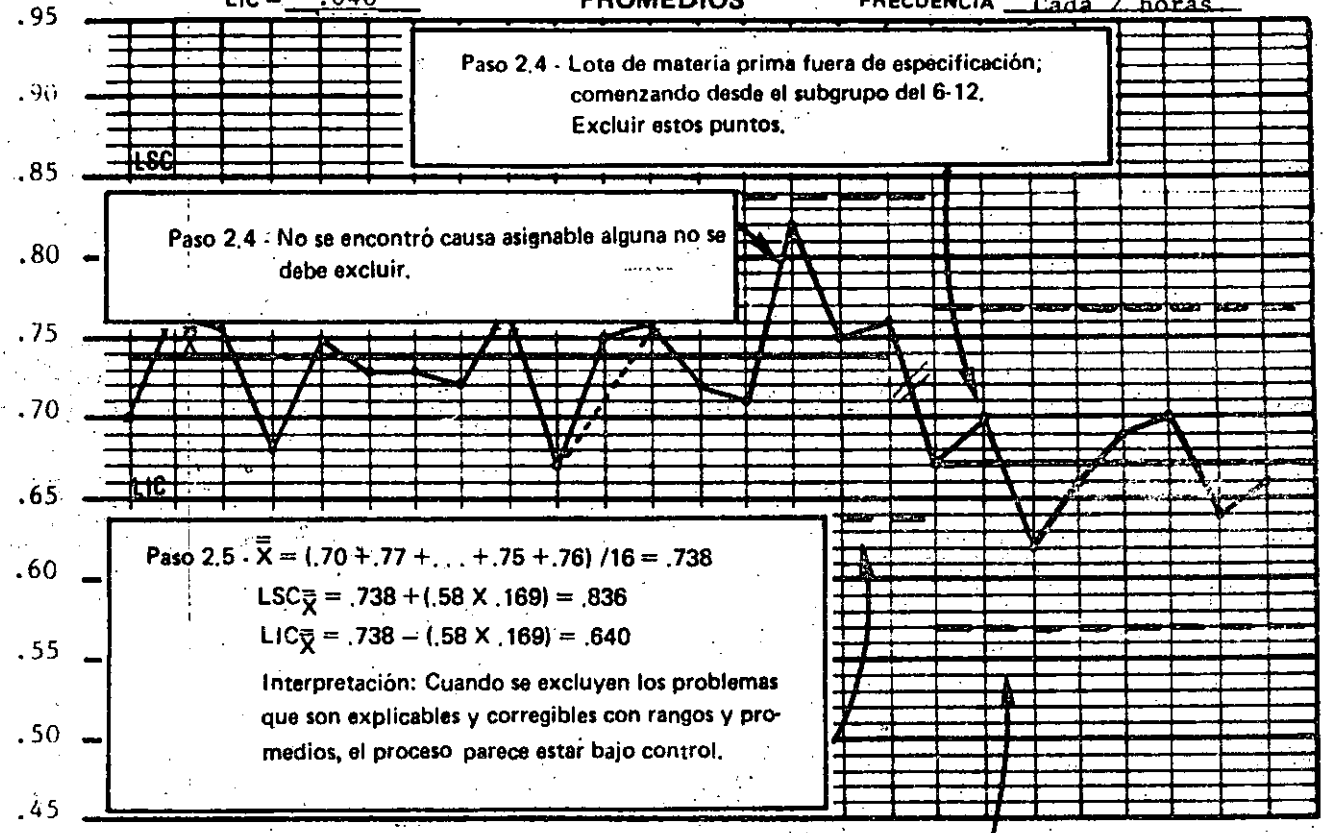
Para tamaños de muestra inferiores a siete no se determina el límite de control inferior para rangos.

GRAFICA DE CONTROL POR VARIABLES
CONTROL DE PROCESO

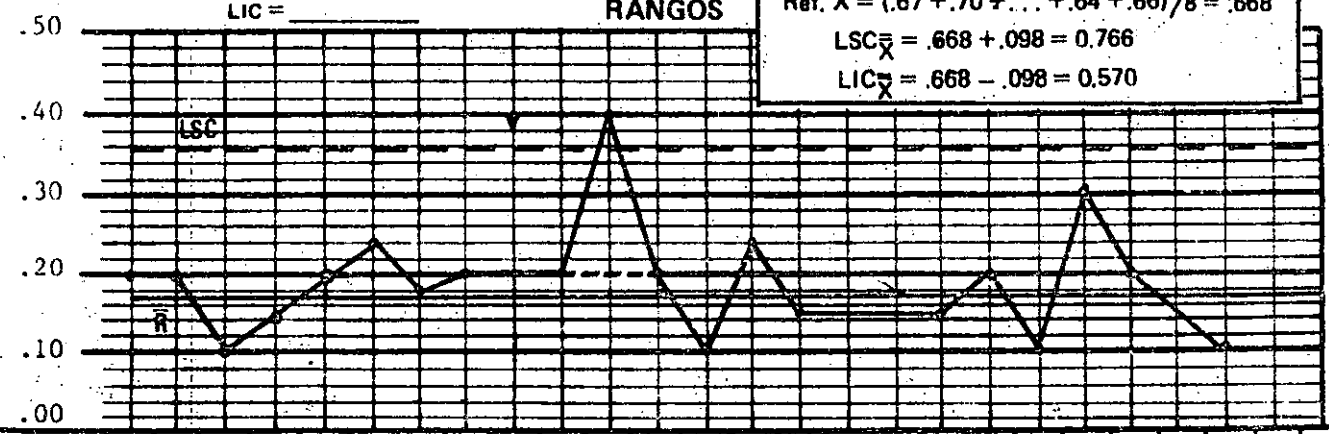
PLANTA/DEPARTAMENTO	NUMERO Y NOMBRE DE OPERACION O EQUIPO	No. DE PIEZA Y NOMBRE
LTD VESTIDURA	030 Doblado de Clip	E2BB-12321-A Retén.

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	.60	.70	.60	.75	.60	.65	.60	.80	.85	.70	.85	.90	.75	.75	.75	.85	.60	.50	.60	.80	.85	.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	.60	.75	.95	.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	.85	.85	.60	.60	
5	.85	.85	.75	.65	.80	.70	.70	.75	.75	.65	.80	.70	.70	.60	.85	.65	.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.

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:

$$\bar{R}_{nuevo} = \hat{\sigma}\, d_2$$

$$LSC_R = D_4\ \bar{R}_{nuevo}$$

$$LIC_R = D_3\ R_{nuevo}$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\ \bar{R}_{nuevo}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\ \bar{R}_{nuevo}$$

Marque estos nuevos límites de control en las gráficas como base para el control contínuo del proceso.

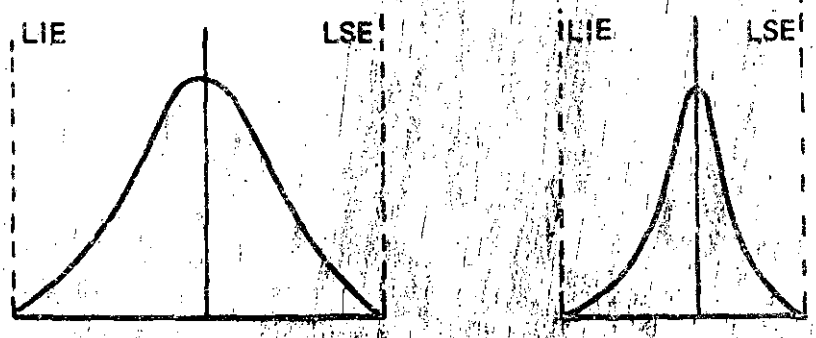
NOTA: Se deberá usar el promedio ($\bar{\bar{X}}$) del proceso anterior.

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.

- 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:

  $\overline{X}$ = 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%

3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

2) A través del parámetro C_P y se obtiene en la forma siguiente:

a) Definir el punto medio de la especificación

$$M = \frac{LSE + LIE}{2}$$

LSE = Límite Superior Especificado

LIE = Límite Inferior Especificado

b) Definir la diferencia entre el punto medio de la especificación y el promedio del proceso.

$$D = |M - \bar{\bar{X}}|$$

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:

$$C_P = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} = \frac{0.900 - 0.500}{6\ (0.0725)} = 0.919$$

$C_P = 0.919$ es menor que 1, por lo que el proceso potencialmente no es hábil.

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 $\bar{X}$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 x \bar{R} = \quad + \quad x \quad =$$ $LSC_{\bar{X}}$

LIMITE INFERIOR DE CONTROL $\bar{X}$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 x \bar{R} = \quad - \quad x \quad =$$ $LIC_{\bar{X}}$

LIMITE SUPERIOR DE CONTROL R

$$LSC = D_4 \times \bar{R} = \quad x \quad =$$ LSC_R

DESVIACION ESTANDAR

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \_\_\_\_ =$$

PARAMETRO INFERIOR

$$Z_I = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{\hat{\sigma}} \quad \_\_\_\_ - \_\_\_\_ = \_\_\_\_ =$$ Z_I

PARAMETRO SUPERIOR

$$Z_S = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{\hat{\sigma}} \quad \_\_\_\_ - \_\_\_\_ = \_\_\_\_ =$$ Z_S

CALCULO DEL PORCENTAJE DEFECTUOSO

$$P_Z = P_{ZI} + P_{ZS}$$

(Ver Tabla)

PROBABILIDAD P_Z = [ ] + [ ] = [ ]

$$C_P = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} = \frac{\quad - \quad}{} =$$

$$K = 1 - \frac{C_{PK}}{C_P} = 1 - \frac{\quad}{} =$$

$$C_{PK} = C_P\,(1 - K) = \quad (\ 1 - \quad\ ) =$$

$$C_{PK} = \frac{Z\,min.}{3} = \frac{\quad}{3} =$$

TAMAÑO DE LA MUESTRA	2	3	4	5
A_2	1.88	1.02	0.73	0.58
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33

3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO

PASO 3 – Evalúe la Habilidad del Proceso

En este punto el proceso está bajo control estadístico y su habilidad ha sido calculada, el próximo paso es evaluar la habilidad del proceso y decidir si es aceptable o no.

Es necesario recordar que el objetivo fundamental de nuestras acciones es el constante mejoramiento en la habilidad del proceso durante su desarrollo; pero se deben establecer las prioridades para dar atención al proceso. Esta es una decisión que generalmente implica repercusiones económicas, sin embargo las circunstancias varían de un caso a otro, dependiendo de la naturaleza del proceso en particular y de la habilidad de otros procesos que también deberán ser sometidos a una acción de mejoramiento inmediato.

Mientras cada una de estas decisiones es resuelta individualmente, es útil usar pautas más amplias para establecer prioridades y facilitar la consistencia de los esfuerzos para el mejoramiento.

Por ejemplo, en el Q-101 se especifica que para estudios del Potencial del Proceso que afecte las características significativas del producto deberá cumplir con una habilidad de $\pm 4\ \hat{\sigma}$ (99.99%) y para procesos estables $\pm 3\ \hat{\sigma}$ (99.73%); ésto está dirigido a asegurar un nivel mínimo de rendimiento que sea consistente con las características del producto.

Cuando existe un criterio de habilidad, la regla para decidir se simplifica; los procesos que fallan en cumplir con el criterio requieren de una acción inmediata. En estas situaciones, existe un grupo limitado de opciones disponibles:

- Seleccionar el producto y desechar o reparar cualquier pieza que no cumpla con las especificaciones (una propuesta costosa y no confiable que tolera un derroche continuo), o

- Requerir que las tolerancias de las especificaciones sean alteradas y sean consistentes con la habilidad del proceso actual (una acción administrativa que no mejorará directamente el producto y que sería aprobada solamente si las características del diseño no estuvieran comprometidas), o

- Mejorar la habilidad del proceso mediante la reducción de la variación de las causas comunes.

PASO 4 – Corrija la Habilidad del Proceso

A partir del momento en que las causas especiales que afectan el control del proceso han sido eliminadas (es conveniente recordar que esto es necesario para mantener el proceso en control estadístico) los problemas que hacen que la habilidad del mismo sea inaceptable son generalmente debido a causas comunes por fallas del sistema. Las acciones deben ser dirigidas hacia los factores del proceso que generan su variabilidad, tales como la habilidad inherente de la máquina, consistencia en la calidad de los materiales

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 $\overline{X}$-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 $\overline{X}$-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 $LIC_{\tilde{X}}$).

$$LSC_R = D_4\bar{R} \qquad LSC_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} + \tilde{A}_2\,\bar{R}$$
$$LIC_R = D_3\bar{R} \qquad LSC_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} - \tilde{A}_2\,\bar{R}$$

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:

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.

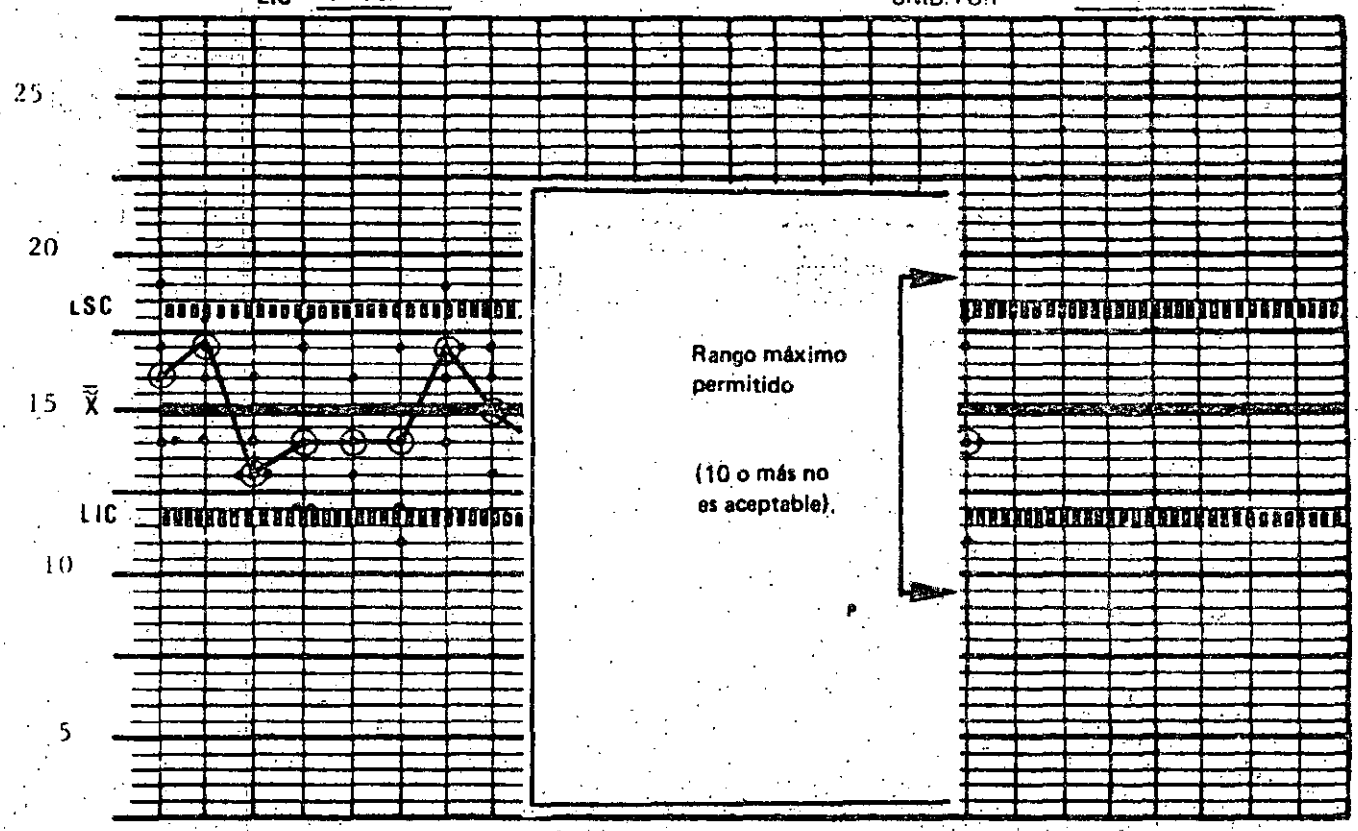
PLANTA/DEPARTAMENTO	NOMBRE Y NUMERO DE OPERACION O EQUIPO	NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE
CARACTERISTICA **MEDIDA**	ESPECIFICACION DE INGENIERIA	ITEM DESIGNADO POR INGENIERIA DEL PRODUCTO ☐ **NO**

$\bar{\bar{X}}$ = 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								

* Las gráficas por lecturas individuales deben ser interpretadas cuidadosamente si la distribución del proceso no es simétrica.

* Las gráficas por lecturas individuales no segregan la repetibilidad pieza a pieza del proceso. Por esta razón, en muchas aplicaciones es más conveniente usar una gráfica $\bar{X}$ y R con tamaños pequeños de muestra para subgrupos (2 a 4) aunque esto requiera de un período mayor entre subgrupos.

* Debido a que solamente existe un individuo por subgrupo, los valores de $\bar{X}$ y 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.

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \qquad LSC_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}$$
$$LIC_R = D_3 \bar{R} \qquad LIC_X = \bar{X} - E_2 \bar{R}$$

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:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

* Si el proceso presenta distribución normal, este estimado puede ser usado directamente en la determinación de la habilidad del proceso siempre y cuando el proceso se encuentre en control estadístico.

3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

- Son potencialmente aplicables a cualquier proceso.
- Los datos están a menudo disponibles.
- Son rápidos y simples de obtener.
- Son frecuentemente usados en los informes a la Gerencia.
- Pueden ayudar a dar prioridad a las áreas con problemas.
- Son fáciles de interpretar.

Tipos de Gráficas de Control por Atributos

p
np
c
u

A pesar de que las gráficas de control por variables ($\bar{X}$-R) son las más conocidas, se han desarrollado versiones para el caso de atributos. Los datos por atributos tienen sólo dos posibilidades (conforma/no conforma, pasa/no pasa, OK/NO OK, presente/ausente) pero pueden ser contados para registro y análisis. Como ejemplo se puede mencionar la presencia de una etiqueta requerida, la instalación de los tornillos especificados, la presencia de salpicaduras de soldadura o la continuidad de un circuito eléctrico. Las gráficas de control por atributos son importantes por las siguientes razones:

1) Las operaciones medidas por atributos existen en cualquier proceso de manufactura o ensamble, por lo que estas técnicas de análisis son muy útiles.

2) Los datos por atributos están disponibles en múltiples situaciones siempre que exista inspección, listados de reparaciones, material seleccionado o rechazado, etc.

- 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 subsacciones se concentran en los factores que las diferencian de la primara.

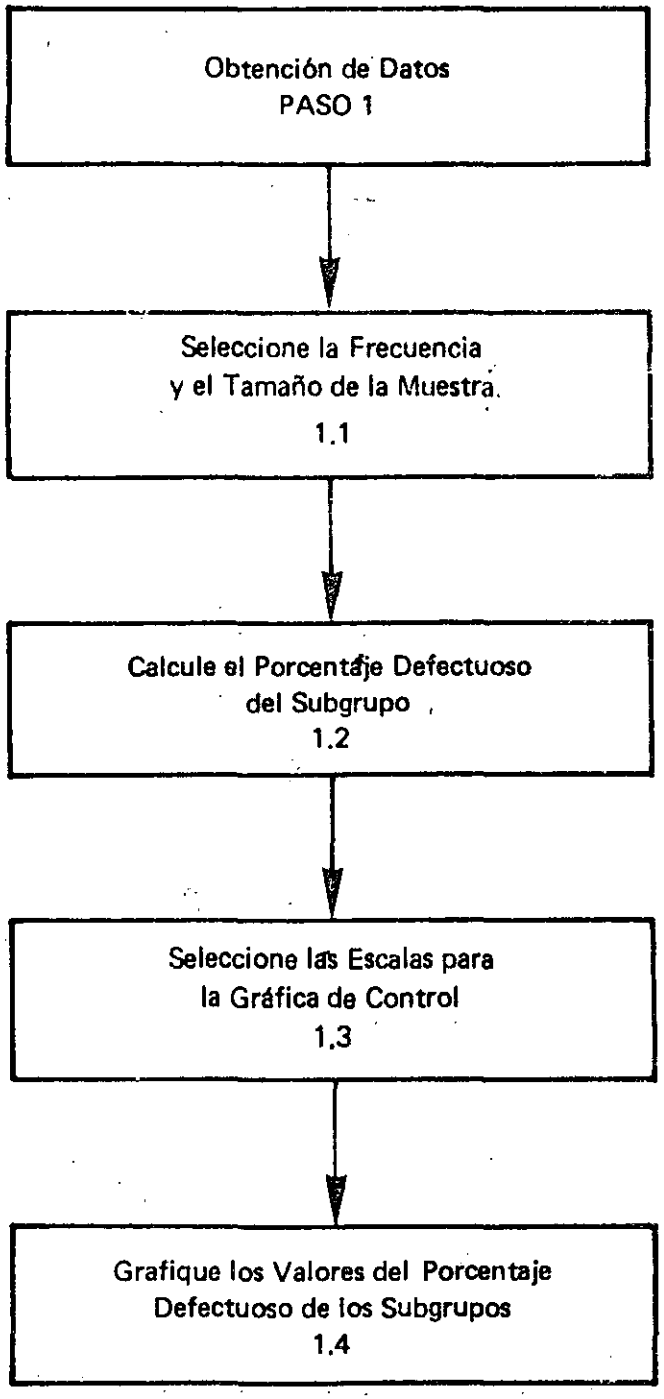
3.4.1. Gráfica p para Porcentaje de Unidades Defectuosas

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 vecas 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.

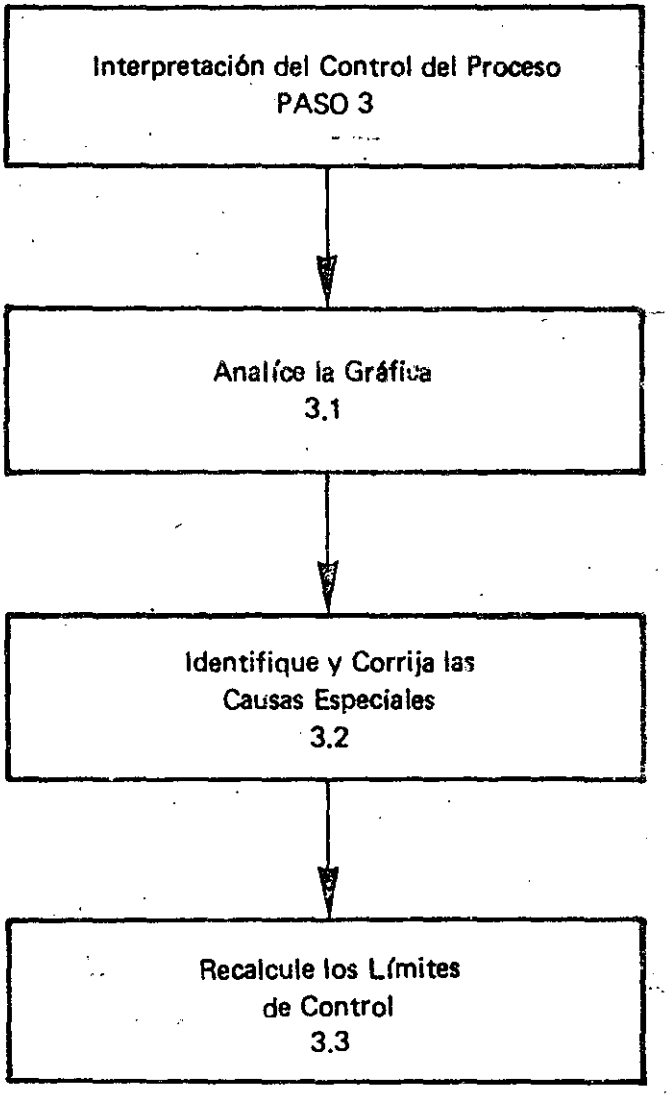
3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Diagrama de Flujo



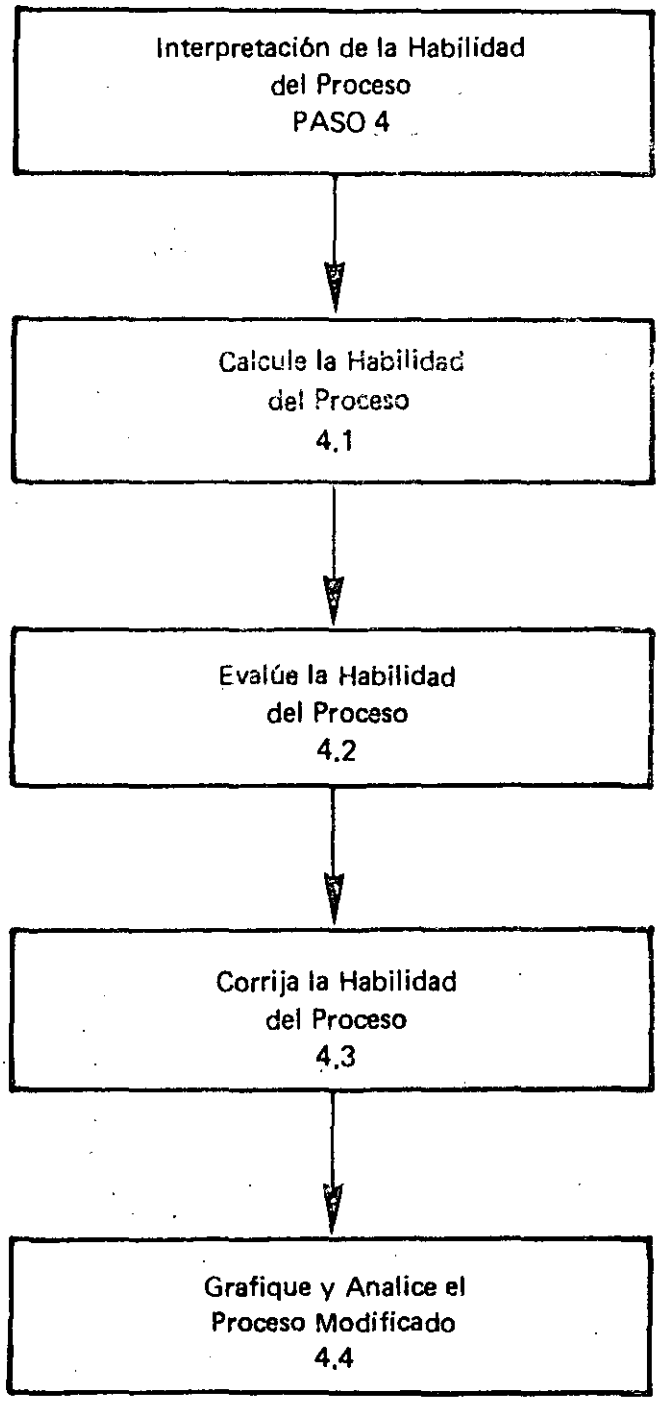
3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Diagrama de Flujo



3.4. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Diagrama de Flujo



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

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.

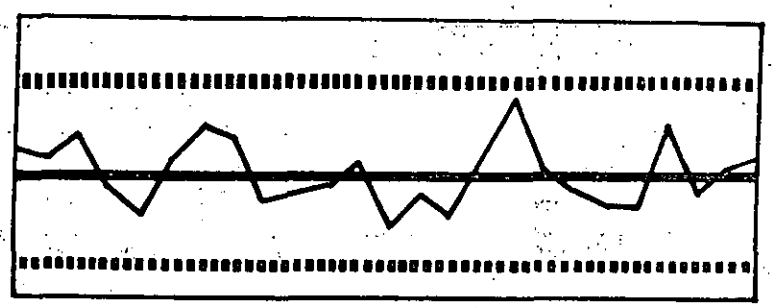
PASO 3 – Interpretación del Control del Proceso

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.

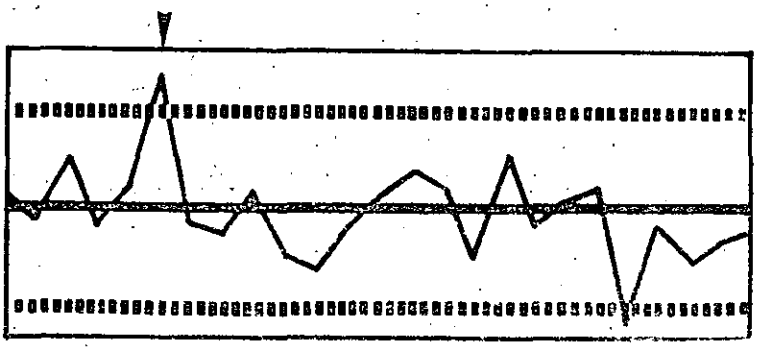
3.1 Analice la Gráfica

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

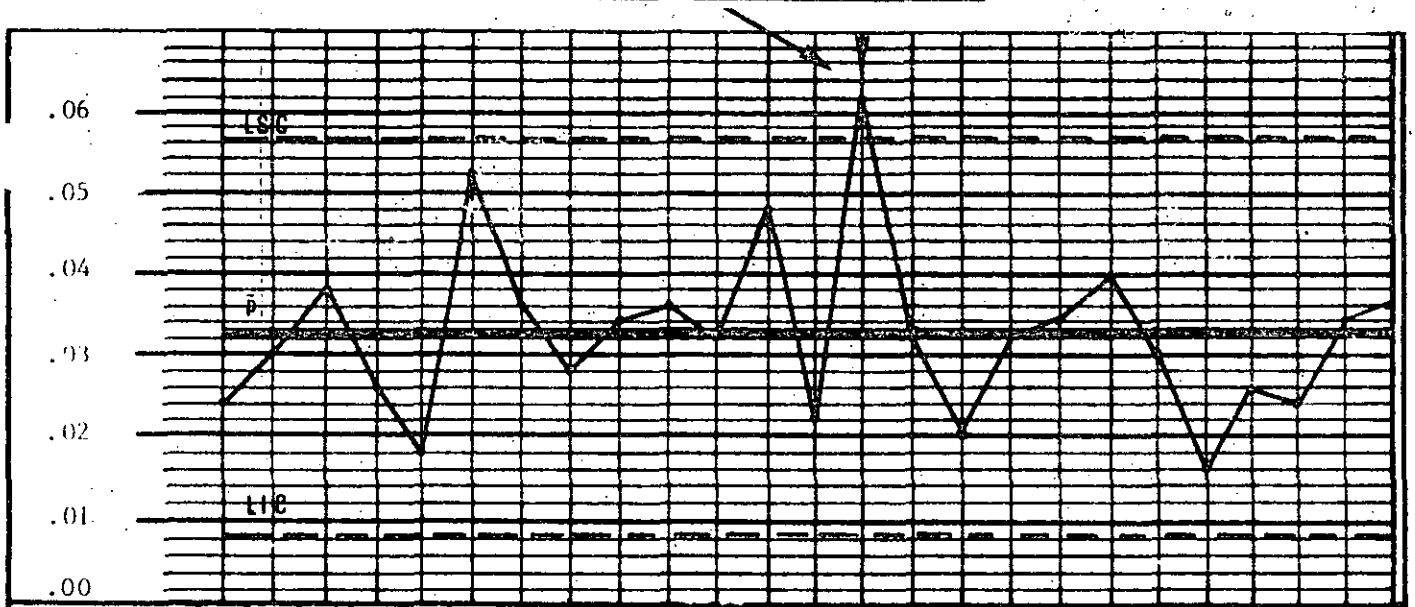
Proceso bajo control.



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, pq)	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, q)	.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
SERVACIONES																										

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.)

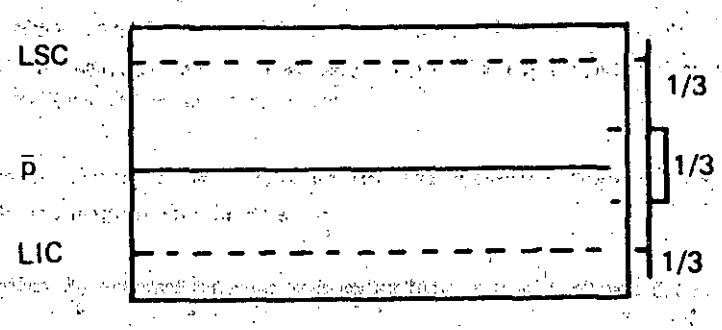
Un punto por debajo del límite de control inferior (menor fracción defectuosa) puede ser una indicación de que:

- 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.

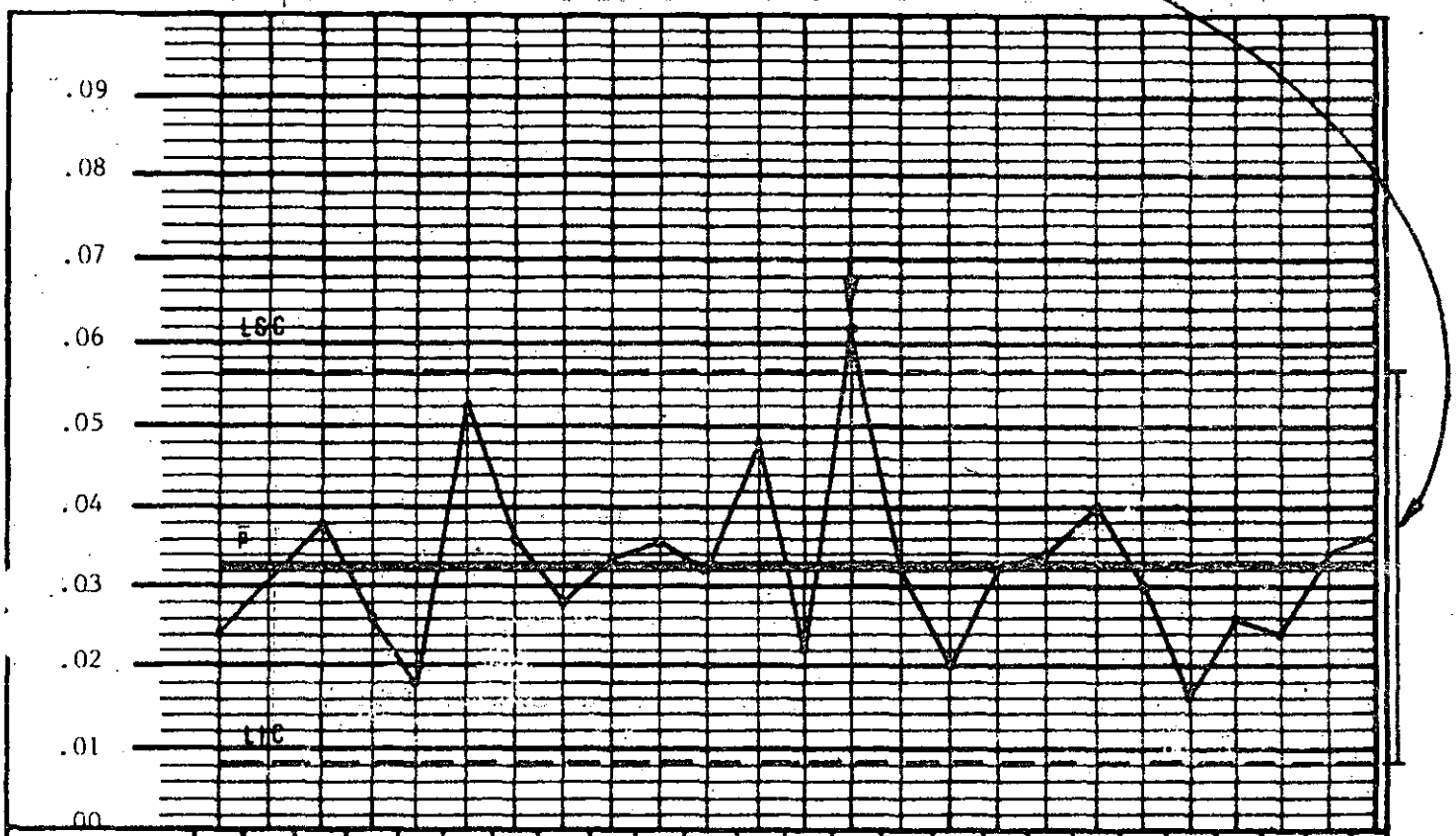
2) **Adhesión a las Líneas de Control**

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.



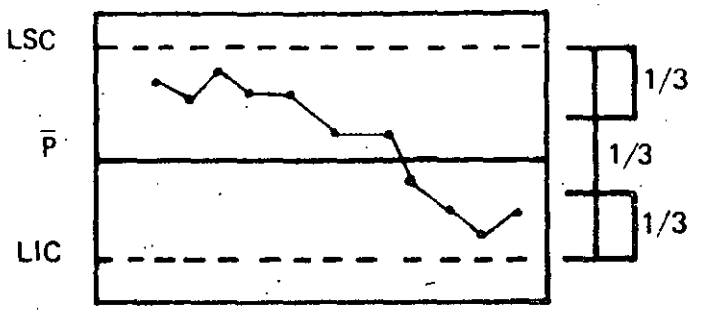
Paso 3.1.2. Alrededor de 2/3 de los puntos están dentro de la mitad del tercio de los Límites de Control. (17 de 25 entre .0245 y .0403), por lo tanto en este caso, no existe adhesión.



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	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
RECHAZOS PORCENTAJE (p, pd)	.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

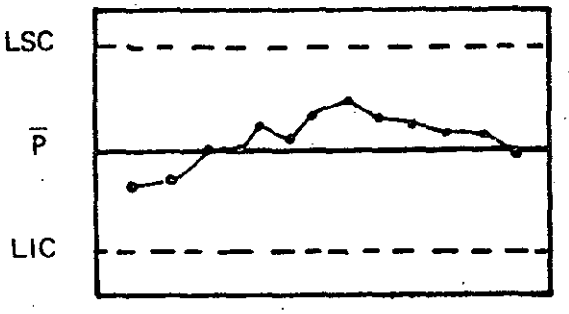
Cuando esta situación se presenta, verifique lo siguiente:

- 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)

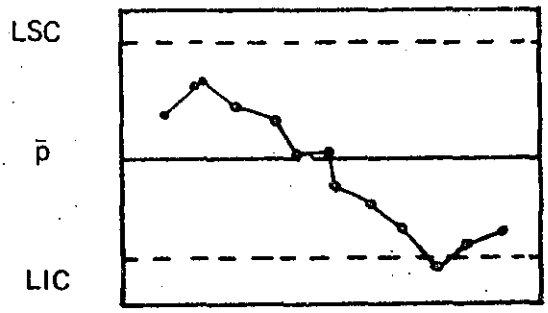
Una serie por encima del promedio del proceso puede significar:

- 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

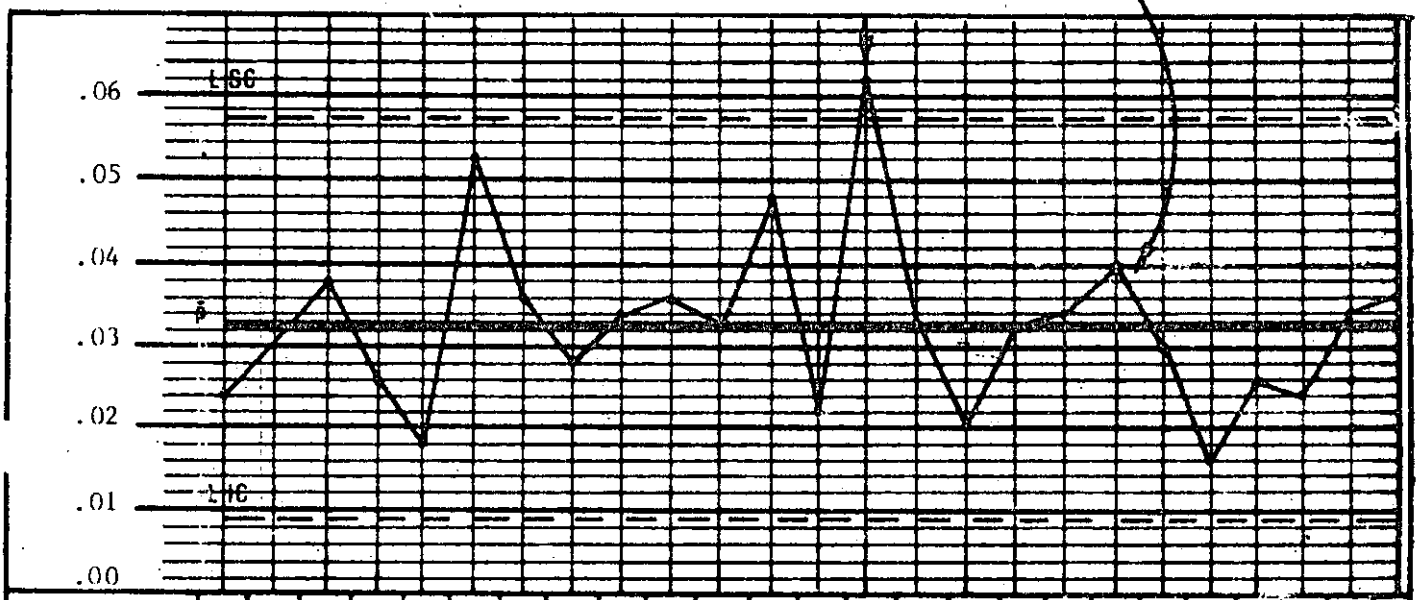
Cuando a través del análisis de los datos identifique una condición de falta de control, debe estudiar el proceso para determinar la causa. La acción correctiva deberá ser tal que evite la repetición del problema.

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, ~~c~~)	12	15	19	13	9	26	18	14	17	18	16	24	11	31	16	10	16	17	20	15	8	13	12	17	18
	PORCENTAJE (p, ~~u~~)	.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

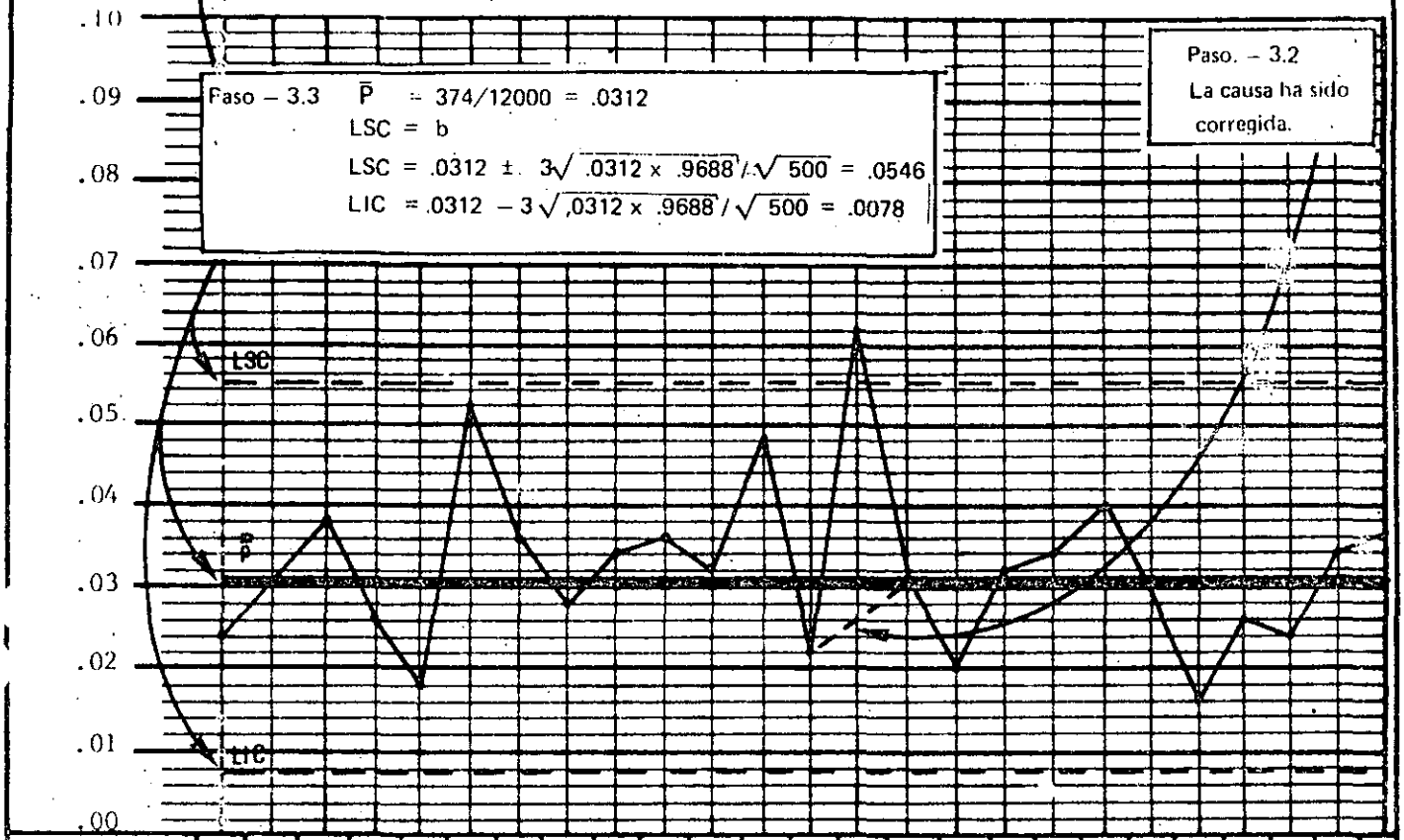
GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA		No. DE PIEZA Y NOMBRE
COMPAÑIA ELECTRICA	p ☒ c ☐ np ☐ u ☐	E1BB-12121-A Control Conj.
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	500
RECHAZOS	CANTIDAD (np, ∑)	12	15	19	13	9	26	18	14	17	18	16	24	11	31	16	10	16	17	20	15	8	13	12	17	18
	PORCENTAJE (p, ∑)	.024	.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	L 2	O 3	4	5	8	9	10

OBSERVACIONES

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.

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.

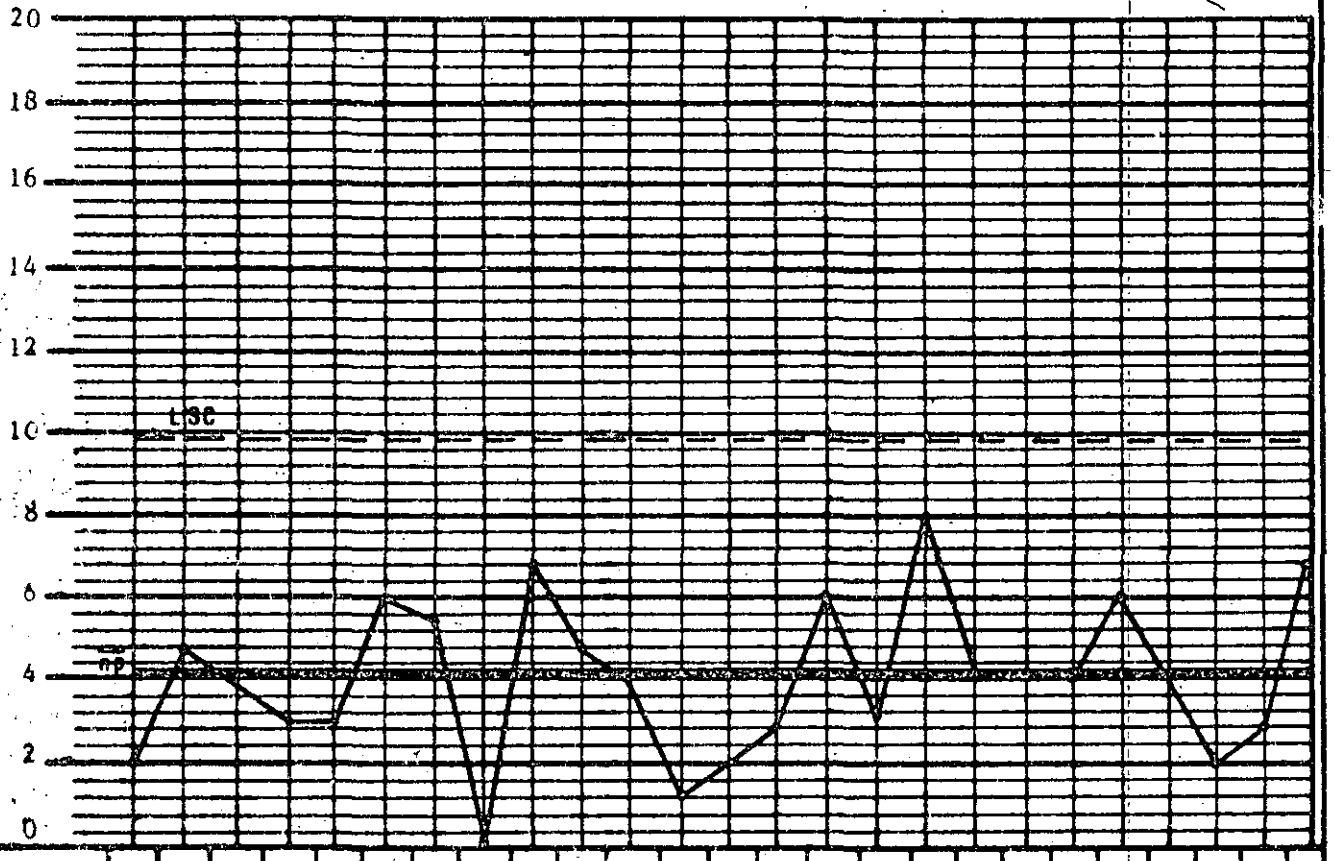
GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PARTA BRICANTES 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	3-2 18	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 ($\bar{c}$):

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \ldots + c_k}{k}$$

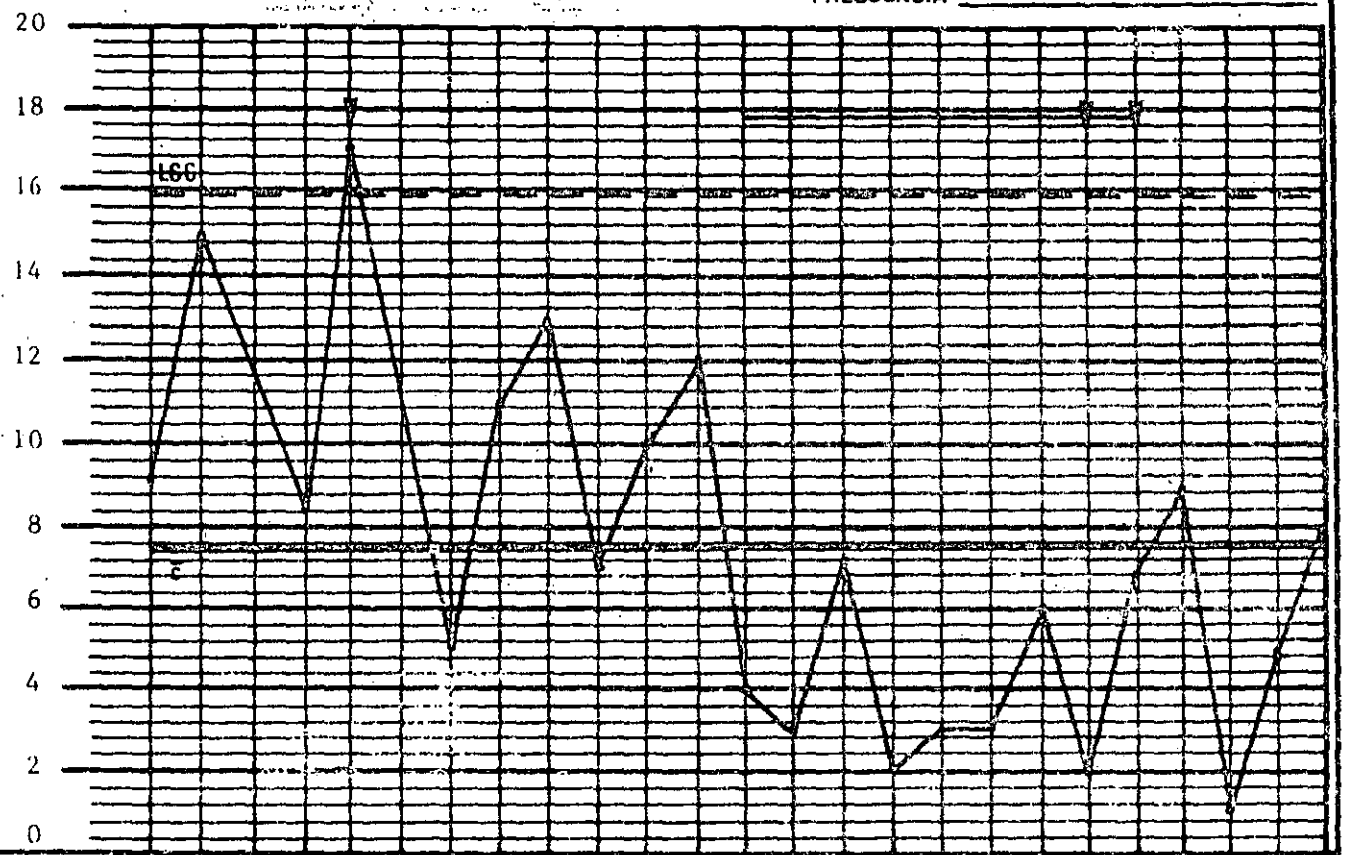
GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

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 ☒

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	
RECHAZOS — 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

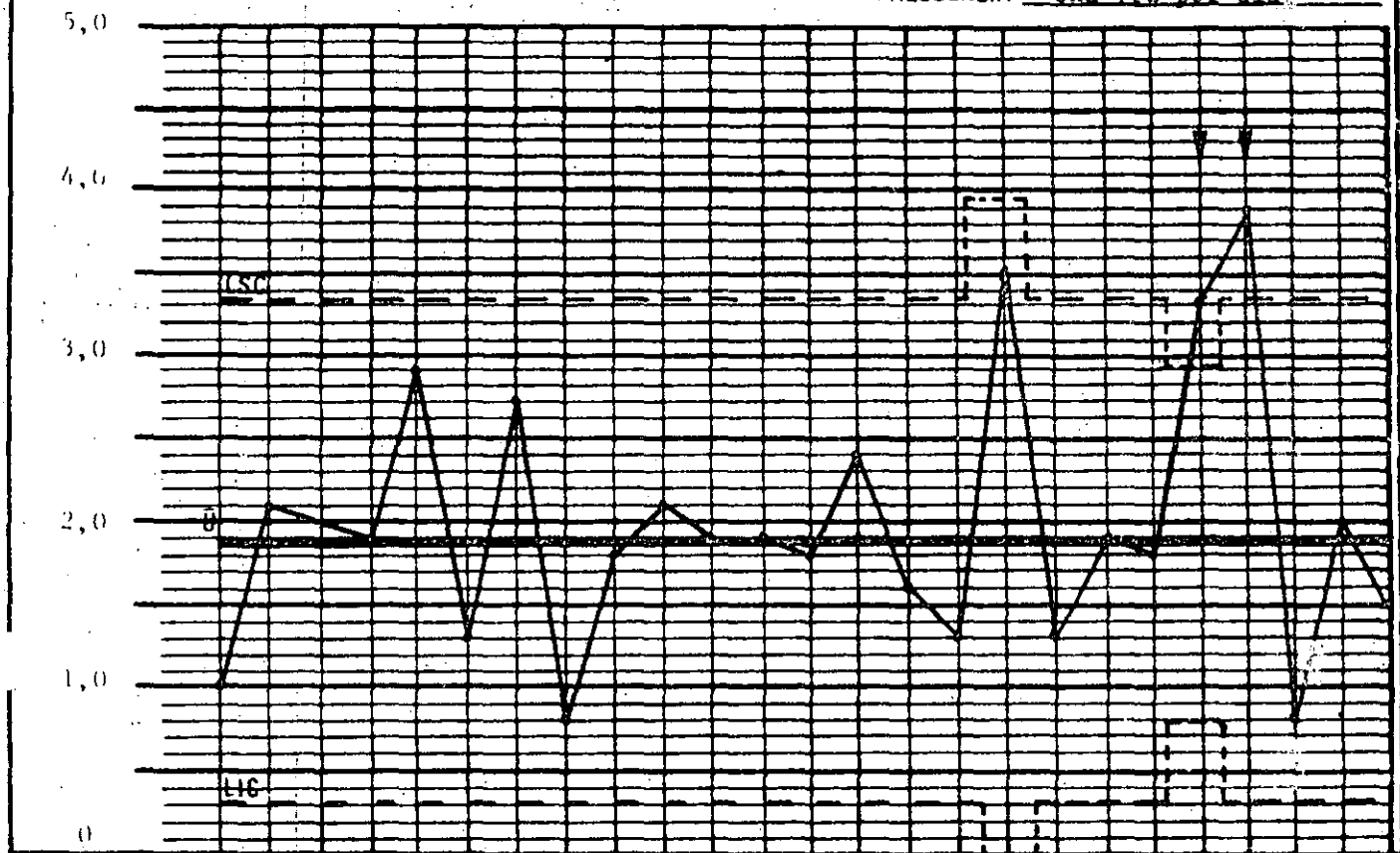
La habilidad del Proceso es $\bar{u}$, el número promedio de defectos por unidad.

GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

F TA . RODUCTOS METALICOS, S. A.	p ☐ c ☐ np ☐ u ☒	No. DE PIEZA Y NOMBRE EOTA-8A452-AA Abrazadera soporte
PARTAMENTO 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

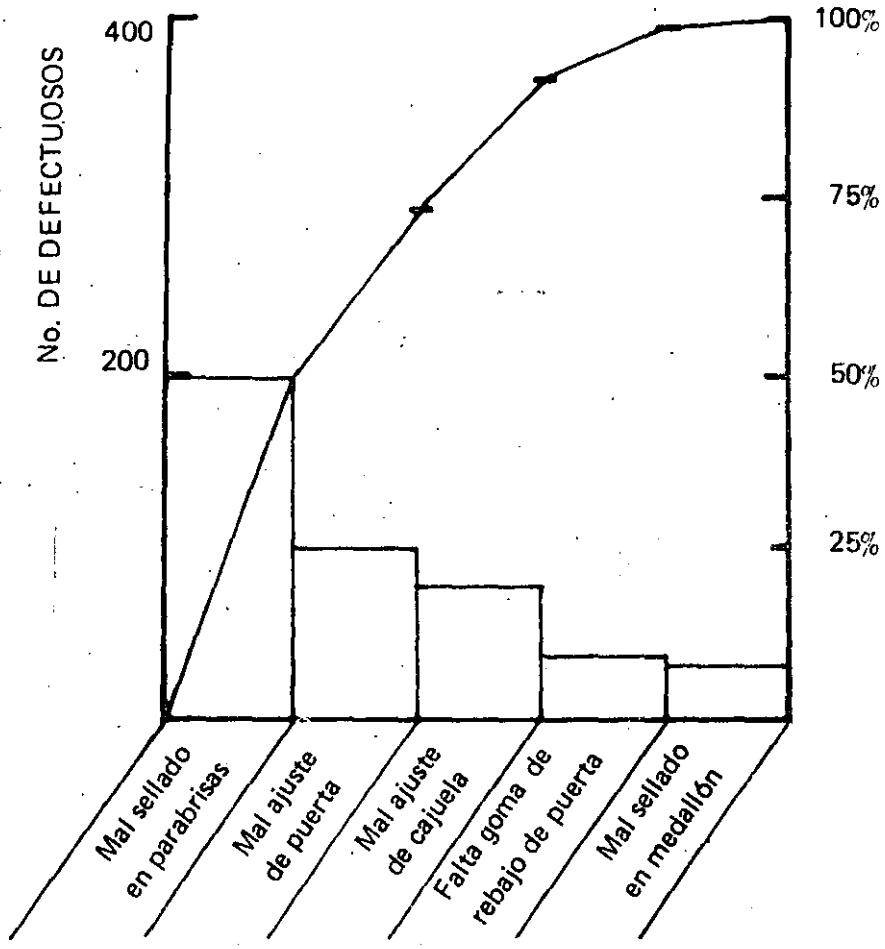
No todos los problemas a los que nos enfrentamos tienen la misma importancia. Algunos son más importantes que otros, la prueba la tenemos cuando decimos que no es posible resolver todos nuestros problemas al mismo tiempo; debemos asignar prioridades y resolver primero los más importantes.

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.

4.1.1. 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:

$$\% \text{ defectuoso} = \frac{n \times 100}{N}$$

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:

$$\% \text{ Relativo} = \frac{n \times 100}{d}$$

Donde n = Número de casos por defecto.

d = Número de casos defectuosos de la dimensión crítica considerada.

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.

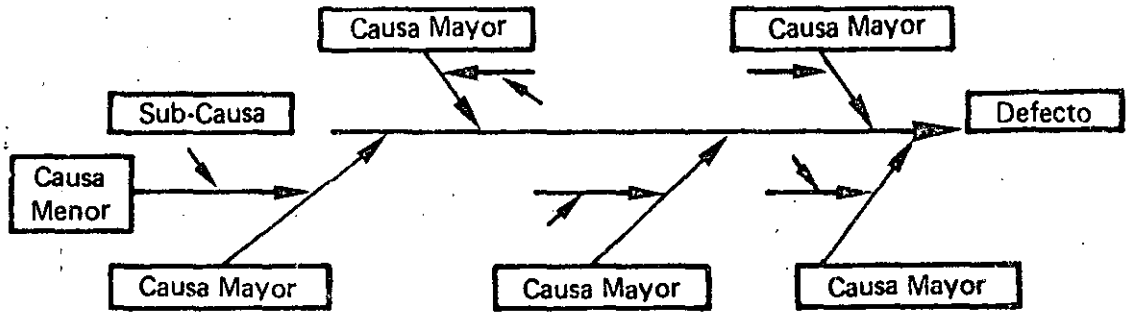
PASO 10 —Ponga títulos a la gráfica y anote en forma breve el origen de los datos en que se basó para hacerla.

4.1.2. Interpretación de un Diagrama de Pareto

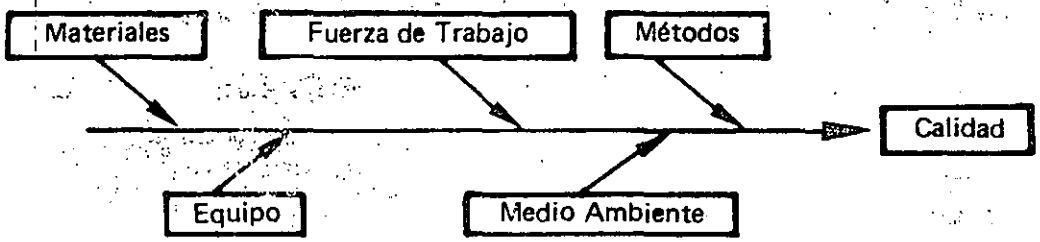
El objeto de analizar un diagrama de Pareto es identificar cuáles son los principales problemas que afectan nuestro proceso y en qué medida, y en función de esto, establecer un orden de importancia. Esto nos permitirá tener un mejor aprovechamiento de nuestros recursos al solucionar los problemas más 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: "¿Cual 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.

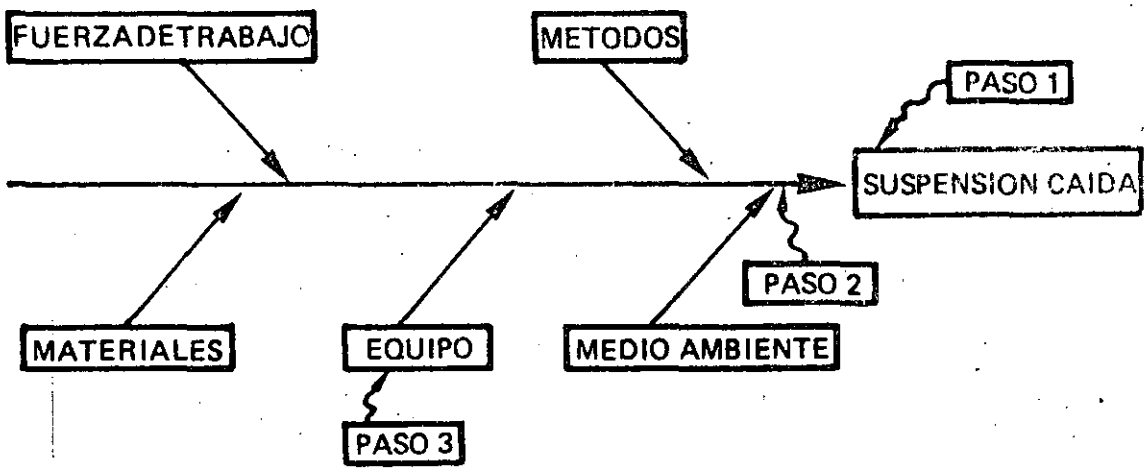
4.2.1.3. Un Diagrama Causa-Efecto Muestra el Nivel Tecnológico

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.

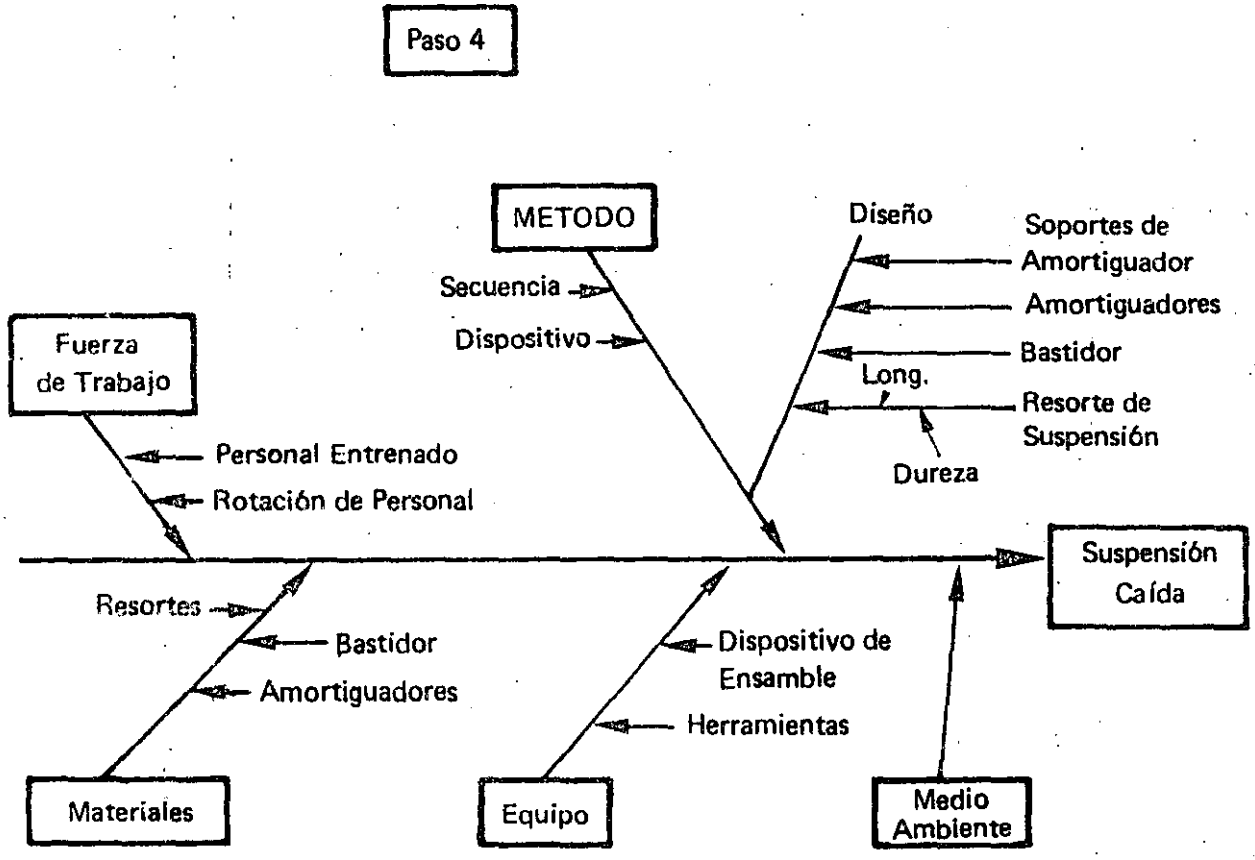
PASO 1 — Decida la característica de calidad que desee mejorar y controlar.

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).

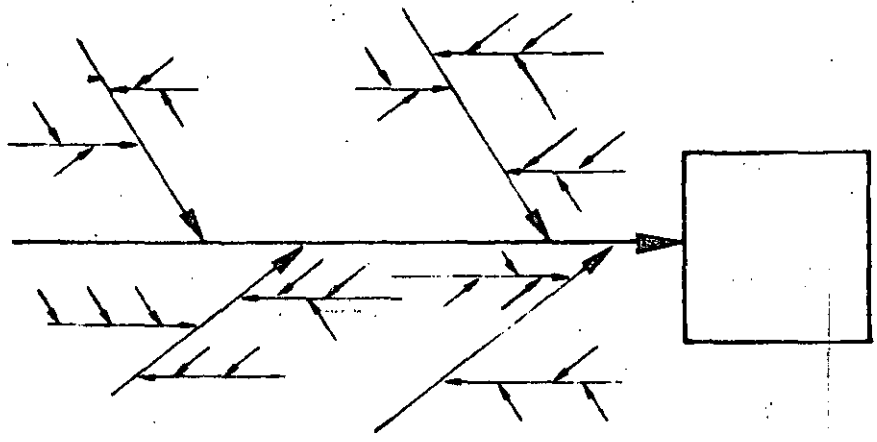
PASO 4 — Sobre cada uno de los factores-rama, anote los factores detallados que pudieran considerarse como causas. Estos se verán como varitas. Y dentro de cada una de estas últimas, anote factores aún más detallados, haciendo las varas más pequeñas.

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 $\overline{X}$ – R.

Observaciones en la muestra de tamaño n	Gráfica de Promedios ($\overline{X}$) Factores para los Límites de Control A_2	Gráfica de Rangos (R) Divisores p/estimar Desviación Estándar d_2	Factores para los Límites de Control 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.

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)	
	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

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

CURSOS ABIERTOS

TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD

EN PROCESOS INDUSTRIALES

MUESTREO DE INSPECCION

M. EN I. AUGUSTO VILLARREAL ARANDA

AGOSTO-SEPTIEMBRE 1992.

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

MUESTREO DE INSPECCION

Por: M en I Augusto Villarreal Aranda*

1. Introducción

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

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

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

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

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

a. los lotes aceptados por el plan de muestreo que se emplee serán aceptados por el receptor como buenos a excepción de aquellas unidades detectadas como defectuosas en todos los lotes durante el proceso de muestreo, las cuales serán reemplazadas por unidades buenas por el productor.

b. los lotes rechazados por el plan de muestreo le serán devueltos al productor para su rectificación.

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

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

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

2. Plan de muestreo simple

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

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

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

$X \leq c$ se acepta el lote

$X > c$ se rechaza el lote

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

2.1 Probabilidad de aceptación de un lote

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

$$P(A) = P\{X \leq c\} \sum_{X=0}^{c} \frac{C^{M}_{X} \; C^{N-M}_{n-X}}{C^{N}_{n}} \qquad (2.1)$$

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

$$P(A) = P\{X \leq c\} = \frac{C^{0}_{0} \; C^{N}_{n}}{C^{N}_{n}} = 1$$

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

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

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

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

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

Ejemplo 2.1

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

a. $M = 1$

b. $M = 3$

Solución

a. En este caso, la probabilidad de aceptación es

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

$$= \frac{\dfrac{1!}{0!(1-0)!}\ \dfrac{9!}{5!(9-5)}}{\dfrac{10!}{5!(10-5)!}} = \frac{\dfrac{9\times8\times7\times6}{4\times3\times2\times1}}{\dfrac{10\times9\times8\times7\times6}{5\times4\times3\times2\times1}} = 0.5$$

b. Para este caso, se obtiene

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

$$= \frac{\dfrac{3!}{0!(3-0)!}\ \dfrac{7!}{5!(7-5)!}}{\dfrac{10!}{5!(10-5)!}} = \frac{\dfrac{7\times6}{2\times1}}{\dfrac{10\times9\times8\times7\times6}{5\times4\times3\times2\times1}} = 0.0833$$

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

2.2 Curva característica de operación

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

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

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

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

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

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

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

$$M + Np$$

en forma tal que la ec 2.1 se puede escribir como

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

siendo las probabilidades así obtenidas hipergeométricas.

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

Ejemplo 2.2

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

Solución

En este caso, se tiene que N = 20, n = 2 y c = 0. Por lo tanto, las probabilidades de aceptación son, empleando la ec 2.3

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

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

$$= \frac{\dfrac{20p!}{0!20p!} \quad \dfrac{(20-20p)!}{2x1x(18-20p)!}}{\dfrac{20!}{2x1x18!}} = \frac{18!(20-20p)!}{20!(18-20p)!} =$$

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

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

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

$$= \frac{(20 - 10)\ (19 - 10)}{380} = \frac{(10)(9)}{380} = \frac{90}{380} = 0.237$$

Siguiendo el procedimiento anterior, se obtienen los puntos siguientes:

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

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

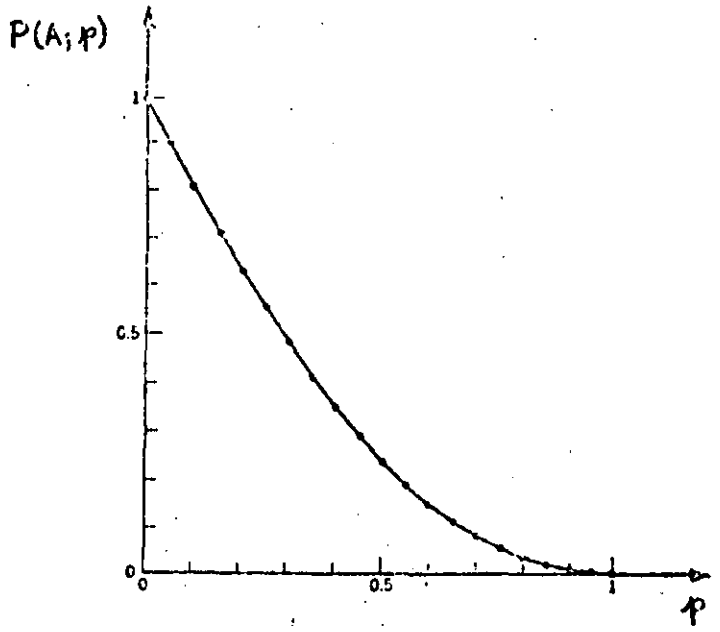


Fig 2.1 Curva CO para un plan de muestreo simple, con N = 20, n = 2 y c = 0.

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

2.3 Empleo de la aproximación binomial para construir la curva CO

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

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

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

Ejemplo 2.3

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

Solución

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

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

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

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

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

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

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

Ejemplo 2.4

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

Solución

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

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

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

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

$$\vdots$$

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

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

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

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

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

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

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

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

multiplicadas por mil.

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

Ejemplo 2.5

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

a. Recibe lotes de ciertos artículos con 1000 unidades c/u.

b. Extrae de cada lote una muestra aleatoria de 20 artículos.

c. Si la muestra extraída contiene dos o más artículos defectuosos, rechaza el lote. De no ser así, lo acepta.

Constrúyase la curva CO correspondiente.

Solución

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

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

se puede definir suficientemente bien la curva CO.

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

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

Siguiendo el procedimiento anterior, se llega a

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

En la Fig 2.2 siguiente se presenta la curva característica de operación correspondiente al problema.

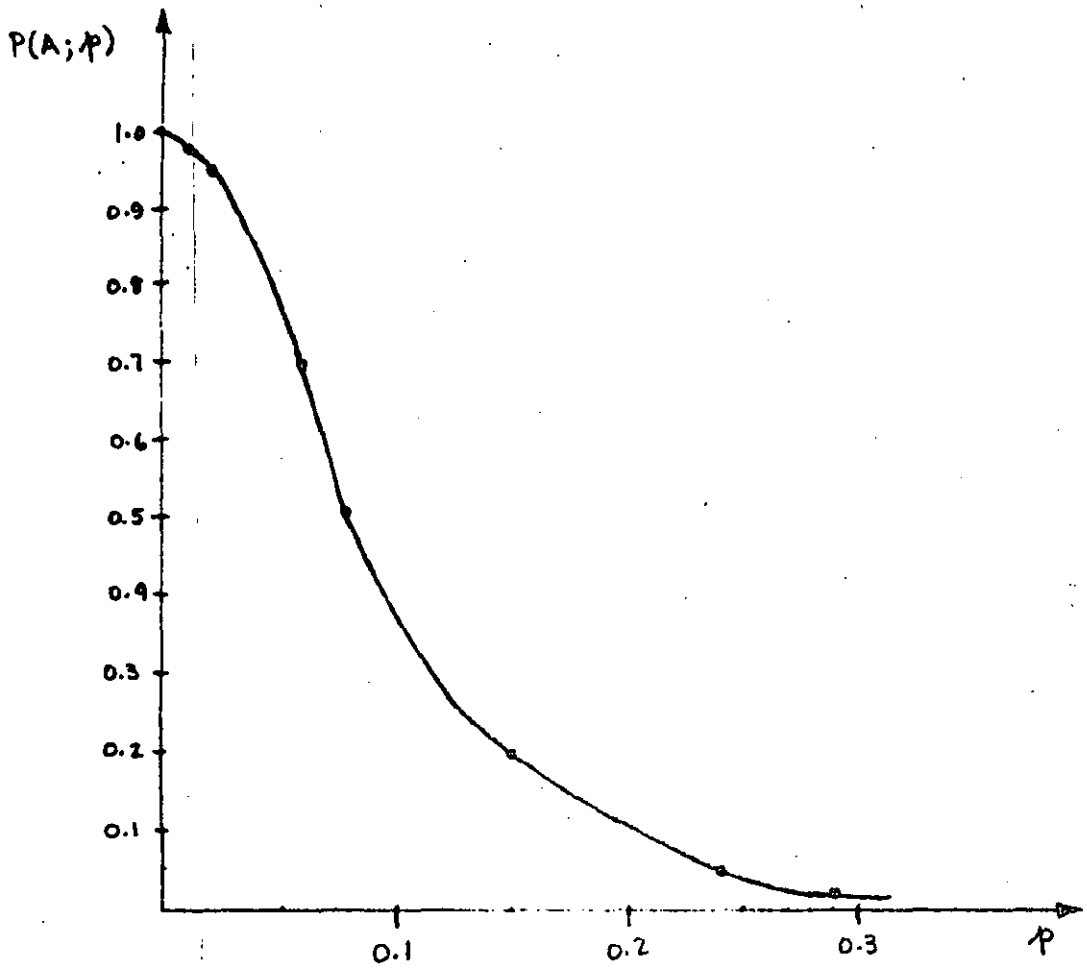


Fig 2.2 Curva característica de operación para plan de muestreo simple con lote grande, c = 1 y n = 20.

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

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

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

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

Ejemplo 2.6

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

Solución

Empleando la tabla 2.1, y considerando los valores P (A; p) que definen adecuadamente a la curva CO, se obtiene:

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

De acuerdo con la tabla, se tiene que

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

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

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

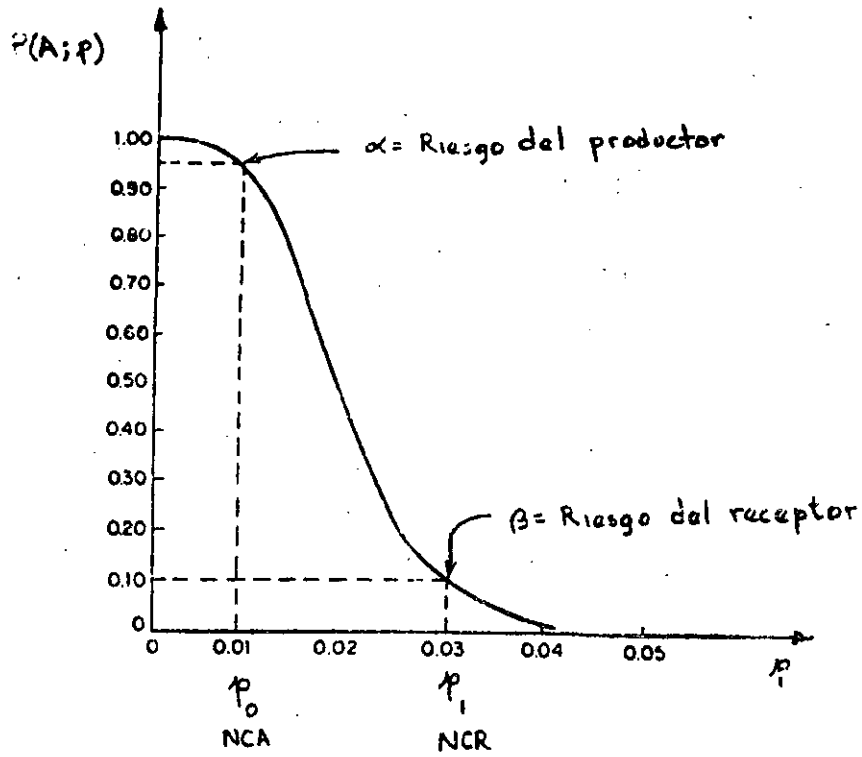


Fig 2.3 Curva CO para plan de muestreo simple con n = 300 y c = 5.

2.6 Cálculo de n y c a partir de p_o, p_1, α y β.

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

Ejemplo 2.7

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

a. Productor: Aquellos lotes que contengan un 1% de artículos defectuosos se rechazarán en el 5% de los casos.

b. Receptor: Los lotes que contengan un 6% de artículos defectuosos se aceptarán en el 10% del total de casos.

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

Solución

De acuerdo con los datos del problema, se desprende que

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

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

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

np_o (para $\alpha = 0.05$ o $P(A; 0.01) = 0.95$) $\doteq 0.05$

np_1 (para $\beta = 0.10$) $= 2.30$

Entonces

$$n_\alpha = \frac{np_o}{p_o} = \frac{0.05}{0.01} = 5$$

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

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

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

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

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

Por lo tanto

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

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

Tampoco se verifica que $n_\alpha = n_\beta$; por lo tanto, se hace c = 2.

c. Se considera c = 2, y

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

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

Ahora, se tiene que

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

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

Ahora n_α y n_β se parecen bastante, pero aún no son iguales. Por lo tanto, se hace c = 3 para saber si la diferencia se hace más pequeña.

d. Se considera c = 3, y se obtiene

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

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

Luego

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

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

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

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

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

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

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

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

cuya curva CO se muestra en la Fig 2.4.

en el mismo número de casos.

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

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

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

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

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

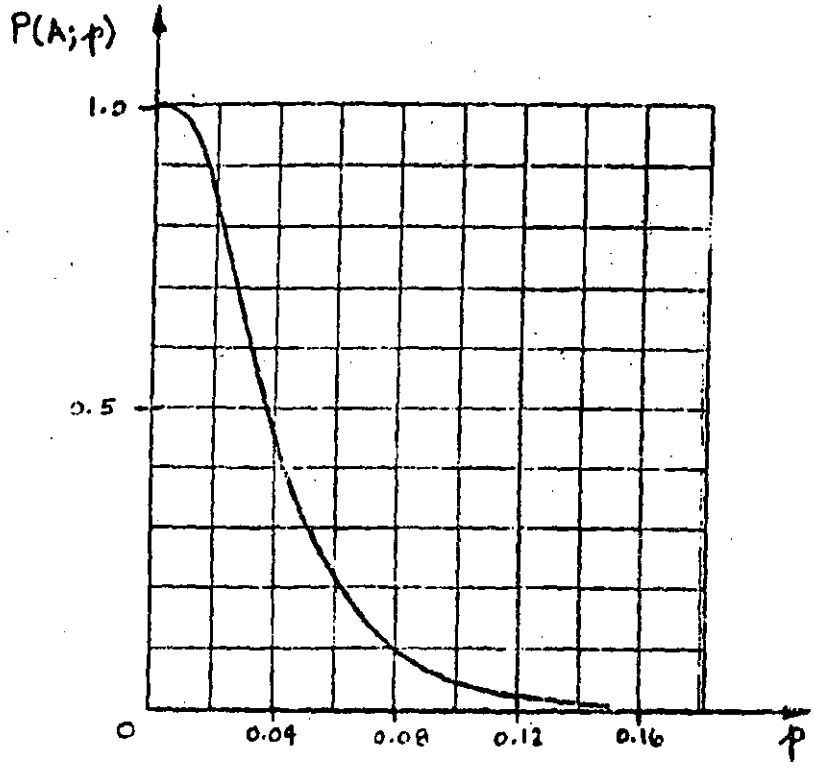


Fig 3.1 Curva CO para plan de muestreo doble con $n_1 = 50$, $c_1 = 1$, $n_2 = 100$, $c_2 = 3$.

4. Plan de muestreo múltiple

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

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

a. Muestra 1 (M1)

número de aceptación = c = no hay

número de rechazo = r = 2

0 def M1 ⇒ P_0 = 0.670 ⇒ CM (0 def)

1 def M1 ⇒ P_1 = 0.268 ⇒ CM (1 def)

2 def M1 ⇒ ⇒ R (2 def)

Probabilidad de aceptación = 0.000

b. Muestra 2 (M2)

c = 0

r = 3

0 def M1, 0 def M2 ⇒ P_{00} = (0.670)(0.670) = 0.449 ⇒ A (0 def)

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

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

0 def M1, 3 def M2 ⇒ ⇒ R (3 def)

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

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

1 def M1, 2 def M2 ⇒ ⇒ R (3 def)

Probabilidad de aceptación = 0.449

Nuevos valores:

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

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

c. Muestra 3 (M3)

c = 1

r = 3

1 def M2, 0 def M3 ⇒ P_{10} = (0.359)(0.670) = 0.2405 ⇒ A (1 def)

1 def M2, 1 def M3 ⇒ P_{11} = (0.359)(0.268) = 0.0962 ⇒ CM (2 def)

1 def M2, 2 def M3 ⇒ ⇒ R (3 def)

2 def M2, 0 def M3 ⇒ P_{20} = (0.108)(0.670) = 0.0723 ⇒ CM (2 def)

2 def M2, 1 def M3 ⇒ ⇒ R (3 def)

Probabilidad de aceptación = 0.2405

Nuevo valor:

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

d. Muestra 4 (M4)

c = 2

r = 4

2 def M3, 0 def M4 ⇒ P_{20} = (0.1685)(0.670) = 0.1129 ⇒ A (2 def)

2 def M3, 1 def M4 ⇒ P_{21} = (0.1685)(0.268) = 0.0451 ⇒ CM (3 def)

2 def M3, 2 def M4 ⇒ ⇒ R (4 def)

Probabilidad de aceptación = 0.000

Nuevo valor

P_3 = P {tres defectuosos en M6} = 0.0202

g. Muestra 7 (M7)

c =

r = 4

3 def M6, 0 def M7 ⇒ P_{30} = (0.0202)(0.670) = 0.0135 ⇒ A (3 def)

3 def M6, 1 def M7 ⇒ ⇒ R (4 def)

Probabilidad de aceptación = 0.0135

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

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

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

TABLA—5.1

COMPARACION ENTRE LOS PLANES DE MUESTREO SIMPLE, DOBLE Y MULTIPLE

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

Ejemplo 3.1 (con p = 0.02)

a. Muestra 1 (M1)

$c = 1$

$r = 4$

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

0 def M1 ⇒ $P_0 = 0.368$ ⇒ A (0 def)

1 def M1 ⇒ $P_1 = 0.368$ ⇒ A (1 def)

2 def M1 ⇒ $P_2 = 0.184$ ⇒ CM (2 def)

3 def M1 ⇒ $P_3 = 0.061$ ⇒ CM (3 def)

4 def M1 ⇒ ⇒ R (4 def)

Probabilidad de aceptación = 0.736

b. Muestra 2 (M2)

$c = 3$

$r = 4$

$np = 100(0.02) = 2$; $P_0 = 0.135$; $P_1 = 0.271$; $P_2 = 0.271$; $P_3 = 0.[illegible]$

2 def M1, 0 def M2 ⇒ $P_{20} = (0.184)(0.135) = 0.0248$ ⇒ A (2 def)

2 def M1, 1 def M2 ⇒ $P_{21} = (0.184)(0.271) = 0.0498$ ⇒ A (3 def)

2 def M1, 2 def M2 ⇒ ⇒ R (4 def)

3 def M1, 0 def M2 ⇒ $P_{30} = (0.061)(0.135) = 0.0082$ ⇒ A (3 def)

3 def M1, 1 def M2 ⇒ ⇒ R (4 def)

Probabilidad de aceptación = 0.0828

∴ $P(A; 0.02) = 0.736 + 0.0828 = 0.8188 \approx 0.819$

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

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

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

Niveles de calidad aceptable (inspección normal)

Letra clave para el tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra	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	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 6	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	1 250	0 1	↑	↓	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	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

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

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

Niveles de calidad aceptable (inspección cerrada)

Letra clave para el tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra	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	7 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																							

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

Letra clave para el tamaño de la muestra	Muestra	Tamaño de la muestra	Tamaño acumulado de la muestra	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	1000 Ac Re	1500 Ac Re	2500 Ac Re	4000 Ac Re	6500 Ac Re	10000 Ac Re
A				↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
B	Primera	2	2																															
	Segunda	2	4																															
	Tercera	2	6																															
	Cuarta	2	8																															
	Quinta	2	10																															
	Sexta	2	12																															
	Séptima	2	14																															
D	Primera	3	3																															
	Segunda	3	6																															
	Tercera	3	9																															
	Cuarta	3	12																															
	Quinta	3	15																															
	Sexta	3	18																															
	Séptima	3	21																															
E	Primera	5	5																															
	Segunda	5	10																															
	Tercera		15																															
	Cuarta		20																															
	Quinta	5	25																															
	Sexta	5	30																															
	Séptima	5	35																															
F	Primera	8	8																															
	Segunda	8	16																															
	Tercera	8	24																															
	Cuarta	8	32																															
	Quinta	8	40																															
	Sexta	8	48																															
	Séptima	8	56																															
G	Primera	13	13																															
	Segunda	13	26																															
	Tercera	13	39																															
	Cuarta	13	52																															
	Quinta	13	65																															
	Sexta	13	78																															
	Séptima	13	91																															
H	Primera	20	20																															
	Segunda	20	40																															
	Tercera	20	60																															
	Cuarta	20	80																															
	Quinta	20	100																															
	Sexta	20	120																															
	Séptima	20	140																															

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

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

Ac = Número de aceptación.

Re = Número de rechazo.

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

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

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

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

Niveles de calidad aceptable (inspección normal)

Letra clave para el tamaño de la muestra	Muestra	Tamaño de la muestra	Tamaño acumulado de la muestra	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	1000 Ac Re	1500 Ac Re	2500 Ac Re	4000 Ac Re	6500 Ac Re	10000 Ac Re
K	Primera	32	32																															
	Segunda	32	64																															
	Tercera	32	96																															
	Cuarta	32	128																															
	Quinta	32	160																															
	Sexta	32	192																															
	Séptima	32	224																															
L	Primera	50	50																															
	Segunda	50	100																															
	Tercera	50	150																															
	Cuarta	50	200																															
	Quinta	50	250																															
	Sexta	50	300																															
	Séptima	50	350																															
M	Primera	80	80																															
	Segunda	80	160																															
	Tercera	80	240																															
	Cuarta	80	320																															
	Quinta	80	400																															
	Sexta	80	480																															
	Séptima	80	560																															
N	Primera	125	125																															
	Segunda	125	250																															
	Tercera	125	375																															
	Cuarta	125	500																															
	Quinta	125	625																															
	Sexta	125	750																															
	Séptima	125	875																															
P	Primera	200	200																															
	Segunda	200	400																															
	Tercera	200	600																															
	Cuarta	200	800																															
	Quinta	200	1 000																															
	Sexta	200	1 200																															
	Séptima	200	1 400																															
Q	Primera	315	315																															
	Segunda	315	630																															
	Tercera	315	945																															
	Cuarta	315	1 260																															
	Quinta	315	1 575																															
	Sexta	315	1 890																															
	Séptima	315	2 205																															
R	Primera	500	500																															
	Segunda	500	1 000																															
	Tercera	500	1 500																															
	Cuarta	500	2 000																															
	Quinta	500	2 500																															
	Sexta	500	3 000																															
	Séptima	500	3 500																															

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

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

Ac = número de aceptación.

Re = número de rechazo.

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

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

Paquetes estadísticos para la familia IBM PC y compatibles

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

CURSOS ABIERTOS

TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD
EN PROCESOS INDUSTRIALES

PAQUETES ESTADISTICOS PARA FAMILIA IBM PC Y COMPATIBLES

EXPOSITOR:
M. EN I. RAFAEL BRITO RAMIREZ

AGOSTO-SEPTIEMBRE 1992

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

```
          ---> Probability Calculations <---

   A  = BAYES     (Bayes' Formula)
   B  = COMBOS    (Combinatorial Calculations)

   R  - Return to Main Menu
   S  - SP (StatPak entry program)
   X  - Exit (to System)

Enter selection letter (no <CR> needed): _
```

```
1 s     2No     3Screen 4Printr 5File   6Quit   7R erun 8SPMENU 9SPLICE 0SPEED
```

```
        ---> Single-Variable Statistics <---

   A  = DSTATS   (Descriptive Statistics)
   B  = FREHIST  (Frequency Histogram)
   C  = FREQUICK (Quick Frequency Count)
   D  = GENMEAN  (Generalized Mean)
   E  = STDSCORE (Standardized Scores)

   R  - Return to Main Menu
   S  - SP (StatPak entry program)
   X  - Exit (to System)

Enter selection letter (no <CR> needed): _


1Yes    2No     3Screen 4Printr 5File   6Quit   7R erun 8SPMENU 9SPLICE 0SPEED
```

```
---> CONTINUOUS DISTRIBUTION FUNCTIONS - I <---

B ivariate Normal Distribution
F Distribution
G amma Function
I ncomplete Gamma Function
N ormal Distribution (INVERSE)
t Distribution

X (eXit this program)

Select desired function (B,F,G,I,N,T,X)?
```

```
es    2No    3Screen 4Printr 5File   6Quit   7R erun 8SPMENU 9SPLICE 0SPEED
```

```
---> CONTINUOUS DISTRIBUTION FUNCTIONS - II <---

C hi-squared distribution
E xponential distribution
K hrgian-Mazin
L ogarithmic-Normal distribution
N ormal (Gaussian) distribution

X (eXit this program)

Select desired function (C,E,K,L,N,X)?
```

```
1Yes    2No    3Screen 4Print 5File    6Quit    7R erun 8SPMENU 9SPLICE 0SPEED
```

```
          ---> Regression & Correlation <---

   A  = AUTOCO    (Auto-Correlation)
   B  = CORREL    (Correlation & Covariance)
   C  = CROSSCO   (Cross-Correlation)
   D  = FOURIER   (Fourier Analysis)
   E  = MLINREG   (Multiple-Linear: Regular, Stepwise, Interactive)
   F  = ONEVREG   (Single-Variable Regression)
   G  = POLYREG   (Polynomial Regression)

   R  - Return to Main Menu
   S  - SP (StatPak entry program)
   X  - Exit (to System)

Enter selection letter (no <CR> needed): _


1Yes    2No     3Screen 4Printr 5File   6Quit   7R erun 8SPMENU 9SPLICE 0SPEED
```

```
---> Non-Parametric Statistics <---

 A  = FRIEDMAN (Friedman Two-Way ANOVA)
 B  = KENDALL  (Kendall's tau Statistic)
 C  = KOLSMIR  (Kolmogorov-Smirnov 'Goodness of Fit')
 D  = KRUSWALL (Kruskal-Wallis Statistic)
 E  = MANNWHIT (Mann-Whitney Statistic)
 F  = SPEARANK (Spearman Rank-Order Correlation)
 G  = WILCOSR  (Wilcoxon Signed-Rank Test)

 R  - Return to Main Menu
 S  - SP (StatPak entry program)
 X  - Exit (to System)

Enter selection letter (no <CR> needed): _
```

```
1Yes    2No     3Screen 4Printr 5File   6Quit   7R erun 8SPMENU 9SPLICE 0SPEED
```

```
---> Analysis of Variance <---

A = ANOVA1    (1-Way ANOVA: Completely Randomized)
B = ANOVA1R   (1-Way ANOVA: Randomized/One Treatment)
C = ANOVA2    (2-Way ANOVA: Completely Randomized)
D = ANOVA2R1  (2-Way ANOVA: Split-Plot)
E = ANOVA2R2  (2-Way ANOVA: Randomized/Two Treatment)
F = ANOVA3    (3-Way ANOVA: Completely Randomized)
G = ANOVA3R1  (3-Way ANOVA: Split-Plot)
H = ANOVA3R2  (3-Way ANOVA: Two Repeated Measures)

R - Return to Main Menu
S - SP (StatPak entry program)
X - Exit (to System)

Enter selection letter (no <CR> needed): _

1Yes    2No    3Screen 4Printr 5File   6Quit   7R erun 8SPMENU 9SPLICE 0SPEED
```

(A)

DATA MANAGEMENT

1. Manipulate Defined Variables
2. Full-Screen Data Editor
3. Read Variable Definitions from SG File
4. Write to STATGRAPHICS File
5. Import Data from ASCII Data File
6. Export Data to ASCII Data File
7. Import Data from DIF File
8. Export Data to DIF File
9. Import Lotus 1-2-3 Worksheet
10. Export Lotus 1-2-3 Worksheet
11. Recode Missing Values

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

1HELP 2LABEL 3SAVSC 4RECORD 5 6 7 8 9REVIEW 10QUIT
INPUT THR APR 21 1988 06:21:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

B

```
SYSTEM ENVIRONMENT

1.  Modify System Profile
2.  Select New Screen Options
3.  Select New Plot Options
4.  Reprogram Function Keys
5.  Reinitialize System
6.  Issue DOS System Command
7.  Temporary Exit to DOS

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

 1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT    THR APR 21 1988 06:23:00 PM  VERSION 1.1                        REC:OFF
```

```
PLOTTER INTERFACE

1.  Set Communications Speed and Parity
2.  Establish Plotter Interface
3.  Send Recorded Files to Plotter

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

 1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT    THR APR 21 1988 06:42:00 PM  VERSION 1.1                      REC:OFF
```

```
PLOTTING FUNCTIONS

 1.  X-Y Scatterplot
 2.  Coded X-Y Scatterplot
 3.  Connected X-Y Scatterplot
 4.  X-Y Lineplot
 5.  Log Plot
 6.  Standard Error Bars
 7.  X-Y-Z Plot
 8.  Three-Dimensional Scatterplot
 9.  Basic Surface Plot
10.  Quick Hidden-Line Surface Plot
11.  Best Hidden-Line Surface Plot
12.  Connected Contour Plot
13.  Point Contour Plot

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

 1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT    THR APR 21  1988 06:43:00 PM  VERSION 1.1                      REC:OFF
```

DESCRIPTIVE METHODS

1. Summary Statistics
2. Box-and-Whisker Plot
3. Frequency Tabulation
4. Frequency Histogram
5. Geometric Mean
6. Weighted Averages
7. Percentiles
8. Codebook Procedure
9. Three-Dimensional Histogram
10. Barchart
11. Piechart
12. Component Line Chart

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

```
:II  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
 :F: 21  1988 06:44:00 PM  VERSION 1.1                        REC:OFF
```

```
DISTRIBUTION FUNCTIONS

1. Distribution Fitting
2. Distribution Plotting
3. Tail Area Probabilities
4. Inverse Distribution Functions
5. Random Number Generation

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT   THR APR 21  1988 06:46:00 PM  VERSION 1.1                       REC:OFF
```

```
FORECASTING

1.  Brown's Exponential Smoothing
2.  Holt's Linear Exponential Smoothing
3.  Winter's Seasonal Smoothing
4.  Simple Trend Analysis
5.  Exponential Power Curve
6.  Life-Cycle Fitting
7.  Seasonal Decomposition

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

 1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT    THR APR 21  1988 06:53:00 PM  VERSION 1.1                      REC:OFF
```

```
REGRESSION ANALYSIS

1.  Correlation Matrix
2.  Covariance Matrix
3.  Simple Regression
4.  Interactive Outlier Rejection
5.  Indicator Variables
6.  Partial Correlation
7.  Multiple Regression
8.  Stepwise Variable Selection
9.  Ridge Regression
10. Ridge Trace
11. Nonlinear Regression

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT   THR APR 21 1988 06:53:00 PM  VERSION 1.1                        REC:OFF
```

```
QUALITY CONTROL

1.  Quality Control Data Input
2.  X-Bar Charts for Sample Averages
3.  R Charts for Sample Ranges
4.  S Charts for Standard Deviations
5.  C Charts for Poisson Frequencies
6.  NP Charts for Binomial Counts
7.  P Charts for Binomial Proportions
8.  Cusum Charts
9.  Pareto Charts
10. Multivariate Control Charts

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT   THR APR 21  1988 06:54:00 PM  VERSION 1.1                     REC:OFF
```

```
MULTIVARIATE METHODS

 1.  Data Matrix Creation
 2.  Variable Standardization
 3.  Correlation Matrix Generation
 4.  Covariance Matrix Generation
 5.  Principal Components
 6.  Factor Analysis
 7.  Factor Rotations
 8.  Cluster Analysis
 9.  Discriminant Analysis
10.  Canonical Correlations
11.  Expansion of Compressed Matrix
12.  Star Symbol Plot
13.  Sun Ray Plot
14.  Draftsman Plot
15.  Casement Plot

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

 1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5      6      7      8      9REVIEW 10QUIT
INPUT    THR APR 21  1988 06:57:00 PM  VERSION 1.1                  REC:OFF
```

```
NONPARAMETRIC METHODS

1.  Basic Runs Test
2.  Runs Test Up and Down
3.  Runs Test Above and Below Median
4.  Basic Sign Test
5.  Sign Test for Location
6.  Sign Test for Paired Samples
7.  Wilcoxon Signed Rank Tests
8.  Mann-Whitney-Wilcoxon Test
9.  Kendall Rank Correlation Coefficient
10. Spearman Rank Correlation Coefficient
11. Kolmogorov-Smirnov One-Sample Test
12. Kolmogorov-Smirnov Two-Sample Test

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT   THR APR 21  1988 06:57:00 PM  VERSION 1.1                     REC:OFF
```

```
SAMPLING

1.  Sample Size - Normal Means
2.  Sample Size - Binomial Proportions
3.  Sample Size - Poisson Frequencies

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

 1HELP   2LABEL  3SAVSC  4RECORD 5       6       7       8       9REVIEW 10QUIT
INPUT    THR APR 21  1988 06:58:00 PM  VERSION 1.1                      REC:OFF
```

MATHEMATICAL FUNCTIONS

1. Variable Transformations
2. Variable Standardization
3. Eigenvalues and Eigenvectors
4. Fast Fourier Transform
5. Integer Factorization
6. Prime Number Generation
7. Matrix Multiplication
8. Matrix Inversion
9. LP Solution - Simplex Method
10. Full-Screen Simplex Procedure

Use cursor keys to highlight desired procedure.
Then press ENTER.

1HELP 2LABEL 3SAVSC 4RECORD 5 6 7 8 9REVIEW 10QUIT
INPUT THR APR 21 1988 07:01:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

package. Fits the Weibull equation to the failure history of a sample of test specimens. The user provides the lifetimes at failure, or at removal from test, of each specimen in the test sample. WCF then calculates the mean rank estimates of the cumulative probability of failure (or the user may input an alternative set of rank estimates). Non-failed specimens may be included in the data. The calculated results are the estimates of the characteristic lifetime, the Weibull slope, and the standard deviation of the fit.

Computer configuration: MS-DOS, release 1.0 or higher, 128K or more.

C

ECP Inc.
12158 Globe Rd.
Livonia, MI 48150
(313) 464-7900

Program name: ECP Statmaster

Program available via: Direct marketing representative network

Program price: $1,500

Available on: 5¼ in. and 3½ in. floppy disk

Program description: Reports and calculated statistics allow the user to look at data from many perspectives. Accepts keyboard or electronic gage entry. Charts include: process control analysis, X and R, distribution/capability analysis, trend analysis, geometric tolerancing, scatter analysis, and attributes. Custom configurations are available with gaging systems, computer systems, and robots.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT with 512K RAM, MS-DOS 3.1, graphics. HP 9000 Series 200/300 with IMRAM, Pascal 3.1.

Program name: ECP-TransMaster

Program available via: Direct marketing representative network

Program price: $200

Available on: 5¼ in. and 3½ in. floppy disk

Program description: Allows data transfer to the ECP Statmaster statistical process control system from DataMyte Gage Talkers, OS-4 calipers, Data Loggers, Quality 200, and most other data collection devices and from programs such as Lotus 1-2-3 and dBase.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, with 128K RAM, DOS 3.1.

Electronic Data Systems Corporation
2555 Crooks Rd.
Troy, MI 48084
(313) 696-5212

Program name: ESP-STAT

Program available via: Direct mail

Program price: $995 (special site license and quantity discounts available)

Available on: Floppy disk

Program description: Integrated statistical analysis software package. Operates in three modes: menu, command, and batch. Spreadsheet capabilities allow the user to set up data that extend beyond the screen's border. Graphics and printing and plotting capabilities. Interfaces with ESP-QC and communicates with other packages through ASCII and DIF files. Data management capabilities, including simple programming. Performs: descriptive statistics; inferences on the mean, variance, or proportion; simple linear regression, polynomial and multiple regression, correlation, categorical data analysis; and one-way, two-way, and factorial analysis of variance.

Computer configuration: IBM PC or compatible, 512K RAM, hard disk drive and color graphics card. Math coprocessor chip and graphic printer recommended. Also supports HP plotters.

Program name: ESP-QC

Program available via: Direct mail

Program price: ESP-QC $1,795; ESP-QC Variable $695; ESP-QC Attribute $395; ESP-QC Gage $795 (special site license and quantity discounts available)

Available on: Floppy disk

Program description: Comprehensive quality analysis system. Performs statistical calculations, including: normal and non-normal statistics; variable and attribute control charting; histogram and Pareto charting; capability analysis; measurement systems analysis. Menu-driven with on-line help available at every level. Accepts data entry via worksheet editor (keyboard), data acquisition devices, ASCII or DIF files. Repetitive operations are made with auto-processing, a function that automatically generates output reports with no user interaction. Medium resolution and text graphic output are available. Text graphics function prints graphs and charts. An options function allows for the preset of analysis conditions. A customization module allows for the global preset of options, customization of screen labels, setting passwords, deleting functions, and setting paths. ESP-QC Variable, Attribute, and Gage are submodules of ESP-QC, each addressing a specific ESP-QC application. Each is designed as a stand-alone and will run on a dual disk drive system.

Computer configuration: IBM PC or compatible with 512K RAM, hard disk drive with color graphics card. A math coprocessor chip and graphics printer is recommended. Also supports HP plotters.

Program name: ESP-ALARM

Program available via: Direct mail

Program price: $495 (special site license and quantity discounts available)

Available on: Floppy disk

Program description: Computer analysis tool. Provides automatic analysis of attribute data and trend information to assist problem solvers. Helps organize analysis of problem causes. Measures the results of process changes. Highlights problems that are most costly to the operation. Features include: primary filter for large volumes of attribute data; alternative to control charting; interpretation of trends; cost ranking to set corrective action priorities; and daily, weekly, and year-to-date reports generated. Trend analysis guides the corrective action process from problem detection to root cause and prevention. Allows corrective action personnel to spend more time solving problems and less time manipulating and analyzing raw data.

Computer configuration: IBM PC or compatible, 512K RAM, hard disk, and printer.

Experience In Software, Inc.
2039 Shattuck Ave. #401
Berkeley, CA 94704
(415) 644-0694

Program name: The Idea Generator®

Program available via: By phone or mail

Program price: $195

Available on: 5¼ in. and 3½ in. disk

Program description: Interactive software program for individuals and participatory management groups. Problem-solving and brainstorming tool to develop productive ideas about problems encountered. Users are led step-by-step throughout the program, beginning with defining problems and goals. Next, using seven idea generation techniques, they generate possible solutions. In the last stage, the program allows the user to evaluate ideas generated, considering them from several vantage points before deciding which ones are the most useful.

Computer configuration: IBM PC, XT, and compatibles running PC or MS-DOS. Requires 256K RAM, two disk drives.

G

G.R. Technologies (Toronto)
6725 Airport Rd., Suite 301
Mississauga, Ontario
Canada L4V 1V2
(416) 677-4123

Program name: QC-PRO Variable Data Analysis

Program available via: Direct from company

Program price: $535

Available on: Floppy or hard disk

Program description: Performs SPC analysis, including: generates X-bar and R, individuals, moving range, histogram, normal probability paper and capability analysis, loss function, manual or automatic (external instruments) data entry, control limits computer calculated or specified, warning

withhold, mark, add/delete data. Automatic and manual scaling options on all charts. Direct gaging and import/export of Lotus, dBase, and ASCII files.

Computer configuration: IBM PC, XT, or AT, and compatibles with 256K RAM.

INTERNATIONAL QUALITY TECH. LTD.
[illegible] Lake North
[illegible], MN [illegible]
(612) [illegible]

Program name: PROCESS CAPABILITY

Program available via: Direct from company

Program price: $495 (site licenses, educational discounts, and multiple copy discounts available)

Available on: 5¼ in. and 3½ in. disk with user's guide and tutorial

Program description: Designs and analyzes experiments intended to determine process capability and to provide the essential information necessary to implement an effective SPC program. Design capability includes nested and nested-crossed designs up to six factors. Generates the experimental plan and allows for full-screen data entry. Analysis capabilities include: analysis of variation via run chart, histogram, ANOVA, variance components, analysis of means and further variance decomposition; determination of current process capability via percent out of specification, Cp, Cpk and loss function; "what if" analysis to improve capability; correct design of control charts; and design of sampling schemes and sampling plans.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles.

Program name: DISCOVERY AND OPTIMIZATION MODULES

Program available via: Direct from company

Program price: $990; $495 each (site licenses, educational discounts, and multiple copy discounts available)

Available on: 5¼ in. and 3½ in. disk with user's guide and tutorial

Program description: Comprehensive design and analysis capability for screening and optimization experiments. Discovery module deals with factorial and fractional factorial experiments for up to 31 factors and 16 responses. Optimization module deals with response surface experiments for up to five factors and 16 responses. Design capabilities include full and partial replication, blocking, center/star point changes, resolution of confounded interactions, etc. Designs the experiment, generates the experimental plan, and allows for easy data entry. Analysis capabilities include estimation of effects, probability plots, interaction tables, ANOVA, modeling, transformations, confounding structure, residual analysis, predictions, residual plots, cube plots, contour plots, overlays for constrained multiresponse optimization, etc.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles

Program name: TAGUCHI-PLUS

Program available via: Direct from company

Program price: $990; $495 with prior purchase of DISCOVERY module (site licenses, educational discounts, and multiple copy discounts available)

Available on: 5¼ in. and 3½ in. disk with user's guide and tutorial

Program description: Combines Taguchi's parameter design approach with augmented statistical analyses to achieve robust product and process designs. Design capabilities include both two-level and multilevel designs such as L_4, L_8, L_9, L_{16}, L_{18}, L_{27}, L_{32}, etc., for up to 31 factors and 16 responses. Permits combination of control factor and noise factor designs as well as replication, blocking, and center points. Designs the experiment to user's specifications, generates the experimental plan, and allows for full-screen data entry. Analysis capabilities include signal-to-noise ratio analyses, calculation of effects, probability plots, interaction tables, transformations, cube plots, etc.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles.

J

JBF Associates, Inc.
Technology Dr.
100 Technology Park Center
Knoxville, TN 37392
(615) 966-5232

Program name: SPOCUS-PC

Program available via: Contact company

Program price: Depends upon installation services provided

Available on: 5¼ in. floppy disk

Program description: Analyzes the reliability of a system by calculating and ranking the time-dependent unavailability, time-dependent unreliability, unavailability importance, and unreliability importance of basic events (component failures). Calculates and ranks the unavailability, unreliability, unavailability importance, unreliability importance, and expected number of failures for a system's minimal cut sets. Calculates the unavailability, failure rate, and expected number of failures for the main system failure of interest (TOP event). Input required consists of control information, basic event information (failure rates, repair times, and optional names), times when the characteristics are calculated, and the list of minimal cut sets.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, or compatibles.

Program name: MOCUS-PC

Program available via: Contact company

Program price: Depends upon installation services provided

Available on: 5¼ in. floppy disk

Program description: Determines minimal cut sets and/or minimal path sets up to any specified length for fault trees developed using AND, OR, and INHIBIT gates. Determines the minimal sets for the TOP event (the main system failure of interest) and minimal sets for other gates (up to 20) as specified by the user. The MOCUS-PC algorithm uses successive Boolean substitutions to generate the minimal sets. Input required consists of control information and description of the fault tree being analyzed. The output can be provided as printout, punched cards, or added to either a temporary or permanent on-line data set. The list of minimal sets can be passed to SPOCUS-PC programs.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, or compatibles.

Program name: PRISIM (Plant Risk Status Information Management system)

Program available via: Contact company

Program price: Depends upon installation services provided

Available on: 5¼ in. floppy disk

Program description: Menu-driven system for a PC that provides safety-related information instantly. Can be used as: a design tool for optimizing process safety; a risk simulator for evaluating siting, operating, testing, and staffing; an information management system for making cost/benefit tradeoffs regarding safety; a means for identifying cost-effective alternatives to requirements proposed by regulatory agencies.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, or compatibles.

Perry Johnson, Inc.
3000 Town Center, Suite 2960
Southfield, MI 48075
(313) 356-4410

Program name: On-Line Analyst

Program available via: Direct mail

Program price: $1,195

Program description: Designed specifically for on-line quality control. Requires no prior knowledge of, or experience in, SPC. Provides a written analysis of charts, citing out-of-control conditions and listing in descending order of probability the likely causes. Uses fixed, historical and/or user-specified limits. Generates X-bar, R, sigma, c, u, p, np, moving average/range, individuals charts. Performs Pareto analysis, Cusum and linear regression. Performs capability studies and calculates Cpk and Cp. Corrects histogram curves for skewness and calculates kurtosis. Staircase limits for p and np charts, optional coded data entry mode. Data are entered by date and time or reference number, and entries are automatically correctly sequenced. User friendly; color graphics.

Computer configuration: IBM PCs, compat-

ibles. Dual disk drive, minimum 520K RAM, IBM color graphics board.

Program name: Vendor Analyst

Program available via: Direct mail

Program price: $695

Program description: Rates vendors by performance. Tracks incoming lots for timeliness, disposition, percent defective, defect codes, process average, Cpk and Cp indices. Using the user-defined formula, vendors are ranked by their performance. Pareto and bar charts, p and np charts indicate lot disposition, defect code ranking, and operating characteristic curves. Analyzes p and np charts for out-of-control conditions and reports the most significant probable causes. Optional staircase limits. User friendly.

Computer configuration: IBM PCs, compatibles. Dual disk drive, minimum 520K RAM, IBM color graphics board.

Program name: Design of Experiments

Program available via: Direct mail

Program price: $1,495

Available on: IBM PCs, compatibles

Program description: Based on Taguchi Methods. Determines optimal process, overall loss, expected dollar impact of change in operation, calibration frequency, confidence intervals for data. Includes calculation of on-line and off-line ANOVA tables, L_4, L_8, L_{12}, L_{16}, L_{18}, L_{24}, L_{32}, and L_9. Performs interactive factor analysis, fractional factorial experiments, outer arrays, analysis of variance, and noninteractive parameter analysis. Experiment setup charted on the screen and in printout form. Generates percent defective tables, loss functions, and confidence intervals. User friendly and menu-driven.

Computer configuration: Dual disk drive, minimum 520K RAM, IBM color graphics board.

Joinet Associates, Inc.
3800 Regent St.
P.O. Box 5445
Madison, WI 53705
(608) 238-6417

Program name: Jass

Program available via: Direct mail

Program price: $895 (IBM PC); $1,600 to $6,500 (VAX) with academic and multiple copy discounts. Includes one-year software maintenance; 30-day, no-risk trial available.

Available on: Six 5¼ in. floppy disks, two 5¼ in. high density disks, magnetic tape

Program description: Designs and analyzes two-level factorial experiments. Prompts the user to design an experiment, selects the appropriate design, and prints a report form with randomized runs for data collection. Full, fractional, blocked, and replicated factorials are supported as well as designs with center points, missing data, or fuzzy factor levels. Output includes tables of effects, residuals, fitted values; cell statistics, cubeplots, normal plots, dotplots, scatterplots, interaction plots, and complete alias structure.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles. DOS 2.0 or better, 512K and hard disk required. MicroVAX, VAX 725 through VAX 8600 with either VMS or UNIX.

Josalli Inc.
P.O. Box 460
Enka, NC 28728
(704) 252-9146

Program name: Preventive Maintenance System

Program available via: Direct sale

Program price: $495

Program description: An 18-program, menu-driven system that allows the user to: set up an equipment inventory with descriptive and accounting information; establish preventive maintenance tasks and schedules for the equipment; automatically print weekly job schedules, inventory lists, future work schedules, and other reports; retain, extract, and report historical information on maintenance jobs; and perform other capabilities.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles. One or more disk drives, a printer, and monitor. Minimum 128K of memory.

Program name: Spare Parts Inventory System

Program available via: Direct sale

Program price: $495

Program description: A 16-program, menu-driven system that allows the user to: establish and maintain a spare parts inventory file; process receipt, withdrawal, return and order transactions; print stock status report, material reorder report, material on-order report, inactive stock report; retain, extract, and report historical information on inventory transactions; and perform other capabilities.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles. One or more disk drives, a printer, and monitor. Minimum 128K memory.

K

KAVON Software Applications
625 Pheasant Lane
Deerfield, IL 60015-3636
(312) 520-4514

Program name: Gage Master

Program available via: Direct from company

Program price: $2,495

Available on: 5¼ in. floppy disk

Program description: One of the modules in the TMS software library. Runs on a stand-alone or integrated basis. Gage management system that allows the user to track and categorize all gages/instruments that are subject to recall and recalibration. Features include: complete calibration history reporting for each gage; Measurement System Evaluation (MSE) study analysis; gages due for recalibration reporting by gage number, item type, or location.

Computer configuration: IBM PC, AT, XT, or other 100% compatible computer with at least 640Kb of RAM memory, at least on floppy diskette drive and one hard disk drive, and running the DOS operating system (version 2.1 or later). Monochrome or color terminal with 80 characters per line and 24 lines per screen with ANSI terminal I/O support. Printer must have 132 print positions per line or be capable of printing in compressed mode.

Program name: Crib Master

Program available via: Direct from company

Program price: $2,495

Available on: 5¼ in. floppy disk

Program description: One of the modules in the TMS software library. Runs on a stand-alone or integrated basis. Divided into two sections: Inventory Tracking and Item Usage. Inventory Tracking defines the inventory items and the locations where the items can be physically located (i.e., crib location, employe, department, machine, rework area, job, or contract vendor). Item Usage handles all the transactions that control the movement and usage of inventory items on the production floor.

Computer configuration: IBM PC, AT, XT, or other 100% compatible computer with at least 640Kb of RAM memory, at least on floppy diskette drive and one hard disk drive, and running the DOS operating system (version 2.1 or later). Monochrome or color terminal with 80 characters per line and 24 lines per screen with ANSI terminal I/O support. Printer must have 132 print positions per line or be capable of printing in compressed mode.

John A. Keane and Associates, Inc.
575 Ewing St.
Princeton, NJ 08540

Program name: QMS PROGRAMS® Computer Software

Program available via: Perpetual license agreement

Program price: $4,000 to $162,000 depending on CPU and applications selected

Available on: Nine-track 16 BPI tape, other formats optional

Program description: Collects/analyzes/manages manufacturing/laboratory quality information in multiuser, real-time integrated data base. Factory-wide/quality-specific applications in statistical process control, receiving inspection (105D/414), assembly defect analysis, finished goods testing/certification/release, field failure anal-

ysis/customer complaints, supplier ratings (MIL-STD-1535), cost of quality/material review (MIL-STD-1520A), logistics/critical path tracking, environmental monitoring, product life tests and stability (GMP/GLP), laboratory information management, process simulations, optimum inspection strategies, instrument calibration; labor hours accounting, lot/batch tracking, process capability, reliability, and process validation studies, and corrective action guidance. Applied in discrete/batch/process/repetitive manufacturing, it is user-adaptable while building in quality-specific reports and graphics.

Computer configuration: IBM 9370, 4381, 30xx mainframes. DEC VAX, PDP-11, and MicroVAX. Operating systems: VM/CMS, RSX 11-M Plus, VAX/VMS. Also available on PC AT under XENIX and PDP 10/20 under TOPS.

Program name: QMS PROGRAMS® Computer Software: Statistical Process Control

Program available via: Perpetual license agreement

Program price: $19,000 to $60,000 depending on CPU and modules selected

Available on: Nine-track 16 BPI tape, other formats optional

Program description: SPC manufacturing system for real-time capture, detection, summarization, and analysis of process and product variable/attribute data. User sets specifications, target average/target standard deviation for process characteristics, yield, and cost. Prompts for entry from work stations and accepts ATE data. Performs on-line computations, detects subtle variations, and provides real-time feedback of adverse trends to the factory floor via on-line Cusum feature. Statistical, current, and historical reporting package includes X-bar and R, X-bar sigma, sigma sigma, p, c, Cp, Cpk charts, time series, histograms, regression diagrams. Performs Pareto ranking, permitting data analysis, summarization, and comparison by period, day, week, month, quarter, or by parameter (shift, operator, machine, etc.).

Computer configuration: IBM 9370, 4381, 30xx mainframes. DEC VAX, PDP-11 and MicroVAX. Operating systems: VM/CMS, RSX 11-M Plus, VAX/VMS. Also available on PC AT under XENIX and PDP 10/20 under TOPS.

Program name: QMS PROGRAMS® Computer Software: Material Inspection

Program available via: Perpetual license agreement

Program price: $19,000 to $60,000 depending on CPU and modules selected

Available on: Nine-Track 16 BPI tape, other formats optional

Program description: Identifies incoming finished materials by product, source, date, shift, lot, work order, batch, and assembly, permitting immediate evaluation of materials to specifications/acceptance criteria according to MIL 105D/414 or user plan. Computes sample sizes, prompts for terminal, ATE, Bar Code, DataMyte entry by characteristic with extreme values being automatically questioned. Results are compared with acceptance criteria, instant accept/reject determinations are made. Includes graphic/tabular historical reporting, on-line interface to CAD drawings, work instructions, BOM, etc., sampling strategies, problem reporting, performance monitoring by operator/line/plant. Options include: integrating batch/serial tracking with rigorous testing, providing complete traceability of materials through all manufacturing stages.

Computer configuration: DEC VAX, PDP-11 and MicroVAX. IBM 9370, 4381, 30xx Mainframes. Operating systems: VMS, VM, RSX 11-M Plus. Also available on PC AT under XENIX and PDP 10/20 under TOPS.

Link Engineering Company
13840 Elmira Ave.
Detroit, MI 48227-3017
(313) 933-1900

Program name: LinkStat 3.1

Program available via: Direct sales

Program price: $790; demo disk $15

Available on: 5¼ in. floppy disk

Program description: LinkStat 3.1 is a comprehensive menu-driven statistical process control system. Software is written in Turbo Pascal. It captures data directly from electronic gages or Link spring testers and stores them on hard disk. Operator warnings are displayed if samples fall outside control limits or show abnormal trends. The amount of data history is limited only by the capacity of the disk drive. System automatically produces high-resolution graphics: X-bar and R charts, X-bar and S charts, or histograms. Statistics such as three and four sigma limits, percent out of tolerance, capability index, skewness, kurtosis, and chi-square goodness of fit may be printed.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2, or compatible with 256Kb memory, hard disk, graphics monitor, and graphics printer.

Logic Systems, Inc.
P.O. Box 138
Brighton, MI 48116
(313) 227-3246

Program name: PC-Stat

Program available via: Direct purchase

Program price: $895

Program description: X-bar and range, X-bar and sigma, histograms, capability studies, Box and Whisker charts, frequency reports, summary reports, raw data tabulation, and routines for importing data into popular spreadsheets. Data entry and editing are spreadsheet oriented with ability to enter user-specified formulas. Package supports popular portable data collectors. PC-Stat also contains routines for interface to front-end multiplexers for multiple gaging applications. Package emulates and displays column gages for machining applications. It features archiving routines for long-term storage and retrieval of data; and draw routines for drawing and storing parts.

Computer configuration: Minimum 256K of memory, graphics card, hard disk. IBM PC, XT, AT, PS/2 30, 50, 60, 80, and IBM compatibles.

Program name: Plant Quality Audit/Report Generator (PQA/RG)

Program available via: Direct purchase

Program price: $795

Program description: User can custom-design and specify any combination of charting routines. Up to ten different charts can be printed/plotted on the same page. Charts that can be created and displayed are trend charts such as X-bar and range, X-bar and sigma, total defects, etc., pie, bar, Pareto, histograms, and scatter diagrams. User can custom-design own data collection forms, including spreadsheet capabilities, which allows specification of formulas/operations. The data entered on these forms can be used on any desired chart.

Computer configuration: Minimum 256K of memory, graphics card, hard disk, IBM PC, XT, AT, PS/2 30, 50, 60, 80, and IBM compatibles.

Program name: PC Attribute Program (PCAP)

Program available via: Direct purchase

Program price: $695

Program description: Pareto, c, u, p, and np charts. Charts can be sorted over any defect type or combination of defect types. Defect names can be up to 40 characters long. Package will track up to 100 different defects. Screens and printouts simultaneously display chart and top ten defects. Data entry and editing are spreadsheet oriented. Spreadsheet displays totals by sample and defect type. Program features archiving routines for long-term storage and retrieval of data; and draw routines for drawing and storing parts. Package supports popular portable data collectors.

Computer configuration: Minimum 256K of memory, graphics card, hard disk. IBM PC, XT, AT, PS/2 30, 50, 60, 80, and IBM compatibles.

J.W. Loosemore
150 N. Bailey Dr.
Porter, IN 46304
(219) 926-6825

Program name: SS/SPQC

Program available via: Direct mail

Program price: $250. Thirty-day trial policy.

Available on: Six 5¼ in. floppy disk

Program description: Menu-driven, integrated set of SPC/SQC programs. Charts for variables: X-bar, moving X-bar, individu-

Program price: Release 2.1 for 1-2-3: $175; Release 3.0 for Symphony: $265 (two versions)

Available on: 5¼ in. floppy disk

Program description: Menu-driven worksheet application for Lotus 1-2-3 or Symphony (two versions). Generates histograms, X-bar, range, moving average/moving range, and Cusum charts. Accepts control chart subgroup sizes of one to ten (subgroup size of one produces an X chart for individuals and two-point moving range chart). Statistical summary printout shows control limit calculations, process capability indices, mean, standard deviation, coefficient of variation, high and low points, and distributions of X-bars and of individual points. Allows placement of control limits at any number of standard deviations and also allows user to prespecify control limits. Reference manual includes step-by-step examples to help new users learn the package.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, or compatible. Also requires either Lotus 1-2-3 (release 2 or higher) or Symphony (any release).

Medallion Systems
P.O. Box 1703
Pittsfield, MA 01202-1703

Program name: Quality Data Report

Program available via: Direct mail only

Program price: $79.95 including shipping and handling

Available on: 5¼ in. disk

Program description: Forms the basis for a quality data reporting system for small to medium product manufacturing operations. Input formats are developed by the user from a completely menu-driven entry routine. It accumulates, calculates, stores, retrieves, and prints periodic data from quality rejection and trend statistics for the chosen areas/processes. Used most effectively in support of inspection/process control systems to display and summarize results of production efforts.

Computer configuration: Apple II series and Franklin computers; requires 64K memory, one or two drives, and printer.

Program name: Applistats

Program available via: Direct mail

Program price: $89.95 including shipping and handling; $15 for demo disk and manual

Available on: 5¼ in. disk

Program description: An easy-to-use statistical analysis program that produces a variety of charts and visual aids to analyze data: X-bar, X-double bar, R-bar, median analysis, p/c/u-bar, and frequency distribution, with a wide range of user options. Creates process control charts without specific detailed knowledge of statistics. Performs process capability estimates and comparison between control and specification limits. All menu-operated with review and data change routines.

Computer configuration: Apple II series and Franklin computers; one or two drives. Supports most printers.

Micro Steps
3742 Seventh Avenue, Suite D
San Diego, CA 92103
(619) 299-4292

Program name: TEAMMATE

Program available via: Direct from supplier

Program price: TEAMMATE Version 2.0: $750. Graphics Option: $150

Program description: A comprehensive system for IBM and compatible personal computers that streamlines the record-keeping of employe involvement programs (EIPs). Tracks essential resources of an EIP, including people, teams, projects, cost savings, and specific achievements. The system may be customized to the individual needs of a company. The latest version, 2.0, offers a set of trend charts that are easily accessed from a menu. An operations guide and help menu accompany the software.

Computer configuration: IBM PC-compatible under MS-DOS or PC-DOS with dBASE III and/or dBXL

Minitab, Inc.
3081 Enterprise Dr.
State College, PA 16801
(814) 238-3280

Program name: Minitab® Data Analysis Software

Program available via: Direct from supplier

Program price: Varies depending on computer. PC copies are $395 to $695; minicomputer and mainframe fees $1,300 to $3,300 per year. Academic discounts.

Available on: PCs, minicomputers, and mainframes are supported; contact Minitab, Inc.

Program description: A general-purpose statistical analysis system that manipulates, analyzes, and displays data. Used by researchers, scientists, engineers, statisticians, and educators. Program comes with one complete set of documentation and installation instructions. Features include: analysis of variance; simple, multiple, and stepwise regression; basic statistics (t tests, correlation, etc.); nonparametric statistics; tabulation (including chi-square tests and contingency tables); time series analysis; statistical distributions and simulation; and plots and diagnostic graphics.

Computer configuration: PCs require minimum memory of 320K RAM; contact Minitab, Inc. for minicomputer and mainframe requirements.

Monsanto Chemical Co.
Instruments & Equipment
2689 Wingate
Akron, OH 44314
(216) 745-1641

Program name: RheoLogic® Control System

Program available via: Monsanto Chemical Co.

Program price: Depends on hardware configuration

Available on: 5¼ in. and 3½ in. disk, for installation on a hard disk system

Program description: The RheoLogic System, designed for rubber laboratories, acquires data from a Monsanto R-100 rheometer. Sixteen curve-defining data points and six other rheometer values are computed and stored for each test. Control charts are available at the end of each test. Physical property test results may be entered in the data base manually. Standard test conditions, customer specifications, and fixed control limits are recorded. Rheometer curves for any time period may be reconstructed. Statistical summaries, histograms, and control charts for any or all of the 32 data points may be produced. Data may be retrieved from the data base and sorted by compound, date, lot, mixer, etc.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2, or compatible 640K RAM, A-D I/D card graphics display, graphics card, Epson compatible graphics printer, 20 MS hard disk, and optional plotter.

Program name: Mooney Logic®

Program available via: Monsanto Chemical Co.

Program price: Depends on hardware configuration

Available on: 5¼ in. and 3½ in. disk for installation on a hard disk system

Program description: The Mooney Logic® system, designed for rubber laboratories, acquires data from a Monsanto Mooney viscometer. Sixteen curve-defining points and up to five other Mooney valves are computed and stored for each test. Control charts are available at the end of each test. Physical property test results may be entered in the data base manually. Standard test conditions, customer specifications, and fixed control limits are recorded. Mooney curves for any time period may be reconstructed. Statistic summaries, histograms, and control charts for any or all data points may be produced. Data may be retrieved from the data base and sorted by compound, date, lot, mixer, etc.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2, or compatible 640K RAM, A-DI/O card, graphics display, graphics card, Epson compatible graphic printer, 20MB hard disk, and optional plotter.

Murphy Software Company
15301 Eleven Mile Rd.
Roseville, MI 48066

Program name: SQC/3

Program available via: Contact vendor

Program price: For System/36: from $5,790; for System/38: from $11,975

Available on: 8 in. disk

Program description: A multi-user SQC/QA software package that provides control

counts and site licenses

Available on: 5¼ in. disk

Program description: An integrated software system for on-line SPC applications with special tools for managers, engineers, and line operators. QScan goes beyond traditional preparation of control charts. It detects and explains process control problems, suggests corrective actions with hard-copy and on-screen slide show presentations. For stand-alone or manufacturing local area networks. Managers use QScan-M to display and prepare on-screen process control presentations; they can send slide shows to customers on a diskette or via modem. QScan is the expert version for process engineers; they use it to design on-line data collection and analysis applications, prepare process specific instructions for the line workstations, and diagnose manufacturing problems. Line operators use QScan-L to update control charts and to make process adjustments.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles, and the IBM 3270 PC family with 384K RAM; math coprocessor optional. Supports monochrome and color displays with the IBM CGA or EGA cards. Runs on most local area networks (LANs). Accepts ASCII text files, data collectors, and keyboard and mouse input. Camera output devices and graphic printers and plotters compatible with Lotus 1-2-3.

Quality America Inc.
5430 S. 12th Ave., Suite C
Tucson, AZ 85706
(602) 294-1188

Program name: SPC-PC

Program available via: Direct order

Program price: $295

Available on: 5¼ in. or 3½ in. disk

Program description: Performs SPC analyses including X-bar, R, sigma, moving average, moving range, p, np, c, and u control charts. It also performs Pareto analysis, constructs histograms, and creates scatter plots. Written entirely in c and assembler, package features pull-down menus, fast graphics, and an easy-to-use interface. The package is a major upgrade from version 1. Supports most gage interface equipment. Not copy protected.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2 or compatibles; 640K RAM, two disk drives.

Quality Consultants & Computer Sales
[illegible]

Program name: Total QA Software Package

Program available via: Direct mail

Program price: $295

Available on: 5¼ in. disk

Program description: Total quality assurance programs in six areas; menu driven and requires no programming knowledge. Includes control chart programs to produce X, R, c, p, u charts in vertical and sideways ASQC format; process control programs to analyze process capability, perform test of normality, and print histograms; design of experiments—t test, one-way and two-way ANOVA; regression analysis—linear, geometric, inverse, polynomial, exponential, and multiple regression; sampling plan programs assist users in designing sampling plans based on Poisson or binomial; reliability analysis programs based on Weibull distribution.

Quality Measurement Systems Corp.
1675 N. Wayneport Rd.
Macedon, NY 14502
(315) 986-5710

Program name: ANSTAT™

Program available via: Software disk either Prom, QMS, or through local distributors

Program price: $500

Available on: IBM System 2

Program description: Statistical process control package designed for direct gage input from electronic gages and data transfer from portable, shop floor data collectors. Provides complete statistical analysis: X-bar, R, sigma, histogram, Cp, Cpk, 2 (upper), 2 (lower), lot, and sample statistics. Allows for user-defined inspection routines that will walk operator through the inspections part by part or dimension by dimension. Also provides keyboard entry of attribute data: p, np, c, and u charts.

Computer configuration: Dual drive, DOS 3.3, display.

Quality Resources
840 McKinley
Plymouth, MI 48170
(313) 453-4616

Program name: STAT-PAK

Program available via: Direct mail

Program price: $100 plus $3 for shipping and handling

Available on: 5¼ in. disk

Program description: STAT-PAK is a package of ten statistical programs selected by menu: SIGMA (histogram, capability, etc.), Linear Regression (Pearson), Bivariate Regression (with transforms), F & T Tests, Pareto, Multiple Regression, Chi-Square Contingency (attributes), Z-Scores (short run capability), Weibull (failure analysis and Taguchi loss function).

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and MS-DOS work-alikes; TRS-80 I, III, 4/4P; Tandy 100 and 102 (cassette and 3½ in. disk); Kaypro I, II, 4, 10 and CP/M work-alikes.

Program name: STAT-PAK II

Program available via: Direct mail

Program price: $100 plus $3 for shipping and handling

Available on: 5¼ in. disk

Program description: STAT-PAK II is a package of ten separate programs selected by menu: ANOVA (attributes), ANOVA (two-level factorial up to six factors), ANOVA (Latin square), ANOVA (one/two way), ANOVA (randomized block), ANOVA (three-way), Gage Reproducibility (long and short GRR), OC and AOQ Curve Development, Chi-Square Contingency (variable data), and Crosstab Analysis (up to 6 x 6).

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and MOS-DOS work-alikes; TRS-80 I, III, 4/4P; Tandy 100 and 102 (cassette and 3½ in. disk); Kaypro I, II, 4, 10 and CP/M work-alikes.

Program name: CHART-PAK

Program available via: Direct mail

Program price: $100 plus $3 for shipping and handling

Available on: 5¼ in. disk

Program description: CHART-PAK is a package of ten Shewhart control charts selected by menu: X-bar & R, Moving Range (individuals), p-Chart, Stabilized p-Chart, np-Chart, c-Chart, u-Chart, X-bar and Sigma Chart, Median-Range chart, and D-Chart (for demerits). Graphics charts available for IBM; others use printer-type charts (graphics not necessary).

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and MS-DOS work-alikes; TRS-80 I, III, 4/4P; Tandy 100 and 102 (cassette and 3½ in. disk); Kaypro I, II, 4, 10, and CP/M work-alikes.

QuanTech
P.O. Box 24804
Indianapolis, IN 46224
(317) 251-9092

Program name: CALMASTER I Gage/Instrument Calibration and Recall Program

Program available via: Direct mail

Program price: Thirty-day full-feature demo $20 plus shipping. Regular package $275 plus shipping (credit for demo applies).

Available on: 5¼ in. and 3½ in. floppy disk (not copy protected)

Program description: Maintains extensive descriptive information and calibration findings for each instrument/gage, with recall by date since last calibration or by accumulated use. Redefine field labels to match existing calibration terminology. Customize reports sorted on any field, and generate forms with blanks for use as shop floor worksheets. Easily segregate and report gages by delinquent, due today, due shortly, in-service, and inactive categories. Evaluate historical gage performance to identify gages with chronic calibration problems or to determine if calibration intervals should be shortened or lengthened.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS, or true compatible with DOS 2.0 or higher, 256K RAM, monochrome or color

display, and two disk drives (hard disk recommended for large data bases).

Program name: GAGE*STAT Measurement Capability and Statistical Analysis Program

Program available via: Direct mail

Program price: Thirty-day full-feature demo $25 plus shipping. Regular package $295 plus shipping (credit for demo applies).

Available on: 5¼ in. and 3½ in. floppy disk (not copy protected)

Program description: Overcome limitations of GM's long- and short-gage repeatability and reproducibility studies with a complete gage/instrument measurement evaluation. Identify specific contributors to measurement problems and evaluate current process capability and show how it would improve with an ideal measurement system. Unusual readings (outliers) are flagged and results are automatically recomputed without the bad data. Evaluate one- or two-sided specifications, or developmental parts without specs. Evaluate regular or thickness (difference) measurements. Generate random number tables to assist in selecting parts for measurement.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2 or true compatible with DOS 2.0 or higher, 256K RAM, monochrome or color display, and one disk drive.

QUANTUM CO.
P.O. Box 769
Clifton Park, NY 12065
(518) 877-5236

Program name: Statistics Module

Program available via: Direct from company

Program price: $250 (30-day satisfaction guarantee; upgrade trade-in)

Available on: Floppy disk

Program description: This package for regression analysis allows user to perform: multiple regression, trend analysis, single variable analysis of means, and multiple variable analysis of means. Requires Galileo Basic Package, and offers all the input, output, selection, and graphics features of Galileo. Operator's manual and tutorial.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles. Operating systems: MS-DOS, PC-DOS.

Program name: Sampling Plans Module

Program available via: Direct from company

Program price: $150 (30-day satisfaction guarantee; upgrade trade-in)

Available on: Floppy disk

Program description: Allows the evaluation of different sampling plans; performs the following routines: AOQL, OC curves, producer's risks, consumer's risks. Requires Galileo Basic Package and offers the input, output, selection, and graphics features of Galileo. Operator's manual and tutorial.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles. Operating systems: MS-DOS, PC-DOS.

Program name: GALILEO™ SPC SOFTWARE

Program available via: Direct from company

Program price: $500 (30-day satisfaction guarantee; upgrade trade-in)

Available on: Floppy disk

Program description: Statistical process control package. Input: keyboard, ASCII files, spreadsheets, mainframes, gages. Output: screens, printers, plotters, Polaroid palette. Selection: control limits, scales, spec limits, class boundaries, labels, symbols, colors, type style, grid appearance. Routines: mean, range, median, minimum, maximum, standard deviation, histograms, kurtosis, skewness, run test, Pareto, process quality. Control charts: X-bar and R, X-bar and moving R, p, c, Cusum and sigma. Graphics: full graphics and color capabilities. Also: key stroke logging, data manipulation, tutorial, manuscript text editor. Operator's manual and tutorial.

Computer configuration: IBM XT, AT, and compatibles. Operating systems: MS-DOS, PC-DOS.

are used to display three-factor relationships.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles; IBM color or Hercules monochrome graphics card; 256K RAM; MS-DOS 2.0 or higher. Will support dual monitors.

Program name: STAT-EASY™

Program available via: Direct from company or software dealers.

Program price: $85

Available on: 5¼ in. disk

Program description: Originally developed for use in an industrial short course on inferential statistics, Stat-Easy is an easy-to-use statistics program. It is menu driven with a full screen editor for data entry. Statistical procedures include: basic statistics, paired and unpaired t tests, one-way and two-way analysis of variance, simple correlation and one variable regression. Emphasis is on making statistics usable. The procedures are simple, and the program makes extensive use of graphics. Stat-Easy is intended for the person who needs to use basic statistical procedures and wants easy access to them.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, and compatibles; IBM color or Hercules monochrome graphics card; 256K RAM; MS-DOS 2.0 or higher. Will support dual monitors.

StatScan, Inc.
2421 N. Mayfair Rd.
Milwaukee, WI 53226
(414) 453-7828

Program name: StatScan Variables

Program available via: Contact company

Program price: $595 (educational and quantity discounts are available, as is site licensing); demo version (full program with limited executions) $45

Available on: 5¼ in. and 3½ in. disk

Program description: Easy-to-use, many analytical and data manipulation tools, statistically correct, versatile. Tests for normality, control, runs, trend, patterns, capability, projected percent of defects. Thirteen charts available for variable and attribute analysis. Sort by a comment field for analysis by machine, vendor, shift, etc. Use "learn" mode to create a custom analysis which can be run by anyone. Data transformations include changing subgroup size, replace subgroup value (mean, variance, range) with group value. "Import" loads data from many programs. Graphics option for high-resolution charts from an IBM or Epson compatible printer. Data base option for ongoing data collection and retrieval. $745 with one option; $895 with both. Communications module ($895) posts, retrieves data using electronic mail.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2, or compatible. 512K RAM. DOS 2.0 or later. No special printer required. Automatically senses and uses EGA graphics and/or a math coprocessor if available.

Statistical Graphics Corp.
Five Independence Way
Princeton, NJ 08540
(609) 924-9374

Program name: STATGRAPHICS®

Program available via: Direct mail

Program price: $895

Available on: 5¼ in. floppy disk with comprehensive user's guide, tutorial, and sample data sets

Program description: An integrated system for interactive data analysis, data management, and statistical graphics. Provides a flexible environment for serious statistical computing, covering all major areas of statistical analysis. The chapters on quality control and experimental design are oriented toward engineering applications, while the time series, regression, and sampling chapters cover other commonly used procedures. Of special note are the univariate and multivariate control charts, fast Fourier transform and autocorrelation functions, routines for the construction and analysis of full and fractional factorial experimental designs, and response surface methods.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, or close compatible under DOS 2.0 or later; 8087 math coprocessor and 640K RAM recommended. Graphics supported on a variety of output devices, including high-resolution color and monochrome graphics adapters, dot-matrix printers, and pen plotters.

Statistical Software Specialists
934 N. 11th St.
Manitowoc, WI 54240

Program name: MIL-414 Automation/The Charalampios Research

Program available via: Direct mail or through Q-Ram Associates (sales and software support) North York, Canada

Program price: $285 direct mail; Q-Ram pricing depends on support

Available on: 5¼ in. IBM PC, XT double-sided disk or any CP/M single-sided disk with some double-sided disks available. Will support 3½ in. if necessary.

Program description: Provides capability analysis including repeatability, graphic, ANOVA, regression, and sequential methods. Emphasis is on proper use of standard deviation formulas such as definitional formula, totals formulas, and histogram methods of calculation. Includes binomial data analysis and any kind of subgrouping or classification to 13 classes for breakdown reporting. Provides complete MIL-STD-414 for AQL levels and special OC curve program. Allows simulation for specification determination and normal distribution. Handbook format manual, user-friendly programmed decision-making style Basic code. Includes the Charalampios Research program to use as range analysis on extracted, extruded, stratified, bulk, converted products, or platykurtic distributions or other data sets. Copyrighted and not copy protected. V. 2.2 current: updates free. None planned.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT with color monitor preferred and graphics capability. No printer required. Will use 8087 math coprocessor if available. Also CP/M 2.2 or other MS-DOS based Basic, MBasic, MSBasic, GWBasic, etc. in monochrome text.

Stephen Computer Services, Inc.
34700 Grand River Ave.
Farmington, MI 48024
(313) 478-1868

Program name: SPC Quickie

Program available via: Metrology distributors or direct mail

Program price: $149 to $189

Available on: 5¼ in. and 3½ in. disk

Program description: Features real-time data entry, graphics, and comprehensive analysis. Reports include X and R/moving R, and process capability analysis/histogram. SPC Quickie is menu-driven with only three selections from one screen. Real-time data entry allows users to see graphs while entering measurements. Control charts feature: connected points highlighted for out-of-control condition(s), runs and trends of seven; automatic or user-definable control limit scale and settings; Cpl, Cpk, Cp ratio, sigma-hat, percent +/- one sigma; data, notes, and header information all appearing on one 8½ in. by 11 in. page. Capability reports histogram with non-normalized curve fit, percent above/below spec, skewness, kurtosis, and three/four sigma limits.

Computer configuration: PC, XT, AT, DOS 2.0+, (two) floppies or hard disk. Epson, Okidata, or IBM printers, MUX-10 GageTalker and gage port supported on $189 version.

Sterling Software
Systems Software Marketing Div.
11050 White Rock Rd., #100
Rancho Cordova, CA 95670-6095
(916) 635-5535

Program name: DBDS

Program available via: Sterling Software

Program price: $6,200 (VSAM only); $6,200 (DL/I only); $8,400 (VSAM and DL/I) permanent license

Program description: DBDS is a CICS online editor for VSAM files and DL/I and IMS/DB data bases. Available in three versions: VSAM only, DL/I only, or DL/I plus VSAM. DBDS enables user to fix corrupted data instantly, eliminating the need for writing one-time programs. Also lets users create test situations, then verify test results immediately. DBDS can also recreate the execution conditions of application programs. By entering the same sequence of commands used in the application, users can simulate data base navigation and see the effects of their commands, call by call. Separate passwords can be defined for display and update functions by file name.

Computer configuration: IBM System/370; IBM 30XX; IBM 43XX and compatible mainframes with CICS 1.6 or higher under MVS, MVS/XA, DOS/VSE, and VSE/SP

Program name: COMPAREX

Program available via: Sterling Software

Program price: Perpetual license: $9,500 (OS); $5,000 (DOS, VM)

Program description: Designed to compare two files and write various reports that display any or all differences. Operates under all versions of OS, DOS, and VM. Runs in batch and/or on-line (ISPF). Compares any file organization with unique handling of VSAM. It also performs direct comparison of PANVALET, LIBRARIAN, library management systems, and selected data bases. Enables verification of auditing accuracy, eliminates undetected programming errors, and reduces desk checking time.

Computer configuration: IBM 308X, 3090, 43XX, and compatibles with MVS/XA DOX/VS(E) or VM/CMS

Program name: Custom/QC

Program available via: Direct sales

Program price: Basic program $500; Statistical Estimation $250; Process Capability Studies $200; Sampling Plans $150; Frequency Curves $100; Complete Package $995 plus $350 for Automatic Data Capture; 30-day free trial

Available on: 5¼ in. and 3½ in. floppy disk

Program description: Menu-driven SPC package. Manual data entry of ASCII files from spreadsheets, data bases, or other sources. Also automatic data collection from serial gages. Configurable graphics output to screen, printer, or plotter. Descriptive statistics: histogram, mean, median, standard deviation, kurtosis, skewness, run test, Cp, Cpk, etc. Control charts: X-bar, R, sigma, MovR, MovXbar, Min/Max, Cusum, p, np, c, u, chi-square, T square. Multiple regression, single and multivariable analysis of means, Pareto chart, OC and AOQ curves, autocorrelation, trend analysis, frequency curve comparisons, more.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2 and compatibles; MS-DOS and PC-DOS 2.0 or higher; 512K RAM minimum; dual floppy or one floppy and hard drive.

Program name: Key Variable Identification (KVI)

Program available via: Direct sales

Program price: $1,500 (30-day free trial)

Available on: 5¼ in. and 3½ in. floppy disk

Program description: Identifies key process variables in a multivariable environment so the company can focus on the major problems—where efforts will result in the greatest improvements at the least cost. Analyzes SPC data to automatically determine the combination of input variables that have the greatest impact on the process output. Developed from artificial intelligence research, KVI uses information theory to process data and does not assume data are linear. Accepts data from any ASCII file and also includes easy-to-use editor for manual data entry.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2, and compatibles; 512K RAM; hard drive; Epson, IBM, or compatible printer.

Program name: Total Quality Costs

Program available via: Direct sales

Program price: $495 (30-day free trial)

Available on: 5¼ in. and 3½ in. floppy disk

Program description: Quality Cost structure that collects and analyzes costs into four major categories: prevention, appraisal, internal failure, and external failure. Menu-driven with on-line help screens. Reports include: Pareto chart; budget vs. actual; cost summaries; costs vs. sales cost of goods sold, etc. Automatic linking to current accounting structure or easy-to-use manual data entry.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, PS/2, and compatibles; 256K RAM minimum; one floppy and hard drive.

Program name: MEASA™

Program available via: Technicomp, Inc. (Program is part of a video-based training course on measurement systems analysis—Gage R & R. Software may also be purchased separately.)

Program price: $490 for software only

Program description: Allows user to perform a bias study, variable gage short study, variable gage long study, and gage performance study. User enters raw data; MEASA™ performs all the mathematics and tells user whether the measurement system is acceptable for the application, whether it's inspection, precontrol, or SPC.

Computer configuration: IBM PC, XT, AT, or compatible; 256K RAM; color or monochromatic monitor.

61

Program name: ULTRAMAX®

Program available via: Contact company

Program price: Initial three-month evaluation, then $995/month or $15,900 to $34,000, depending on hardware configuration

Available on: 5¼ in. disk, ½ in. magnetic tape, and tape cartridge

Program description: A statistical optimization method to improve process capabilities, consistencies, product characteristics, production rates, and costs with existing equipment. Using observed results for known process settings, the software builds cause-and-effect models for each result, and integrates them to advise new settings to achieve all prescribed objectives. Used before SPC or as its complement. Features: low implementation cost, requires minimal statistical knowledge, displays models, plots variables, permits dynamic modification of objectives, "what if" and sensitivity analysis, feed forward and feedback optimization. Proven in discrete and process industries.

Computer configuration: IBM PC, AT, RT PC, 43xx and 30xx; DEC VAX and MicroVAX; HP9000 series; Prime; Unisys 5000 series; and other computers that support F77.

Program name: PERTMASTER ADVANCE

Program available via: Direct or through dealers

Program price: $1,495

Available on: IBM PC, XT, AT, and 100% compatible computers. 5¼ in. and 3½ in. disk

Program description: Project management software combines the ease of use of a Lotus-like menu structure with a window user interface that allows building and saving of screens needed to view project information. Features powerful resource modeling and tracking features: separate resource calendars, resource profiles, hierarchical resources, and resource leveling capabilities. Cost resources can be tracked as budget and actual, with automatic calculation of planned cost to completion and variances in dollars and percentages. Tracking features include planned vs. actual bar charts, percent complete, schedule slippage from target dates, resource utilization percentages, sub-project and hammock support

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

CURSOS ABIERTOS

TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD

EN PROCESOS INDUSTRIALES

PLANES DE MUESTREO PARA PRODUCCION CONTINUA

AUTOR:

M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

AGOSTO-SEPTIEMBRE 1992.

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

8. CASO BI-MODALES

Algunas veces se dan casos en las distribuciones representadas con dos modas. Por esto, 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, así 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

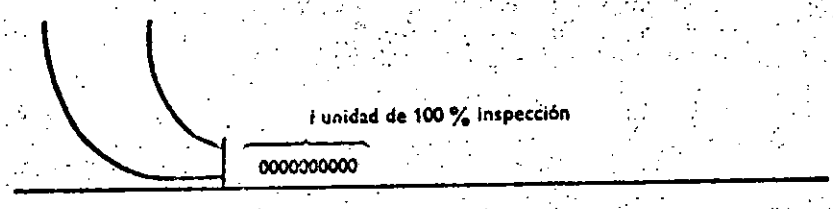


Figura 8-1

SEGUNDA ETAPA

Si no se halla ninguna defectuosa, se efectuará la inspección por muestreo cada una fracción *f* de piezas.

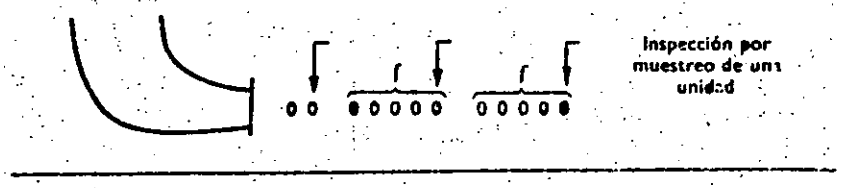


Figura 8-2

Si durante la inspección por muestreo se halla una defectuosa, se vuelve a la inspección 100 % inmediatamente:

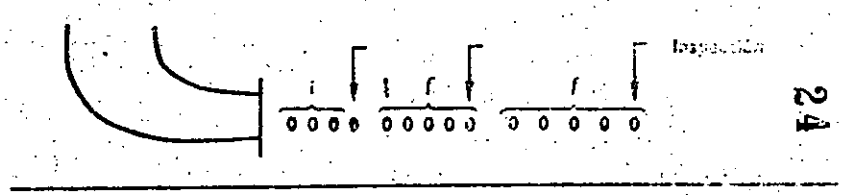


Figura 8-3

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).

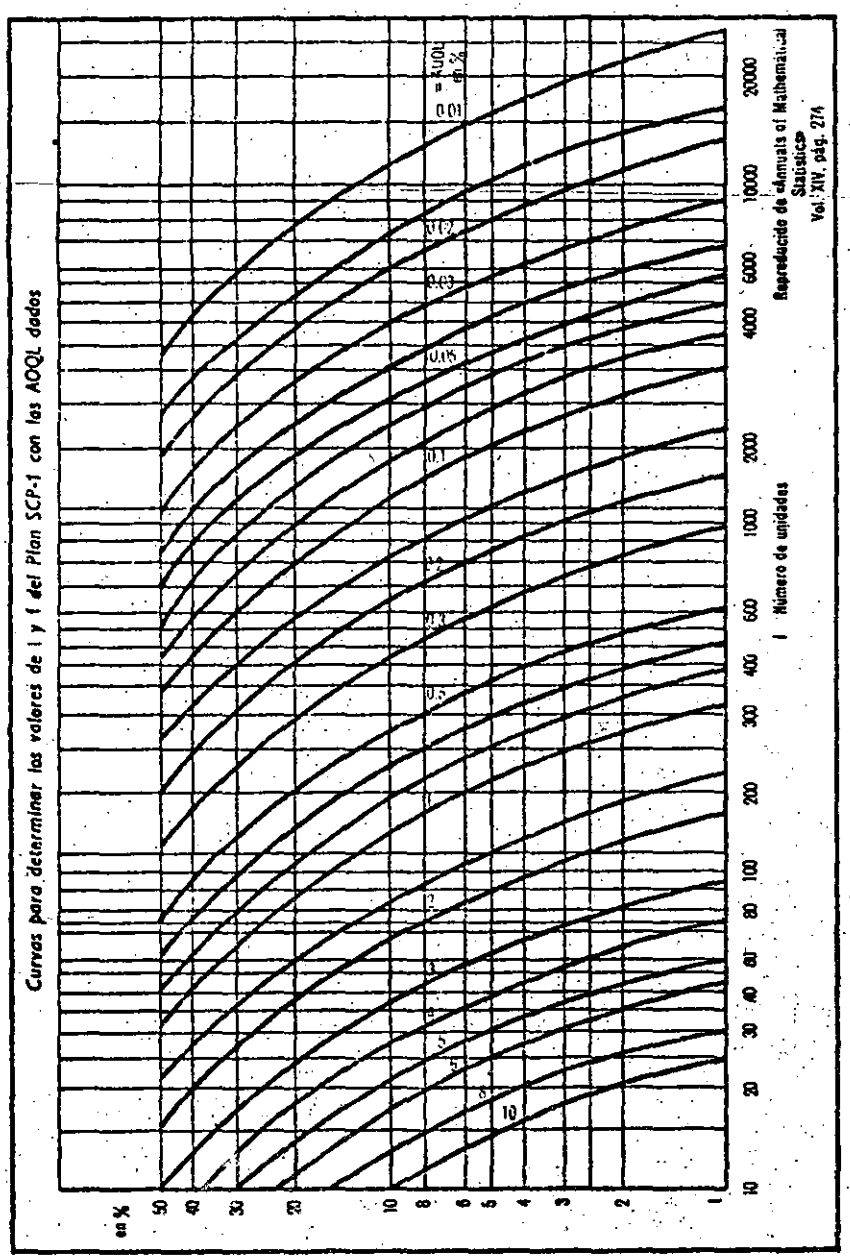


Gráfico 8-1

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 [illegible] es preferible elegir una i pequeña para tener una f mayor.

Dodge indicó que la protección contra la mala calidad [illegible] es muy pobre si la f es menor que 0,02. Sin embargo, la carga [illegible] de los verificadores también debe tenerse en cuenta. La mayor [illegible] de muestreo supone la mayor carga de trabajo a los verificado[illegible] sugiere que el mejor resultado puede tenerse si se cargan los [illegible] 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.

En la práctica, no es necesario hallar los valores del cuadro 8-2, sino, a simple vista en la figura 8-9, se decide la acción a seguir. La interpretación de los números de aceptación y rechazo es similar a la de las tablas del muestreo múltiple en MIL-STD 105-D, por ejemplo, llegamos a 31

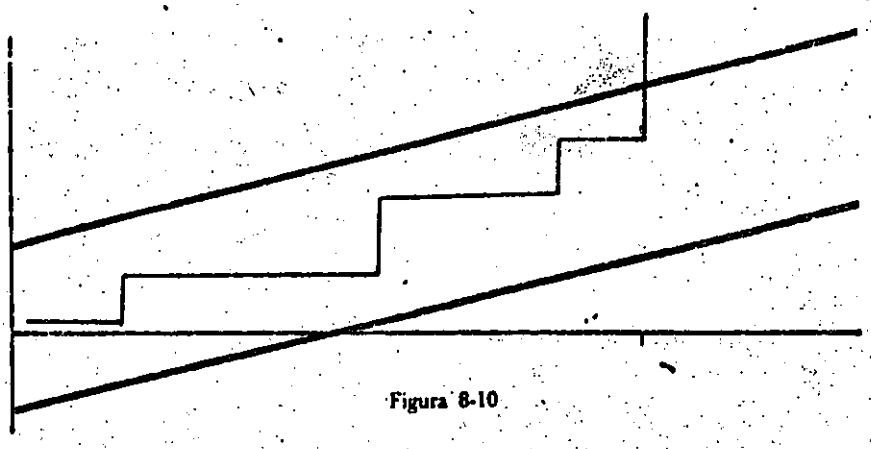


Figura 8-10

piezas inspeccionadas, si no hay ninguna defectuosa, se acepta el lote, y si hay 3 defectuosas, se rechaza el mismo; pero, si las defectuosas encontradas son 1 ó 2, se prosigue la inspección.

Por ejemplo, si llegamos a 60 inspecciones y tenemos 4 defectuosas, rechazamos el lote.

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

CURSOS ABIERTOS

TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD

EN PROCESOS INDUSTRIALES

ANALISIS ESTADISTICO DE SISTEMAS DE MEDICION

GENERAL MOTOR DE MEXICO, S.A. DE C.V.

EXPOSITOR:
M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

AGOSTO-SEPTIEMBRE 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.

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.

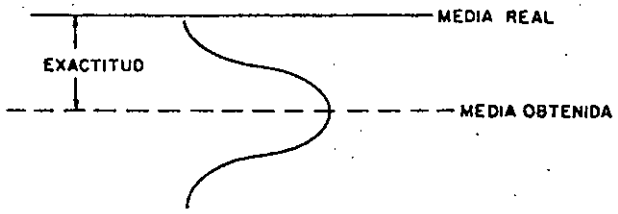


FIGURA 1

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.

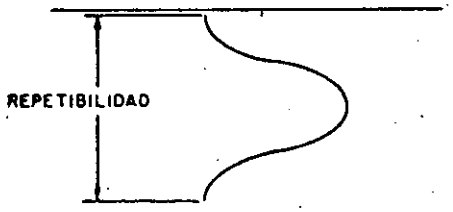


FIGURA 2

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.

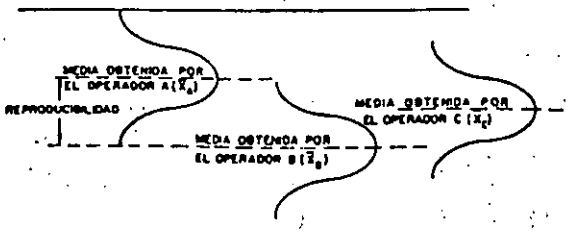


FIGURA 3

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.

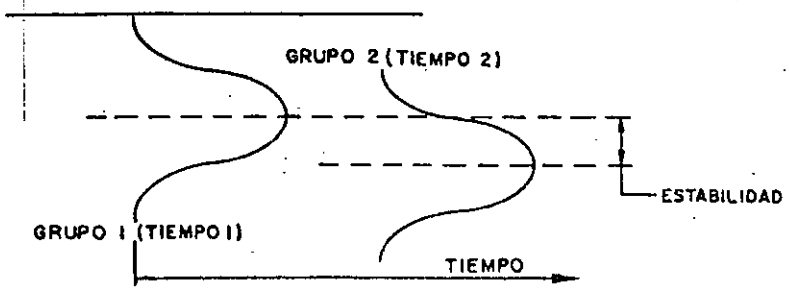


FIGURA 4

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 está 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.

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 ($\overline{R}$) sumando los rangos individuales y dividiendo esta suma entre 5. El error del dispositivo es entonces calculado multiplicando la media de los rangos ($\overline{R}$) 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

m = NUMERO DE OPERADORES

g (NUMERO DE PARTES)	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:

$\sigma = \frac{\overline{R}}{d_2}$ (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:

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

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:

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

V. 1. 6 Los pasos V. 1. 3 y V. 1. 5. pueden ser cambiados a los siguientes, cuando no se disponga de todas las partes al mismo tiempo. En este caso, deberán extremarse precauciones para que un operador no se entere de un resultado del otro. Esta alternativa no deberá usarse a menos que una causa de fuerza mayor lo obligue.

a) Permitir que el operador A mida la primera parte y registre el resultado en la columna 1. Hacer lo propio con los operadores B y C, y registrar los resultados en las columnas 5 y 9, respectivamente.

b) Permitir que el operador A repita la lectura en la primera parte y registrar el resultado en la columna 2, así los operadores B y C, registrando los resultados en las columnas 6 y 10. Repetir el ciclo y registrar los resultados en las columnas 3, 7 y 11. Repetir este ciclo hasta que se haya medido la última pieza por tercera vez, por los tres operadores.

V. 1. 7 Si los operadores están en diferentes turnos, se puede usar otro método. Hacer que el Operador A mida las 10 partes y registrar las lecturas en la columna 1, entonces, el mismo operador deberá repetir las lecturas en otros órdenes y se deberán registrar los resultados en las columnas 2 y 3. El procedimiento se repite con los operadores B y C, en el otro u otros turnos.

La evaluación de repetibilidad y reproducibilidad involucra dos formas, una de ellas para efectuar el registro de resultados (CC–015) y la otra para efectuar los cálculos conforme a las fórmulas en ella establecidas (CC–016), mostradas al final de esta sección. El procedimiento de uso de la forma, después de la recolección de datos, es como sigue:

a) Sustraer las lecturas menores de las mayores para cada muestra en las columnas 1, 2, y 3, y registrar el rango en la columna 4. Hacer lo mismo con las columnas 5, 6 y 7, y 9, 10, y 11. Anotar los rangos respectivos en las columnas 8 y 12.

Ejemplo:

MUESTRA No.	COLUMNA 1 1er. INT.	COLUMNA 2 2o. INT.	COLUMNA 3 3er. INT.	COLUMNA 4 RANGOS
1	+ .0050	+ .0070	+ .0080	.0030
2	– .0015	– .0010	– .0015	.0005
3	+ .0005	– .0010	– .0017	.0022
4	– .0010	+ .0015	+ .0010	.0025

b) Los registros en las columnas 4, 8, y 12 se hacen como valores positivos (valor absoluto de la diferencia).

c) Sumar las columnas 4, 8, y 12 y registrar los totales en las casillas respectivas, en la columna correspondiente.

d) Dividir el total de la columna 4 entre el número de muestras, para obtener la media de rangos del operador A, $\overline{R}_a$. Efectuar operaciones análogas para obtener $\overline{R}_b$ y $\overline{R}_c$.

e) Transferir el promedio de las columnas 4, 8 y 12, ($\overline{R}_a$, $\overline{R}_b$ y $\overline{R}_c$) a sus lugares respectivos. Sumar $\overline{R}_a + \overline{R}_b + \overline{R}_c$ y poner el resultado en la casilla de sumatoria. Dividir este total entre el número de operadores y registrar el resultado como $\overline{R}$, media de rangos.

f) Registrar $\overline{R}$ en la línea correspondiente y multiplicarla por D_4 (= 2.574 para 3 intentos, 3.268 para 2 intentos, etc) y registre el resultado. Este es el valor del límite superior de control (LSC_R) de los rangos listados en las columnas 4, 8, y 12.

g) Si existen, repita las lecturas que provocaron un rango superior al LSC_R mediante el mismo operador y parte originales o descarte aquellos valores y recalcule la media de rangos $\overline{R}$ y el valor del límite LSC_R, basado en el tamaño de muestra empleado ahora.

h) Sume las columnas remanentes: 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 y 11.

i) Totalice la suma de las columnas 1, 2, y 3, registre el total en el block de sumatorias, columna 2. Repita esto para las columnas 5, 6 y 7; 9, 10, y 11, y registre los resultados en los bloques de sumatoria, en las columnas 6 y 10.

j) Obtenga las medias de los intentos dividiendo cada bloque de sumatoria (columnas 2, 6 y 10) entre el número de intentos multiplicado por el número de partes de muestra y registre los resultados en las casillas para $\overline{X}_a$, $\overline{X}_b$, y $\overline{X}_c$.

$$\text{por ejemplo: } \frac{\text{sumatoria}}{(\text{No. de intentos})\ (\text{No. Ptes. muestra})} = \overline{X}_a$$

k) Transfiera los valores calculados de $\overline{R}$ y $\overline{X}_{dif}$ a los espacios provistos en la forma CC–016.

l) Efectúe los cálculos bajo la columna titulada evaluación del sistema de medición, en el lado izquierdo de la forma.

m) Efectúe los cálculos bajo la columna titulada % de análisis de tolerancia en el lado derecho de la forma. Estos cálculos no pueden ser efectuados cuando no exista una tolerancia bilateral, por ejemplo, cuando sólo se especifica un máximo o un mínimo.

n) Verifique sus resultados para asegurarse de que no existen errores en ellos.

En las figuras 8 y 9 se muestra un ejemplo de aplicación de esta técnica.

V. 1. 8 Análisis de Resultados.

Con la finalidad de determinar la aceptabilidad del dispositivo para la aplicación en cuestión, se proveen a continuación los criterios, los que dependen del porcentaje de tolerancia que consume el error del sistema de medición.

En general, el criterio para aceptabilidad es como a continuación se indica:

- Por debajo del 15% de error (habilidad superior al 85%) — buen dispositivo.
- Del 15 al 30% de error (habilidad del 70—85%)—se puede usar temporalmente, pero debe repararse y reevaluarse.
- Por encima del 30% de error (habilidad inferior al 70%) — inaceptable — se debe corregir de inmediato o cambiarse.

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 _____

CARACTERISTICA _____

ESPECIFICACION _____

NOMBRE DEL DISPOSITIVO _____

No. DEL DISPOSITIVO _____

TIPO DE DISPOSITIVO _____

FECHA _____

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.)

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

= (_____) x (_____) [ ]

INTENTOS	2	3
K_1	5.319	3.54

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. 11520 - MEXICO, D.F.

171/5

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

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

REPORTE DE EVALUACION DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DE DISPOSITIVOS

No. DE PARTE Y DESCRIPCION ENSAMBLE DE DISCO DE FRENOS

No. DEL DISPOSITIVO X-0234

CARACTERISTICA PAR DE APRIETE EN LA TUERCA DE SEG.

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

ESPECIFICACION 6- 10 LBS.- PIE

FECHA 16 - VIII - 84

NOMBRE DEL DISPOSITIVO TORQUIMETRO

EFECTUADO POR JUAN MANRIQUE L.

DE LA HOJA DE REGISTRO DE DATOS $\bar{R}$ = 0.383

$\bar{X}_{DIF}$ = 0.6

ANALISIS DE LA UNIDAD DE MEDICION

REPETIBILIDAD - VARIACION DEL EQUIPO (V.E.)

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

INTENTOS	2	3
K_1	5.319	3.54

= (0.383) x (5.319) = 2.037

REPRODUCIBILIDAD - VARIACION DEL OPERADOR (V.O.)

r = número de intentos
n = número de piezas

OPERADORES	2	3
K_2	4.255	3.141

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

$$= \sqrt{(0.6) \times (3.141)^2 - (2.037)^2 \div (10 \times 2)}$$

= 1.829

REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (R Y R)

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

$$= \sqrt{(2.037)^2 + (1.829)^2} = 2.737$$

% DE ANALISIS DE TOLERANCIA

% V.E. = 100 (V.E. ÷ TOLERANCIA)

= 100 (2.037 ÷ 4.0)

= 50.9 %

% V.O. = 100 (V.O. ÷ TOLERANCIA)

= 100(1.829) ÷ (4.0)

= 45.7 %

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

$$= \sqrt{(50.9)^2 + (45.7)^2}$$

= 68.40 %

* TODOS LOS CALCULOS ESTAN BASADOS EN PREDECIR $\pm 3\sigma$ (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.

16

FIGURA 9

FORMA CC-016

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

Como la exactitud, la estabilidad también se expresa como porcentaje sobre la tolerancia.

Si alguno de los errores, el de exactitud o el de estabilidad son relativamente grandes, pueden deberse a:

Para exactitud

1.— Error en el patrón de ajuste.

2.— Partes desgastadas en el dispositivo.

3.— El dispositivo no fue hecho o seleccionado correctamente para la aplicación.

4.— No se está midiendo la característica correcta; algunas características pueden confundirse por estar muy próximas entre sí y ser muy parecidas.

Para estabilidad

1.— Puede requerirse modificar la frecuencia de calibración.

2.— Se puede requerir un regulador de presión o filtro, si se trata de dispositivos de aire.

3.— Se puede requerir estabilización de temperatura, en el caso de dispositivos electrónicos.

VII. CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO.

El propósito de desarrollar una curva de comportamiento del dispositivo es determinar la probabilidad de aceptar o rechazar una pieza correctamente. Idealmente, la curva de comportamiento de un dispositivo sin error se muestra en la figura 10 (referida al próximo ejemplo), al final de esta sección. Sin embargo, eso excepcionalmente ocurre. Una vez que se ha determinado la cantidad de error de un dispositivo, es posible calcular la probabilidad antes mencionada. Para llevar a efecto esto, se supone que la repetibilidad y reproducibilidad están normalmente distribuídas con cierta varianza S. Como se describió previamente, el error de un dispositivo consiste básicamente en la carencia de repetibilidad, reproducibilidad y exactitud y está normalmente distribuido con una media X_t (el valor real de la parte), más A, (la exactitud) y tiene una varianza S^2 en otras palabras.

$$\text{ERROR DEL DISPOSITIVO} = f\,(X_T, A, S^2)$$

La probabilidad de aceptar una parte en función de su valor real está dada por:

$$P_a = P_a \left[Z \left(\frac{LSE - (X_t + A)}{S} \right) \right] - P_a \left[Z \left(\frac{LIE - (X_t + A)}{S} \right) \right]$$

En donde:

LSE = Límite superior especificado

LIE = Límite inferior especificado

S = Desviación standard = RRD/8 y

Pa [ ] denota probabilidad de: [ ]; es decir, probabilidad de que ocurra lo que está dentro de los paréntesis.

Con la finalidad de aclarar más este procedimiento, a continuación se muestra un ejemplo. Supongamos que se determinó que la exactitud de un dispositivo es + 0.5 (el signo + indica que el valor observado es superior al real y — indica que el valor observado es inferior al real.

Determinar la probabilidad de aceptar una parte correctamente, cuando el valor real es 9 y la especificación es de 6 a 10 y el resultado de repetibilidad y reproducidilidad, R y R = 4.0

Xt = 9 lb—pie

A = + 0.5 lb—pie

LSE = 10 lb—pie

LIE = 6 lb—pie

RRD = 4.0

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.

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO

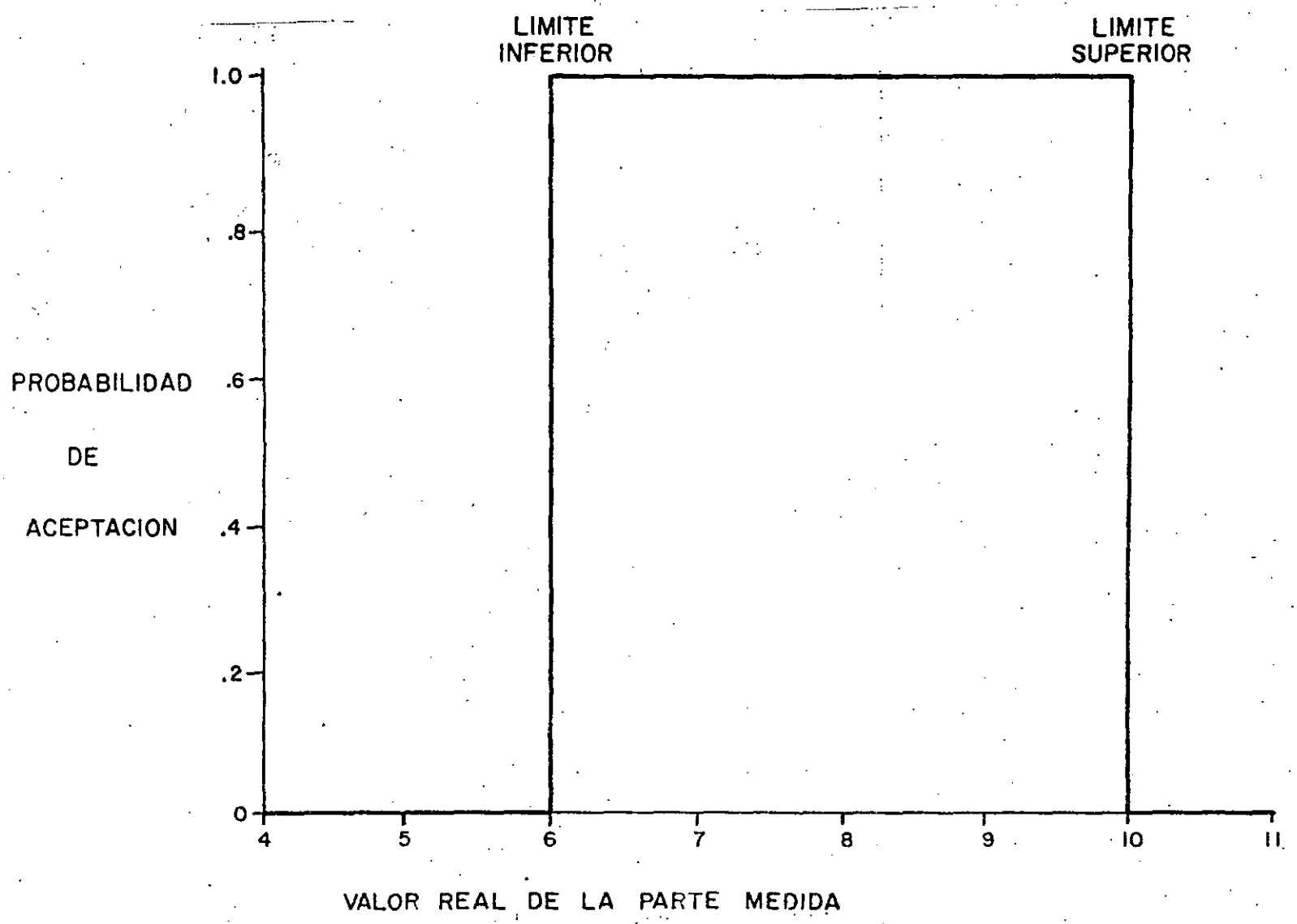


FIGURA 10

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.

C DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

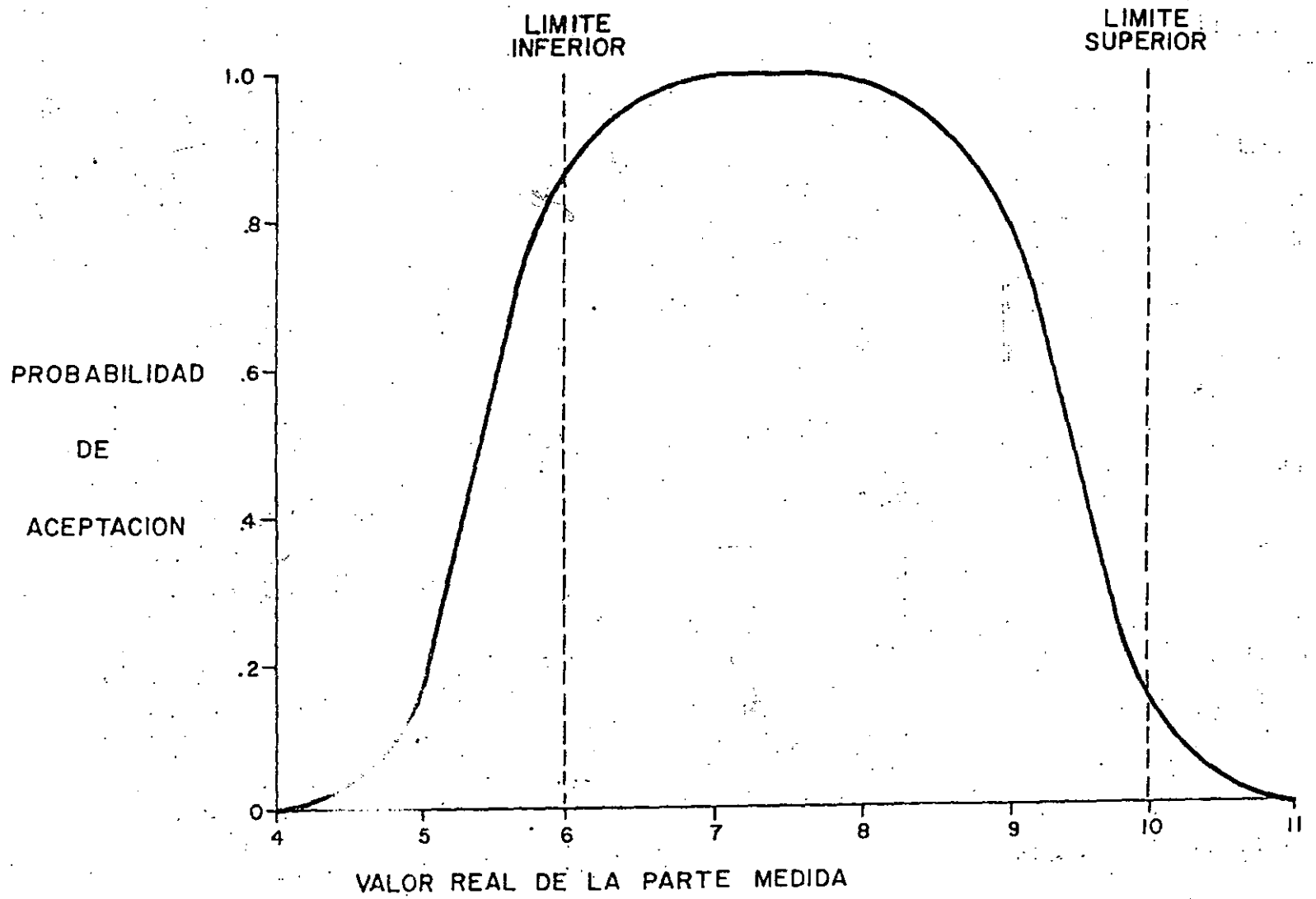


FIGURA 11

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

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

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO

No. DE PARTE Y DESCRIPCION 9341117 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

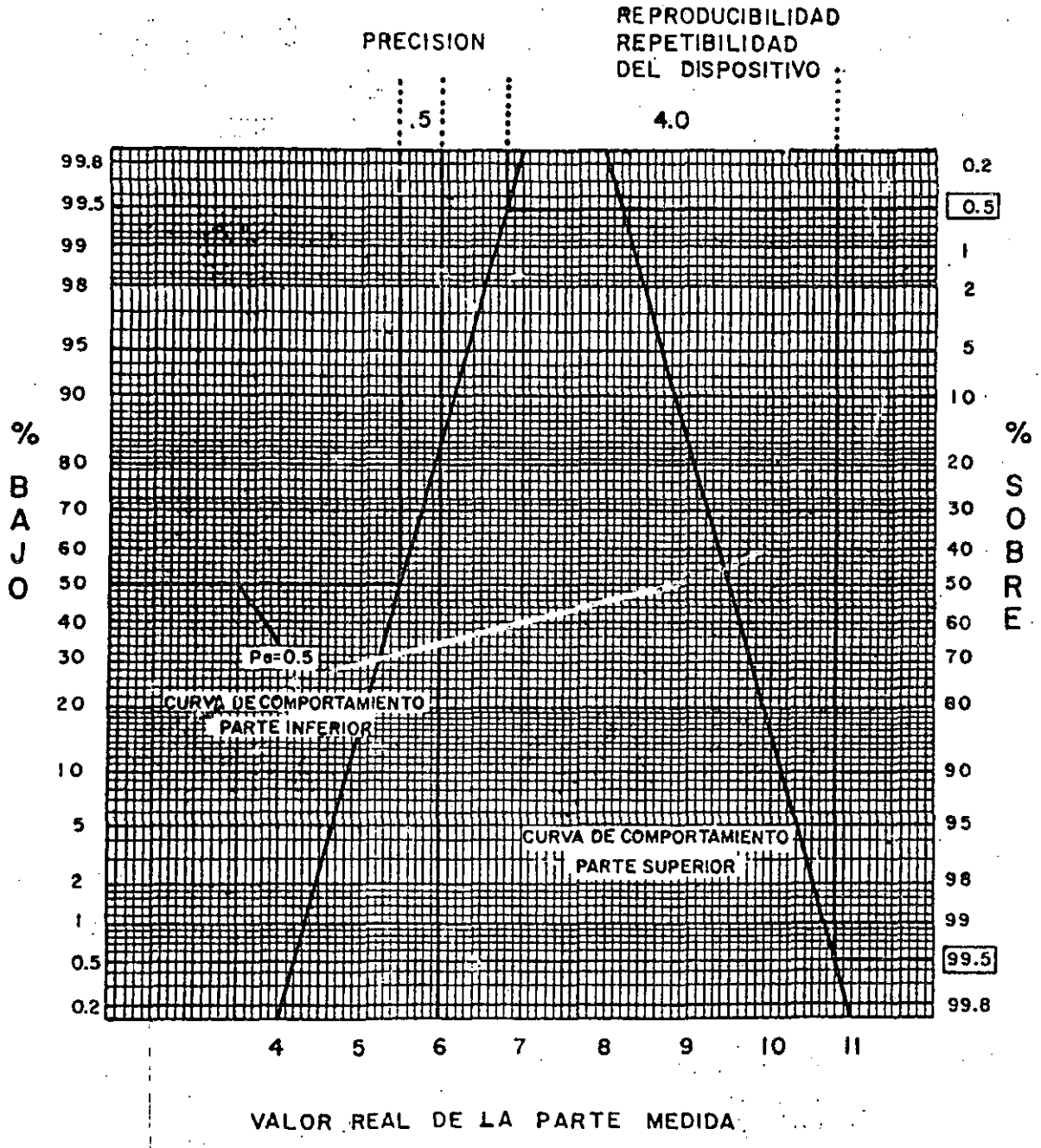


FIGURA 12

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.

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

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

EVALUACION DE DISPOSITIVOS POR ATRIBUTOS
DIAMETRO INTERIOR DE UNA MANGUERA
DISPOSITIVO PASA — NO PASA

	OPERADOR A		OPERADOR B	
	1	2	1	2
1	P	P	P	P
2	P	P	P	P
3	NP	P	P	P
4	NP	NP	NP	NP
5	P	P	P	P
6	P	P	P	P
7	NP	NP	NP	NP
8	NP	NP	P	P
9	P	P	P	P
10	P	P	P	P
11	P	P	P	P
12	P	P	P	P
13	P	NP	P	P
14	P	P	P	P
15	P	P	P	P
16	P	P	P	P
17	P	P	P	P
18	P	P	P	P
19	P	P	P	P
20	P	P	P	P

FORMA CC-017

FIGURA 13

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

Los ajustes hechos en las ecuaciones anteriores, cubren los casos en donde $1 < a < 19$. Para los casos en donde $a = 0$, hagase $P'_a = 0$, excepto para el valor real y mayor de medición con $A = 0$, en el que $P'_a = 0.025$. Para los casos en que $A = 20$, $P'_a = 0.975$. Una vez que las P'a han sido calculadas para X_t, se puede desarrollar la curva de comportamiento del dispositivo (CCD). Aún cuando la CCD se puede presentar gráficamente, el uso de papel de probabilidad normal resulta en estimaciones más precisas de la repetibilidad y la precisión.

Las probabilidades calculadas se marcan en el papel de probabilidad normal y se ajusta una recta a estos puntos. La precisión es igual al límite inferior menos el valor real que corresponde a $P'_a = 0.5$, esto es:

$$\text{Precisión} = \text{Límite Inferior} - X_t\ (@\ P'a = 0.5)$$

La repetibilidad se determina encontrando las diferencias de los valores reales que correspondan a $P'_a = 0.975$ y $P'_a = 0.025$ y dividiendo entre un factor de ajuste de 1.08.

$$\text{Repetibilidad} = \frac{X_t\ (@\ P'_a = 0.975) - X_t\ (@\ P'_a = 0.025)}{1.08}$$

Para determinar si la exactitud es significativamente diferente de cero, se determina el siguiente factor:

$$t = \frac{31.3 \times \text{Exactitud}}{\text{Repetibilidad}}$$

Si este valor es superior a 2.093 ($t_{0.025,19}$), entonces la precisión es significativamente diferente de cero.

Mediante el ejemplo que a continuación se da, se aclara la evaluación de dispositivos por atributos y el cálculo de la repetibilidad y reproductibilidad.

IX. 1 Ejemplo.

Se está usando un dispositivo para medir una dimensión que tiene una tolerancia de ± 0.010. El dispositivo es uno automático de final de línea y lo afectan la repetibilidad y la exactitud. Para efectuar la evaluación del dispositivo, se toman ocho partes con valores reales de medición a intérvalos de 0.002 y en el rango de − 0.016 a − 0.002 y se miden con el dispositivo 20 veces cada una. El número de aceptaciones para cada rango resulta:

	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 $1 < A < 19$, 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 $P'\alpha = 0.5$. 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.

0

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

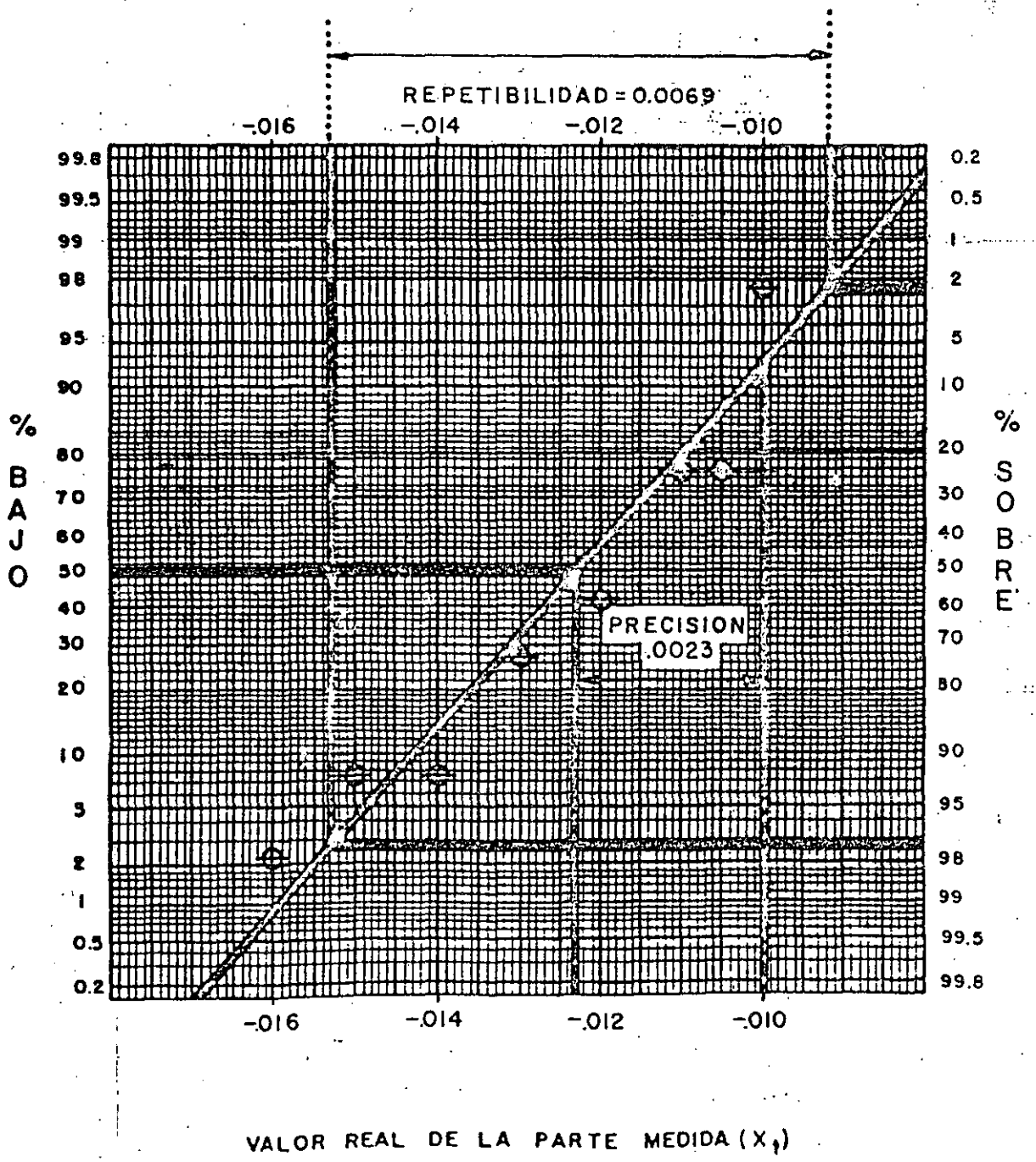


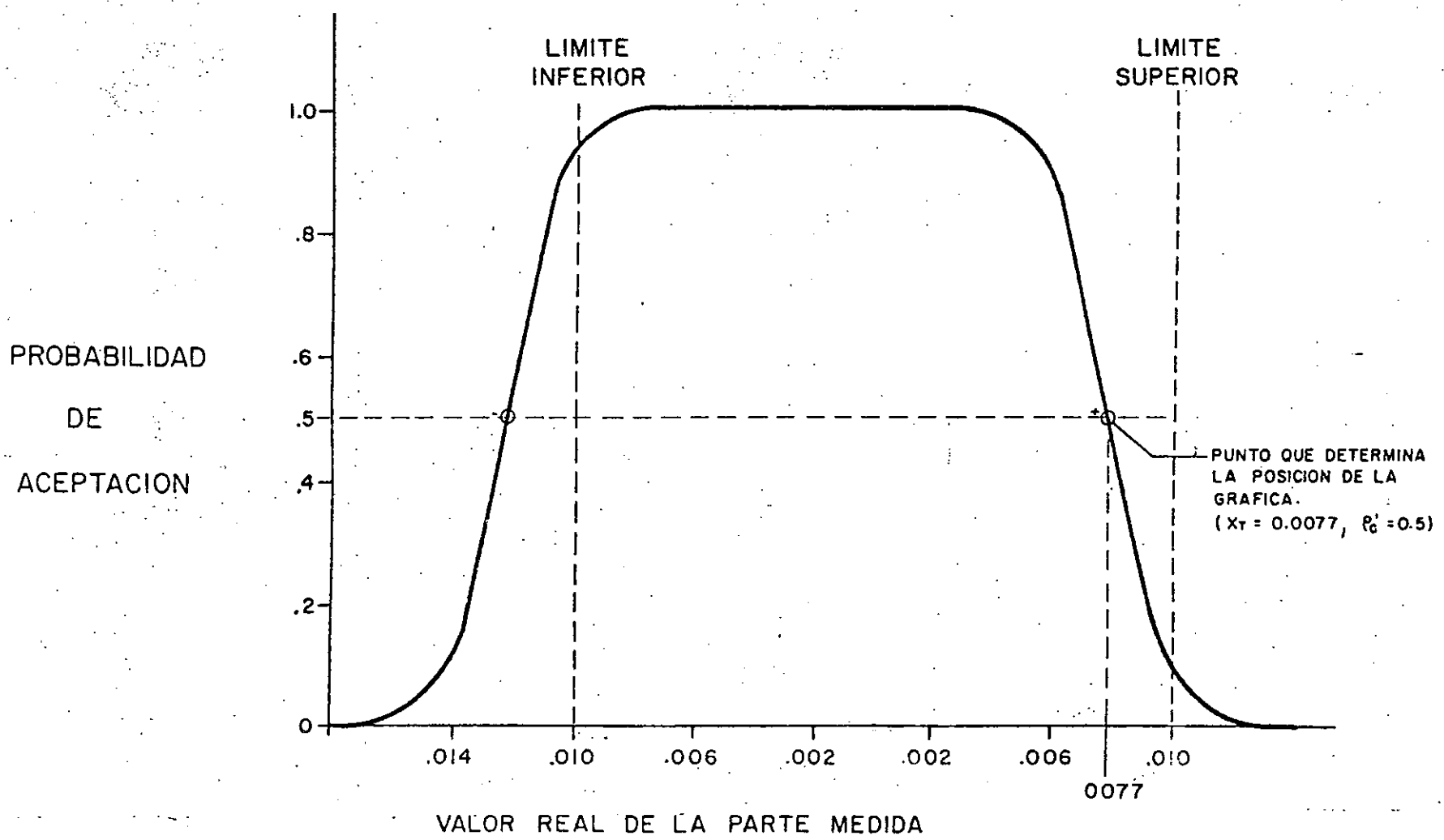
FIGURA 14

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

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

CALIDAD Y CONFIABILIDAD

CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO



FIGURA

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