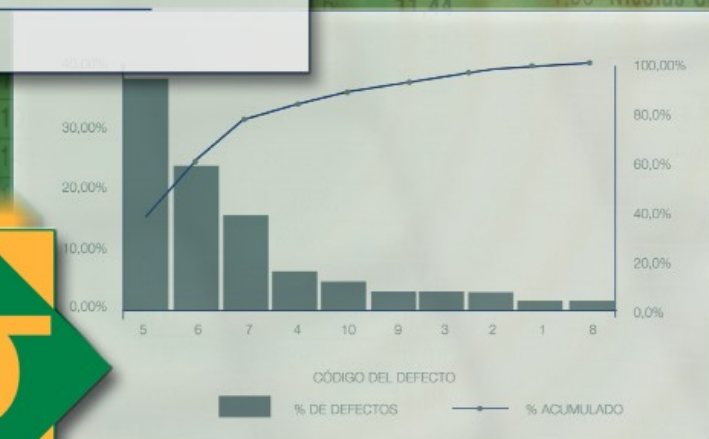
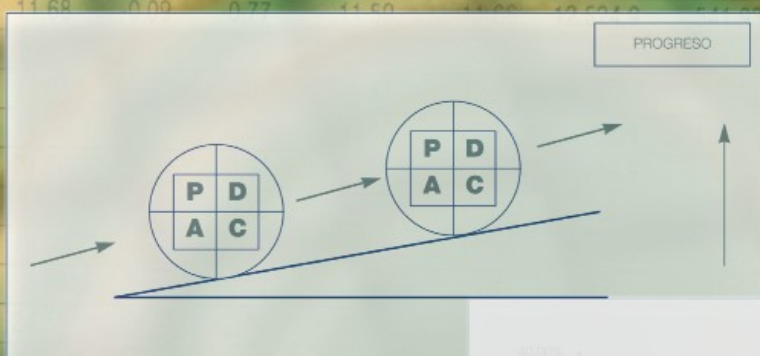


Herramientas para la Calidad

Índice



Mercedes Benz



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD



SECCIÓN AUTOMOCIÓN

PRIMERA EDICIÓN: MARZO, 2002

© ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD, 2002

ISBN: 84-89359-26-1 (O.C.)

84-89359-28-8 (T. I)

84-89359-29-6 (T. II)

84-89359-30-X (T. III)

DEPÓSITO LEGAL: M-13.617-2002

EDICIÓN A CARGO DE:

CYAN, PROYECTOS Y PRODUCCIONES EDITORIALES, S.A.

ÍNDICE GENERAL

En esta versión informatizada de la obra "Herramientas para la Calidad" se han mantenido las páginas blancas para no alterar la paginación con respecto a la obra impresa. Para acceder a una herramienta haga click sobre su título.

Prólogo	7
Presentación	9
Introducción de la obra	11

TOMO I. PREVENCIÓN DE LA CALIDAD

1. <i>Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)</i> Elaborada por: Laureano Padilla, PSA PEUGEOT CITROËN	15
2. <i>Camino Crítico (PERT)</i> Elaborada por: Francisco Aguilera, FAURECIA Asientos para Automóvil.	25
3. <i>Control Antierror (POKA-YOKE)</i> Elaborada por: Ángel Sandoval, LEAR Automotive	35
4. <i>Coste del Ciclo de Vida (CCV)</i> Elaborada por: Ignacio Tejero, LEIFHEIT ESPAÑA	39
5. <i>Quality Function Deployment (QFD). Despliegue Funcional de la Calidad</i> Elaborada por: Félix Valdivieso, GRUPO ANTOLÍN	45
6. <i>Diagrama de Flujo</i> Elaborada por: Julián Moreno, GDX Automotive	59
7. <i>Gestión de la Calidad Total. Total Quality Management (TQM)</i> Elaborada por: Ricardo Coderch, NISSAN MOTOR IBÉRICA	63
8. <i>Gestión de Fábrica (GEMBA KANRI)</i> Elaborada por: Jorge López, VISTEON Sistemas Interiores España	71
9. <i>Ingeniería Concurrente</i> Elaborada por: Joaquín Serra, SEAT. S.A.	81
10. <i>Justo a Tiempo (JIT)</i> Elaborada por: Elda Belando, AUTO AMKEY	89
11. <i>La Función de Pérdida (TAGUCHI)</i> Elaborada por: Ricardo Coderch, NISSAN MOTOR IBÉRICA	99
12. <i>Las 5S. Metodología</i> Elaborada por: José Luis Velasco, FAURECIA Sistemas de Interior	105
13. <i>Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM)</i> Elaborada por: Antonio José Fernández, IBERINCO	115

14.	<i>Mantenimiento Productivo Total (TPM)</i>	
	Elaborada por: Octavio Gutiérrez, RENAULT Vehículos industriales	121
15.	<i>Modelo Europeo de Excelencia Empresarial</i>	
	Elaborada por: Diego Hidalgo, LGAI.	127
16.	<i>Planificación Avanzada de la Calidad (AQP)</i>	
	Elaborada por: Begoña Gómez, INDUSTRIAS BERRY	133

TOMO II. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD

17.	<i>Análisis de la Satisfacción del Personal (ASP)</i>	
	Elaborada por: A. Martínez Galán, COPRAGMA	9
18.	<i>Análisis de la Varianza (ANOVA)</i>	
	Elaborada por: Diego Soto, SIEBE Automotive España	21
19.	<i>Auditoría de Procesos</i>	
	Elaborada por: Joaquín Serra, SEAT, S.A.	27
20.	<i>Auditoría del Producto</i>	
	Elaborada por: José María Martín, CEDASA	37
21.	<i>Auditorías Internas de Sistemas</i>	
	Elaborada por: Bruno Leger, IDIADA-LGAI	45
22.	<i>Matriz Auto-Calidad (MAQ)</i>	
	Elaborada por: José Luis Barranco, VALEO Sistemas de Seguridad y de Cierre	59
23.	<i>Capacidad de Calidad de Máquinas y Procesos (cm/cp)</i>	
	Elaborada por: Ignacio Tejero, LEIFHEIT ESPAÑA	63
24.	<i>Control Estadístico del Proceso (SPC)</i>	
	Elaborada por: Antoni Garay, AMES	79
25.	<i>El Control Secuencial de A.WALD</i>	
	Elaborada por: Carlos Barberá, PSA PEUGEOT CITROËN	85
26.	<i>Costes de Calidad (COC)</i>	
	Elaborada por: Manuel Palá, SAIFA KELLER	97
27.	<i>Diagrama de Dispersión o Correlación</i>	
	Elaborada por: Diego Soto, SIEBE Automotive España	105
28.	<i>Diagrama PARETO</i>	
	Elaborada por: Óscar Pérez, GESTAMP AUTOMOCIÓN	113
29.	<i>Eficiencia de los equipos de control (SISTEMA TAKAHASI)</i>	
	Elaborada por: Angel Elustondo, BOSCH BRAKING SYSTEMS.	117
30.	<i>Fiabilidad</i>	
	Elaborada por: Fernando Aguilar, IBEROFON	123
31.	<i>Gráficos de control</i>	
	Elaborada por: José M ^a Martín, CEDASA	129
32.	<i>Histogramas</i>	
	Elaborada por: José de los Rios, TRW Automotive	135
33.	<i>Inspección por Representación Gráfica (LOT-PLOT)</i>	
	Elaborada por: Laureano Padilla, PSA PEUGEOT CITROËN	139

34.	<i>Mantenibilidad (RAM)</i>	
	Elaborada por: Fernando Aguilar, IBEROFON	149
35.	<i>Toma de datos / Muestreo</i>	
	Elaborada por: Luis Grande, Robert Bosch España, Fábrica de Treto	151

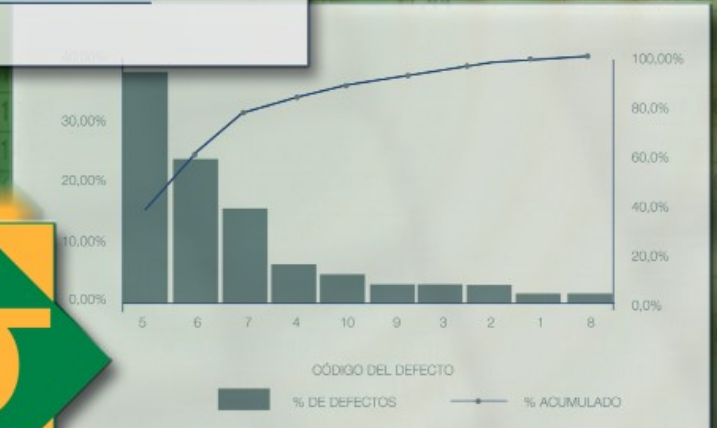
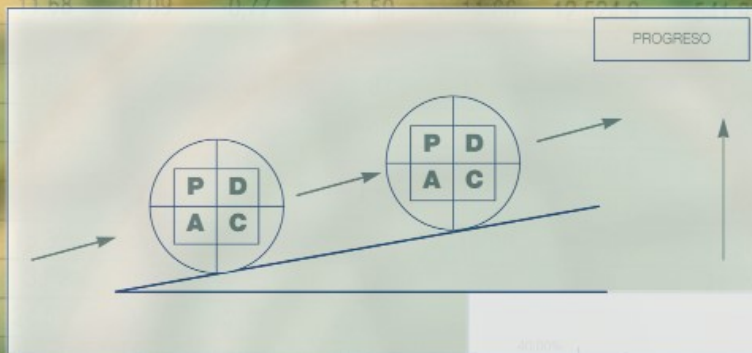
TOMO III. MEJORA DE LA CALIDAD

36.	<i>Análisis del Valor</i>	
	Elaborada por: Francisco Corma, QPT Consulting	9
37.	<i>Benchmarking (Análisis comparativo de la competencia)</i>	
	Elaborada por: Valentín Pinuaga, IVECO PEGASO	21
38.	<i>Cambio Rápido de Herramientas (SMED)</i>	
	Elaborada por: José Miguel Herrero, VALEO Embragues	27
39.	<i>Cuadro de Mando Integral (BALANCED SCORECARD)</i>	
	Elaborada por: Ana Corbalán, SIT. S.A.	33
40.	<i>Despliegue por Objetivos (HOSHIN KANRI)</i>	
	Elaborada por: César Remartinez, YORKA	39
41.	<i>Diagrama de Afinidad</i>	
	Elaborada por: Julio Antonio Rodríguez, FASA RENAULT	49
42.	<i>Diagrama árbol</i>	
	Elaborada por: Francisco Aguilera, FAURECIA Asientos para Automóvil.	59
43.	<i>Diagrama Causa-Efecto (ISHIKAWA)</i>	
	Elaborada por: Begoña Gómez, INDUSTRIAS BERRY	65
44.	<i>Diagrama Matricial</i>	
	Elaborada por: Francisco Aguilera, FAURECIA Asientos para Automóvil.	73
45.	<i>Diagrama de Redes</i>	
	Elaborada por: Bruno Leger, LGAI	77
46.	<i>Diseño de Experimentos (DOE)</i>	
	Elaborada por: Alfonso Rivas, GRUPO COPO	81
47.	<i>Mejora Continua (KAIZEN)</i>	
	Elaborada por: Carlos Mota, SANTANA MOTOR	89
48.	<i>Mejora y Reingeniería de los procesos (BPR)</i>	
	Elaborada por: Concepción Azcuenaga, GESTAMP BIZKAIA	95
49.	<i>PM Análisis (PMA)</i>	
	Elaborada por: Rossend Hernández, PIRELLI NEUMÁTICOS	105
50.	<i>Resolución de Problemas (8D)</i>	
	Elaborada por: Begoña Gómez, INDUSTRIAS BERRY	113
51.	<i>Rueda Deming (PDCA)</i>	
	Elaborada por: Francisco Aguilera, FAURECIA Asientos para Automóvil.	117
52.	<i>Seis Sigma</i>	
	Elaborada por: Javier Montes, ENUSA	125
53.	<i>Tormenta de Ideas (BRAINSTORMING)</i>	
	Elaborada por: Óscar Pérez, Grupo GESTAMP AUTOMOCIÓN.	137

Herramientas para la

Calidad (II)

Evaluación de la Calidad



6σ

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD



SECCIÓN AUTOMOCIÓN

MARZO 2002	ANÁLISIS DE LA SATISFACCIÓN DEL PERSONAL (ASP)	FICHA 17
1ª EDICIÓN		PÁG. 1 DE 12

■ 1. ¿QUÉ ES?

Es una herramienta sociológica que sirve para medir:

- Qué piensan los empleados acerca de la organización.
- Cuál es su estado emocional al respecto.
- Qué comportamiento tienden a adoptar en el trabajo.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Se basa en el Modelo Europeo de la Calidad Total para comprobar la acertada gestión de los Recursos Humanos.

Asegura que las personas disponen de los recursos y apoyos necesarios para el cumplimiento de los objetivos de calidad en la empresa.

Tiene en cuenta la Teoría Racional-Emotiva de Albert Ellis: “Tus pensamientos generan tus sentimientos y a tus sentimientos les siguen tus acciones”.

Así pues, reúne tres datos sociolaborales de especial importancia: el estado de opinión, la clarificación de actitudes y la moral de trabajo.

Los tres vendrán influidos por la percepción previa, acertada o errónea, que el personal tenga de la realidad empresarial.

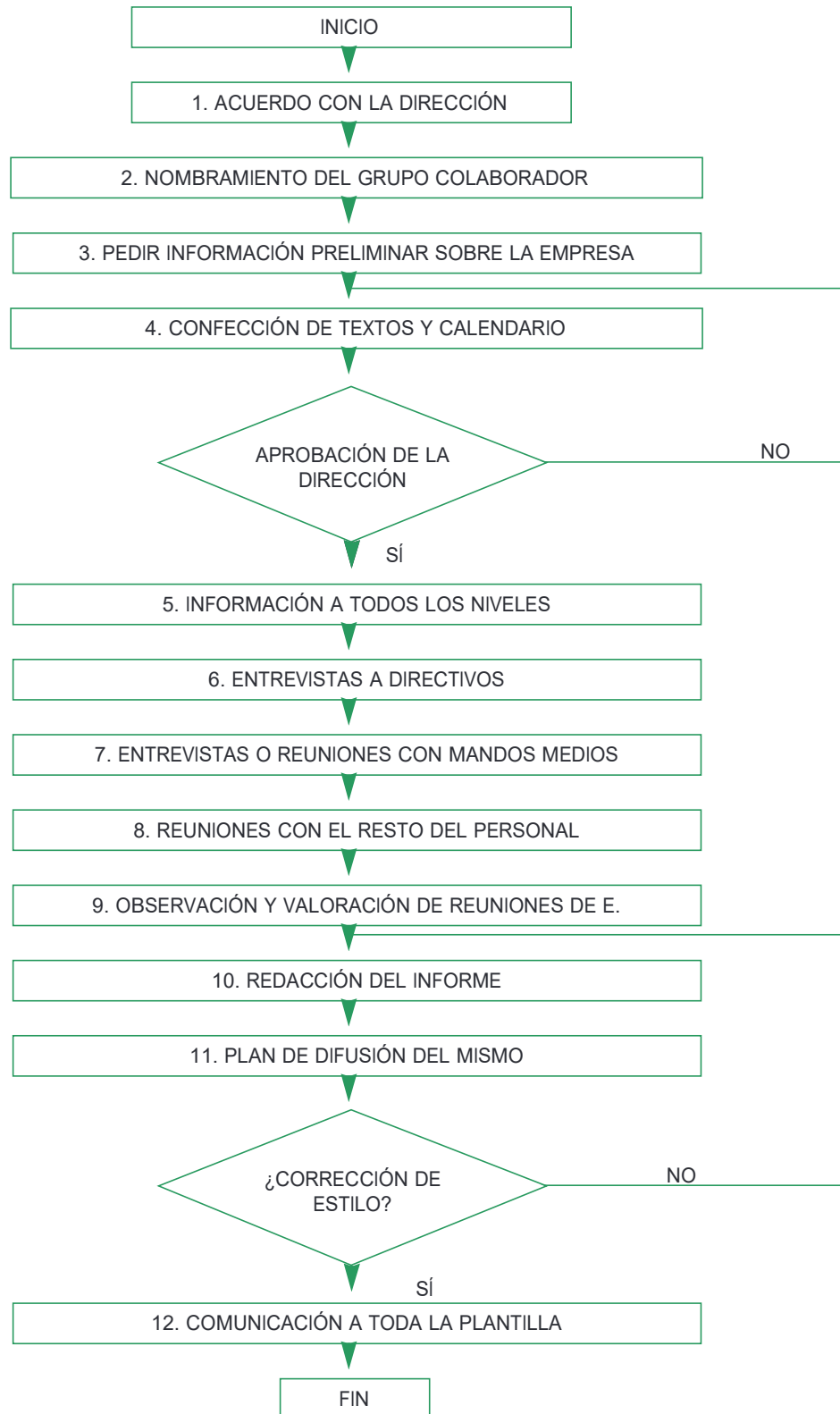
Dado que toda conducta tiene su causa, si mejoramos la causa mejoraremos la conducta... presumiblemente. Por ello el final del análisis incluye algunas recomendaciones a la Dirección.

En la gran empresa puede ser realizado por el Departamento de RR.HH. En la PYMES se recomienda la intervención de algún experto externo.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Percepción*: La operación cognoscitiva que relaciona a la persona con su entorno. El análisis estudia la realidad de la empresa y cómo es percibida por sus empleados.
- *Estado de opinión*: Criterio o estimación en que coincide la generalidad de las personas de un colectivo en torno a asuntos determinados. Se relaciona con la capacidad pensante.
- *Clarificación de actitudes*: Evidenciar la predisposición o talante permanente de las personas, sea cual fuere la situación. La actitud se relaciona con los sentimientos.
- *Moral de trabajo*: Conjunto de normas y principios éticos en relación con el trabajo. Estado de ánimo en relación con la propia actividad.
- *Muestra*: Parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo.

- *Ratios de personal:* Relaciones existentes entre las diversas magnitudes comparables de una empresa, por ejemplo: dividir las horas de presencia por las horas de convenio, multiplicadas por 100, para obtener el ratio de absentismo.
- *Encuesta:* Recogida de datos mediante consulta escrita o interrogatorio, referentes a estados de opinión, costumbres, o cualquier otro aspecto de la actividad humana.
- *Entrevista:* Reunión concertada entre el analista y la persona elegida de la plantilla, en orden a investigar determinados aspectos del funcionamiento de la empresa, por medio de una conversación confidencial.
- *Reunión de grupo:* Reunión concertada entre el analista y varias personas simultáneamente con la misma finalidad que la entrevista, pero matizada por el contraste de opiniones.
- *DAFO:* Técnica de investigación de opiniones, aplicable individual o grupalmente para investigar las debilidades-amenazas y las fortalezas-oportunidades de la empresa. (El término DAFO proviene del acróstico de las cuatro palabras anteriores.)
- *Escucha activa:* Es la escucha atenta prestada al interlocutor o al grupo, con la que se intenta descubrir el estado de ánimo o los sentimientos que están más allá de las palabras. Es una escucha respetuosa y comprensiva de la profundidad de las personas.

4. DIAGRAMA DE FLUJO

■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Paso 1: Acuerdo con la Dirección

Éste es el momento oportuno para:

SONDEAR LOS MOTIVOS POR LOS QUE SE QUIERE REALIZAR EL ANÁLISIS Y LO QUE SE ESPERA DE ÉL

No siempre está claro en la mente de la Dirección. Por ello es conveniente hablar de ello con prudencia. A veces es motivado por:

- Una reciente fusión de empresas.
- Un nuevo plan de mejoras.
- Con motivo de la certificación.
- Para poner en marcha un ambicioso plan de formación, comunicación o motivación.
- Para lograr una recuperación del Mando Intermedio, etc.

Además habrá que preguntar sobre los temas, situaciones y colectivos que más preocupan.

CÓMO SE VA A ANUNCIAR A LA PLANTILLA

Será conveniente tomar nota de las ideas básicas para la presentación a directivos, mandos y resto de la plantilla.

Establecer la forma en que se va a hacer la presentación del plan.

ESTABLECER LA LOGÍSTICA BÁSICA

Normalmente se designa a alguien de la empresa que facilite:

- La muestra aleatoria convenida.
- La información preliminar sobre la empresa.
- Y todo lo necesario para el éxito de la acción.

TOMAR CONCIENCIA DE QUE EL ANÁLISIS COMPROMETE A DAR UNA POSTERIOR RESPUESTA POSITIVA

CONVENIR QUE ANTES DE COMENZAR, SE MOSTRARÁ TODO EL MATERIAL Y EL PLAN DE ACCIÓN A LA DIRECCIÓN PARA QUE LO APRUEBE

■ 5.2. Paso 2: Nombramiento del grupo colaborador

En empresas muy pequeñas se reduce a una sola persona que generalmente es el encargado de los Recursos Humanos. Se compromete a:

- Facilitar la documentación e información previa.
- Ayudar a la confección de la encuesta.
- Fijar la muestra y convocar a los empleados tanto para la entrevista como para los grupos.
- Poner a disposición del consultor los lugares y los medios adecuados.

MARZO 2002	ANÁLISIS DE LA SATISFACCIÓN DEL PERSONAL (ASP)	FICHA 17
1ª EDICIÓN		PÁG. 5 DE 12

Se recomienda a los miembros del grupo colaborador o a la persona designada que se mantengan en una segunda línea, sin asistir a las entrevistas ni reuniones de grupo, para evitar la suspicacia y respetar el anonimato y confidencialidad.

5.3. Paso 3: Pedir información preliminar sobre las empresas

Esta información facilita el conocimiento de la empresa que se va a analizar, explica muchas de las incógnitas que se presentarán en el análisis. Versará sobre los siguientes puntos:

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

- Organigrama detallado con número de personas dependientes de cada nivel jerárquico y categorías laborales.
- Descripción de las principales funciones del organigrama.
- Pirámide de edades, hombres y mujeres.
- Datos de antigüedad de la plantilla.
- Horarios y turnos de trabajo.

POLÍTICA SALARIAL

- Personal fijo, eventual, situación de subcontratados, trabajo temporal, etc.
- Convenio colectivo en vigor.
- Composición del comité de empresa: miembros, nivel de afiliación e influencia.

RATIOS

- Absentismo.
- Productividad, rendimiento de materia prima.
- Calidad: reprocesos, desperdicios, reclamaciones de clientes, productos no conformes.
- Participación en grupos de mejora, plan de sugerencias, etc.

FUNCIONAMIENTO

- Acciones de comunicación.
- Formación recibida en los dos últimos años.
- Manual de calidad y procedimientos.

5.4. Paso 4: Confección de textos y calendario

ENCUESTA

No debe sobrepasar las 20-30 cuestiones, redactadas de forma directa y comprensible, centradas en los siguientes temas:

- Orgullo de empresa y producto o servicio.
- Estilo de mando.
- Comunicación.
- Relación interpersonal.
- Formación.
- Política salarial.

- Planificación del trabajo.
- Promoción.
- Calidad.
- Gestión (sólo para directivos).
- Puesto de trabajo (solo para empleados).
- Grado general de satisfacción.

Nota: Se adjunta un modelo al final.

SELECCIÓN DE LA MUESTRA

En PYMES se recomienda aproximarla al 50% e incluso a la totalidad, prescindiendo de las tablas al uso. Hay que evitar la suspicacia de por qué convocan a unos y a otros no.

Los directivos y mandos deberán ser encuestados en su totalidad, a poder ser.

CALENDARIO DE ENTREVISTAS Y REUNIONES

Habrà que ajustarse a las características de la empresa y las exigencias del trabajo.

Pero a la vez habrá que evitar los tiempos muertos. De ahí la necesidad de calendarizar y ajustarse a un horario.

En esta cuestión es muy valiosa la ayuda del colaborador, que pacta con antelación, recuerda y persigue el cumplimiento de fechas y horas.

El número de componentes de los grupos de empleados no puede pasar de 5-7, normalmente, para no causar trastornos con su ausencia del trabajo.

REDACTAR MENSAJE INFORMATIVO

Para comunicar a todos que se va a realizar un análisis de la satisfacción del personal, habrá que redactar un escrito que sirva de guiòn para las reuniones informativas y para fijar en los tablones o publicar en el boletín de empresa.

El guiòn de dicho escrito puede constar de los siguientes puntos:

- Todos aceptamos con naturalidad una serie de revisiones necesarias para nuestra salud, economía o diversos aspectos de nuestra vida.
- De la misma manera es normal que en la empresa se audite el estado económico, la imagen de mercado o su clima interno. Viene a ser como tomarle la temperatura.
- Qué consultores internos o externos lo van a realizar.
- Los puntos básicos que se van a estudiar.
- Los medios: encuestas, entrevistas, reuniones.
- La garantía de anonimato y confidencialidad de la consulta.
- Se comunicará a todos el resultado del análisis. Gracias anticipadas a todos por la colaboración.

MARZO 2002	ANÁLISIS DE LA SATISFACCIÓN DEL PERSONAL (ASP)	FICHA 17
1ª EDICIÓN		PÁG. 7 DE 12

5.5. Paso 5: Información a todos los niveles

Se recomienda tener reunión informativa con los directivos, con los mandos y con el comité por separado y en este orden.

Se seguirá en la exposición el guión precedente.

5.6. Paso 6: Entrevistas a directivos

La entrevista debe ser semiestructurada, comenzando con espontaneidad a hablar de su puesto y funciones pero sin dejar de tocar:

- Los puntos básicos de la encuesta.
- El DAFO de la empresa en sus distintos niveles, es decir, los puntos fuertes, los puntos débiles y las sugerencias que se les ocurren para mejorar.
- Practicado en todo momento la escucha activa y reconduciendo la entrevista hacia la crítica constructiva y el sentido realista.

5.7. Paso 7: Entrevistas o reuniones con mandos medios

Si se realiza entrevista se deben seguir las recomendaciones del paso anterior.

Si se realizan reuniones se deberá disponer de un papelógrafo para ir tomando las notas de lo que el grupo va aportando. El orden de temas es igual al paso anterior.

Aunque la entrevista y la reunión forman parte de las técnicas llamadas cualitativas, convendrá buscar alguna forma de cuantificación, por ejemplo, puntuar del 1 al 3 las diversas proposiciones según la importancia o urgencia de cada una.

5.8. Paso 8: Reuniones con el resto del personal

La reunión con empleados u operarios no sobrepasará, normalmente, el número de 5-7 para no crear problemas en el trabajo.

Se recomienda que la encuesta se rellene al comienzo de la reunión. Es la ocasión para ir explicándola punto por punto y garantizar su recogida.

Los puntos a tratar y las recomendaciones son los mismos de los pasos anteriores.

5.9. Paso 9: Observación y valoración de reuniones de trabajo

Las reuniones de trabajo son un exponente de la vida de la empresa, por lo que merecen ser auditadas, evaluando los siguientes aspectos:

- Preparación.
- Inicio positivo.
- Puntualidad, duración e interrupciones.
- Seguimiento de la agenda.
- Documentación.
- Confrontación de las asignaciones no realizadas.
- Planes de acción por escrito.
- Reunión estimulante.
- Conclusiones.
- Nivel de participación de los concurrentes.

5.10. Paso 10: Redacción del informe

La relación del informe constará de los siguientes apartados:

- Objetivo del estudio.
- Método utilizado.
- Variables analizadas.
- Resultados obtenidos, tanto de la encuesta como del DAFO y entrevistas, su presentación se hará por niveles: Directivos, Mandos, Empleados y cualquier otro colectivo específico que haya sido estudiado.

Se sugiere seguir el siguiente orden:

- Gráficos.
- Análisis y comentarios por variables.
- Resumen de puntos fuertes y puntos débiles.
- Conclusiones por nivel.
- Gráficos comparativos.
- Conclusiones finales y recomendaciones.
- ANEXO: fotocopia de la encuesta utilizada.

5.11. Paso 11: Plan de difusión del informe

Este punto será consultado con la dirección aprovechando la presentación a la misma del informe terminado.

Se recomienda una última “corrección de estilo” por parte de la dirección, a fin de evitar en el escrito cualquier expresión menos comprensible o que pudiera provocar en los lectores reacciones no deseadas.

5.12. Paso 12: Comunicación a toda la plantilla

Generalmente se sigue el mismo orden indicado en el paso 5.

MARZO 2002	ANÁLISIS DE LA SATISFACCIÓN DEL PERSONAL (ASP)	FICHA 17
1ª EDICIÓN		PÁG. 9 DE 12

Se recomienda cuidar esta presentación y hacerla comprensible e interesante, mediante la utilización de medios audiovisuales.

Convendría que esta información final incluyera ya la promesa de poner en marcha alguna de las mejoras propuestas, indicar que otras se aplazan hasta el próximo ejercicio económico y que las demás se someterán a un estudio más en profundidad.

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN: MODELO DE ENCUESTA

ANÁLISIS DE SITUACIÓN

INDIQUE, POR FAVOR, EL COLECTIVO AL QUE PERTENECE		TÉCNICOS Y ADMIN.	SALA MÁQUINAS	MANTENIM.	PROD. (MAÑANA)	PROD. (TARDE)
		ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
VALORACIONES (Si necesita ampliar los comentarios escriba al dorso)	Muy Deficiente	Bastante Deficiente	Algo Deficiente	Algo Satisf.	Bastante Satisf.	Muy Satisf.
	1. La pertenencia al Grupo nos da prestigio y seguridad	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
	Comentarios:					
	2. El proyecto de empresa es sólido y prometedor	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
	Comentarios:					
	3. El dinamismo y la innovación en la empresa es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
4. El estilo actual de mando es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	
Comentarios:						
5. La información que proporciona la empresa es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	
Comentarios:						

INDIQUE, POR FAVOR, EL COLECTIVO AL QUE PERTENECE		TÉCNICOS Y ADMIN.	SALA MÁQUINAS	MANTENIM.	PROD. (MAÑANA)	PROD. (TARDE)
		ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
VALORACIONES (Si necesita ampliar los comentarios escriba al dorso)	Muy Deficiente	Bastante Deficiente	Algo Deficiente	Algo Satisf.	Bastante Satisf.	Muy Satisf.
6. La comunicación entre departamentos es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
7. Existen canales adecuados para hacerme escuchar por mis jefes	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
8. Las relaciones interpersonales en el trabajo son...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
9. La formación que la empresa proporciona es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
10. La política salarial y de incentivos es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
11. La descripción de mis funciones y responsabilidades es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						

MARZO 2002	ANÁLISIS DE LA SATISFACCIÓN DEL PERSONAL (ASP)	FICHA 17
1ª EDICIÓN		PÁG. 11 DE 12

INDIQUE, POR FAVOR, EL COLECTIVO AL QUE PERTENECE		TÉCNICOS Y ADMIN.	SALA MÁQUINAS	MANTENIM.	PROD. (MAÑANA)	PROD. (TARDE)
		ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
VALORACIONES (Si necesita ampliar los comentarios escriba al dorso)	Muy Deficiente	Bastante Deficiente	Algo Deficiente	Algo Satisf.	Bastante Satisf.	Muy Satisf.
12. La planificación y coordinación del trabajo es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
13. El aprovechamiento de capacidades de las personas es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
14. Las oportunidades que se ofrecen para el propio desarrollo son...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
15. El funcionamiento del sistema de sugerencias es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
16. El funcionamiento de los Grupos de Mejora es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
17. El reconocimiento y los premios por la participación en la mejora continua es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						

INDIQUE, POR FAVOR, EL COLECTIVO AL QUE PERTENECE		TÉCNICOS Y ADMIN.	SALA MÁQUINAS	MANTENIM.	PROD. (MAÑANA)	PROD. (TARDE)
		ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
VALORACIONES (Si necesita ampliar los comentarios escriba al dorso)	Muy Deficiente	Bastante Deficiente	Algo Deficiente	Algo Satisf.	Bastante Satisf.	Muy Satisf.
18. Las condiciones físicas y la limpieza de su puesto de trabajo son	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
19. Los medios de los que dispone para su trabajos son	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
20. La seguridad e higiene en su puesto de trabajo son...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						
21. Su grado general de satisfacción en la empresa es...	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Comentarios:						

Las cuestiones 18, 19 y 20 serán sustituidas, en el cuestionario de Directivos y Mandos, por temas relacionados con la gestión y delegación.

■ 1. ¿QUÉ ES?

Es un método estadístico de evaluar el impacto en la respuesta de un proceso debido a modificaciones realizadas en las variables del proceso.

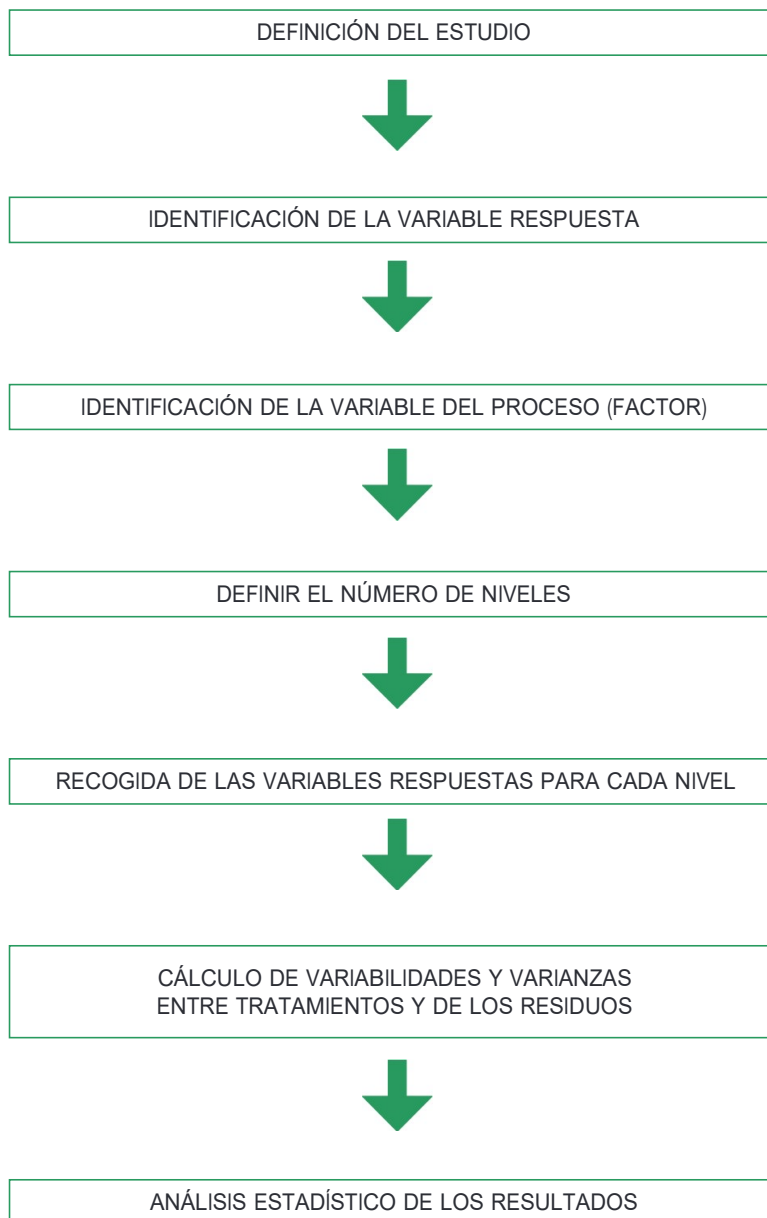
■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- ANOVA representa las siglas en inglés de ANALYSIS OF VARIANCE. En castellano se suele utilizar ADEVA.
- Es similar al análisis de regresión en cuanto a que estudia la relación entre una variable respuesta y una o más variables independientes. La diferencia principal es que las variables independientes son categóricas, no continuas, y además, no se presupone ningún tipo de relación entre ambas (no se buscan coeficientes).
- Este método está basado en fundamentos estadísticos de cierta complejidad.
- Es muy recomendable el uso de programas informáticos para su ejecución debido al gran número de operaciones matemáticas y el uso de tablas de datos (FISHER). Sólo en el ámbito pedagógico se justifica la ausencia de dichos programas.
- En este cuadernillo sólo se analizará ANOVA PARA UN SOLO FACTOR.
- El análisis de la varianza fue inventado por Fisher en 1925 con el objetivo de descomponer un experimento en componentes independientes que puedan asignarse a causas distintas.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Variable de proceso*: característica del proceso que puede ser variada y que puede tener efecto en la variable respuesta.
- *Variable de respuesta*: característica que refleja alguna parámetro de calidad del proceso o del elemento y que puede ser medida.
- *Factores*: variables del proceso.
- *Niveles o tratamientos*: son las distintas elecciones que se determinan para cada factor.
- *Experimento*: cada ensayo encaminado a conseguir una variable respuesta para un factor y un nivel escogido.
- *Nivel de significancia o significación*: representa el nivel de probabilidad crítico a partir del cual niveles de probabilidad inferiores se consideran despreciables. En estadística, para contraste de hipótesis, se suele considerar 0.05. Es lo mismo que decir una probabilidad del 95% de que algo ocurra.

■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO



■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Definición del estudio

A raíz de la variabilidad de un proceso/producto, queremos conocer si un determinado tratamiento o nivel es significativamente distinto del resto.

Debemos pues acotar el objeto del estudio identificando claramente la variable respuesta y del proceso (estamos tratando el caso de un solo factor).

■ 5.2. Identificación de la variable respuesta

La medida realizada sobre las mismas piezas por distintos operarios (reproductividad), el diámetro de unos taladros realizados en máquinas distintas, el rendimiento de un proceso químico en el que utilizamos catalizadores distintos, la duración de una alfombrillas en las que utilizamos un tiempo producto distinto, son posibles variables respuestas dentro de un estudio de análisis de la varianza.

■ 5.3. Identificación de la variable del proceso

Los operarios que realizan las mediciones, el material del útil de taladrar, la cantidad de catalizador, el tiempo de polimerización de las alfombrillas son posibles variables del proceso que nosotros podemos elegir y alterar.

■ 5.4. Definir el número de niveles o tratamientos

En función de una variable de proceso escogida nosotros podemos utilizar distintos niveles o tratamientos. Dos operarios de la línea, tres materiales distintos del útil de taladrar, cuatro catalizadores distintos, tres tiempos de polimerización.

Éstos deben ser escogidos en función de condicionantes como es el coste de cada experimento, la duración, las posibilidades técnicas, etc.

■ 5.5. Recogida de las variables respuesta

Los experimentos deben ser realizados aleatoriamente. Es decir, no se pueden realizar todas las repeticiones de cada factor o tratamiento seguidos y continuar con el siguiente factor, así hasta completar el número de ensayos establecido.

- La aleatorización de los ensayos es fundamental pues:
 - Previene la existencia de sesgos.
 - Evita la dependencia entre observaciones.
 - Confirma la validez de los procedimientos más comunes.

5.6. Cálculo de variabilidades y varianzas entre tratamientos y de los residuos

- *Variabilidad dentro de los tratamientos o residual:* variabilidad que podemos esperar dentro de la población correspondiente a un tratamiento determinado y que es debida exclusivamente al error experimental. (En el caso del cálculo de la influencia de cada operario en una medición, sería la variabilidad de los resultados de todos los operarios.)
- *Variabilidad entre tratamientos:* es la discrepancia que observamos entre las muestras de cada tratamiento, representadas por sus valores medios.

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS
ENTRE TRATAMIENTOS	k-1	$S_t = \sum_t^k n_t (\bar{x}_t - \bar{x})$	$s_t^2 = S_t / (k-1)$
RESIDUAL (Dentro de los tratamientos)	N-k	$S_r = \sum_t^k \sum_i^{n_t} (x_{ti} - \bar{x}_t)$	$s_r^2 = S_r / (N-k)$
TOTAL	N-1	$S = \sum_t^k \sum_i^{n_t} (x_{ti})^2$	

k, número de tratamientos.

N, número total de experimentos.

n_t , número de experimentos en el tratamiento t.

\bar{x} , valor medio de todos los resultados.

\bar{x}_t , valor medio del tratamiento t.

x_{ti} , valor de la variable en el experimento i correspondiente al tratamiento t.

i, número de orden de una variable dentro de un tratamiento.

5.7. Análisis estadístico de los resultados

Parece claro que si la discrepancia encontrada entre los distintos tratamientos s_t^2 es menor o del mismo orden que la que sería razonablemente explicable basándose en la variabilidad dentro de los tratamientos s_r^2 , no tendremos evidencia estadística para asegurar que al menos un tratamiento es distinto.

El análisis consistirá, pues, en comparar la variabilidad entre los distintos tratamientos con la variabilidad entre tratamientos, cuantificando la diferencia si existiera, para permitirnos tomar una decisión.

Para ello comparamos:

$$F_{k-1, N-k} = s_t^2 / s_r^2$$

Con:

$$F_{k-1, N-k} (0.05)$$

(Valor de la función de Fisher para k-1 y N-k grados de libertad con un nivel de significancia de 0.05. Debe disponerse de una tabla de Fisher o de un programa informático como se indicó en el apartado 2.)

Que supone el valor máximo a partir del cual debemos suponer que existe un tratamiento que es distinto a los demás.

NOTA IMPORTANTE: Hemos considerado que los resultados de las variables pertenecen a una distribución normal. La última fase del estudio sería analizar dicha hipótesis a través de un test de normalidad.

6. EJEMPLO

Supongamos que deseamos conocer en un proceso de extrusión de tubos de combustible si alguna de las marcas de poliamida existente en el mercado (variable de proceso o factor) es distinta y ofrece mejores prestaciones respecto a la presión de explosión (variable respuesta) medido en bares.

Para ello escogemos cuatro marcas (o tratamientos) y realizamos cuatro reventones (experimentos) con cada una (para ello se han preparados cuatro tiras de las mismas dimensiones por cada marca). El orden de los reventones es completamente aleatorio.

POLIAMIDA 1	POLIAMIDA 2	POLIAMIDA 3	POLIAMIDA 4
18.95	10.06	10.92	9.3
12.62	7.19	13.28	21.2
11.94	7.03	14.52	16.11
14.42	14.66	12.51	21.41

La tabla anterior indica el resultado de cada experimento para cada marca de poliamida escogida.

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS
ENTRE TRATAMIENTOS	$k-1=3$	$S_t = \sum_t n_t (\bar{x}_t - \bar{x}) = 111.6$	$s_t^2 = S_t / (k-1) = 37.2$
RESIDUAL (Dentro de los tratamientos)	$N-k=12$	$S_r = \sum_t \sum_i (x_{ti} - \bar{x}_t) = 172$	$s_r^2 = S_r / (N-k) = 14.3$
TOTAL	$N-1=15$	$S = \sum_t \sum_i (x_{ti})^2 = 283.6$	

$$F_{k-1, N-k} = s_t^2 / s_r^2 = F_{3, 12} = 37.2/14.3 = 2.60$$

Con:

$$F_{k-1, N-k} (0.05) = F_{3, 12} (0.05) = 2.179$$

Como $2.60 > 2.179$, no hay evidencia estadística para asegurar que todas las marcas de poliamida sean iguales.

MARZO 2002	AUDITORÍA DE PROCESOS (INTERNA)	FICHA 19
1ª EDICIÓN		PÁG. 1 DE 9

■ 1. ¿QUÉ ES?

La Auditorías del Proceso es el enlace entre la Auditoría de Sistema y la de Producto, que nos da información acerca de la capacidad de los procesos de fabricación de productos y realización de servicios. Como resultado se obtiene un dictamen de la capacidad de calidad del Proceso y en consecuencia de los productos en él fabricados.

El objetivo final de la herramienta, es el aseguramiento de los Procesos a través de la mejora continua.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La característica principal de la auditoría es su carácter preventivo. Más que solucionar fallos (en los productos o servicios objeto del proceso), su función es mucho más ambiciosa: evitar que éstos se produzcan.

Otras características destacables son:

- Sistemática.
- Independencia.
- Evaluación continua.

Componentes esenciales que se consideran en la Auditoría son, entre otros:

- Descripción del proceso.
- Instrucciones de trabajo y control.
- Planes de inspección.
- Dirección y mejora del proceso.
- Cualificación del personal.
- Medios de trabajo e instalaciones.
- Manipulación y transporte de materiales.
- Análisis de fallos y medidas correctoras.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS Y CONCEPTOS BÁSICOS

■ 3.1. Función

Las Auditorías del Proceso sirven para el dictamen de la capacidad de la calidad. Deberán conducir a procesos capaces y controlados, robustos frente a las magnitudes perturbadoras.

- *Prevención*: La prevención implica el reconocimiento, la presentación y la implantación de las medidas para evitar la aparición de defectos por primera vez.
- *Corrección*: La corrección implica el análisis de las deficiencias conocidas y la implantación de medidas para eliminar y evitar una nueva aparición del defecto o fallo.

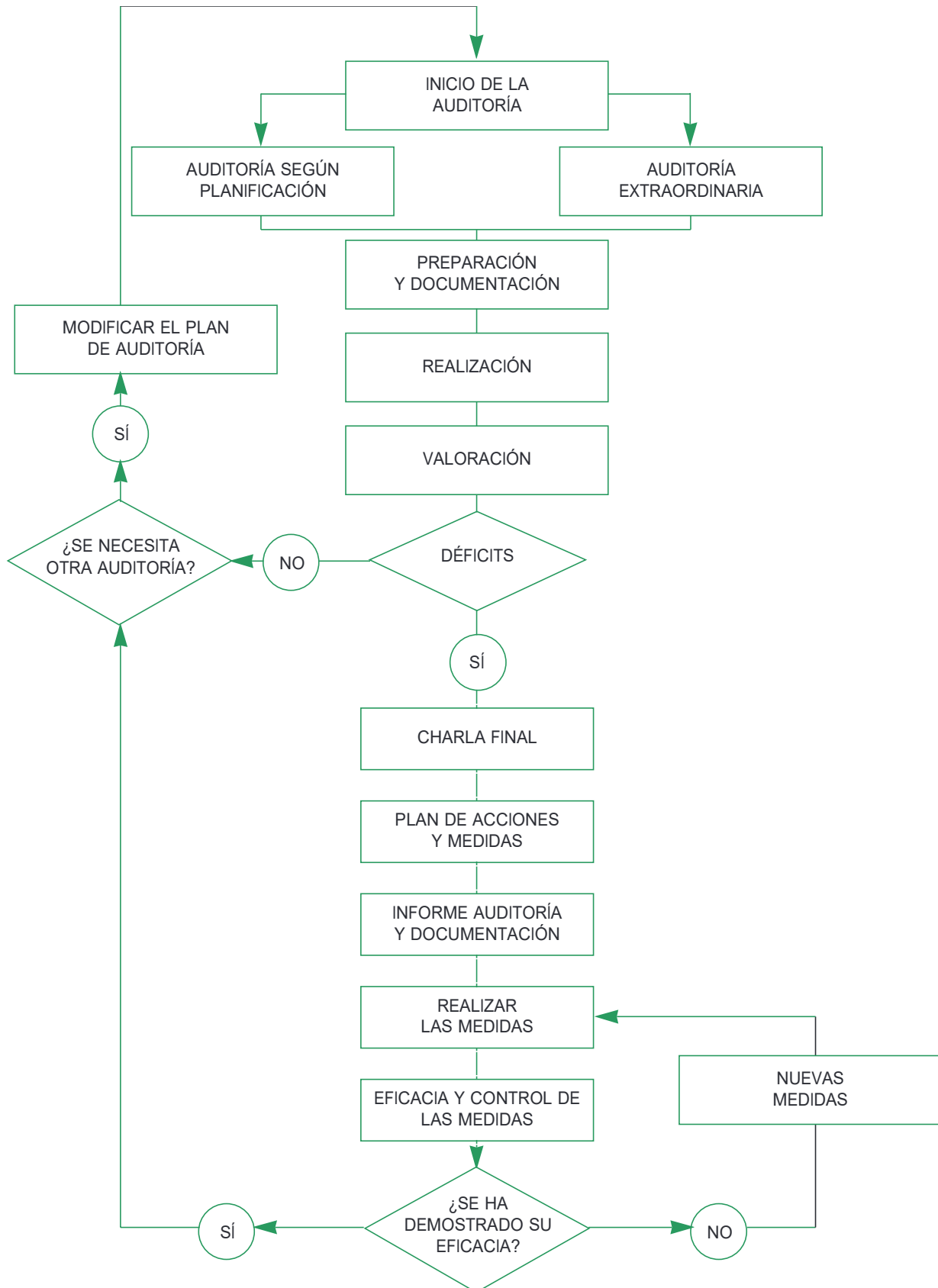
- *Proceso de mejora continua (P.M.C):* A los efectos de P.M.C. las mejoras de detalle sirven para la optimización de todo el sistema. Las medidas de la Auditorías del Proceso, llevadas a la práctica, mejoran el proceso y lo convierten en más capaz y robusto.

■ 3.2. Valoración de la GC (Gestión de la Calidad)

Las Auditorías del Proceso sirven a la dirección de la empresa para sacar conclusiones sobre la eficacia de determinadas partes de las áreas del sistema GC.

- *Auditorías del Proceso Programadas*
 - *Orientación al sistema:* Las Auditorías del Proceso se realizan según un plan de auditorías como parte integrante del sistema GC de una empresa.
 - *Orientación al proyecto:* Las Auditorías del Proceso se realizan con la debida antelación y en etapas definidas del proyecto durante los procesos de desarrollo y planificación con el fin de descubrir las deficiencias e implantar las medidas apropiadas.
- *Auditorías del Proceso, adicionales a las programadas*
 - *Orientación al suceso/problema:* En los procesos problemáticos se recurre a las Auditorías del Proceso en cada una de las fases del proyecto para la eliminación de los defectos o bien, para comprobar que se han tenido suficientemente en cuenta las características críticas del proceso.

4. DIAGRAMA DE FLUJO



■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Responsabilidad

- *Unidad funcional que realiza la auditoría*
 - Selección de los auditores con la experiencia profesional y calificación idónea.
 - Establecimiento del plan de Auditorías del Proceso.
- *Auditor*
 - Puesta en práctica de una Auditoría del Proceso según el plan de auditoría o bien orientada al caso concreto.
 - Mantenimiento de su calificación.
 - Conocimiento de las normas y reglamentaciones actuales.
 - Conocimientos profesionales de los auditores.
 - Conocimiento del proceso.
- *Unidad funcional auditada*
 - Disponibilidad de todas las informaciones necesarias.
 - Incorporación de los responsables del proceso.
 - Disponibilidad del personal técnico competente.
 - Definición de las medidas correctoras.
 - Implantación de las medidas correctoras.
 - Verificación de la eficacia de las medidas correctoras.

■ 5.2. Preparación de la auditoría

El primer paso de la preparación de la auditoría es la delimitación del proceso.

El auditor tiene la competencia de delimitar el proceso a auditar, sin embargo, es recomendable acordarlo con las unidades organizativas y los responsables del proceso.

La descripción del proceso resulta de la documentación del proceso, disponible como:

- Instrucciones de trabajo e instrucciones para las pruebas.
- Instrucciones del proceso.
- Planes de trabajo y de control.

Otras fuentes de información pueden ser:

Normas, especificaciones, objetivos (por ej. PPM), instrucciones de procedimientos, AMFE, catálogo de defectos, manual de puesta en marcha, fichas de control de la calidad, resultados de auditorías, plan de acción de la última auditoría, consultas al personal, planes del proyecto, consultas y encuestas a los clientes, aseveraciones sobre la calidad del servicio, calidad del servicio posventa.

Estos trabajos previos son la base esencial para la elaboración del catálogo de preguntas.

MARZO 2002	AUDITORÍA DE PROCESOS (INTERNA)	FICHA 19
1ª EDICIÓN		PÁG. 5 DE 9

5.3. Catálogo de preguntas específicas de la auditoría del proceso

Con los resultados de estos trabajos previos, el auditor (equipo de auditores) compone el catálogo de preguntas específicas del proceso.

Dicho catálogo se deberá entregar a los auditados con la antelación suficiente y, en caso necesario, se les explicará.

5.4. Realización de la auditoría

CONVERSACIÓN A TÍTULO DE INTRODUCCIÓN

Antes del inicio de la primera auditoría es conveniente celebrar una reunión a título de introducción. La duración y el contenido de dicha reunión se determinará según convenga.

En el marco de esta reunión introductoria se deberían presentar en primer lugar los participantes en la auditoría.

Se deberá tratar de nuevo el objeto y motivo de la auditoría con el fin de que todos los participantes dispongan del mismo nivel de información y se identifiquen mejor con la auditoría. Para garantizar un desarrollo sin problemas de la auditoría se deberían aclarar el desarrollo de la auditoría (delimitación del proceso, catálogo de preguntas, esquema de valoración, etc.) y las condiciones generales (responsabilidades, realización *in situ*).

DESARROLLO DE LA AUDITORÍA

La auditoría se realiza con un catálogo de preguntas previamente elaborado. Se pueden trabajar las preguntas según su numeración o de forma caótica.

El modo de obtención de información, por ejemplo, mediante preguntas abiertas (por qué, cuándo, quién, etc.) y las demás técnicas de entrevista forman parte de la base de la formación de los auditores y no se seguirán tratando aquí.

Para el análisis detallado de los procedimientos, se ha demostrado la eficacia de ir al fondo del asunto con la pregunta repetida varias veces “por qué...”. Durante la auditoría pueden plantearse otras preguntas que se deberán incluir en el catálogo de preguntas.

Se recomienda registrar durante la auditoría tanto las averiguaciones positivas como las negativas.

Para evitar conflictos en la conversación final, el objetivo deberá ser aclarar *in situ* todas las dudas y procurar un consenso.

En el caso de aparición de defectos graves se deberán implantar de inmediato las medidas pertinentes junto con los responsables del proceso.

5.5. Valoración de las preguntas y calificación del proceso

Mediante la valoración cuantitativa de las Auditorías del Proceso planificadas se tiene la posibilidad de comparar los resultados de la Auditoría y ver las diferencias frente a Auditorías anteriores.

El resultado de cada pregunta se valora en cuanto a sus correspondientes exigencias y su cumplimiento. La adjudicación de la puntuación es consecuencia del cumplimiento demostrable de las exigencias (véase tabla ejemplo).

EJEMPLO TABLA DE VALORACIÓN, BASE VDA 6.3

NÚMERO DE PUNTOS	VALORACIÓN
10	Cumplimiento <i>total</i> de las exigencias
8	Cumplimiento de la <i>mayor parte</i> de las exigencias; existen pequeñas desviaciones*
6	Cumplimiento <i>parcial</i> de las exigencias,
4	Cumplimiento <i>insatisfactorio</i> de las exigencias, desviaciones importantes
0	No se han cumplido las exigencias

* Como MAYOR PARTE se entiende que se han demostrado de forma efectiva más de aproximadamente 3/4 de todos los requisitos y que no existe ningún riesgo especial.

Nota: para la calificación global del proceso ver por ejemplo, el sistema valoración de VDA 6.3.

5.6. Conversación final

La conversación final en un círculo de participantes determinado es el resumen de todos los puntos (negativos/positivos) aparecidos durante la auditoría.

El auditor deberá explicar el resultado de la auditoría y señalar dónde existen defectos o potenciales de mejora. Los resultados se argumentarán y eventualmente se fijarán por escrito las medidas inmediatas.

Todas las deficiencias y todos los defectos señalados por el auditor se deberán recoger en un plan de medidas y traducirse en actividades. Se determinará el plazo de ejecución del plan de medidas. Existe la posibilidad de ayuda (asesoramiento) por parte del auditor definiendo para ello conjuntamente el procedimiento sistemático a seguir.

Ya en la conversación final podrá determinar el auditor la necesidad y la planificación de una auditoría posterior y fijarla por escrito en el informe final, independientemente de las deficiencias.

MARZO 2002	AUDITORÍA DE PROCESOS (INTERNA)	FICHA 19
1ª EDICIÓN		PÁG. 7 DE 9

5.7. Medidas correctoras y control de la eficacia

MEDIDAS CORRECTORAS

En el caso de deficiencias y fallos se deberá elaborar un plan de medidas en un plazo convenido.

El plan de medidas comprende todas las actividades con indicación de las responsabilidades y las fechas de conclusión apropiadas para eliminar las deficiencias y los fallos en el proceso.

Medidas correctoras, pueden ser también Auditorías del Proceso en las áreas anteriores o posteriores fuera de la delimitación del proceso.

El plan de medidas también puede incluir una auditoría posterior en el marco de la verificación de las medidas implantadas.

CONTROL DE LA EFICACIA

Se deberá seguir de cerca la eficacia de las medidas acordadas, por ejemplo, mediante:

- Verificación por muestras tomadas al azar.
- Auditoría del producto.
- Auditoría del proceso (procesos parciales).
- Análisis de la capacidad de las máquinas y del proceso.
- Estado intermedio / grado de elaboración.

Para la elaboración y el seguimiento de las medidas relacionadas con la eficacia será competente el responsable del proceso.

Si no se puede demostrar suficientemente la eficacia de las medidas, se deberá revisar el plan de medidas y, en caso necesario, acordar una auditoría posterior.

5.8. Informe de la auditoría y documentación

La documentación abarca todos los documentos desde la preparación de la auditoría hasta el informe de la auditoría final y el plan de medidas.

El informe de la auditoría incluye:

- Responsable del proceso/participantes en la auditoría.
- Descripción del proceso por ej. Instalación, sistema funcional, procedimiento, servicio.
- Motivo de la auditoría.
- Exposición del resultado (¿hasta qué punto se puede fabricar/realizar el producto/servicio según los requisitos de la calidad?).
- Criterios de conformidad / no conformidad con argumentación.
- Plazo de conclusión del plan de medidas.
- En caso necesario, las primeras medidas con plazos (aproximados) y responsabilidades.

- Esquema de valoración (calificación y matriz de valoración).
- En caso de desviaciones, referencia a los documentos en vigor (evtl. con ejemplos).

Es importante que en el informe de la auditoría se describan exclusivamente los puntos que se trataron durante la auditoría y en la conversación final (en el caso de que el informe se redacte después).

Las comprobaciones especialmente positivas también se harán constar en el informe de la auditoría.

MARZO 2002	AUDITORÍA DE PROCESOS (INTERNA)	FICHA 19
1ª EDICIÓN		PÁG. 9 DE 9

6. EJEMPLOS: LISTA DE CHEQUEO

ITI industries	AUDITORÍA DE PROCESO			Fecha
	Lista de chequeo			Página 1 de 8
PROCESO:		ÁMBITO	AUDITORÍA Nº	
POS	CUESTIONES	IO	VALOR	OBSERVACIONES

6.1. PERSONAL / CUALIFICACIÓN				
6.1.1.	¿Al personal responsable de los productos/ procesos se le ha transferido el control de la calidad de los mismos?			
6.1.1.1.	¿Participan o tienen posibilidad de participar los colaboradores en programas de mejora? (KVP2, Círculos de Calidad, propuestas de mejora...)			
6.1.1.2.	¿Los colaboradores están informados e instruidos sobre su responsabilidad de Autocontrol?			
6.1.1.3.	¿Están documentadas estas responsabilidades/ instrucciones?			
6.1.1.4.	¿Se le han dado más responsabilidades al colaborador, si esto fuera necesario? (registros, anotaciones en ficha de vehículo...)			
6.1.1.5.	¿Se ha establecido la autorización para detener el proceso productivo en cualquiera de sus fases?			
6.1.1.6.	¿Los colaboradores están informados sobre cómo y cuándo deben iniciar una acción de paro y actúan consecuentemente?			
6.1.2.	¿Se ha transferido la responsabilidad de la instalación, medios y útiles de producción al personal adscrito a ese puesto?			
6.1.2.1.	¿Están regulados por escrito y se puede comprobar quiénes son los responsables para orden y limpieza? (P. ej. personas responsables en cada turno de la limpieza de instalaciones, mesas de trabajo, herramientas, etc.)			
6.1.2.2.	¿Está documentado y regulado por escrito quiénes son las responsables para los trabajos de reparación y mantenimiento?			
6.1.2.3.	¿Se ha establecido quiénes son los responsables para el cumplimiento de las instrucciones de disposición y almacenaje de piezas y están documentando? En caso de incumplimiento, ¿los colaboradores de producción hacen la reclamación correspondiente?			

■ 1. ¿QUÉ ES?

La Auditoría del Producto es una evaluación completa e independiente de la eficacia del aseguramiento de la calidad del producto, determinando la concordancia entre las características obtenidas y las especificadas. Se realiza en productos preparados para su envío al cliente.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La Auditoría del Producto nos va a permitir detectar si se han producido desviaciones con respecto a los requisitos y especificaciones definidas, lo que redundará en un mayor aseguramiento de la calidad.

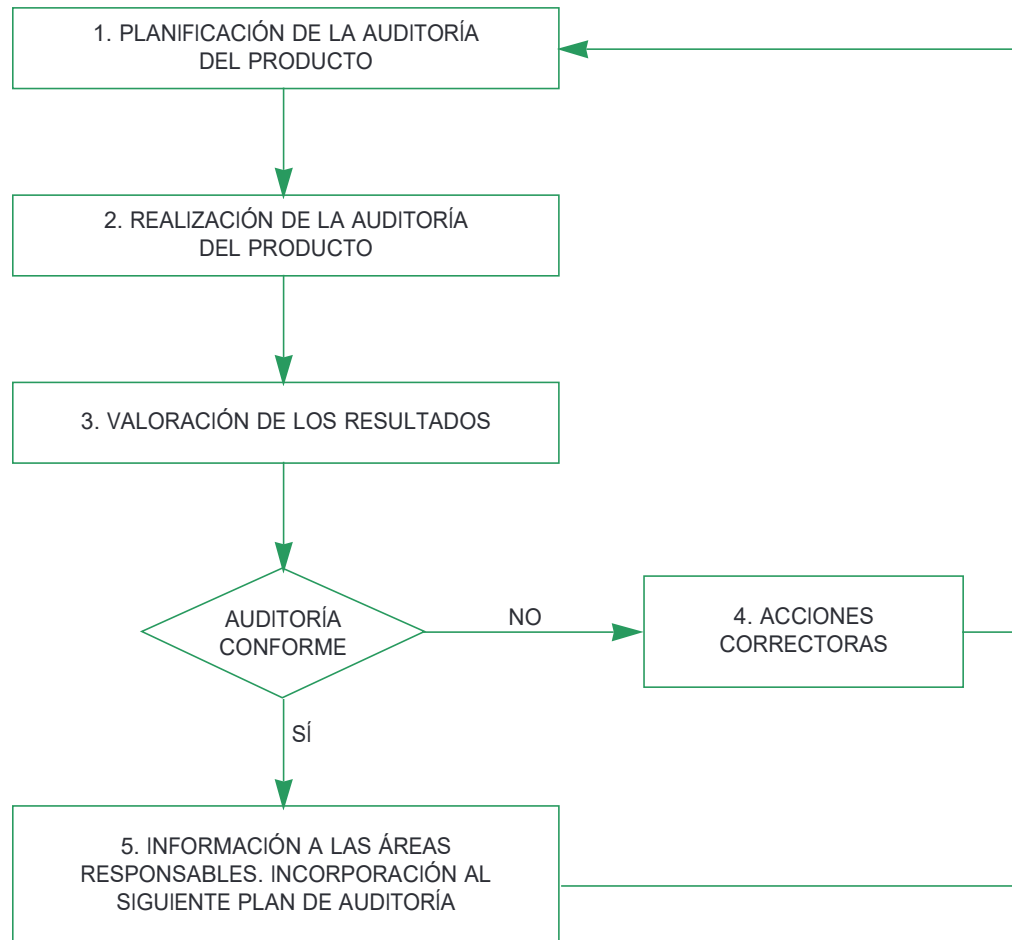
Las auditorías del producto nos permiten:

- Estimar el nivel de calidad entregado a nuestros clientes.
- Evaluar la efectividad de las decisiones de inspección.
- Obtener la información necesaria para mejorar el nivel de calidad del producto.
- Permitir mejorar la efectividad de la inspección.
- Poseer un aseguramiento adicional más allá de la mera inspección.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Auditoría*: Proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias de la auditoría y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar la extensión en que se cumplen los criterios de la auditoría.
- *Producto*: Resultado de un proceso.
- *Proceso*: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.
- *Defecto*: Incumplimiento de un requisito o especificado asociado a un uso previsto.

■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO



■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Paso 1: Planificación de la Auditoría del Producto

Para planificar adecuadamente la Auditoría del Producto deberán definirse correctamente los siguientes apartados:

- *Programa de auditoría:* En este documento deben definirse los productos que van a ser auditados, así como el objeto de la auditoría, documentos de referencia necesarios, fecha o frecuencia de la auditoría, auditores, distribución del informe final, responsabilidad de las acciones correctoras y aquellos apartados que se consideren de interés.
- *Plan de auditoría:* En el cual se harán constar todas las características a comprobar (cuantitativas o cualitativas; aspecto, funcionalidad, duración, material) junto con los métodos de ensayo y los equipos de inspección, medición y ensayo que deberán utilizarse en la auditoría. También deberán constar los criterios de selección de los productos (tamaño de muestra aleatoria) y de dichas características pudiendo depender del volumen del lote, requerimientos del cliente, etc.

- *Documentos de referencia:* Para la correcta realización de la Auditoría del Producto deberán facilitarse a los auditores toda la documentación técnica de referencia posible. Dentro de esta documentación se incluirán planos, especificaciones del cliente, prescripciones legales, requisitos de los métodos de evaluación, etc. De tal forma que puedan evaluarse las desviaciones que presenta el producto con respecto a sus requisitos de calidad.
- *Calificación de los auditores:* Deberán definirse las habilidades y conocimientos que debe poseer el auditor para alcanzar unos resultados óptimos en la realización de la Auditoría del Producto. Es muy importante definir correctamente este punto pues la auditoría depende en gran parte de ello.

5.2. Paso 2: Realización de la Auditoría del Producto

Una vez disponemos de una correcta planificación de la Auditoría del Producto sólo cabe llevarla a cabo. Para ello nos centraremos en tres apartados:

- *Lugar de realización:* Normalmente las Auditorías del Producto suelen ser realizadas en las dependencias del fabricante. Sin embargo, también se pueden realizar en las dependencias del cliente o en las del proveedor. Las auditorías las puede realizar el fabricante, el proveedor, el propio cliente o incluso organizaciones externas. Según se realice en un lugar u otro la auditoría podrá situarse en un punto del proceso o en otro. Por lo tanto se puede llevar a cabo:
 - Después de la aceptación final del producto.
 - Después del embalado pero antes de la expedición.
 - Al recibirlo los distribuidores.
 - Al recibirlo el usuario.
 - Resultados en servicio.
- *Desarrollo:* En este apartado se llevará a cabo la Auditoría del Producto tal cual se ha definido en la planificación de la auditoría.
- *Informe (protocolo):* Los resultados obtenidos en la Auditoría del Producto deberán ser documentados. Este documento deberá ser presentado por el auditor.

5.3. Paso 3: Valoración de los resultados

La mayor parte de las auditorías del producto se hacen con la idea de conocer el nivel de salida de la calidad del producto y obtener una clasificación histórica de la calidad, lo cual será fundamental para la mejora continua en la empresa.

Normalmente las auditorías se presentan en forma de ausencia de defectos, fallos u otros factores. En consecuencia ha de optarse por un sistema de varios niveles de gravedad (no es lo mismo un ligero defecto, apenas perceptible, que no afecta a la funcionalidad del producto, que uno que inutilice el producto) de tal forma que se pueda ponderar correctamente la gravedad de los diferentes defectos.

El sistema de valoración puede ser definido por la organización según su criterio, procurando darle la mayor estabilidad posible a efectos comparativos.

5.4. Paso 4: Medidas correctoras

En el caso de ser necesarias, se implantarán medidas correctoras, las cuales deberán ser ajustadas a la gravedad, frecuencia y clase del defecto.

Para implantar unas medidas correctoras adecuadas es imprescindible conocer las causas del defecto.

Las medidas correctoras serán puestas en práctica por los responsables a los que afecte; el auditor no es competente para llevar a cabo dichas acciones. Estas acciones deberán ser debidamente controladas para poder determinar el éxito de las mismas.

5.5. Paso 5: Información a las áreas responsables. Incorporación de los resultados al siguiente plan de auditoría

Una vez realizada la auditoría, y tras ser convenientemente valorada, deberá realizarse, por parte del auditor, un informe final de auditoría en el que constará el producto auditado, la cantidad del mismo, los defectos detectados correctamente clasificados, la ponderación de dichos defectos generando un índice que sirva para un posible análisis comparativo, aquellos puntos que requieran medidas correctoras, etc. Este informe deberá ser distribuido a todas las áreas de responsabilidad implicadas y se concretará con los responsables correspondientes las medidas correctoras a aplicar.

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Una vez realizado el primer paso de la auditoría (planificación de la auditoría) y tras llevarse a cabo la selección de la muestra se realizó una batería de pruebas al producto de la empresa "X". La empresa "X" posee una cadena de fabricación de bolígrafos. La auditoría se realizó en las dependencias de la empresa justo antes de su expedición. Para este ejemplo se ha optado por definir la siguiente clasificación de los defectos y sus correspondientes pesos o valor de deméritos.

TABLA 6.1. CLASIFICACIÓN DE DEFECTOS Y PESO

DEFECTOS DE GRAVEDAD	PESO O VALOR EN DEMÉRITOS
(A) (crítico)	100
(B) (mayor)	50
(C) (menor)	25
(D) (de estilo)	10

Se han encontrado los siguientes defectos y se les ha asignado una gravedad:

MARZO 2002	AUDITORÍA DEL PRODUCTO	FICHA 20
1ª EDICIÓN		PÁG. 5 DE 7

TABLA 6.2. DEFECTOS Y SU GRAVEDAD

<u>DEFECTO</u>	<u>TIPO DE GRAVEDAD</u>
Nº incorrecto de unidades por caja	B
Marcas débiles en la superficie vista	D
Capucha de color inadecuado	C
Punta redonda atascada	A
Escritura no continua	B
Destinta	A

Se auditaron 25 unidades del producto durante una semana obteniéndose como resultado

TABLA 6.3. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA

“X”		AUDITORÍA DEL PRODUCTO			Hoja nº _____ de _____			
					Fecha de prueba:			
Producto: _____		Pedido/Partida _____		Cliente _____		Nº de ident. _____		
Requisitos Teóricos								
Escala de valoración		Aclaración			Dictamen			
n 100 n 50 n 25 n 10		Defecto crítico (A) Defecto Mayor (B) Defecto Menor (C) Defecto de Estilo (D)			Precisa una recuperación Retoque imperativo Merece el retoque Sin incidencia visible. Defecto estético			
Orden Prueba	Características a ensayar	Método	Puntos de defecto n					Observaciones
			100	50	25	10	G	
1	Nº incorrecto de unidades por caja	Visual	-	0	-	-	B	
2	Marcas débiles en la superficie vista	Visual	-	-	-	1	D	
3	Capucha de color erróneo	Visual	-	-	1	-	C	
4	Punta redonda atascada	Mecánica	0	-	-	-	A	
5	Escritura no continua	Mecánica	-	2	-	-	B	
6	Bolígrafo destinta	Visual	1	-	-	-	A	

Medidas de subsanamiento _____

Realizada la inspección _____ Nombre/Firma _____ Fecha _____

Realizada la reparación _____ Nombre/Firma _____ Fecha _____

Para realizar la valoración existen varios métodos, en este ejemplo se muestran dos de ellos:

- *Numero promedio de demérito*: Obtenemos el total de deméritos multiplicando el número de defectos hallado por el peso del defecto.

$$[(0 \times 50) + (1 \times 10) + (1 \times 25) + (0 \times 100) + (2 \times 50) + (1 \times 100)] = 235$$

Una vez obtenido el total de deméritos deberemos dividir la cantidad por el número de unidades auditadas (de tal forma que el índice no se ve influenciado por éste). Puesto que las unidades fueron 25 sería:

$$235 : 25 = 9,4$$

- *Nivel de la No Calidad (NCC)*: Tomando la siguiente parte de la tabla como referencia obtenemos también un índice que consta de cuatro cifras.

100	50	25	10
-	0	-	-
-	-	-	1
-	-	1	-
0	-	-	-
-	2	-	-
1	-	-	-

Para sacar este índice sumaremos todos los defectos del mismo nivel (por columnas), en este caso el índice obtenido sería:

$$1211$$

Por cuestiones formales en caso de que los valores de una de las columnas sumasen más de nueve, se aplicará el valor de nueve.

MARZO 2002	AUDITORÍAS INTERNAS DE SISTEMAS	FICHA 21
1ª EDICIÓN		PÁG. 1 DE 13

■ 1. ¿QUÉ ES?

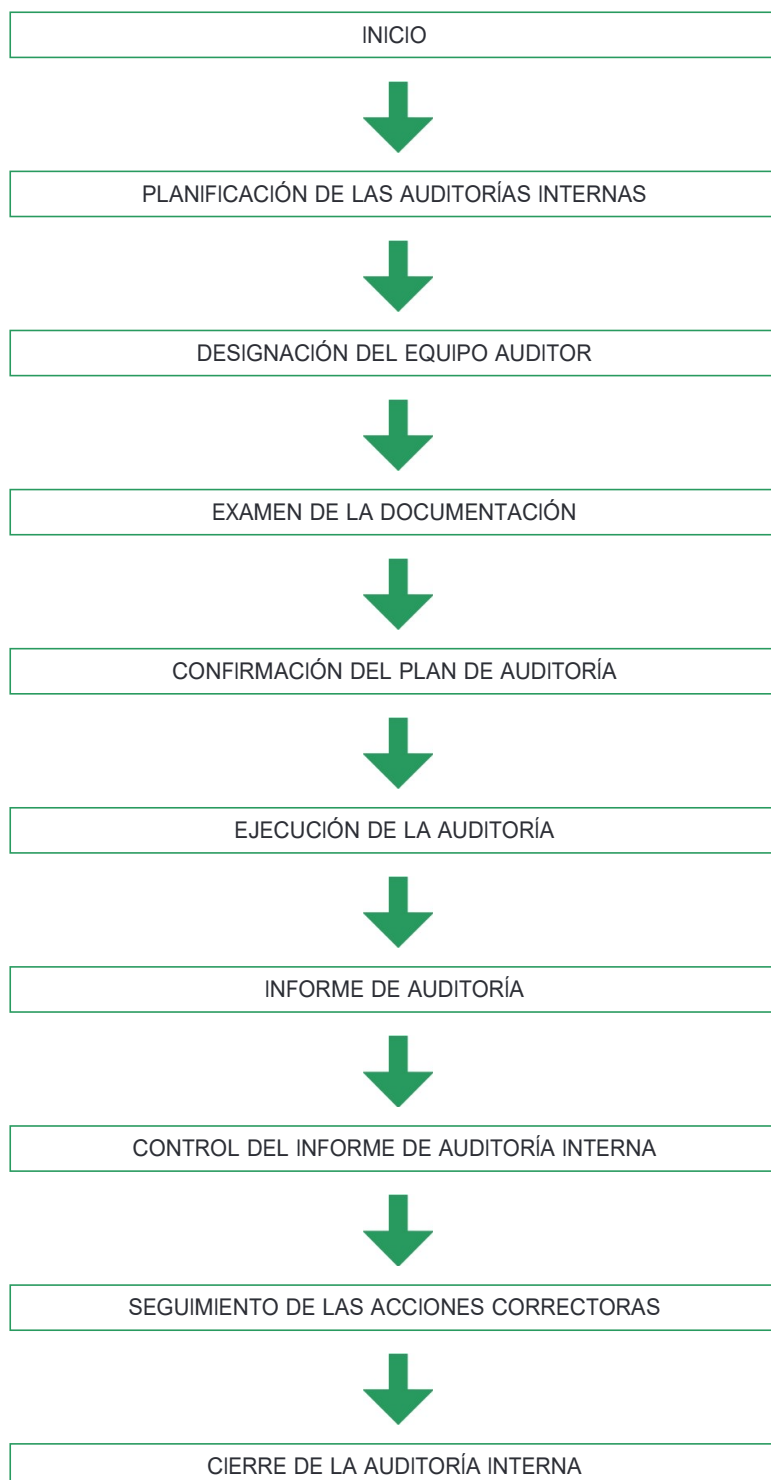
Es un examen metódico e independiente para determinar si las actividades y los resultados relativos a la calidad satisfacen las disposiciones previamente establecidas en los documentos de referencias, para comprobar que estas disposiciones se llevan realmente a cabo y que son adecuadas para alcanzar los objetivos previstos.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Es una herramienta de control, de obligado cumplimiento en la totalidad de las normas y referencias del sector del automóvil. Los resultados son elementos de la revisión por la dirección y también base de partida para la mejora continua.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Equipo auditor/ Auditores:* Personas autorizadas para realizar esa auditoría en particular.
- *Auditor Jefe:* Es el responsable último de todas las fases de la auditoría. Debe tener capacidad de gestión, experiencia en auditorías de sistemas de calidad, autoridad para tomar decisiones, así como la confianza de la dirección de la empresa.
- *Auditor Técnico:* Persona cualificada para evaluar la parte del sistema de calidad que custodia los procesos técnicos. P.ej. control de un proceso de tratamientos superficiales, calibración de equipos químicos.
- *Experto:* Persona que no necesariamente es un buen conocedor de la parte del sistema a evaluar, pero que su formación y experiencia, permite al equipo auditor, valorar la idoneidad técnica de un proceso técnico complejo y su aplicación práctica.
- *Auditado:* Organización determinada previamente, objeto de la auditoría, puede ser la totalidad de la organización o parcial.
- *No conformidad menor:* Una conformidad se podrá considerar como *menor* cuando se detecte la falta de cumplimiento de los requisitos especificados, a menos que de la misma se pueda derivar el envío de un producto no conforme al cliente. Se tratan de incumplimientos puntuales o poco representativos y no relacionados con una misma función del sistema.
- *No conformidad mayor:* Una conformidad se podrá considerar como *mayor* cuando se detecte la falta de cumplimiento de los requisitos especificados que podrían provocar el envío de un producto no conforme al cliente.
También, se clasifican mayores, cuando se tratan de incumplimientos repetitivos, representativos o relacionados con una misma función del sistema.
- *Observación:* Se considera una observación cuando lo detectado no pueda catalogarse claramente como una no conformidad, o una tendencia que en el futuro pueda convertirse en una no conformidad.

4. DIAGRAMA DE FLUJO

MARZO 2002	AUDITORÍAS INTERNAS DE SISTEMAS	FICHA 21
1ª EDICIÓN		PÁG. 3 DE 13

■ 5. REALIZACIÓN

Las auditorías internas de sistemas deberán ser planificadas en función de la importancia de las actividades que se realizan y del cumplimiento de los objetivos de la empresa.

Si bien la planificación de las auditorías de sistemas permitirá a los auditores y auditados repartir los tiempos de ejecución de las mismas a lo largo del tiempo, se podrá cambiar la planificación en los casos necesarios, como por ejemplo: cambios importantes en el organigrama, desviación en la consecución de objetivos, cambios en los procesos...

El tiempo previsto para las auditorías internas deberá ser el suficiente para que el equipo auditor tenga la posibilidad de analizar una muestra representativa de las actividades a auditar.

■ 5.1. Paso 1: Designación del equipo auditor

El responsable de la planificación de las auditorías internas designará un auditor jefe. Éste último acordará las fechas de la celebración de la auditoría con el responsable de la organización objeto de la auditoría. Acto seguido, procederá a la designación del equipo auditor.

El auditor jefe, confeccionará y comunicará al auditado, el plan provisional de auditoría. Las posibles futuras modificaciones de este plan provisional se irán comunicando al auditado.

Cuando ninguno de los miembros del equipo auditor aporte una experiencia técnica demostrada sobre las actividades a auditar, se deberá incorporar un experto en los productos y procesos objetos de la auditoría.

■ 5.2. Paso 2: Examen de la documentación

El equipo auditor examinará la documentación del Sistema de Calidad presentada por el auditado. La documentación deberá cubrir por lo menos la totalidad de las actividades relacionadas con el alcance de la auditoría interna.

Si después de un primer examen de la documentación algún miembro del equipo auditor decidiera que necesita más información, lo comunicará al auditor jefe con el fin de solicitar al auditado dicha documentación.

Cuando se audite la función diseño, el auditor deberá recopilar los requisitos legales y reglamentarios que deben cumplir los productos diseñados por el auditado, independientemente que hayan sido especificados o no por él mismo.

El resultado del examen de la documentación se comunicará al auditado, identificando en el informe el n° de edición de los documentos utilizados.

En el caso de que en el examen de la documentación se detecten elementos no comprensibles, erróneos *a priori*, o no documentados, se requerirá del auditado la resolución de las mismas y la presentación de las evidencias antes de la realización de la auditoría *in situ*.

5.3. Paso 3: Confirmación del plan de la auditoría

Una vez examinada la documentación y resueltos los elementos documentales objetos de resolución, se confirmarán las fechas de la auditoría y el plan de auditoría.

El plan de auditoría interna incluirá las fechas. El programa incluirá horarios de trabajo, reunión inicial y final, el alcance de la misma y la composición del equipo auditor.

5.4. Paso 4: Ejecución de la auditoría

ASIGNACIÓN DE TAREAS DEL EQUIPO AUDITOR

Previo a la reunión inicial, el auditor jefe acordará con los demás miembros del equipo auditor, los elementos del sistema de calidad que auditaran cada uno de ellos. El auditor jefe es el responsable de esta designación.

REUNIÓN INICIAL

La auditoría comienza con una reunión inicial, dirigida por el auditor jefe, entre los representantes del auditado. Esta reunión tiene como objeto:

- Confirmar el alcance de la auditoría.
- Confirmar el programa de auditoría y cómo éste se llevará a cabo.
- Asignación, por parte del auditado, de representantes que acompañen al grupo auditor durante el transcurso de la misma.

DESARROLLO DE LA AUDITORÍA

Cada auditor investigará el área de actividad y elementos del sistema que le haya sido asignado.

El auditor técnico tendrá siempre asignados los elementos del sistema de calidad de carácter técnico.

Se examinarán y evaluarán solamente evidencias objetivas basadas en documentos, observaciones, medidas o ensayos que puedan ser verificados, evitando las impresiones subjetivas y la obtención de conclusiones sin base a informaciones no contrastadas.

La técnica de investigación será de dos tipos:

- *Horizontal*: consiste en la evaluación de cada uno de los elementos específicos del sistema.
- *Vertical*: consiste en la selección aleatoria de un procedimiento o instrucción, verificando cada aspecto del mismo: personal, proceso, instalaciones, maquinaria y equipos, condiciones ambientales, procedimientos asociados y instrucciones asociadas

Los auditores podrán utilizar un cuestionario preparado en relación con las actividades a auditar. No obstante, la investigación no tiene porqué limitarse a las preguntas concretas ahí incluidas.

En caso de encontrar una posible no conformidad, los auditores deberán investigar más profundamente hasta confirmarla o desestimarla.

MARZO 2002	AUDITORÍAS INTERNAS DE SISTEMAS	FICHA 21
1ª EDICIÓN		PÁG. 5 DE 13

En la medida de lo posible, los auditores deberán consensuar la no conformidad detectada con el representante del auditado, al momento de la detección.

Si se detecta más de una no conformidad menor respecto a un mismo elemento del sistema, el auditor investigará con más profundidad con el objetivo de decidir si la acumulación de no conformidades menores representa una no conformidad mayor.

Después de que los auditores hayan terminado el trabajo asignado, mantendrán una reunión privada en la que cada uno de ellos expondrá sus conclusiones. En ella se realizará un resumen de los resultados de la auditoría, y se documentarán y clasificarán las no conformidades y observaciones detectadas.

Cada no conformidad redactada, deberá hacer referencia al documento aplicable, punto de la norma, producto o proceso y lugar de detección si así se cree oportuno.

REUNIÓN FINAL

La auditoría concluye con una reunión final del equipo auditor con los representantes de los auditados. Su propósito es presentar los resultados de la auditoría.

En ella el auditor jefe tratará al menos los siguientes aspectos:

- Se informará del carácter puntual (temporal y circunstancial) de la auditoría realizada, y de que, por tanto, las auditorías pueden no poner de manifiesto no conformidades que, sin embargo, pueden aparecer en posteriores auditorías, por lo que no se exime a los responsables de las áreas auditadas de la supervisión continua de su sistema.
- Se expondrán los resultados de la auditoría: descripción de las observaciones y de las no conformidades documentadas, clasificadas en mayores y menores.
- Se presentarán las conclusiones del equipo auditor relativas a la capacidad del sistema de calidad para satisfacer los objetivos establecidos.
- Se solicitará al auditado la propuesta de una acción correctora a cada una de las no conformidades detectadas.
- Se contestará cualquier pregunta que pueda surgir.

5.5. Paso 5: Informe de auditoría

El informe de auditoría deberá ser claro y preciso, ya que podrá ser estudiado por personas no presentes en la auditoría.

Deberá reflejar fielmente el objeto, alcance y desarrollo de la auditoría, identificación del equipo auditor y personal auditado, resumen de las actuaciones, documentos de referencia, descripción de las no conformidades y la valoración del sistema de calidad de la empresa (apreciación del equipo auditor sobre el grado de conformidad del auditado con la norma aplicable y documentación relacionada, y la capacidad del sistema para alcanzar los objetivos definidos).

Deberá ir fechado y firmado por los auditores y por el representante de los auditados.

5.6. Paso 6: Control del informe de auditoría interna de sistema

Todos los informes de auditorías internas serán revisados por el responsable de la planificación de las auditorías, previamente a su distribución.

Dicha revisión constituye uno de los medios con los que el responsable de la planificación de las auditorías supervisa el trabajo realizado por sus auditores.

5.7. Paso 7: Seguimiento de las Observaciones, de las No Conformidades y de las Acciones Correctoras correspondientes

Al recibir la respuesta de acción correctora por parte del auditado, el auditor jefe comprobará que la acción propuesta y el plazo de implantación es adecuado para la resolución de la no conformidad u observación.

En el caso de que no sea adecuada, se solicitará al auditado una nueva respuesta de acción correctora.

COMPROBACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN DE LA ACCIÓN CORRECTORA

El auditor jefe gestionará su comprobación. La comprobación podrá realizarse de la siguientes maneras:

- Examen de las modificaciones documentales aportadas por el auditado.
- Examen de los registros de la calidad aportados por el auditado.
- Comprobación *in situ*.

Podrán planificarse auditorías extraordinarias cuando sea necesario comprobar la implantación de no conformidades mayores.

RESULTADO DE LA COMPROBACIÓN

Si la acción correctora resuelve completamente la no conformidad u observación, se procederá a su cierre.

En el caso de que la resolución fuera parcial, se podrá cerrar la no conformidad u observación y abrir otra no conformidad u observación correspondiente a la parte no resuelta.

6. EJEMPLO DE INFORME DE AUDITORÍA

6.1. Equipo auditor

- Fechas de la auditoría.
- Auditor Jefe y Técnico.
- Auditores Técnicos.

6.2. Objeto de la auditoría

Evaluación del mantenimiento del sistema de calidad, según la Norma ISO 9001 (1994).

MARZO 2002	AUDITORÍAS INTERNAS DE SISTEMAS	FICHA 21
1ª EDICIÓN		PÁG. 7 DE 13

6.3. Alcance

El diseño, el desarrollo y la fabricación de ...

Los siguientes elementos del sistema de la calidad son contemplados en la norma ISO-9001: 4.1, 4.2, 4.4, 4.6, 4.9, 4.10, 4.13, 4.14 y 4.15.

6.4. Documentación aplicable

- Sistema de Certificación de empresa.
- Norma ISO-9001.
- Manual de Calidad, procedimientos e instrucciones.
- Normas y especificaciones técnicas aplicables.

6.5. Informe de auditoría

Aplica el procedimiento de gestión de auditorías internas: ref: ...

6.6. Actuaciones

Participantes: _____ Cargos: _____

6.7. Resumen de actuaciones

FECHA AUDITORES	HORA	ÁREA AUDITADA	PERSONAS AUDITADAS	ELEMENTOS AUDITADOS
20/04/99 El equipo Auditor	08:30 - 09:00	Reunión inicial	Srs - ... - ...	
Sr. L... P...	09:00 - 13:30	Oficina técnica	Srs ... - ... - ...	4.4 Control Diseño
Sr. V... I...	09:00 - 13:30	Calidad	Srs. ... - ... - ...	4.2 Planificación de la Calidad
Sr. L... P...	15:30 - 17:00	Compras	Srs - ... - ...	
Sr. L... P...	17:00 - 19:00	RRHH	Srs - ... - ...	4.17 Formación
Sr. V... I...	15:30 - 19:00	Fundición	Srs - ... - ...	4.9 -4.10 Procesos Inspección
20/04/99 Sr. L... P...	08:30 - 11:00	Taller 2	Srs - ... - ...	
Sr. V... I...	08:30 - 13:30	Calidad	Srs - ... - ...	4.13 - 4.14 Productos NC Acciones Correctoras y P.
Sr. L.... P...	11:00 - 13:30	Taller 3	Srs. ... - ... - ...	4.9 - 4.10 Procesos Inspección
El equipo Auditor	15:30 - 17:00	Preparación Reunión final		
El equipo Auditor	17:00 - 18:00	Reunión final	Srs. ... - ... - ...	

**TABLA RECAPITULATIVA DE LAS NO CONFORMIDADES POR CAPÍTULOS DE LA NORMA
ISO 9001-94**

GESTIÓN FORMAL DEL SISTEMA	NC MAYORES	NC MENORES	OBSERVACIONES
4.1. Responsabilidades de la Dirección			
4.2. Sistema de Calidad			
4.5. Control de los Documentos y los Datos			
4.14. Acciones Correctoras y Preventivas			
4.17. Auditorías Internas			

ACTIVIDADES OPERACIONALES	NC MAYORES	NC MENORES	OBSERVACIONES
Comercialización			
4.3. Revisión del Contrato			
Diseño			
4.4. Control del Diseño			
Producción			
4.9. Control de los Procesos			
4.10. Inspección y Ensayo			
4.12. Estado de Inspección y Ensayo			
4.13. Control de los Productos No Conformes			
4.7. Productos suministrados por el cliente			
Distribución Asistencia Posventa			
4.15. Manipulación, almacén, embalaje, conservación y entrega			
4.19. Asistencia Posventa			

ACTIVIDADES DE SOPORTE	NC MAYORES	NC MENORES	OBSERVACIONES
Calidad de los recursos			
4.6. Compras			
4.11. Control de los equipos de inspección, medición y ensayo			
4.18. Formación			
Calidad de los datos			
4.8. Identificación y Trazabilidad			
4.16. Control de los Registros de la Calidad			
4.20. Técnicas estadísticas			

Total no conformidades MAYORES:

Total no conformidades MENORES:

Total observaciones:

■ 7. PUNTOS FUERTES Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

■ 7.1. Puntos fuertes

En general, los departamentos auditados disponen y aplican correctamente los documentados que regulan las actividades evaluadas.

Destacan como puntos fuertes: _____

■ 7.2. Oportunidades de mejora

Se ha detectado un potencial de mejora respecto a: _____

■ 8. REUNIÓN FINAL

- La empresa se quedará con la copia de este informe.
- Las no conformidades han sido aclaradas y entendidas.
- Teniendo en cuenta las no conformidades constatadas e indicadas en este informe, la empresa se compromete a presentar al auditor jefe en 30 días hábiles a partir de la fecha, un informe donde indique en cada no conformidad la acción correctora propuesta y la fecha prevista de su resolución.
- El equipo auditor informa que esta auditoría se ha realizado en base a un muestreo y, por tanto, pueden existir otras no conformidades no identificadas en este informe.
- Las no conformidades se refieren a incumplimientos de los requisitos del sistema de calidad de la Norma ISO aplicable, o de los documentos del sistema de calidad de la empresa.

Los auditores

La Dirección

MARZO 2002	AUDITORÍAS INTERNAS DE SISTEMAS	FICHA 21
1ª EDICIÓN		PÁG. 11 DE 13

9. EJEMPLO DE INFORME DE NO CONFORMIDADES / CLASIFICACIÓN

Referencia de la auditoría interna.		
Descripción de la no conformidad n°:		
<p>El sistema de distribución de los documentos externos redactados en idiomas extranjeros deberá asegurar la traducción de los mismos en caso de que el destinatario no tenga la capacidad requerida para desarrollar su trabajo. Párrafo de la norma 10.2 VDA 6.1</p> <p>Procedimiento ref: ed: fecha: Categoría de la no conformidad: Observación</p>		
Nombre y firma del auditado:		Nombre y firma del auditor:
Acción correctora propuesta:		
Fecha prevista de resolución:		Nombre y firma del responsable:
Verificación de la implantación de la acción correctora:		
Satisfactoria	No satisfactoria	Seguimiento próxima auditoría
Fecha:		Nombre y firma del auditor:

Referencia de la auditoría interna.		
Descripción de la no conformidad n°:		
<p>Tras las modificaciones del producto XXX, no se realizaron los ensayos de durabilidad previstos en el plan de control ref: YYY, aprobado por el cliente.</p> <p>Párrafo de la norma: 4.2.3 QS 9000</p> <p>Procedimiento ref: ed: fecha: Categoría de la no conformidad: Mayor</p>		
Nombre y firma del auditado:		Nombre y firma del auditor:
Acción correctora propuesta:		
Fecha prevista de resolución:		Nombre y firma del responsable:
Verificación de la implantación de la acción correctora:		
Satisfactoria	No satisfactoria	Seguimiento próxima auditoría
Fecha:		Nombre y firma del auditor:

MARZO 2002	AUDITORÍAS INTERNAS DE SISTEMAS	FICHA 21
1ª EDICIÓN		PÁG. 13 DE 13

Referencia de la auditoría interna.		
Descripción de la no conformidad n°:		
<p>Taller N° 2, Máquina ... No se registra siempre el resultado de control de la temperatura tal como lo exige la IT XXX. P.ej.: los pasados días .../.../..., .../... y .../.../...</p> <p>Párrafo de la norma: 4.9 ISO 9001 + plan de control YYY</p> <p>Procedimiento ref: ed: fecha: Categoría de la no conformidad: Menor</p>		
Nombre y firma del auditado:		
Acción correctora propuesta:		
Fecha prevista de resolución:	Nombre y firma del responsable:	
Verificación de la implantación de la acción correctora:		
Satisfactoria	No satisfactoria	Seguimiento próxima auditoría
Fecha:	Nombre y firma del auditor:	

MARZO 2002	MATRIZ AUTO-CALIDAD MAQ	FICHA 22
1ª EDICIÓN		PÁG. 1 DE 4

■ 1. ¿QUÉ ES?

La Matriz Auto-Calidad (MAQ) es una herramienta de calidad que permite visualizar en tiempo real los defectos allí donde son creados. La MAQ permite conocer qué puestos de un proceso productivo trabajan en auto-control. La MAQ tiene un principio básico: “Sólo dejo pasar a la operación siguiente productos conformes”.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

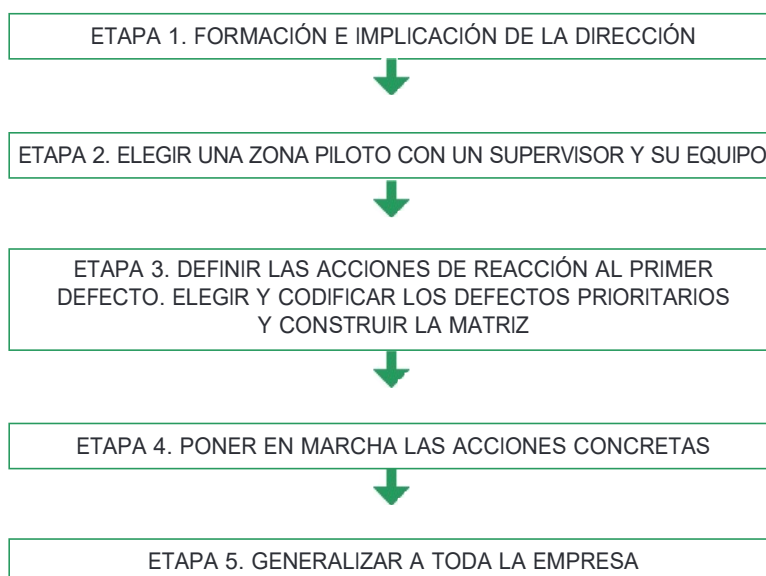
Para respetar el principio básico de la auto-calidad, existen 5 medios:

- Reglas de trabajo simples: Instrucciones de puesto e instrucciones en caso de no-conformidad.
- Aplicación de un auto-control sistemático.
- Sistemas anti-error (Poka-Yoke) para cada riesgo identificado.
- Máquinas autónomas (equipadas de paro automático en caso de anomalía).
- Máquinas y procesos capaces para reproducir el mismo resultado sin cambios en el tiempo.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Auto-calidad*: Se entiende que un puesto se encuentra en Auto-calidad cuando el mismo sólo deja pasar productos conformes a la etapa siguiente.

■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO PARA IMPLANTAR UNA MAQ



■ 5. REALIZACIÓN

A continuación se presenta un posible esquema de cómo se puede llevar a la práctica la implantación de la MAQ.

■ 5.1. Paso 1: Formación e implicación de la Dirección

La Dirección constituye un equipo de proyecto pluridisciplinar, pilotado por un supervisor y con recursos permanentes de los servicios Calidad, Compras, Métodos y operarios, y con contribuidores del servicio de R&D.

La Dirección define un comité de seguimiento de la puesta en marcha de la MAQ.

La Dirección verifica que todos los servicios han comprendido que la MAQ es una prioridad para la Empresa.

A resaltar:

- Es posible un aumento del nivel de PPM's en el arranque de la MAQ, los cuales vuelven a los niveles normales gracias a la acción personal de cada operario en su puesto.
- Los compradores juegan un papel fundamental como representantes de los proveedores ante la producción.

■ 5.2. Paso 2: Elegir una zona piloto con un supervisor y su equipo

Elegir una línea piloto con un supervisor y un equipo motivado.

Recoger todas las piezas no conformes y caracterizar los defectos.

Definir el modo de trabajo: ¿Dónde se recogen las piezas no conformes? ¿Cómo? ¿Por quién?

El equipo piloto elegido debe ser formado en los útiles de análisis y de resolución de problemas (PDCA).

La Dirección debe asegurarse que el equipo y los operadores de la línea han comprendido el interés de la MAQ.

■ 5.3. Paso 3: Definición de acciones de reacción al primer defecto

Listar con los operadores los defectos conocidos, focalizándose sobre los defectos detectados en el cliente y los provocados por ellos.

Debe priorizarse el tratamiento de los defectos provocados por los operadores, lo cual permitirá una más fácil resolución de los problemas y una mayor motivación del equipo.

MARZO 2002	MATRIZ AUTO-CALIDAD MAQ	FICHA 22
1ª EDICIÓN		PÁG. 3 DE 4

Deben definirse las acciones a poner en marcha ante la aparición del primer defecto.

Crear para cada puesto de la zona escogida, una hoja de recogida de datos (ver Anexo) donde se encontrarán definidos los defectos conocidos y las acciones a poner en marcha ante la aparición de cada defecto. Ante un defecto no conocido, el puesto es parado de inmediato y el supervisor informado para la toma de acciones.

Comenzar a completar la MAQ (ver Anexo) posicionándola de manera que pueda ser consultada por las funciones soporte. Al final de cada equipo, trasladar los resultados de la hoja de recogida de datos a la MAQ.

5.4. Paso 4: Poner en marcha las acciones concretas

Recoger las piezas defectuosas y examinar a diario, con todos los miembros del equipo, los problemas encontrados.

Poner en marcha acciones concretas:

- Acciones correctivas inmediatas cada vez que sea posible.
- Grupos de trabajo formalizados utilizando metodologías de resolución de problemas para eliminar el defecto.

Realizar un seguimiento de los indicadores:

- Nº de puestos en Auto-calidad.
- Número de PPM's.

5.5 Paso 5: Generalizar a toda la empresa

El equipo presenta a la Dirección los resultados obtenidos de la implantación de la 1ª MAQ.

Sobre estos resultados, la Dirección prepara un Plan de implantación de la MAQ en el resto de la empresa.

La generalización al resto de la empresa debe ser siempre respetando todas las etapas seguidas en la implantación de la 1ª MAQ.

6. ANEXOS

FORMATO DE MAQ

	PROVEEDOR EXTERNO	PROVEEDOR INTERNO	PUESTO 1	PUESTO 2	PUESTO 3	PUESTO 4
PUESTO 1						
PUESTO 2						
PUESTO 3						
PUESTO 4						
CLIENTE						

FORMATO DE HOJA DE RECOGIDA DE DATOS

Nº	DEFINICIÓN DEL DEFECTO	PUESTO CREADOR DEL DEFECTO	TURNO	NÚMERO DE DEFECTOS	TOTAL	REACCIÓN PRIMER NIVEL	REACCIÓN 2º NIVEL
				1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

1. CONCEPTO DE CAPACIDAD DE MÁQUINAS Y PROCESOS

Los procesos industriales son una combinación de cinco cosas imperfectas, también llamadas las cinco M: Materia prima, Maquinaria, Mano de obra, Medio ambiente y Método, luego cualquier producto que sea fabricado por ellas, también será imperfecto, es decir, que no pueden conseguir que éstos sean exactamente iguales, sino que existen ligeras variaciones entre ellos. Es lo que se denomina la variabilidad de los procesos y es algo que siempre va a estar presente en cualquier fabricación.

Es imprescindible conocer y cuantificar la variabilidad de los procesos para poder compararla con las tolerancias y comprobar si seremos “capaces” de satisfacer las exigencias especificadas. Para cuantificar el grado de cumplimiento de un proceso con las tolerancias, se ha creado un índice llamado “capacidad de calidad de los procesos”, o simplemente, “capacidad de proceso”, de forma abreviada, “ C_p ”, con el que se compara la tolerancia con la variabilidad, en forma de cociente:

$$C_p = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{\text{Variabilidad del proceso}}$$

Obviamente, este cociente debe ser mayor que uno para que el proceso sea apto. Pero un proceso puede ser apto y, en cambio, estar trabajando muy descentrado respecto del valor nominal, con lo que se pueden estar produciendo productos fuera de tolerancias. Para solucionar este inconveniente, se ha creado otro índice, llamado abreviadamente “ C_{pk} ”, que tiene en cuenta, además, el descentramiento con el que se está trabajando:

$$C_{pk} = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Valor medio del proceso}}{\text{La mitad de la variabilidad del proceso}}$$

$$C_{pk} = \frac{\text{Valor medio del proceso} - \text{Tolerancia inferior}}{\text{La mitad de la variabilidad del proceso}}$$

Como medida del C_{pk} se toma el valor más pequeño de los dos, que, naturalmente, también tendrá que ser superior a uno si se quiere que el proceso, no sólo sea capaz, sino que también trabaje adecuadamente centrado.

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La finalidad de los estudios de capacidad es averiguar la variabilidad que produce un proceso sobre alguna característica (llamada variable) del producto que fabrica. Por ejemplo, si se está fabricando un eje y se quiere controlar su diámetro, mediante el estudio de capacidad pretenderemos calcular la variabilidad de los diámetros obtenidos en el proceso. La variabilidad se medía en Estadística mediante la desviación típica, luego en realidad lo que vamos a calcular es la desviación típica de los diámetros producidos y, de esa forma, veremos el comportamiento del proceso (o máquina), a base de medir piezas fabricadas por dicho proceso y decidir, finalmente, si éste es apto para cumplir unas tolerancias determinadas.

Como puede comprenderse, el conocimiento de las posibilidades de nuestro propio proceso (o máquina), a través de métodos estadísticos, es de gran importancia a la hora de fijar los precios de los productos, de aceptar nuevos contratos o de utilizar eficazmente los procesos en función de las exigencias de nuestros clientes.

Los estudios de capacidad, tanto para máquinas como para procesos, deberán realizarse siempre que:

- Se trate de un nuevo proceso o máquina.
- Se haya modificado en sus partes esenciales.
- Se haya desmontado y emplazado en otro lugar.
- Se haya reajustado para fabricar otra pieza.
- Los gráficos de control por variables muestren inestabilidad en el proceso o existan cambios en los límites de control.

Lógicamente, estos estudios deben realizarse sobre variables (características de algún producto fabricado) que merezcan la pena controlarlas, bien por su criticidad, o por la importancia que tienen para el cliente, etc.

El estudio de capacidad suele ser previo al establecimiento de los gráficos de control.

Existen 2 tipos básicos de estudios de capacidad:

- *Capacidad de máquina:* Información que interesa sólo a la propia empresa (y no al cliente) porque le permite asignar, en cada caso, la máquina adecuada a las exigencias de cada pedido. Dado que la variabilidad de una máquina depende de factores externos (p. ej. de la frecuencia con la que se cambia el utillaje), se ha definido un índice teórico, llamado capacidad intrínseca de máquina, con el que se pretende conocer la variación propia sólo de una máquina, en períodos cortos de tiempo para que no aparezcan factores externos a la máquina, tales como desgastes, holguras, fatigas, etc.
- *Capacidad de proceso:* Información que pretende conocer la variación del proceso, entendiendo como tal, el conjunto de máquinas que fabrican una misma pieza, o bien, cuando se trata de una sola máquina, en períodos largos de tiempo para recoger todos los factores de variabilidad. Es la variabilidad real que le llega al cliente, por lo que parece lógico que este dato sea solicitado por el cliente a su suministrador, especialmente el C_{pk} .

Por tanto, el caso de estudio de la capacidad de máquina se referirá a períodos cortos de tiempo en una misma máquina, y el caso de la capacidad de proceso a períodos largos de tiempo en una misma máquina o bien a un conjunto de máquinas que fabrican la misma pieza.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Índice de capacidad de máquina, C_m :* También llamado índice de capacidad intrínseca de la máquina, representado por C_m , mide la variación propia de la máquina s_m , en períodos cortos de tiempo y la compara con la tolerancia, para ello se toman muchas pequeñas

muestras y se calcula la variación dentro de cada muestra, para luego estimar la s_m . Si la distribución es aproximadamente Normal, este índice vale:

$$C_m = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6 \sigma_m}$$

- *Índice de centrado y capacidad de máquina, C_{mk}* : Es similar al C_m , pero teniendo en cuenta, además, el grado de descentramiento de la variable respecto del valor nominal u objetivo. Si la distribución es aproximadamente Normal, este índice vale:

$$C_{mk} = Z_{\text{mínimo}}$$

siendo:

$$Z_{\text{superior}} = \frac{T_s - \bar{X}}{3 \sigma_m} \quad \text{y} \quad Z_{\text{inferior}} = \frac{\bar{X} - T_i}{3 \sigma_m}$$

Debiéndose elegir como valor de C_{mk} el valor más pequeño encontrado entre Z_{superior} y Z_{inferior} .

- *Índice de capacidad de proceso, C_p* : Representado por C_p , mide la variación propia del proceso s_p , en condiciones normales de fabricación, y la compara con la tolerancia, para ello se toma una muestra grande y se calcula su desviación típica con $n - 1$, para estimar la s_m . Si la distribución es aproximadamente Normal, este índice vale:

$$C_m = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6 \sigma_p}$$

- *Índice de centrado y capacidad de proceso, C_{pk}* : Es similar al C_p pero teniendo en cuenta, además, el grado de descentramiento de la variable respecto del valor nominal u objetivo. Si la distribución es aproximadamente Normal, este índice vale:

$$C_{pk} = Z_{\text{mínimo}}$$

siendo:

$$Z_{\text{superior}} = \frac{T_s - \bar{X}}{3 \sigma_p} \quad \text{y} \quad Z_{\text{inferior}} = \frac{\bar{X} - T_i}{3 \sigma_p}$$

Debiéndose elegir como valor de C_{pk} el valor más pequeño encontrado entre Z_{superior} y Z_{inferior} .

- *Valor nominal*: También denominado valor objetivo, es aquel valor ideal que nos gustaría que se produjera siempre, y que suele corresponder con la mitad del intervalo de tolerancia, cuando ésta es bilateral.

■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO

Pasos a dar comunes al estudio de capacidad de máquina y proceso:

- Definir las características del producto (las variables) que vamos a estudiar. Tener en cuenta si las especificaciones son bilaterales o unilaterales.
- Definir el número de datos (mediciones), se aconseja no menos de 100, aunque puede estar entre 60 y 150.
- Asegurarse de que todas las materias primas han sido comprobadas con respecto a sus dimensiones previas, su maquinabilidad, estado superficial, etc. para evitar que influyan en los resultados.
- Seleccionar el sistema de medición, asegurándose de que esté en perfecto estado de calibración, que posea un grado de apreciación, como mínimo, igual o superior a 1/10 de la tolerancia, y que su error sea inferior a 1/20 de la tolerancia. Por ejemplo, si se va a fabricar un eje que tiene un diámetro de 20 mm. con una tolerancia de $\pm 0,05$ mm., elegiríamos un micrómetro que apreciara como mínimo 1/10 de la tolerancia, es decir, el intervalo de tolerancia es de 0,1 mm., por lo que su apreciación será igual o superior a $0,1/10 = 0,01$ mm. El error deberá ser igual o inferior a $0,1/20 = 0,005$ mm.
- Asegurarse de que la máquina esté puesta a punto, bien preparada, ajustada al valor nominal y correctamente dotada de personal experto, adecuadamente formado y entrenado.
- Establecer las condiciones de fabricación de tal manera que se pueda producir el número suficiente de piezas para completar el estudio, sin interrupciones ni ajustes.

■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Capacidad de máquina

Es una técnica por medio de la cual se valora la variación que en un momento dado procede de la combinación: máquina, método, material, operario y entorno. Dado que el período de tiempo de valoración es corto, este estudio pondrá más en evidencia la variación procedente de la máquina y el método que del resto de los factores. Por este motivo, a veces se le denomina estudio potencial de capacidad o capacidad intrínseca de la máquina.

Para realizar el estudio será necesario evitar el efecto de desgastes, fatigas, etc., por lo que se referirá a períodos cortos de tiempo en una misma máquina. Por lo tanto, se tomarán muchas pequeñas muestras, de forma que en cada muestra se hayan tomado las piezas fabricadas consecutivamente.

El tamaño de cada muestra n y al número de muestras k a utilizar, se aconseja que cumplan las siguientes relaciones:

$$60 \leq nk \leq 150$$

y

$$5 \leq n \leq 30$$

dándose como orientación:

n = 5 para producciones de 10 piezas/hora
n = 10 para producciones de 60 piezas/hora
n = 30 para producciones de 600 piezas/hora

No obstante, si no fuera posible disponer de suficientes datos, con valores de $n = 5$ y $k = 12$, se pueden realizar estudios de capacidad en la práctica, llegándose en casos especiales incluso a un número de piezas de 30 pero, naturalmente, con la consiguiente pérdida de precisión en la estimación de la variabilidad.

Establecer las condiciones de fabricación de tal manera que se pueda producir el número suficiente de piezas consecutivas para completar el estudio, sin interrupciones ni ajustes.

En el caso de un sistema de fijaciones múltiples, se considerará cada útil o herramienta como una máquina separada. Es decir, si una misma máquina tuviera cuatro cabezales, cada cabezal sería considerado como una máquina sola.

Para evitar que se introduzcan factores extraños, los n elementos de cada muestra serán tomados de n piezas fabricadas correlativamente. De esta forma, aseguraremos que la variabilidad sea debida exclusivamente a la máquina, sin que intervengan causas asignables como el desgaste, desajustes, fatiga, etc.

Las mediciones individuales deberán ser anotadas en forma de secuencia a partir del momento en que el funcionamiento sea ininterrumpido. En el caso de producirse alguna anomalía (por ejemplo, el fallo de una herramienta) es preferible volver a iniciar el estudio.

Identificar cada pieza por su secuencia de fabricación. Retener todas las piezas hasta haber completado el estudio.

Observar el proceso para detectar cualquier anomalía. Si existiera, anotarla juntamente con el número de pieza afectada.

En el caso de efectuar una medición que sea muy diferente al resto, se examinará detenidamente para observar alguna posible causa especial que la hubiera producido. Únicamente en el caso de que quede demostrado que la causa de la anomalía NO es debida a la máquina, podremos descartar aquella medición.

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE MÁQUINA

Existen 2 métodos para determinar la capacidad: el método gráfico y el de cálculo. Este último procedimiento es el más sencillo pero requiere que los datos sigan aproximadamente una distribución Normal, mientras que el método gráfico se puede utilizar para cualquier tipo de distribución. Por lo tanto, si no se hace un estudio de Normalidad de la distribución de los datos, éstos se deben representar gráficamente para comprobar el tipo de distribución y poder elegir el método más conveniente.

Es conveniente utilizar el método de cálculo por su sencillez, pero limitándolo a los casos de Normalidad, de ahí la importancia de representar gráficamente los datos antes de iniciar el estudio.

Una vez confeccionado el histograma y visualizado su Normalidad, tendremos que estimar la desviación típica σ de la población.

Existen dos procedimientos para estimar la σ de la población:

- *Estimación de σ mediante las desviaciones típicas muestrales s* : Supongamos que se han tomado k muestras de tamaño n cada una. En cada muestra se calcula la desviación típica s . La estimación de la desviación típica σ de la población puede hacerse por:

$$\bar{s} = E(s) \approx \sqrt{\frac{n-1}{n}} \cdot \sigma$$

despejando σ , queda:

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{n}{n-1}} \times \bar{s}$$

siendo \bar{s} la media de las desviaciones típicas muestrales, es decir:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^k s_i}{k} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_k}{k}$$

- *Estimación de σ mediante el recorrido muestral R* : Seguimos suponiendo que se han tomado k muestras de tamaño n cada una. Ahora, en cada muestra calculamos el recorrido R . La estimación de la desviación típica σ de la población puede hacerse por:

$$\bar{R} \approx d_2 \sigma$$

despejando σ , queda:

$$\sigma \approx \frac{\bar{R}}{d_2}$$

siendo la \bar{R} media de los recorridos muestrales, es decir:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

y d_2 es un factor que depende del tamaño de muestra n y está tabulado (ver Tabla – V).

Para la estimación de σ mediante R no deben emplearse muestras de tamaño n superior a 11, ya que, en caso contrario, el recorrido R pierde su significación.

ÍNDICE DE CAPACIDAD DE MÁQUINA

Los dos índices C_m y el C_{mk} tienen la siguiente expresión para el caso de unos límites de tolerancia dobles:

$$C_m = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6 \sigma}$$

$$C_{mk} = Z_{\text{mínimo}}$$

siendo:

$$Z_{\text{superior}} = \frac{T_s - \bar{\bar{X}}}{3 \sigma} \quad \text{y} \quad Z_{\text{inferior}} = \frac{\bar{\bar{X}} - T_i}{3 \sigma}$$

Debiéndose elegir como valor de C_{mk} el valor más pequeño encontrado entre Z_{superior} y Z_{inferior} .

$\bar{\bar{X}}$ = la media de las medias muestrales.

σ = la desviación típica de la población (generalmente estimada).

$Z_{\text{mínimo}}$ = el valor más pequeño entre el Z superior e inferior.

Una máquina será capaz si ambos índices son iguales o superiores a 1,33, es decir:

$$C_m \geq 1,33 \text{ y } C_{mk} \geq 1,33$$

El hecho de tener que considerar a una máquina capaz cuando ambos índices sean iguales o superiores a 1,33, en vez de haberlo hecho sólo superior a uno, se debe a que la capacidad de máquina mide la variabilidad intrínseca de la máquina en condiciones muy especiales (irreales) de períodos cortos, en los que no influyen los desgastes, fatigas, etc. Por lo tanto, para que una máquina en condiciones reales de funcionamiento (con desgastes, fatigas, etc.) pueda cumplir con las tolerancias, se exige que, como mínimo, en las condiciones especiales en las que se realiza el estudio de capacidad intrínseca, su capacidad sea superior a 1,33. Este número extraño de 1,33 se debe a que, en vez de exigir que el intervalo de tolerancia coincida con $\pm 3\sigma$ (6 σ en total), se le exige que coincida con $\pm 4\sigma$ (8 σ en total), lo que equivale a: $8\sigma/6\sigma = 4/3 = 1,33$.

Cuando se trata de una tolerancia unilateral, sólo se utiliza el índice C_{mk}

5.2. Estudio de capacidad del proceso

Es una técnica por medio de la cual valoramos si la combinación máquina-material-operario-método y entorno pueden producir consistentemente piezas dentro de especificaciones a través del tiempo en que se está ejecutando el proceso.

Este tipo de estudio difiere notablemente del anterior en que se consideran muchas más fuentes de variación, no solamente por su origen sino también por el período de tiempo que abarca.

La información necesaria para efectuar un estudio de capacidad de proceso se puede obtener de dos maneras:

- a) Efectuar un muestreo que sea representativo de todo un período de fabricación.
- b) Recoger los datos procedentes de un gráfico de control para determinar la capacidad del período seguido en el gráfico.

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PROCESO

Lo más habitual es calcular directamente los índices cuando los datos son recogidos por el procedimiento b) arriba indicado.

Cuando se recurre al procedimiento a), se pueden utilizar los métodos de gráfico y de cálculo (además de determinar posteriormente los índices) siguiendo lo indicado en el apartado anterior sobre capacidad de máquina, con las variantes indicadas a continuación.

MÉTODO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE PROCESO (DISTRIBUCIONES NORMALES)

Si se tratara del procedimiento a), en el que se realiza un muestreo representativo de todo un período de fabricación, aquí ya no es necesario tomar muchas pequeñas muestras, como en el caso de la capacidad de máquina, sino una sola muestra de tamaño entre 60 y 150 ($60 \leq n \leq 150$). Para estimar la desviación típica σ de la población, ya no se podrá realizar a través de los recorridos R, sino que habrá que hacerlo a través de la desviación típica muestral, s_n

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{n}{n-1}} \cdot s_n$$

Para valores de $n \geq 100$, la expresión anterior se convierte en:

$$\sigma \approx s_n$$

ÍNDICE DE CAPACIDAD DEL PROCESO

Los dos índices utilizados son los mismos que para la capacidad de máquina, pero varía su denominación y la exigencia del valor numérico a conseguir.

Se denominan C_p y C_{pk} , siendo las fórmulas idénticas. Para una distribución Normal:

$$C_p = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6 \sigma}$$

$$C_{pk} = Z_{\text{mínimo}}$$

siendo:

$$Z_{\text{superior}} = \frac{T_s - \bar{X}}{3 \sigma}$$

y

$$Z_{\text{inferior}} = \frac{\bar{X} - T_i}{3 \sigma}$$

Debiéndose elegir como valor de C_{pk} el valor más pequeño encontrado entre Z_{superior} y Z_{inferior} .

MARZO 2002	CAPACIDAD DE CALIDAD DE MÁQUINAS Y PROCESOS	FICHA 23
1ª EDICIÓN		PÁG. 9 DE 15

\bar{x} = la media de la muestra.

σ = la desviación típica de la población (generalmente estimada).

$Z_{\text{mínimo}}$ = el valor más pequeño entre el Z superior e inferior.

De cualquier forma, el valor mínimo a obtener, para considerar que un Proceso es capaz, es de 1, es decir:

$$C_p \geq 1 \quad \text{y} \quad C_{pk} \geq 1$$

Lógicamente, a nuestros clientes lo que más le interesa es el C_{pk} porque, no sólo mide la capacidad del proceso, sino también el grado de descentramiento que pueda tener y, por lo tanto, nos da una mejor idea de la calidad real obtenida. Es frecuente que los clientes exijan a sus proveedores, de aquellas características del producto consideradas importantes, que les envíen información de los C_{pk} con los que están trabajando.

En cuanto al nivel de exigencia, depende del tipo de producto y característica, pero ya es frecuente que el cliente no se conforme con sólo $C_{pk} \geq 1$, sino que suelen exigir $C_{pk} \geq 1,33$ o incluso $C_{pk} \geq 1,66$ (equivale a exigir $\pm 5\sigma$ en vez de $\pm 3\sigma$ ($10/6 = 5/3 = 1,66$)). Conviene aclarar que se trata de productos muy críticos en los que el nivel de exigencia debe ser elevado.

Conviene recordar que la diferencia básica entre los estudios de capacidad de máquina y proceso, es el tiempo y la manera de recoger las muestras. En el estudio de capacidad de máquina, ésta se calcula utilizando muchas pequeñas muestras, debiéndose tomar las piezas fabricadas consecutivamente dentro de cada muestra, de manera que la variación que se mide es la variación inherente dentro de cada muestra. En el estudio de capacidad de proceso, en cambio, sólo se toma una única muestra grande que sea representativa de la producción real obtenida durante varios días.

Si existiesen tendencias o sesgos en la variable, éstos no son recogidos en la R (ó S) de las muestras, pero sí a través de la capacidad del proceso. Cuanto mayor sea la variabilidad entre muestras mayor será la variabilidad del proceso.

Cuando se trata de una tolerancia unilateral, se actuará igual que en el caso de la capacidad de máquina, es decir, que sólo se utilizará el índice C_{pk}

5.3. Índice de capacidad para distribuciones no normales

En las fórmulas que hemos utilizado para el cálculo de la capacidad

$$C_m = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6 \sigma_m}$$

$$C_p = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6 \sigma_p}$$

El denominador $6\sigma_m$ ó $6\sigma_p$ era el intervalo de variación natural de la máquina o proceso (que deja el 99,73% de todos los datos), cuando estos valores seguían sensiblemente una distribución Normal.

Si la distribución no es Normal, también se puede calcular su índice de capacidad sin más que conocer el intervalo que deja el 99,73% de los datos (que lógicamente no tiene por qué ser igual a 6σ).

Por tanto, los índices serán:

$$C_m = \frac{\text{Tol. sup.} - \text{Tol. inf.}}{(\text{intervalo natural})_m} \qquad C_p = \frac{\text{Tol. sup.} - \text{Tol. inf.}}{(\text{intervalo natural})_p}$$

Para calcular el intervalo natural que deja el 99,73% de los datos, cuando éstos no son Normales, debe utilizarse un método gráfico.

Una vez representados todos los datos, deberá estudiarse la forma de la distribución (puede ser bimodal, asimétrica, truncada, etc.) para poder aplicar el método más conveniente.

La manera práctica de buscar el intervalo natural en distribuciones no Normales, como por ejemplo una multimodal, es fijarnos sólo en la parte de curva que se encuentra entre la moda más alta, M_3 y la tolerancia superior, T_s , y la moda más pequeña, M_1 y la tolerancia inferior, T_i , ignorando el resto. Cada uno de estos dos trozos de curva considerados, los supondremos como la mitad de una distribución Normal, pudiéndose calcular la desviación típica de cada una de esas dos partes, que llamaremos s_1 y s_3 , respectivamente. El intervalo natural que buscamos se encontrará entre:

$$M_1 - 3\sigma_1 \text{ y } M_3 + 3\sigma_3$$

Al no tener en cuenta todos los datos situados entre M_1 y M_3 estamos desperdiciando mucha información, por lo que el tamaño de la muestra en este caso debería ser grande, de manera que el número de datos entre $M_1 - 3\sigma_1$ y $M_3 + 3\sigma_3$ fuera de unos 100.

Los motivos más frecuentes de la no-Normalidad en los procesos suelen ser los siguientes:

- Producciones obtenidas como resultado de varias operaciones superpuestas, podrían resultar distribuciones no-Normales, (por ejemplo, la operación de lapeado sobre la de mandrinado), aunque cada una de las operaciones por separado fueran Normales.
- Movimiento de la media debido a un desgaste relativamente rápido de la herramienta.
- La producción procedente de diferentes máquinas, cabezales, cavidades de molde, etc, tiende a no ser Normal a pesar de la posible Normalidad de cada una de ellas individualmente.
- Piezas obtenidas de procesos básicamente Normales pueden incluir causas especiales que se traduzcan en no-Normalidad (por ejemplo: una herramienta dañada, rebabas en el útil de fijación, etc.).

■ 6 EJEMPLO DE APLICACIÓN

■ Ejercicio 1. Enunciado

Se desea determinar la capacidad de una máquina: un torno para el mecanizado de ejes de acero. Los ejes de acero deben tener un valor objetivo o nominal de 10,510 mm., con una tolerancia

MARZO 2002	CAPACIDAD DE CALIDAD DE MÁQUINAS Y PROCESOS	FICHA 23
1ª EDICIÓN		PÁG. 11 DE 15

de $\pm 0,010$ mm. Para ello, se han observado 6 muestras de cinco unidades cada una, de manera que las cinco unidades de cada muestra se han sacado de la máquina en orden correlativo de fabricación, obteniéndose las siguientes mediciones, en mm.:

MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6
Pieza n°						
1	10,510	10,514	10,505	10,506	10,516	10,513
2	10,504	10,512	10,509	10,508	10,514	10,509
3	10,507	10,508	10,513	10,507	10,509	10,508
4	10,511	10,509	10,510	10,511	10,508	10,513
5	10,513	10,509	10,509	10,513	10,511	10,511

(NOTA: hemos reducido voluntariamente el número de muestras a 6 (en total 30 ejes), a fin de no complicar excesivamente el ejemplo)

Se pide:

- Calcular C_m y C_{mk} por el método de cálculo utilizando la desviación típica muestral, s . Se supone que los diámetros de los ejes siguen, aproximadamente, una distribución Normal.
- Comentar los resultados obtenidos.
- Calcular los índices de capacidad de máquina, utilizando el método de cálculo con los recorridos muestrales, R .
- Comparar los resultados obtenidos utilizando el método de los recorridos, R , con el de las desviaciones típicas, s .

Solución

- Las desviaciones típicas de cada una de las muestras puede calcularse aplicando directamente la expresión (pero utilizando una máquina de calcular)

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}$$

obteniéndose los siguientes valores:

$$S_1 = 0,00316$$

$$S_2 = 0,00224$$

$$S_3 = 0,00256$$

$$S_4 = 0,00261$$

$$S_5 = 0,00301$$

$$S_6 = 0,00204$$

La estimación de la variabilidad intrínseca de la máquina, que llamaremos σ_m puede realizarse mediante la fórmula:

$$\sigma_m \approx \sqrt{\frac{n}{n-1}} \times \bar{s}$$

siendo \bar{s} la media de las desviaciones típicas muestrales, es decir:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^6 S_i}{k} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_6}{6} = 0,0026$$

Sustituyendo este valor y sabiendo que $n = 5$, queda:

$$\sigma_m \approx \sqrt{\frac{n}{n-1}} \times \bar{s} = \sqrt{\frac{5}{4}} \times 0,0026 = 0,0029$$

El intervalo estimado de variación natural de la máquina será:

$$6\sigma_m = 0,0174$$

La capacidad de máquina será:

$$C_m = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6\sigma} = \frac{10,520 - 10,500}{0,0174} = 1,149$$

Para calcular la C_{mk} estimaremos el promedio por la media de las medias muestrales, es decir, por:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_6}{6} = 10,510$$

y sustituiremos los valores obtenidos en las fórmulas

$$C_{mk} = Z_{\text{mínimo}}$$

siendo:

$$Z_{\text{superior}} = \frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma} = \frac{10,520 - 10,510}{3 \times 0,0029} = 1,149 \quad \text{y} \quad Z_{\text{inferior}} = \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma} = \frac{10,510 - 10,500}{3 \times 0,0029} = 1,149$$

Luego los índices de capacidad de máquina pedidos, serán:

$$C_m = 1,149 \text{ y } C_{mk} = 1,149$$

- Como puede observarse, los valores de C_m y de C_{mk} coinciden debido a que la media obtenida coincide con el valor nominal, luego la producción de ejes está totalmente centrada.

En cuanto al valor de la capacidad de máquina, $C_m = 1,149$, aunque es superior a uno, se considera insuficiente, ya que para considerar a una máquina capaz, su índice de capacidad debe ser superior a 1,33, cosa que no ocurre en nuestro caso.

Respecto al número de muestras a utilizar, debe ser como mínimo de 20 a 25, aunque en el ejemplo las hayamos reducido a 6 por razones de simplicidad.

■ Los recorridos muestrales valdrán:

$$R_1 = x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}} = 10,513 - 10,504 = 0,009$$

$$R_2 = 0,006$$

$$R_3 = 0,008$$

$$R_4 = 0,007$$

$$R_5 = 0,008$$

$$R_6 = 0,005$$

El recorrido medio \bar{R} será:

$$\bar{R} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \dots + \bar{R}_6}{6} = 0,00717$$

Para la estimación de la desviación típica, utilizaremos la fórmula:

$$\sigma_m \approx \frac{\bar{R}}{d_2}$$

d_2 es un factor que depende del tamaño de muestra n y está tabulado (Tabla - V), para $n = 5$ es $d_2 = 2,326$, sustituyendo ambos valores queda:

$$\sigma_m \approx \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,00717}{2,326} = 0,00308$$

resultado ligeramente superior al obtenido anteriormente, que era de $\sigma_m = 0,0029$.

El intervalo estimado de variación natural de la máquina será:

$$6\sigma_m = 0,01848$$

La capacidad de máquina será:

$$C_m = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6\sigma} = \frac{10,520 - 10,500}{0,01848} = 1,082$$

Por estar centrada la producción, el índice C_{mk} coincidirá con el valor obtenido para C_m , es decir, $C_{mk} = 1,082$ que, como puede verse, es ligeramente inferior al obtenido por el método de las desviaciones típicas, y que valía $C_m = C_{mk} = 1,149$.

Ejercicio 2. Enunciado

Se desea determinar la capacidad de un proceso que consiste en el mecanizado de ejes de acero mediante un torno. Los ejes de acero deben tener un valor objetivo o nominal de 10,510 mm., con una tolerancia de $\pm 0,010$ mm. Para ello, se ha tomado una muestra al azar de la producción de la última semana, obteniéndose las siguientes mediciones, en mm.:

10,515	10,508	10,504	10,506	10,508	10,516
10,507	10,514	10,512	10,507	10,511	10,506
10,504	10,507	10,513	10,506	10,506	10,515
10,515	10,514	10,511	10,516	10,506	10,505
10,516	10,509	10,508	10,512	10,514	10,511

NOTA: hemos reducido voluntariamente el tamaño de la muestra a 30 ejes, a fin de no complicar excesivamente el ejemplo.

Se pide:

- Calcular C_p y C_{pk} . Se supone que los diámetros de los ejes siguen, aproximadamente, una distribución Normal.
- Comentar los resultados obtenidos.

Solución

- La desviación típica del proceso σ_p puede estimarse calculando la desviación típica de la muestra, pero hay que recordar que la variabilidad de las muestras es ligeramente inferior a la de la población, dependiendo del tamaño de la muestra, es decir:

$$\sigma_p \approx \sqrt{\frac{n}{n-1}} \times S_n = S_{n-1}$$

Calculando S_{n-1} para los 30 datos, queda:

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = 0,00402$$

Luego la desviación típica del proceso σ_p será $\sigma_p \approx 0,00402$ y, por tanto, el intervalo estimado de variación natural del proceso, será:

$$6\sigma_p = 0,02412$$

La capacidad de proceso será:

$$C_m = \frac{\text{Tolerancia superior} - \text{Tolerancia inferior}}{6\sigma_p} = \frac{10,520 - 10,500}{0,02412} = 0,829$$

MARZO 2002	CAPACIDAD DE CALIDAD DE MÁQUINAS Y PROCESOS	FICHA 23
1ª EDICIÓN		PÁG. 15 DE 15

Para calcular la C_{pk} estimaremos el promedio del proceso a través de la media de la muestra, es decir, por:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{30}}{30} = 10,510$$

y sustituiremos los valores obtenidos en las fórmulas

$$C_{pk} = Z_{\text{mínimo}}$$

siendo:

$$Z_{\text{superior}} = \frac{T_s - \bar{X}}{3 \sigma_p} = \frac{10,520 - 10,510}{3 \times 0,00402} = 0,829 \quad \text{y} \quad Z_{\text{inferior}} = \frac{\bar{X} - T_i}{3 \sigma_p} = \frac{10,510 - 10,500}{3 \times 0,00402} = 0,829$$

Luego los índices de capacidad de proceso pedidos, serán:

$$C_p = 0,829 \text{ y } C_{pk} = 0,829$$

- Como puede observarse, los valores de C_m y de C_{mk} coinciden debido a que la media obtenida coincide con el valor nominal, luego la producción de ejes está totalmente centrada.
- En cuanto al valor de la capacidad de proceso, $C_p = 0,829$, por ser inferior a uno, se considera insuficiente, lo que significa que un cierto porcentaje de ejes tendrán valores fuera de las tolerancias. Este resultado está en línea con el obtenido para la capacidad de máquina, ya que aunque era superior a uno, estaba por debajo de 1,33, lo que nos hacía pensar que, probablemente, la variabilidad del proceso sería insuficiente.
- Respecto al tamaño de la muestra a utilizar, debe ser como mínimo de 100 a 125, aunque en el ejemplo las hayamos reducido a 30 por razones de simplicidad.

«n»	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
«ds»	1,129	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078	3,173

1. ¿QUÉ ES?

Es una herramienta de prevención que permite, aplicando la estadística, detectar y por tanto corregir desviaciones anormales de los procesos.

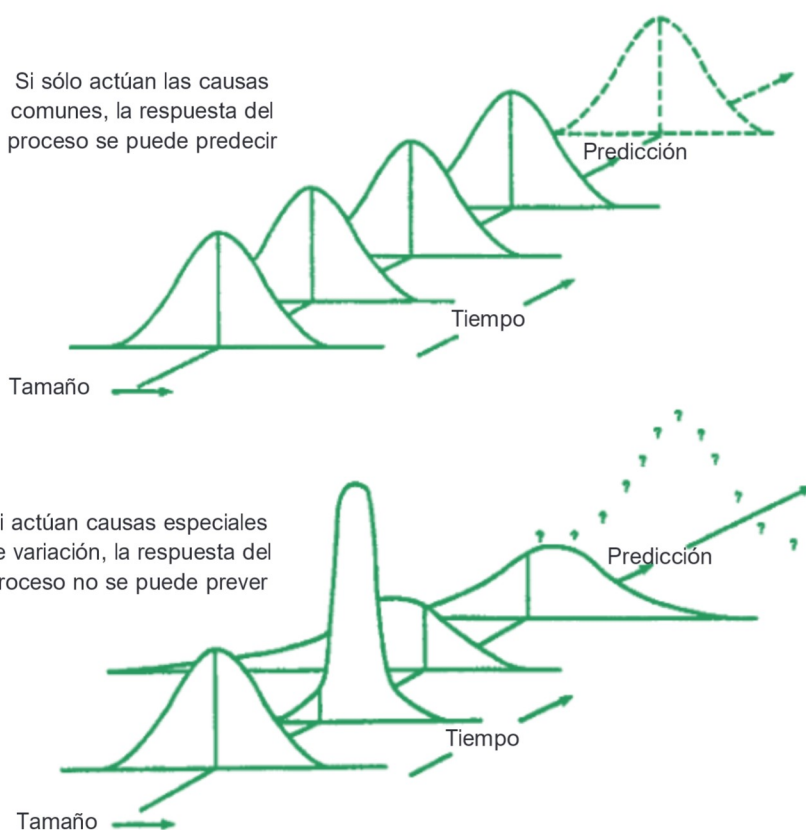
2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La característica principal del CEP radica en la aplicación de las técnicas estadísticas a los procesos en estudio. Como sabemos, los valores individuales de una población pueden ser distintos entre ellos, pero tomados como grupo tienden a seguir un patrón de distribución que se caracteriza por:

- Su localización (Valor típico).
- Su dispersión (Diferencia entre los valores máximos y mínimos).
- Su forma (Simetría respecto al valor típico, sesgada, etc.).

Este hecho nos permite una vez conocido el patrón de distribución:

- Predecir la evolución de nuestro proceso a lo largo del tiempo salvo actuaciones sobre el mismo.
- Detectar desviaciones de los procesos y, por tanto, corregirlos, evitando que dicha desviación afecte al producto o en el peor de los casos pudiendo limitar dicho efecto a una cantidad conocida de producto.



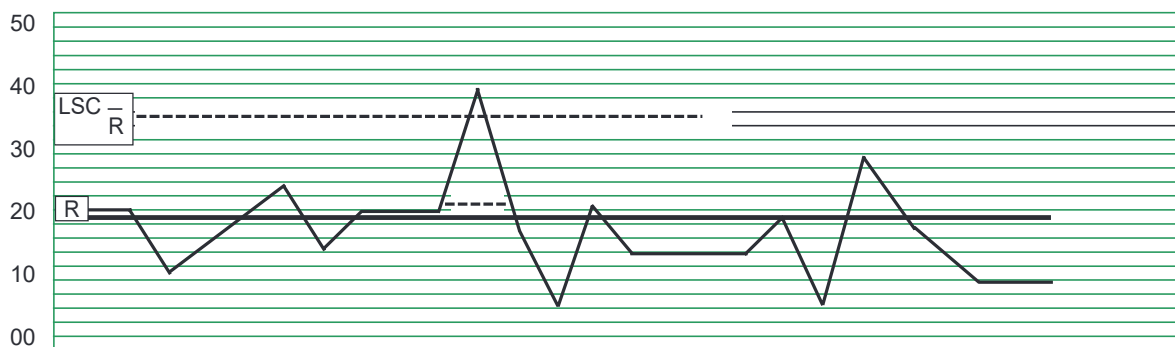
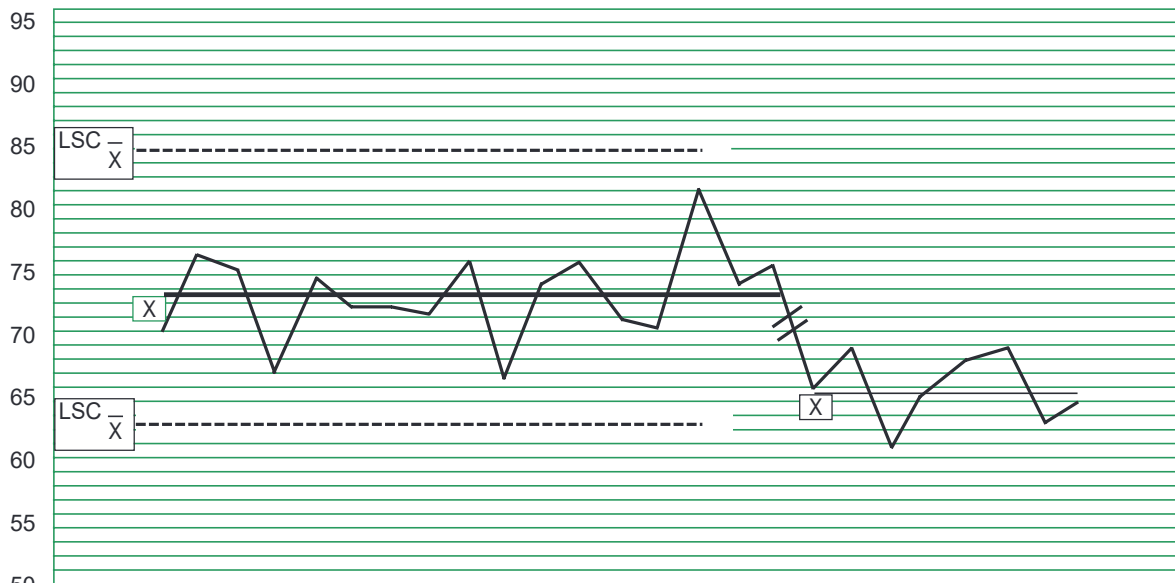
■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Causa común de variación*: Fuente de variación que afecta a todos los resultados individuales del proceso que está siendo estudiado.
- *Causa especial de variación*: Fuente de variación que actúa sobre el proceso de una manera impredecible.
- *Promedio*: Suma de los valores individuales dividida por el número de valores.
El valor promedio es uno de los parámetros de localización más usuales, aunque podemos encontrar otros como la moda o la mediana.
- *Gráfico de control*: Representación gráfica de parámetros estadísticos de alguna característica del proceso.
Pueden ser gráficos de control por variables o por atributos.
En el caso de variables, generalmente se utilizan dos gráficos: uno para el seguimiento de la localización (por ejemplo, Gráficos de Promedios (\bar{X})) y otro para el seguimiento de la dispersión (por ejemplo, Gráficos de Recorridos (R)).
Así es frecuente oír hablar de gráficos \bar{X}/R , \bar{X}/S , etc.
Se basan en el hecho estadístico de que la variabilidad debida a las causas comunes de variación en un proceso bajo control es predecible.
En esta situación, todas las mediciones que se vayan realizando a lo largo del tiempo estarán comprendidas con un 99,73% de probabilidad entre dos valores que se conocen como Límite Superior de Control (LSC) y Límite Inferior de Control (LIC).
Estos límites se obtienen por aplicación de fórmulas, donde intervienen los valores de localización y los valores de dispersión, éstos últimos tabulados frecuentemente en forma de coeficientes que dependen del tamaño de muestra.
Así, los límites de control para el gráfico de promedios se determinan por las fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{LSC}_x &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ \text{LIC}_x &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{aligned}$$

Siendo, $\bar{\bar{X}}$ el promedio de los valores promedio; \bar{R} el promedio de los recorridos (diferencias entre valor máximo y mínimo de cada subgrupo) y A_2 , un coeficiente que depende del tamaño de muestra.

GRÁFICOS DE CONTROL



■ *Distribución Normal*: Patrón de distribución, en forma de campana, que presenta las siguientes propiedades:

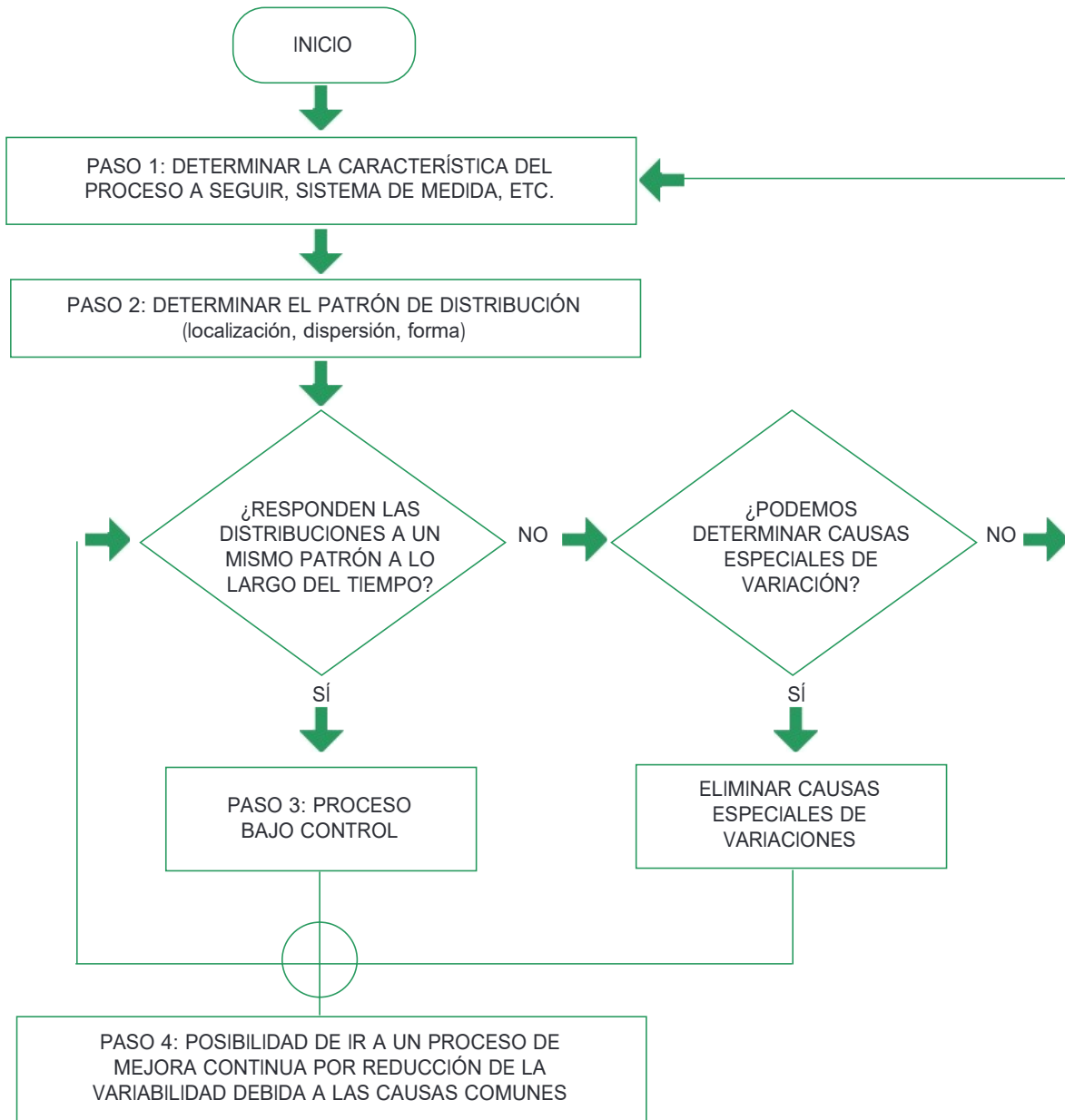
- Simétrica respecto al promedio
- Continua

■ σ (*Desviación estándar*): Medida de la dispersión de valores respecto al promedio, responde a la fórmula:

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

\bar{X} = Promedio
 X_i = Valores individuales
 N = Tamaño de la muestra

4. DIAGRAMA DE FLUJO



5. REALIZACIÓN

5.1. Paso 1: Determinar la característica del proceso a seguir y establecer los sistemas de medida (método y medios), tamaño de muestra, frecuencia de obtención de la muestra

Este primer paso correspondería a la planificación de la realización del control estadístico.

Es muy importante en este apartado utilizar todo nuestro conocimiento sobre el proceso, a fin de que el establecimiento del tamaño de muestra y de la frecuencia de control pueda cumplir con los

MARZO 2002	CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO (CEP)	FICHA 24
1ª EDICIÓN		PÁG. 5 DE 5

requerimientos estadísticos de aleatoriedad y que la variabilidad contenida en las muestras tomadas sea representativa de la variabilidad total existente en el proceso y, por tanto, debida a las causas comunes de variación, en caso contrario las estimaciones que realicemos serán totalmente erróneas.

■ 5.2. Paso 2: Determinar el patrón de distribución

Muchas de las distribuciones de población correspondientes a características de proceso siguen una distribución normal o asimilable a normal y por tanto nos centraremos en esta distribución.

■ 5.3. Paso 3: Proceso bajo control

Es el estado en que tenemos el proceso en estudio cuando únicamente actúan las causas comunes de variación.

Esta situación nos permitirá analizar y actuar sobre dichas causas comunes: máquina, materiales, método, etc., siendo uno de los caminos a seguir en su proceso de mejora continua.

Podemos efectuar un seguimiento del proceso, a través de gráficos de control. Por ejemplo, gráficos \bar{X}/R .

■ REFERENCIAS

Statistical Process Control (SPC)..
Reference Manual.
A.I.A.G.

MARZO 2002	EL CONTROL SECUENCIAL DE A. WALL	FICHA 25
1ª EDICIÓN		PÁG. 1 DE 11

■ 1. ¿QUÉ ES?

El Control Secuencial es un plan de muestreo progresivo por atributos, según el método de A. Wald, en el que pueden ser controladas las unidades defectuosas o los defectos detectados, y tras el resultado de cada extracción o muestra verificada se decide ACEPTAR, RECHAZAR o SEGUIR VERIFICANDO, quedando el criterio de ACEPTACIÓN o RECHAZO delimitado gráficamente mediante dos rectas paralelas.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

En todos los planes de muestreo conocidos (simple, doble, múltiple, etc.) nos encontramos con lotes en los que el número de piezas es fijo, y de acuerdo a su tamaño y al nivel de calidad exigido será el plan de muestreo a emplear.

Una generalización del Plan de Muestreo Múltiple es el Plan de Muestreo Secuencial, en el que no se establece una muestra fija a verificar, sino que en cada unidad vista se efectúa la comparación con los niveles de calidad establecidos, pudiendo ser causa de ACEPTACIÓN o RECHAZO en cualquier momento.

En este plan de muestreo nos encontramos ante lotes abiertos, que se cerrarán cuando la calidad media de los mismos sea mejor o peor que los niveles de calidad previamente establecidos.

El plan secuencial es, por término medio, más económico que los planes de muestreo clásicos para una misma eficacia. Otra ventaja del plan de muestreo secuencial es que presenta una gran flexibilidad, ya que puede ser definido cómodamente para obtener una eficacia dada.

El plan de muestreo secuencial está recomendado para controles costosos, como es el caso de cadenas de montaje, en la producción de grandes series, así como en la recepción o expedición de grandes lotes.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Nivel de calidad aceptable*: Porcentaje de defectos o de defectuosos máximo, que se pueden considerar satisfactorio como media de aceptación de un producto.
- *Calidad límite*: Porcentaje de defectos o de defectuosos que, como máximo, un cliente está dispuesto a aceptar en un lote aislado.
- *Riesgo del fabricante, proveedor o rechazo (α)*: Probabilidad de rechazar un lote indebidamente, es decir, con un % real de defectos o defectuosos, inferior al NCA.
- *Riesgo del cliente o de aceptación (β)*: Probabilidad de aceptar un lote indebidamente, es decir, con un % real de defectos o defectuosos, inferior al CI.

■ 4. PARÁMETROS DEL PLAN SECUENCIAL Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Al hablar de plan de muestreo secuencial, estamos hablando de un Plan de Muestreo por atributos que, como tal, tiene una curva de características que da la probabilidad de aceptación y rechazo de acuerdo al % real de defectos o al % de unidades defectuosas que tenga el lote en cuestión.

La carta de control o diagrama empleado para el seguimiento viene dada por los siguientes parámetros:

- El nivel de calidad aceptable (NCA).
- La calidad límite (CL).
- El riesgo del fabricante, proveedor o rechazo (α).
- El riesgo del cliente o de aceptación (β).
- El número de puntos o unidades a verificar (N).

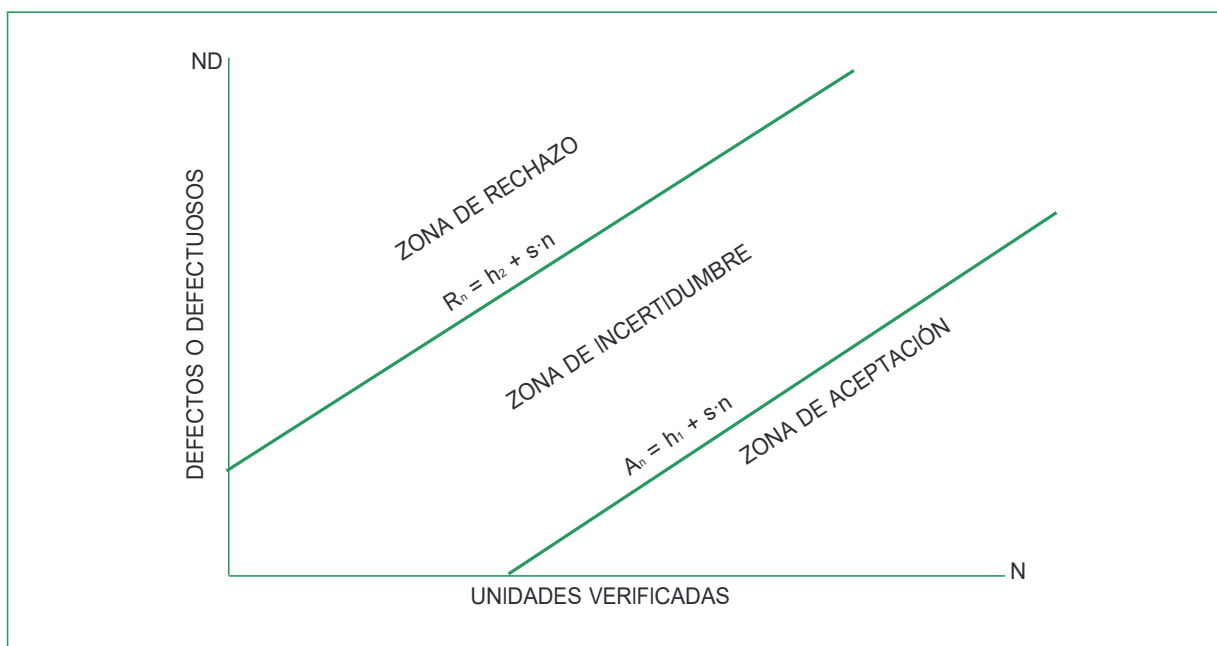
Los puntos a verificar PAV (cuando se trate de % de defectos), se establecerán de acuerdo a las pautas de control, y se tendrá en cuenta que lo aceptado o rechazado, es lo relativo a esos puntos considerados.

Estos parámetros son elegidos de acuerdo a la calidad que se desee obtener, de tal forma que:

- Se aceptará lo producido si el % defectuoso o de defectos encontrados no excede del NCA establecido, con un riesgo de rechazar α % de lotes indebidamente, es decir, con un % defectuoso o de defectos, igual o menor al NCA.
- Se rechazará lo producido si el % defectuoso o de defectos llega al CL establecido, con un riesgo de aceptar β % de lotes indebidamente, es decir, con un % defectuoso o de defectos, igual o superior al CL.

Si aplicamos las fórmulas desarrolladas por A. Wald, que son función de los parámetros indicados, de la forma que se explica en el anexo 1, tenemos que el diagrama o carta de Control Secuencial es de la forma que se indica en la figura 1:

FIGURA 1. ZONAS DEL DIAGRAMA DE LA CARTA DE CONTROL SECUENCIAL



En dicha figura vemos que la ecuación de ambas rectas es de la forma:

$$A_n = -h_1 + s * N \quad \text{RECTA LÍMITE DE ACEPTACIÓN}$$

$$R_n = h_2 + s * N \quad \text{RECTA LÍMITE DE RECHAZO}$$

siendo:

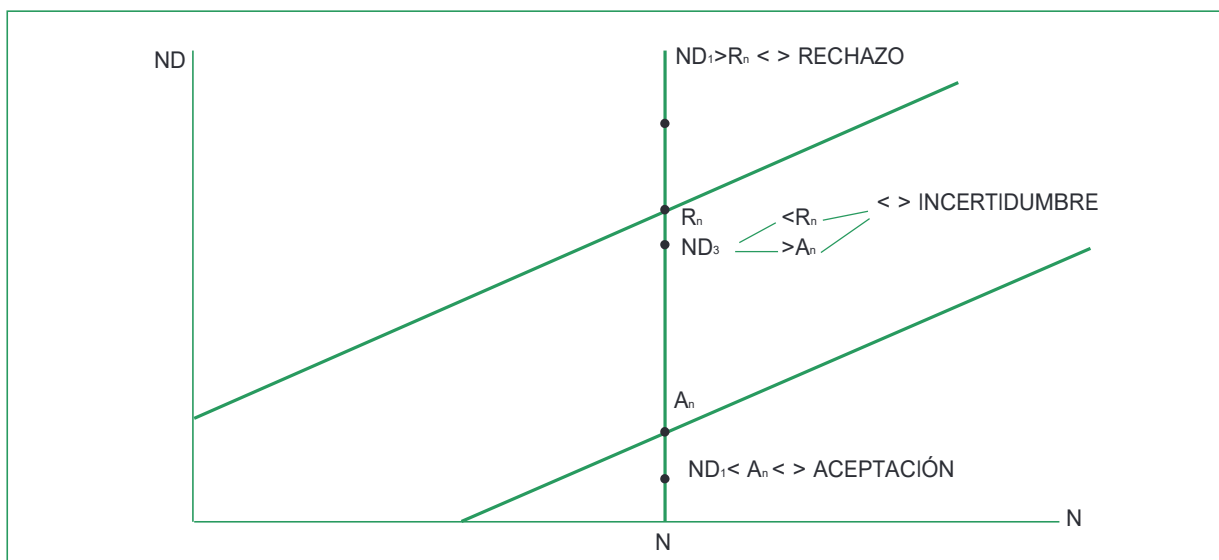
- $A_n <$ Máximo número de defectos o unidades defectuosas admitidos para aceptar el lote, después de haber verificado N operaciones o piezas.
- $R_n <$ Mínimo número de defectos o unidades defectuosas necesarios para rechazar el lote, después de haber verificado N operaciones o piezas.

En la figura también vemos que ambas rectas delimitan en el diagrama las zonas de:

- Rechazo.
- Incertidumbre.
- Aceptación.

Al verificar N operaciones o unidades, dependiendo que el resultado presente ND_1 , ND_2 , o ND_3 defectos, tendremos un rechazo, una aceptación o una incertidumbre, respectivamente, es decir, según que el número de defectos o unidades defectuosas encontrados sea mayor que R_n , menor de A_n o esté entre ambos (fig. 2).

FIGURA 2. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO



Resumiendo, tendremos:

- | | |
|--------------------------|---|
| Si $\sum ND > R_n$ | Se producirá un rechazo. |
| Si $\sum ND < A_n$ | Se producirá una aceptación. |
| Si $A_n < \sum ND < R_n$ | Hay que seguir verificando (incertidumbre). |

5. PLAN DE MUESTREO SECUENCIAL TRUNCADO

Cuando la calidad del producto a controlar no es lo suficientemente buena para que el lote sea aceptado (igual o menor al NCA), o tan mala para que el lote sea rechazado (igual o mayor al CL), nos podemos encontrar ante una incertidumbre indefinidamente.

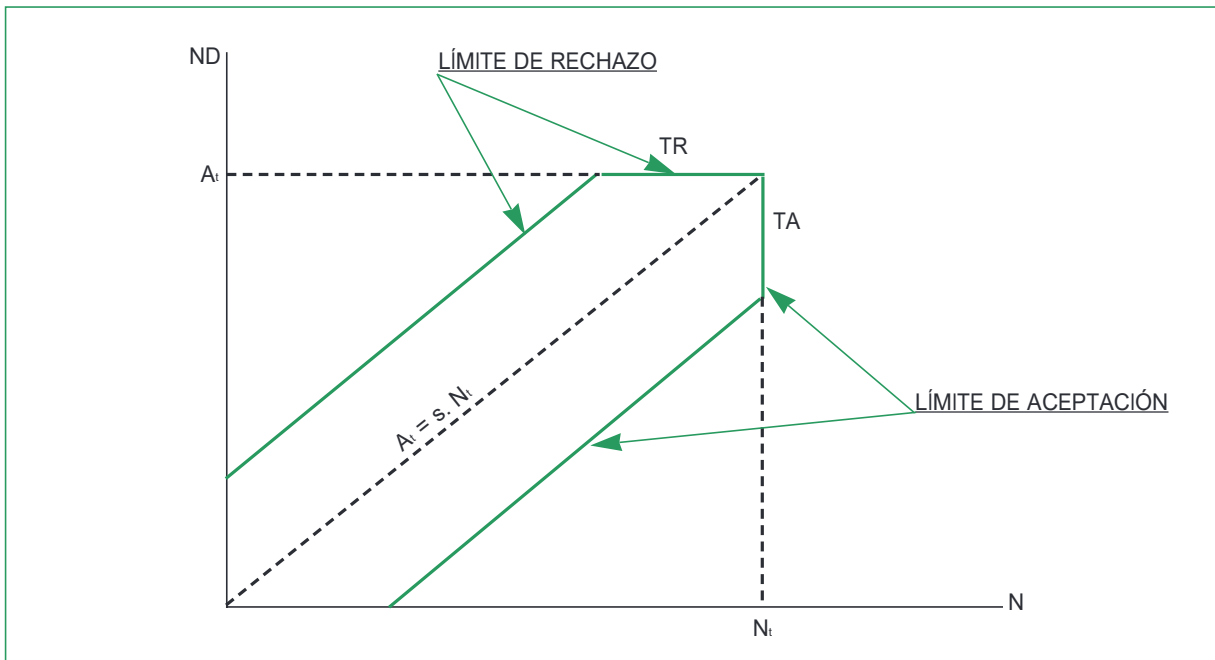
Esta situación se presenta cuando la calidad real del lote que se está verificando (el % de defectos o defectuoso) coincide con el % de la curva de características, cuya probabilidad de aceptar o rechazar es similar, próxima al 50%.

En la situación de incertidumbre se nos pueden presentar dos problemas:

- Que el lote se haga muy grande, causando un grave trastorno al normal funcionamiento de la producción en el caso de que el veredicto fuera de rechazo.
- No se cumple el objetivo, importantísimo, de información constante sobre la marcha de la calidad, aceptando o rechazando lotes pequeños.

Para evitar este inconveniente, A. Wald admite un truncamiento en ambas rectas (fig. 3).

FIGURA 3. TRUNCAMIENTO DE LA ACEPTACIÓN Y RECHAZO



- *Truncamiento del límite de rechazo (Línea TR):* Tiene por objeto rechazar el lote cuando se detecte más de un determinado número de defectos establecido.
- *Truncamiento de límite de aceptación (Línea TA):* Tiene por objeto cerrar el lote cuando se haya verificado una cantidad de puntos o unidades establecidas, y no se haya alcanzado el límite de defectos establecido.

6. EJECUCIÓN, SEGUIMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA CARTA DE CONTROL

Vamos a explicar mediante un ejemplo práctico, el seguimiento e interpretación del plan secuencial.

Supongamos que se trata de una cadena de montaje de motos y se quiere llevar el seguimiento de la calidad mediante un Plan de Muestreo Secuencial.

El número de operaciones realizadas y, como consecuencia, a validar, es de 30. Todas ellas, por supuesto, pueden presentar potencialmente algún defecto.

El nivel de calidad con que queremos aceptar o rechazar la producción lo determinamos estableciendo los siguientes parámetros:

$$NCA = 1 \quad \alpha = 5\% \quad N = 30 \quad CL = 3 \quad \beta = 10\% \quad k = 3$$

los valores de P_1 y P_2 (extrapolación del número de puntos a 100 para expresar todo en %) son:

$$P_1 = \frac{NCA \times 100}{N} = \frac{1 \times 100}{30} = \frac{10}{3} = 3,3\%$$

$$P_2 = \frac{CL \times 100}{N} = \frac{3 \times 100}{30} = \frac{10}{3} = 10\%$$

Para valores de P_1 y P_2 , se obtienen mediante cálculo o en tablas, los valores de h_1 , h_2 y s , siguientes:

$$h_1 = 1,910 \quad h_2 = 2,448 \quad s = 0,06$$

y las ecuaciones de las rectas de aceptación y rechazo son:

$$A_n = -h_1 + s \cdot N = -1,91 + 0,061 N$$

$$R_n = h_2 + s \cdot N = 2,448 + 0,061 N$$

y como las coordenadas del diagrama:

$$\begin{aligned} X_1 &= h_1/s = -1,91/0,061 = 31,5 & X_2 &= k - h_1/s = 3 - 31,5 = 93,9 & X_3 &= (k \cdot h_1 - h_2)/s = 93,9 - 40,1 = 53,8 \\ Y_1 &= h_2 = 2,47 & Y_2 &= h_1(k - l) = 1,91(3 - 1) = 3,82 & Y_3 &= k \cdot h_1 = 5,73 \end{aligned}$$

La carta de control obtenida es la indicada en la fig. 4.

Marcha a seguir en la verificación

La posición de las motos es según el esquema siguiente:



* Puesto de verificación

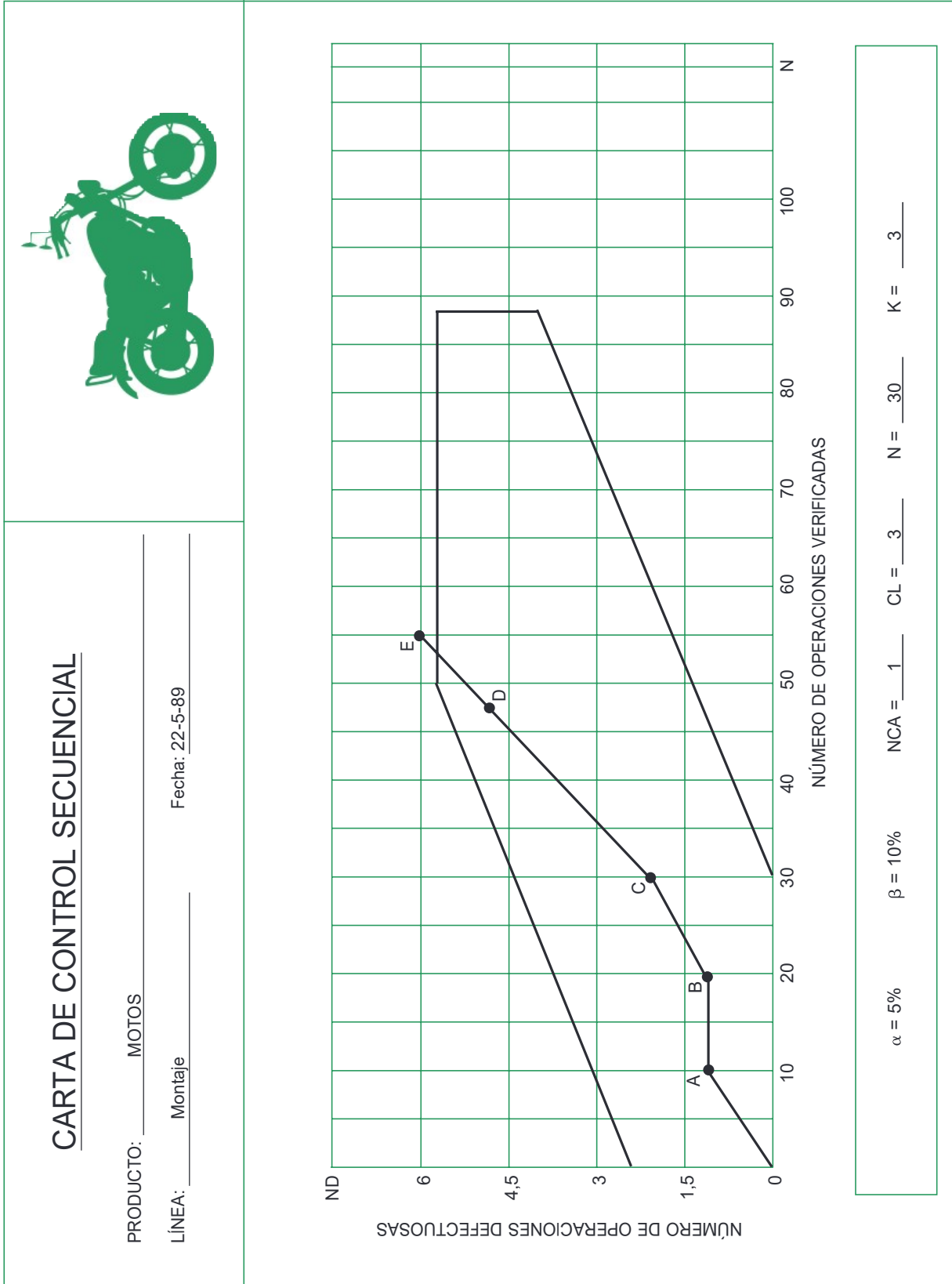
Al comenzar la aplicación del sistema, la primera moto que debe salir pasar por el puesto de control es la número 1. En ella se abre el lote y todas las que vienen a continuación pertenecen a éste, hasta que se produzca un veredicto de aceptación o rechazo, cerrándose éste y abriéndose otro lote con las que vienen a continuación.

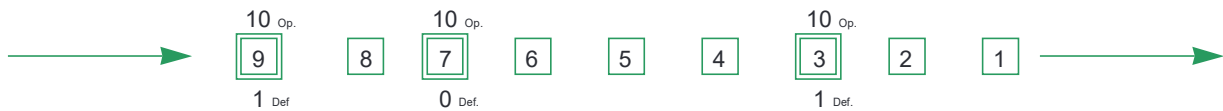
En cualquier momento se puede proceder a la verificación y reflejar en la carta el resultado.

Es posible que con el tiempo ciclo de cada moto, y puesto que se considera una cadena en movimiento, no dé tiempo a verificar las 30 operaciones. No obstante, el sistema permite que cada vez que se verifique se haga en el número de operaciones que se quiera, pero siguiendo siempre el orden de la secuencia establecido.

En primer lugar se verifica sobre la moto núm. 3 las operaciones de la 1 a la 10, encontrando 1 defecto.

FIGURA 4. SEGUIMIENTO DEL PRIMER LOTE DE MOTOS





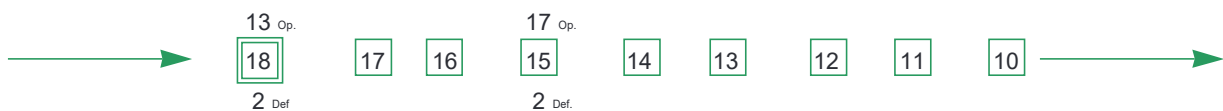
Se refleja el resultado en el diagrama de la figura 4 (punto A) que cómo se ve se sitúa en la zona de incertidumbre, por lo que hay que continuar la verificación.

Al rato se continúa la verificación en la moto núm. 7 (se podía haber hecho en cualquier otra, anterior o posterior a ésta) pero las operaciones a verificar serán las siguientes y en el orden establecido, es decir, respetando el orden de secuencia.

No se encontró ningún defecto.

Al reflejarlo en el diagrama (Punto B), vemos que el lote sigue todavía en zona de incertidumbre.

A continuación se verifica en la moto núm. 9 y en las operaciones siguientes, apareciendo otro defecto.



Se refleja en el diagrama, observando que el lote sigue en zona de incertidumbre (Punto C).

Nota: Cuando se haya llegado en la verificación a la operación N° 30, se sigue en la N° 1 y sucesivas.

A continuación se verifica sobre la moto 15, en las 17 operaciones siguientes, detectando otros 2 defectos.

Al reflejarlo en el diagrama (punto D) vemos que sigue en incertidumbre.

Nuevamente se verifica en la moto 18, 13 operaciones, apareciendo 2 defectos.

Al reflejarlo en el diagrama (punto E) se ve que ha llegado, incluso rebasado, la recta de rechazo (con que la hubiera tocado, habría sido suficiente) por lo que se ha producido un rechazo.

El primer lote se ha cerrado y se compone de 18 motos, habiéndose verificado en 5 (muestra).

Como ha existido un rechazo, los 6 defectos detectados han de ser verificados en las 18 motos del lote y, si existen, corregirlos.

La producción continúa, se toma una nueva carta en blanco, igual a la anterior y se comienza el seguimiento de un nuevo lote.

ANEXO 1: ECUACIONES DE LAS RECTAS QUE LIMITAN LAS ZONAS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Ecuación de la recta para el criterio de aceptación

$$A_n = \left[\frac{\log \frac{1 - \alpha}{\beta}}{\log \frac{P_2}{P_1} + \log \frac{1 - P_1}{1 - P_2}} \right] + \left[\frac{\log \frac{1 - P_1}{1 - P_2}}{\log \frac{P_2}{P_1} + \log \frac{1 - P_1}{1 - P_2}} \right] xN = -h_1 + s xN$$

se sustituye por “-h₁” se sustituye por “s”

Ecuación de la recta para el criterio de rechazo:

$$R_n = \left[\frac{\log \frac{1 - \beta}{\alpha}}{\log \frac{P_2}{P_1} + \log \frac{1 - P_1}{1 - P_2}} \right] + \left[\frac{\log \frac{1 - P_1}{1 - P_2}}{\log \frac{P_2}{P_1} + \log \frac{1 - P_1}{1 - P_2}} \right] xN = -h_2 + s xN$$

se sustituye por “h₂” se sustituye por “s”

Siendo:

Para % defectuoso: $P_1 = NCA$ $P_2 = CL$

Para % de defectos: $P_1 = \frac{NCA \times 100}{N}$ $P_2 = \frac{CL \times 100}{N}$

Resumiendo la anterior, tenemos (fig. 1.5):

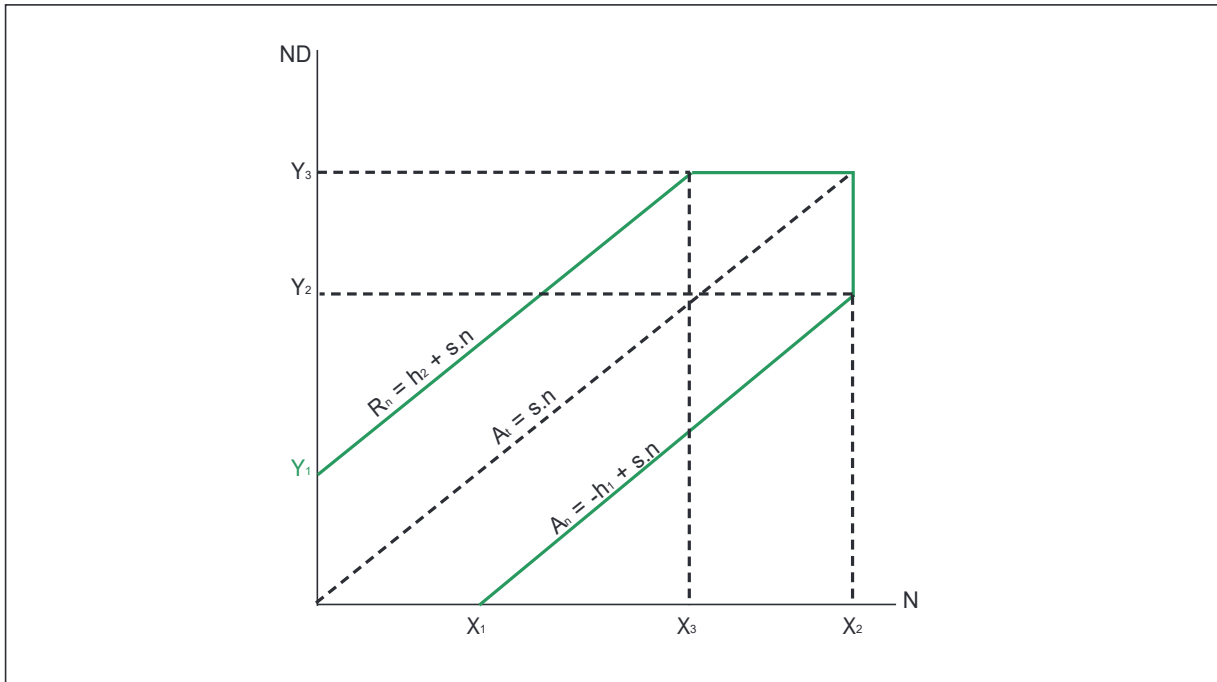
- $A_n = -h_1 + s * N$ RECTA LÍMITE DE ACEPTACIÓN
- $R_n = h_2 + s * N$ RECTA LÍMITE DE RECHAZO

Dado lo laborioso que resulta el empleo de estas fórmulas, existen tablas elaboradas, mediante las cuales se obtienen los valores de h₁, h₂ y s, conociendo los de P₁ y P₂.

ANEXO 2: CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DEL DIAGRAMA

Partiendo de la carta de seguimiento del Plan de Muestreo Secuencial, visto gráficamente en la figura 1 se van a calcular las coordenadas de los distintos puntos (fig. 5).

FIGURA 5. COORDENADAS PARA LA EJECUCIÓN DEL DIAGRAMA O CARTA DE CONTROL SECUENCIAL



Estas coordenadas se obtienen en función de los valores de h_1 , h_2 y s , calculados en los anexos 1 y 2.

X_1	En $A_n = -h_1 + s \cdot N$	$A_n = 0$	\longrightarrow	$N = X_1 = h_1/s$
X_2	Por definición:	$X_2 = k \cdot X_1$	\longrightarrow	$X_2 = k \cdot h_1/s$
Y_1	En $R_n = h_2 + s \cdot n$	$N = 0$	\longrightarrow	$Y_1 = h_2$
Y_2	En $A_n = -h_1 + s \cdot N = -h_1 + s \cdot X_1 = -h_1 + s(h_1 \cdot k/s) = -h_1 + h_1 \cdot k$		\longrightarrow	$Y_2 = h_1(k - 1)$
X_3	En $R_n = h_2 + s \cdot N = h_2 + s \cdot X_3 = Y_3 - k \cdot h_1 = h_2 + s \cdot X_3$		\longrightarrow	$X_3 = (k \cdot h_1 - h_2)/s$
Y_3	En $A_n = s \cdot N = s \cdot X_2 = s \cdot k \cdot h_1/s$		\longrightarrow	$Y_3 = k \cdot h_1$

Resumiendo, nos queda:

$X_1 = h_1/s$	$X_2 = k \cdot h_1/s$	$X_3 = (k \cdot h_1 - h_2)/s$
$Y_1 = h_2$	$Y_2 = h_1(k - 1)$	$Y_3 = k \cdot h_1$

MARZO 2002	EL CONTROL SECUENCIAL DE A. WALL	FICHA 25
1ª EDICIÓN		PÁG. 11 DE 11

■ **BIBLIOGRAFÍA**

- CAVE, René: *Control estadístico de calidad*, Edit. Sagitario.
- FEIGENBAUN, A.V.: *Control total de calidad*, Edit. Cecsca.
- LEGRANT, E.: *Control estadístico de calidad*, Edit. Cecsca.
- JURAN: *Manual de control de calidad*, Edit. Reverte.
- Norma AFNOR NF X 06-24.
- Norma MIL STD 1235 B.

■ 1. ¿QUÉ ES?

El coste de la calidad se define como el coste que supone a una empresa, prevenir y evaluar los errores internos, así como los detectados por sus clientes, por no cumplir las especificaciones o las expectativas previstas.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Un sistema de costes de calidad, acompañado de un proceso de mejora eficaz que utilice los datos resultantes de éste, proporciona las ventajas que se enumeran a continuación:

- El coste de calidad expresa en dinero la magnitud de los problemas de la calidad.
- Hay costes de calidad que no deben transformarse en dinero, sino dejarlo como indicador.
- El coste de calidad proporciona un medio para medir el rendimiento de las inversiones en calidad.
- El coste de calidad proporciona un sistema de prioridades para la solución de problemas de calidad.
- El coste de calidad proporciona una visión única de la calidad.

Los costes de calidad se clasifican de la siguiente forma:

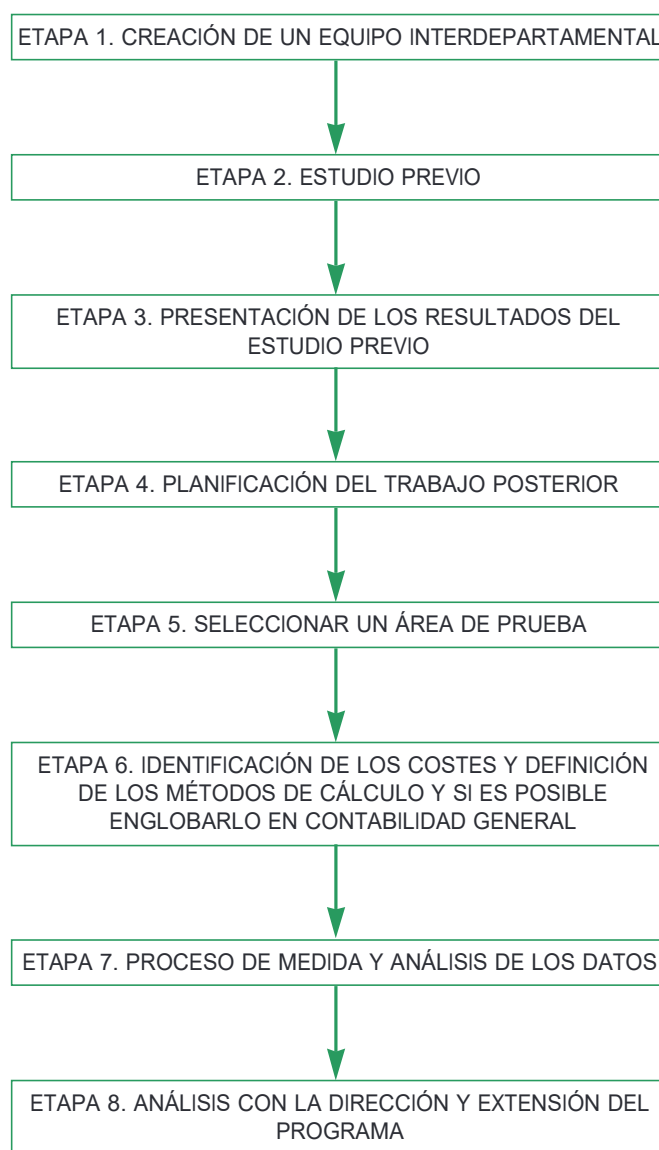
- Costes directos de calidad:
 - Coste controlable de calidad:
 - Coste de prevención.
 - Coste de evaluación.
 - Coste resultante de calidad:
 - Costes de los errores internos.
 - Costes de los errores externos.
- Costes indirectos de calidad (cuantificables a través de indicadores):
 - Incidencias de cliente.
 - Incidencias de proveedor.
 - Insatisfacción del cliente.
 - Pérdida de reputación.
 - Retrasos en las entregas de producto.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Costes directos de calidad*: Son aquellos que se pueden localizar en la contabilidad de la empresa.
- *Costes indirectos de calidad*: Son aquellos que se pueden traducir en pérdida de expectativas o en pérdidas no directamente contabilizables.
- *Costes controlables*: Son aquellos causados por decisiones de la empresa dirigidas a evitar errores y que los errores cometidos lleguen al cliente.
- *Costes resultantes*: Son aquellos que se derivan de los errores que no se han podido evitar.

- *Costes de prevención*: Son aquellos que se derivan de los esfuerzos por evitar o reducir los errores.
- *Costes de evaluación*: Son aquellos que se derivan de los trabajos de medida de la conformidad de los productos o servicios.
- *Costes de los errores internos*: Son los que se producen por anomalías detectadas antes de que el producto salga de la empresa.
- *Costes de los errores externos*: Son los que se producen por anomalías detectadas después de que el producto salga de la empresa.

■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO PARA IMPLANTAR UN SISTEMA DE COSTES



MARZO 2002	COSTES DE CALIDAD	FICHA 26
1ª EDICIÓN		PÁG. 3 DE 7

■ 5. REALIZACIÓN

A continuación se presenta un posible esquema de cómo se puede llevar a la práctica un control sistemático de los costes de calidad.

■ 5.1. Paso 1: Creación de un equipo interdepartamental

El primer objetivo de este equipo es la creación de un lenguaje común y familiarizarse con los procedimientos que tendrán que utilizar.

■ 5.2. Paso 2: Estudio previo

El objetivo es ver de qué elementos se dispone, y si se puede, realizar una primera evaluación de los costes relacionados con la calidad en un periodo de tiempo relativamente reciente, pero del que se disponga ya de datos.

■ 5.3. Paso 3: Presentación de los resultados del estudio previo a la dirección y tomar una decisión

Los datos obtenidos del estudio previo tienen que presentarse a la dirección general de la empresa a fin de obtener la autorización y los recursos necesarios para poder llevar a cabo el programa.

■ 5.4. Paso 4: Planificación del trabajo posterior

A partir de la información obtenida en la fase previa, será necesario planificar la forma de continuar el programa. Este trabajo será el que se desarrollará en los dos siguientes pasos.

■ 5.5. Paso 5: Seleccionar un área de prueba

En empresas grandes o complejas será necesario empezar por una área concreta a fin de rodar el sistema antes de extenderlo al conjunto de la empresa. Es conveniente que este área cumpla con dos requisitos, el primero, que sea suficientemente autónoma como para que sus datos estén suficientemente diferenciados y su responsable pueda dar las explicaciones necesarias. Otro requisito necesario es que ya se disponga de suficiente documentación.

■ 5.6. Paso 6: Identificación de los costes y definición de los métodos de cálculo

Cada coste que se localice se deberá identificar, definir y establecer el método de cálculo y si es posible englobarlo en la contabilidad General. Si los documentos de los que se dispone no son suficientes o no resultan cómodos, será necesario crear documentos nuevos para la recogida de los datos que nos faltaban o que eran difíciles de deducir. Este trabajo de recogida de datos es crucial ya que es el que condicionará el tiempo de duración de la prueba.

■ 5.7. Paso 7: Proceso de medida y análisis de los datos

Con las fórmulas establecidas se podrán calcular cada uno de los elementos del coste de calidad. Estos resultados serán presentados de manera que puedan ser fácilmente interpretados. A partir de los resultados obtenidos, se podrán identificar las oportunidades de mejora y cuál es el seguimiento que se tendría que hacer.

■ 5.8. Paso 8: Análisis con la dirección y extensión del programa

Los datos obtenidos y el esfuerzo realizado en el área de prueba, junto con los resultados de la fase previa, permitirán a la dirección tomar una decisión sobre la extensión del programa a toda la empresa.

■ 6. EJEMPLO DE APLICACIÓN

A título orientativo se citan algunos ejemplos típicos de costes relacionados con la calidad:

- Costes de prevención:
 - Planificación de la calidad.
 - Preparación de los documentos relativos al aseguramiento de la calidad (Manual, Planes de calidad, Planes de control..).
 - Revisión de nuevos productos.
 - Obtención y análisis de datos sobre la calidad.
 - Informes de calidad.
 - Proyectos de mejora.
 - Evaluación de proveedores.
 - Sensibilización, motivación y formación.
 - Auditorias de calidad.
 - Análisis del valor.
 - Estudio de capacidad de procesos.
 - Homologación de productos y procesos.
 - Asesorías de Calidad.
 - AMFE de producto o de proceso.
 - Reuniones con los clientes para aclarar especificaciones.
 - Revisión de pedidos.
 - Reuniones con los proveedores para aclarar especificaciones.
 - Asistencia técnica a proveedores.
 - Mantenimiento preventivo.
 - Control de cambios de la documentación.
 - Acciones correctivas.
 - Reuniones del comité de Calidad.
 - Estimación de costes estándar.
- Costes de evaluación:
 - Verificación de recepción.
 - Inspección y pruebas.
 - Mantenimiento de los equipos de pruebas.

- Salarios y cargas relacionadas con las inspecciones.
- Materiales consumibles y muestras destruidas en prueba de evaluación.
- Amortización del material de control y pruebas.
- Control de proceso.
- Análisis o pruebas en laboratorios exteriores.
- Pruebas de vida.
- Revisión de documentos.
- Análisis de reclamaciones.
- Análisis de no conformidades.
- Exámenes de personal.
- Costes de errores internos:
 - Rechazos.
 - Trabajos de reproceso.
 - Repetición de pruebas.
 - Tiempos de parada.
 - Pérdidas de rendimiento.
 - Disposición de productos no conformes.
 - Búsqueda de salidas para productos fuera de especificaciones.
 - Productos adquiridos no utilizables.
 - Accidentes de trabajo.
 - Absentismo.
 - Paradas de planta.
 - Horas extraordinarias a causa de problemas.
 - Selección de partidas o piezas.
 - Anulaciones de pedidos a proveedores.
 - Mantenimiento correctivo.
 - Rechazos a proveedores.
 - Stock excesivo por falta de seguridad en los suministros.
 - Retrasos en la expedición.
- Costes de los errores externos:
 - Atención a las reclamaciones.
 - Análisis de devoluciones.
 - Costes asociados a las devoluciones.
 - Costes de garantía.
 - Reposiciones.
 - Anulación de pedidos.
 - Penalizaciones por retrasos.
 - Retirada de productos.
 - Servicio al cliente como consecuencia de errores.
- En los 4 anexos, se adjunta un ejemplo sencillo y ficticio para una mejor comprensión de la aplicación real del cálculo de los Costes de la Calidad.

A la vista de estos cálculos, el resultado final de los Costes de Calidad de esta empresa ficticia serían:

A. Coste controlable de Calidad:	94.319.742
A1. Costes de Prevención:	64.827.492
A2. Costes de Evaluación:	29.492.250
B. Coste resultante de Calidad:	355.944.138
B1. Costes por Fallos Internos:	330.342.252
B2. Costes por Fallos Externos:	25.601.886

ANEXO 1

PREVENCIÓN	VALOR	TOTAL
Personal de Calidad	17.224.956	17.224.956
Gastos generados por desplazamiento preventivos <ul style="list-style-type: none"> • Viajes-estancias • Comidas 	1.032.825 526.783	1.559.608
Mantenimiento preventivo <ul style="list-style-type: none"> • Personal mantenimiento • Accesorios 	9.625.346 15.968.754	25.594.100
Formación del personal <ul style="list-style-type: none"> • Formación realizada y horas empleadas por el personal 	8.654.739	8.654.739
Auditorías de Calidad <ul style="list-style-type: none"> • Facturas Empresas Auditorías externas • Personal propio: partes control costes calidad 	2.300.000 1.200.000	3.500.000
Asesorías de Calidad <ul style="list-style-type: none"> • Facturas empresas externas • Horas destinadas por personal propio 	836.459 763.845	1.600.304
Revisión de nuevos productos (AMFE diseño+producto)	3.345.600	3.345.600
Reuniones y asistencia técnica a clientes y proveedores	1.124.420	1.124.420
Reuniones Comités Calidad	2.223.765	2.223.765
		64.827.492

ANEXO 2

PREVENCIÓN	VALOR	TOTAL
Personal de Calidad	23.856.360	23.856.360
Compras y mantenimiento equipos ensayos	5.635.890	5.635.890
		29.492.250

MARZO 2002	COSTES DE CALIDAD	FICHA 26
1ª EDICIÓN		PÁG. 7 DE 7

ANEXO 3

ERRORES INTERNOS	VALOR	TOTAL
Rechazos internos • Según informe sobre rechazos internos	75.648.398	75.648.398
Retrabajos • Trabajos de reelaboración o selección según parte de trabajo	6.754.320	6.754.320
Absentismo (ILT, accidentes, etc.) • % absentismo sobre coste Seguridad Social	18.546.324	18.546.324
Tiempo de paro en máquinas no previsto	76.839.456	76.839.456
Stock excesivo • Diferencia de stock • Coste financiero • Coste almacenaje	57.389.231 7.834.560	65.223.791
Reparaciones de máquinas e instalaciones • Partes de reparación	86.973.215	86.973.215
Rechazos a proveedores • Rechazos (nº de rechazos x costes de gestión)	356.748	356.748
		330.342.252

ANEXO 4

ERRORES EXTERNOS	VALOR	TOTAL
Atención cliente causa de errores • Viajes-estancias • Comidas	487.930 68.749	556.679
Devolución de material	23.456.728	23.456.728
Derogaciones	64.800	64.800
Penalizaciones por retraso en las entregas	1.523.679	1.523.679
		25.601.886

■ 1. ¿QUÉ ES?

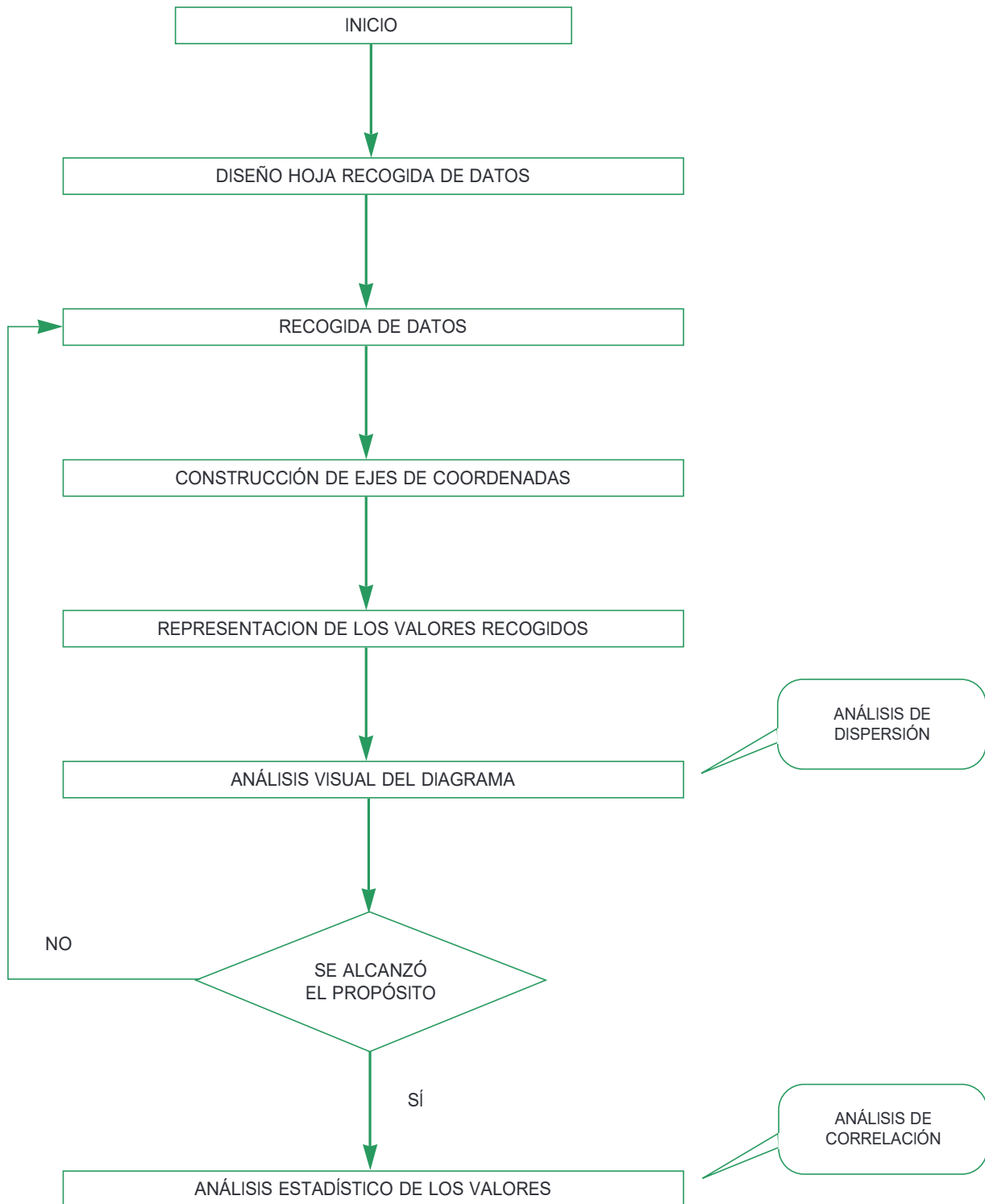
Es la representación gráfica de la relación entre dos variables

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Permite conocer el grado de relación existente entre dos variables.
- Puede ser útil para conocer los valores de una variable difícil de medir a través de otra más fácil suponiendo que esté relacionada con aquélla.
- Es una herramienta de análisis de problemas pero no de identificación de los mismos.
- Está directamente ligada con las técnicas estadísticas de análisis de correlación y de regresión. En este capítulo solamente se verá la primera.

■ 3. DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Análisis de correlación:* Es la técnica estadística de medida de asociación lineal más simple entre dos variables. Cuando existe una relación lineal alta el índice de correlación se acerca a 1 ó -1. El valor es adimensional a diferencia del índice de covarianza.
- *Análisis de regresión:* Es la técnica estadística que pretende estimar y utilizar una línea recta como modelo de relación existente entre dos variables.
- *Trazabilidad:* Aplicada a este caso, es la capacidad de ligar una fase concreta al proceso general de estudio.
- *Recorrido:* Aplicada a este caso, es la diferencia entre los valores máximo y mínimo de un conjunto de datos

4. DIAGRAMA DE FLUJO

MARZO 2002	DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN O CORRELACIÓN	FICHA 27
1ª EDICIÓN		PÁG. 3 DE 7

■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Paso 1: Diseño de la hoja de recogida de datos

Debe diseñarse un formato que incluya.

- Título identificativo del estudio en curso.
- Tres columnas (una cuarta opcional por si hay datos con alguna peculiaridad).
- Un apartado para observaciones.
- La fecha/s.
- La persona/s que registraron los valores.

Ejemplo:

TABLA DE RECOGIDA DE DATOS ASOCIADA AL ESTUDIO "XXX"

Nº DE OBSERVACIÓN	VARIABLE 1 (ENTRADA)	VARIABLE 2 (SALIDA)	OPCIONAL
1			
2			
3			
...
Observaciones:			
Realizado por:		Fecha/s:	

■ 5.2. Paso 2: Recogida de datos

Se deben recoger un mínimo de 30 parejas de datos (una por observación) siendo recomendable de 50 a 100. Las condiciones externas deben ser irrelevantes, en la medida que sea posible, para evitar sesgos en los datos registrados. En el caso de tener la sospecha de haber alguna anomalía, debe indicarse en la cuarta columna o en el apartado de observaciones.

El título, la persona y la fecha ayudarán a mantener la trazabilidad con el resto del estudio en proceso.

■ 5.3. Paso 3: Construcción de ejes de coordenadas

Se identifican los valores máximos y mínimos de cada variable. Se conoce así el recorrido de cada una, estableciéndose a continuación la escala de los ejes de abscisas y ordenadas.

Los ejes tendrán unas longitudes similares escogiendo escalas adecuadas. Se obtiene así una representación gráfica más clara.

5.4. Paso 4: Representación de los valores recogidos

Las parejas de valores recogidos se vuelcan sobre el diagrama.

Los valores repetidos se identifican con círculos concéntricos alrededor del punto (uno por dato repetido). También puede indicarse el valor numérico de los valores coincidentes al lado del punto.

Finalmente, se establece una línea imaginaria que resuma la concentración del mayor número de puntos. La línea buscada suele ser recta, aunque también se dan casos de líneas en forma de "U" por ejemplo.

5.5. Paso 5: Análisis visual del diagrama

Si existe alineación puede afirmarse que existe relación entre las variables.

De la observación del gráfico podría comentarse que existe una relación:

- Fuerte y creciente.
- Fuerte y decreciente.
- Débil y creciente.
- Débil y decreciente.
- Inexistente.

(Fuerte (o muy probable) / débil (o posible): En función del grado de aproximación a la recta imaginaria).

(Creciente (o positiva) / decreciente (o negativa): En función de la inclinación de la recta imaginaria).

No debe utilizarse como prueba directa que una variable es causa de la otra. En ocasiones, existe una tercera variable, de la que sí existe relación causa-efecto con las dos primeras, que al desaparecer de la representación, produce la sensación errónea de relación entre ellas.

La existencia de puntos aislados debe analizarse con la hoja de recogida de datos. Sobre ésta se registró las anomalías o incidencias en el apartado de observaciones (o en la 4ª columna opcional). A partir de aquí se tomará la decisión de eliminar el punto, mantenerlo o repetir el proceso.

El proceso también puede ser repetido concentrándose en el rango de valores que presenten más interés (o duda) para alcanzar el propósito del estudio.

5.6. Paso 6: Análisis estadístico de los valores (Análisis de correlación)

Si denominamos "r" al índice de correlación (de Pearson):

$$r_{xy} = 1/(n-1) \times \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})/(\sigma_x)] \times [(y_i - \bar{y})/(\sigma_y)]$$

MARZO 2002	DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN O CORRELACIÓN	FICHA 27
1ª EDICIÓN		PÁG. 5 DE 7

Siendo:

“ \bar{x} ”, la media de los valores 1 e “ \bar{y} ” la de los valores 2 de nuestra hoja de recogida de datos;

x_i, y_i cada uno de los valores 1 y 2 de nuestra hoja de recogida de datos;

s_x, s_y , las desviaciones típicas asociadas a los conjuntos de valores 1 y 2, respectivamente,

podemos obtener valores de “ r ” entre 1 y -1 .

Si $r > 0.80$ ó $r < -0.80$, podemos afirmar que existe relación positiva o negativa, respectivamente.

NOTA: Existen numerosos programas informáticos que calculan de forma instantánea el factor de correlación de Pearson. No tiene sentido hacer las operaciones sin la ayuda de estos programas.

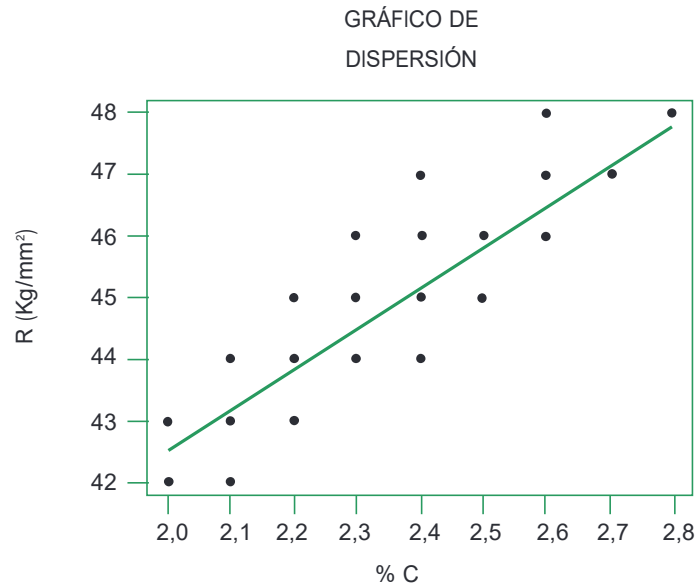
■ 6. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Supongamos que queremos estudiar la relación entre la proporción (%) de carbono en un acero y la resistencia al alargamiento medida en Kg/mm^2 .

ESTUDIO DE RESISTENCIA DEL ACERO AL ALARGAMIENTO

Nº DE OBSERVACIÓN	% C	R (KG/MM ²)	OPCIONAL
1	2,0	43	
2	2,4	46	
3	2,2	45	
4	2,3	44	
5	2,5	45	
6	2,8	48	
7	2,2	43	
8	2,7	47	
9	2,4	44	
10	2,3	45	
11	2,0	42	
12	2,2	44	
13	2,6	47	
14	2,1	44	
15	2,5	46	
16	2,7	47	
17	2,1	44	
18	2,6	48	
19	2,4	45	
20	2,1	43	
21	2,3	45	
22	2,2	43	
23	2,3	46	
24	2,4	47	
25	2,3	44	
26	2,4	45	
27	2,6	46	
28	2,5	42	Desgarro en sujeción
29	2,6	46	
30	2,4	46	
Observaciones: En el ensayo 28 se procedió a cambiar el sistema de sujeción			
Realizado por: Francisco García y Emilio Alonso		Fecha/s: 28-29/12/99	

El diagrama de dispersión sería:



Donde puede apreciarse una relación creciente (positiva) aunque débil. Debería estudiarse los puntos aislados para su confirmación.

Aplicando el índice de correlación de Pearson se obtendría un valor:

$$r = r_{xy} = 1/(n-1) \times \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})] = 0.789$$

que indica una correlación positiva (creciente) aunque no supera el 0.8.

En este caso el autor solicitaría el ensayo de, al menos, diez muestras más para corroborar la fortaleza de la correlación.

1. ¿QUÉ ES?

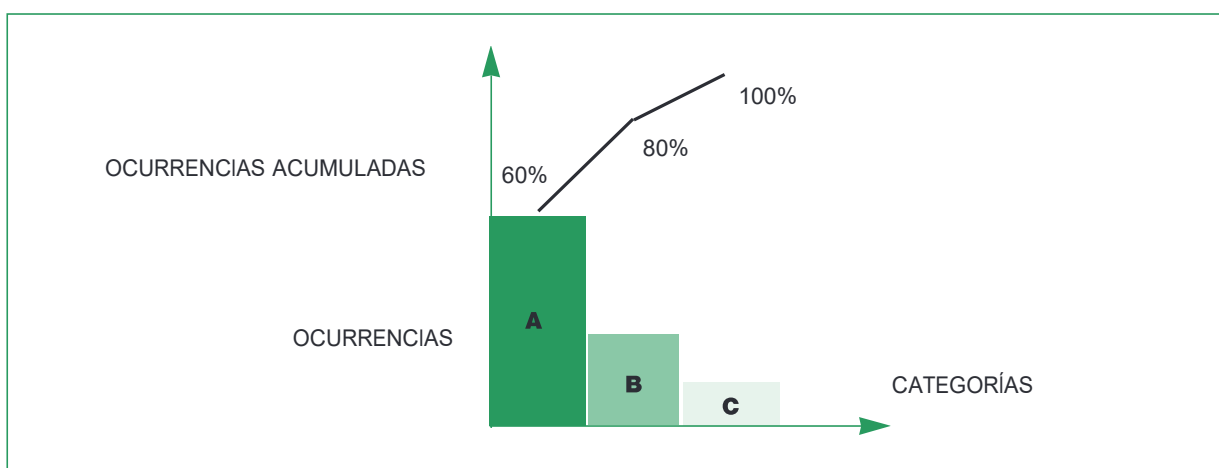
Técnica utilizada en la solución de problemas para representar datos sobre un problema que permite identificar fácilmente los aspectos más significativos del mismo. Se realiza dibujando un gráfico de barras conocido como “diagrama de Pareto”.

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

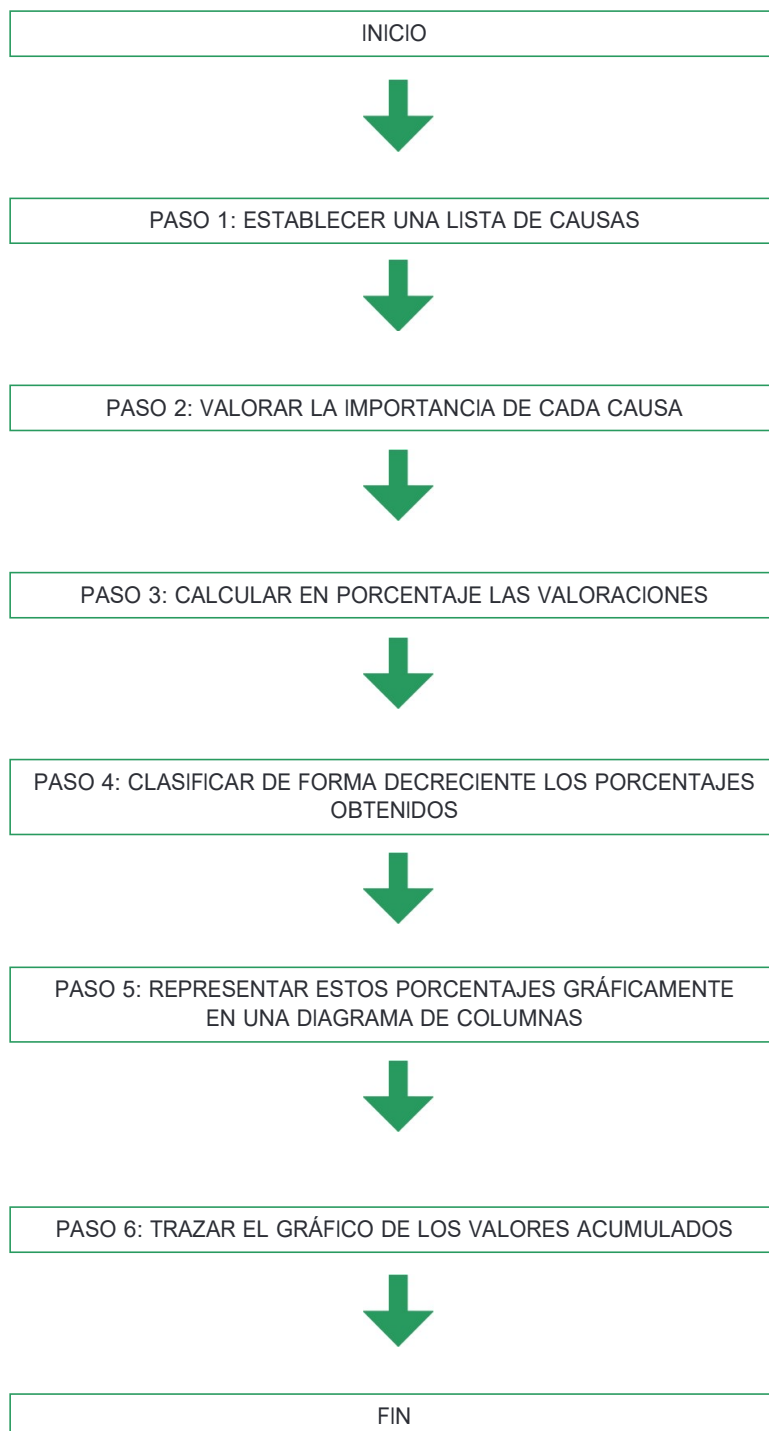
- *Claridad*: Hace aparecer el dato sobre el que se debe centrarse el esfuerzo, explicando cuáles son las causas que una vez eliminadas bajarán el efecto del problema y por lo tanto son las sobre las que primero hay que actuar.
- *Simplicidad*: Es una herramienta de muy fácil aplicación
- *Efectividad*: Su objetivo es conseguir el máximo resultado atacando el mínimo de causas. (Regla 80/20, curva ABC).

3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Pareto*: Economista italiano del s. XIX.
- *Regla 80/20*: El 80% de un problema se soluciona con el 20% de las causas. “Vital few and trivial many” J.M. Juran, Gestión de la Calidad, AENOR 1983.
- *Curva ABC*: Representa en porcentaje acumulado, la ocurrencia de tres tipos de categorías:
 - A: Gran ocurrencia
 - B: Ocurrencia media
 - C: Baja ocurrencia
 Hay que definir previamente los límites entre A, B y C.
 Ejemplos: Piezas de gran, medio y bajo consumo. Tipo de fallo frecuente, medio y esporádico, etc.



■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO



MARZO 2002	DIAGRAMA PARETO	FICHA 28
1ª EDICIÓN		PÁG. 3 DE 4

■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Paso 1: Establecer una lista de causas

Las enumeramos.

■ 5.2. Paso 2: Valorar la importancia de cada causa

Según el criterio de valoración, se asigna una cantidad a cada causa.

■ 5.3. Paso 3: Calcular en porcentaje las valoraciones

Sumamos las valoraciones de todas y obtenemos los porcentajes de cada una de ellas.

■ 5.4. Paso 4: Clasificar de forma decreciente los porcentajes obtenidos

■ 5.5. Paso 5: Representar en un diagrama de columnas

Tomando como ordenadas, los porcentajes; y como abscisas, las causas representamos en un diagrama de barras las causas ordenadas como se indica en el paso 4

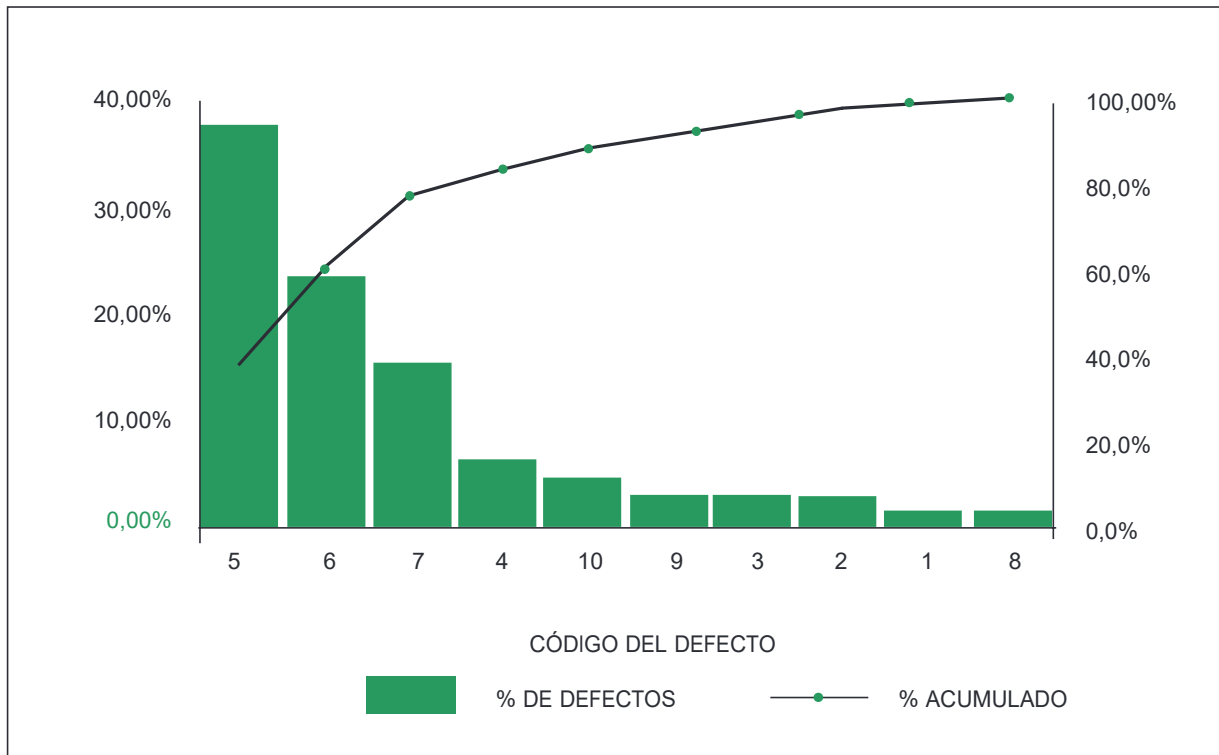
■ 5.6. Paso 6: Trazar el gráfico de los valores acumulados

■ 6. EJEMPLO DE APLICACIÓN

- *Qué:* Vamos a hacer una explotación de los datos que nos proporciona una auditoría diaria de los defectos encontrados en piezas de chapa estampadas para el automóvil.
- *Cómo:* Clasificadas según el origen del defecto.
- *Para qué:* Con ello podremos actuar sobre las *causas* más relevantes.

SEGUIMIENTO DE DEFECTOS EN PIEZA POR MES

Referencia		Cliente		Mes: _____
TIPOS DE DEFECTOS		Nº DEFECTOS		% SOBRE TOTAL
1.	Materia Prima		1	1,56%
2.	Picos y Granos		2	3,13%
3.	Grietas, Roturas, Estiramientos		2	3,13%
4.	Rebabas		4	6,25%
5.	Arrugas o Pliegues		24	37,50%
6.	Deformaciones		15	23,44%
7.	Bollos		10	15,63%
8.	Geometría no conforme		1	1,56%
9.	Acondicionamiento		2	3,13%
10.	Otros		3	4,69%
TOTAL			64	100,00%



MARZO 2002	EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS DE CONTROL	FICHA 29
1ª EDICIÓN		PÁG. 1 DE 6

■ 1. ¿QUÉ ES?

Es una herramienta que nos permite analizar y evaluar los sistemas anti-error integrados en una línea de montaje.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

A continuación se comentan una serie de características que ayudan a comprender la naturaleza de la herramienta.

- Define los criterios significativos según el punto de vista del cliente (identificación, montabilidad, conectabilidad, funcionalidad, etc...).
- Es un trabajo en equipo que requiere la puesta en común de los conocimientos de todas las áreas afectadas.
- Cuantifica la eficacia de cada equipo de control.
- Permite priorizar acciones en los puntos débiles del proceso.
- Ayuda a implantar nuevos sistemas de control para llegar a un nivel mínimo de incidencia en el cliente.
- Tiene como objetivo final eliminar los rechazos de nuestros clientes.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Cliente:* Se considera cliente tanto al usuario final (cliente externo) como la siguiente operación o fase del proceso (cliente interno).
- *Fallo:* Se dice que un proceso falla cuando no lleva a cabo, de forma satisfactoria, la prestación que de él se espera (función).
- *Características significativas:* Son aquellas características determinadas en plano o definidas internamente (experiencia, histórico de calidad) que pueden ocasionar un fallo en cliente. Dentro de estas características se incluyen las de Seguridad y Reglamentación.
- *Etapas del proceso:* Son los diferentes pasos que afectan a una pieza, conjunto o servicio (recepción, sub-montajes, montajes, identificación, embalaje, expedición...).
- *Prioridad:* Define la importancia de la característica a evaluar.
- *AMFE:* Es una herramienta de análisis para la identificación, evaluación y prevención de los posibles fallos y sus efectos que pueden aparecer en un producto, servicio o proceso.
- *PPM (Partes Por Millón):* Es el número de piezas defectuosas encontradas en un proceso por cada millón de piezas fabricadas.

4. DIAGRAMA DE FLUJO

MARZO 2002	EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS DE CONTROL	FICHA 29
1ª EDICIÓN		PÁG. 3 DE 6

■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Etapa 1: Selección del grupo de trabajo

El grupo de trabajo debe de ser multi-disciplinar, incluyendo personas de diferentes departamentos con experiencia y conocimiento del proceso objeto del estudio.

Se designará un coordinador que, además de encargarse de la organización de las diferentes reuniones, conozca la técnica del sistema Takahashi y sea capaz de guiar al equipo en su realización.

■ 5.2. Etapa 2: Establecer el tipo de proceso a analizar, su objeto y límites

Es muy importante definir de forma precisa el proceso objeto del análisis, delimitando el campo de aplicación.

En esta etapa es necesario disponer de un diagrama de flujo del proceso, del histórico de calidad del mismo o de un proceso similar (defectos internos y externos), de los planos del producto a fabricar en ese proceso y si es posible de los defectos definidos en el AMFE del proceso.

■ 5.3. Etapa 3: Determinar las características significativas del cliente

Éste es una de las etapas más importantes por lo que se deberán utilizar todos los datos disponibles que puedan ayudar en esta tarea:

- AMFE del proceso o de uno similar.
- Datos y análisis del histórico de calidad interno.
- Datos y análisis del histórico de calidad en cliente (Km. 0 y garantía).
- Conocimientos de los integrantes del grupo por la experiencia adquirida.
- Las características señaladas en los planos del producto a realizar en el proceso definido.

■ 5.4. Etapa 4: Agrupar las características

Las características pueden agruparse bajo diferentes criterios según las necesidades propias.

Se pueden utilizar criterios que representen el punto de vista del cliente externo (montabilidad, identificación, funcionalidad...), del cliente interno u otras.

■ 5.5. Etapa 5: Dar prioridad a las características definidas en la etapa anterior

En esta etapa deberá definirse característica a característica un nivel de prioridad con el fin de actuar al final del análisis sobre las más críticas.

La clasificación para cada característica puede ser la siguiente:

- *Característica A:* Es aquella definida en el plano como característica de Seguridad o Reglamentación o bien haber tenido una reclamación de cliente durante el último año.

- *Característica B*: Es aquella que no ha tenido reclamaciones de cliente pero que provoca internamente un rechazo superior a “X” ppm.
- *Característica C*: Es aquella que no ha tenido reclamaciones de cliente y que provoca internamente un rechazo inferior a “X” ppm.

En cada caso se pueden definir distintas definiciones para cada nivel.

5.6. Etapa 6: Evaluación de los equipos de control

Cada etapa del proceso se evaluará según lo especificado en la tabla del anexo 1.

A cada etapa del proceso se le asigna una puntuación en función del tipo de control existente. Si en una etapa existe más de un tipo de control los puntos son acumulables (por ejemplo, si en una estación existe un control automático con expulsión automática del sub-conjunto y además se efectúa un control visual por muestreo, la puntuación de ese puesto será de $6+1=7$).

5.7. Etapa 7: Calcular la puntuación sobre cada característica

Con los puntos definidos en cada etapa del proceso, se efectúa la suma total de los mismos y se aconseja que para cada característica la suma total sea mayor o igual a 8.

En el caso de que la puntuación sea inferior a 8 se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- En primer lugar, las características de tipo A con puntuación de menor a mayor.
- Características de tipo B con puntuación de menor a mayor.
- Características de tipo C con puntuación de menor a mayor.
- Resto de características con puntuación igual a 8.

5.8. Etapa 8: Acciones de mejora

Una vez definidas las características sobre las que trabajar, se establecerá un plan de acción para aumentar la puntuación en el que se señalarán las diferentes acciones, los responsables y las fechas de aplicación para cada una de las acciones.

El plan de acción debe ser revisado periódicamente con el fin de registrar la aplicación de las acciones y su efectividad.

MARZO 2002	EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS DE CONTROL	FICHA 29
1ª EDICIÓN		PÁG. 5 DE 6

ANEXO 1. TABLA DE PUNTUACIÓN

Control automático integrado en un flujo automático (transferencia entre puestos automatizados) con destrucción de las piezas no conformes	7
Control automático integrado en un flujo automático con expulsión automática o manual de las piezas no conformes (válido sólo para sub-conjuntos)	6
Control automático integrado en un flujo automático con expulsión automática o manual de las piezas no conformes (válido sólo para conjuntos terminados)	5
Control automático integrado en un flujo manual con expulsión automática o manual de las piezas no conformes	4
Seguimiento SPC con $C_{pk} \geq 1,33$	3
Seguimiento SPC con $C_{pk} \geq 1,33$ y control 100%. Control por atributos o dimensional 100%, control visual 100% sobre puesto específico de control (tiempo asignado por el control \geq al tiempo de gama de trabajo)	2
Control visual, por atributos o dimensional por muestreo (al menos una vez por equipo) sobre puesto de trabajo incluido en la operación de fabricación (tiempo asignado $<90\%$ del tiempo de gama de trabajo)	1
Control por atributos, visual o dimensional por muestreo menor a una vez por equipo	0,5
Resto de controles (ejemplo: un certificado de conformidad, un control visual realizado por el operario que pueda crear el defecto...)	0

■ 1. ¿QUÉ ES?

La fiabilidad es la probabilidad de que un producto o un sistema realice una función específica de forma satisfactoria para un período de tiempo cuando trabaja bajo unas condiciones de operación predeterminadas.

■ 2. CARACTERÍSTICAS

La fiabilidad es una extensión de la calidad operacional, o funcionalidad, a lo largo del tiempo.

La fiabilidad pone en énfasis la prevención de las causas de los fallos.

La fiabilidad agrupa un conjunto de teorías y métodos matemático-estadísticos, de procedimientos organizativos y de prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de los fallos, están dirigidos a la resolución de los problemas de previsión, de estimación y de optimización de la probabilidad de supervivencia.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *La probabilidad de fallo:* Es la probabilidad de que la unidad de observación falle en una duración específica t . Por ejemplo: La probabilidad de que una caldera de vapor falle a las 2.000 horas de funcionamiento.
- *La probabilidad de supervivencia:* Es la probabilidad de que la unidad de observación supere la duración t sin fallar. Es el complemento de la función de probabilidad de fallo $F(t)$, es decir,

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Por ejemplo: La probabilidad de que la caldera de vapor no falle hasta transcurridas 2.000 horas de funcionamiento.

- *Tasa o cuota de fallos:* Es el cociente de la función de densidad de fallos $f(t)$ respecto a la parte del conjunto base.

$$l(t) = f(t)/R(t)$$

- *Duración:* Es el tiempo transcurrido hasta que se alcanza un porcentaje definido de unidades fallidas de una población. Por ejemplo: Han sido necesarias 5.000 horas de utilización, para que haya fallado el 30% de un lote de 2.000 paneles solares.
- *Tiempo medio entre fallos:* Es la media aritmética de la duración calculada de un número de unidades de observación iguales. Por ejemplo: La media aritmética de la duración de un lote de 500 equipos de visión nocturna es de 18 meses.
- *Curva de la Bañera:* Si se presenta la variación de la cuota de fallos respecto al tiempo, se obtiene la Curva de la Fiabilidad del Producto que, por la forma que adopta, se denomina también Curva de la Bañera. En la curva aparecen tres zonas diferenciadas:

- *Zona a. Etapa de introducción (fallos infantiles):* Se caracteriza por presentar cuotas de fallos altas, que aparecen al inicio de la vida del producto y que disminuyen con el tiempo. La aparición de estos fallos puede ser debida a, p.e.:
 - Un diseño incorrecto.
 - Un deficiente criterio de control de calidad.
 - Una toma de muestras no representativa del lote que se está elaborando.
 - Una instalación incorrecta.
 - Un período de rodaje mal efectuado.
 - Unas instrucciones de uso deficientes.
- *Zona b. Etapa de cuota de fallos constante:* Al quedar eliminadas las causas que originan los fallos en la etapa anterior, la aparición de fallos se debe a causas de origen diverso, cuya manifestación es aleatoria. Por seguir las leyes de la probabilidad presentan una cuota de fallos uniforme durante todo el tiempo que dura esta etapa. La aparición de estos fallos puede ser debida a, p.e.:
 - Las solicitudes de funcionamiento superiores a las diseñadas.
 - Las limitaciones inherentes al diseño.
 - Los cambios en el entorno de aplicación.
 - El mantenimiento incorrecto.
 - Accidentes.

Normalmente, en esta etapa, para reducir la cuota de fallos es necesario rediseñar el producto.
- *Zona c. Etapa de desgaste:* Se caracteriza por presentar cuotas de fallos crecientes con el tiempo, por degradación de los componentes debida al desgaste o envejecimiento, al haber superado el límite de vida previsto. Para retardar la aparición de esta etapa, puede acudirse a la sustitución inmediata de los componentes del producto cuando éstos fallan, o a efectuar la sustitución antes de que transcurra su vida útil, con un programa preventivo de reemplazamiento. De este modo, el inicio de la etapa de desgaste puede ser pospuesto casi indefinidamente.

■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO

Para manejar el concepto fiabilidad, resulta necesario el conocimiento de métodos estadístico-matemáticos y, de manera general, disponer de un número elevado de muestras.

Para desarrollar el concepto general de fiabilidad es necesario de una manera genérica definir las exigencias durante:

■ 4.1. El diseño

El diseño es la primera etapa del desarrollo:

- Establecer los requisitos globales –cualitativos y cuantitativos–:
 - Según las especificaciones del cliente.
 - De acuerdo con la propia iniciativa.
- Aplicar, durante el diseño, las técnicas adecuadas y las normas de buena práctica.

- Participar en el establecimiento de las características físicas y operativas del producto y/o sistema.
- Aplicar el método AMFE y el análisis de criticidad.
- Definir las mediciones a realizar para evaluar las características cualitativas y cuantitativas establecidas.
- Evaluar los efectos que sobre el producto tienen: el embalado, el transporte, la forma de empaquetar y el almacenamiento.
- Realizar los ensayos de fiabilidad adecuados y la evaluación correspondiente.
- Revisar la información completa y, eventualmente, indicar las acciones para corrección.

4.2. La ejecución

Una vez terminada la etapa de diseño, pasamos a las etapas de ejecución:

- El desarrollo y las pruebas de los prototipos.
- La preparación de la elaboración del producto.
- La preserie y la prueba del producto.
- La elaboración del producto.

5. REALIZACIÓN

5.1. Grupo de trabajo

La gestión de este proceso debe tener en cuenta, además de los procedimientos internos de la empresa, la participación del cliente tanto en la definición técnica del producto como en el establecimiento de los aspectos contractuales relativos, p.e., a las penalizaciones, por incumplimiento de las condiciones de fiabilidad.

La tendencia actual es aplicar la “ingeniería en paralelo”, llamada también “ingeniería recurrente”, lo que permite solapar determinadas actividades con unas reglas bien definidas, para reducir la duración total de este proceso.

5.2. Fiabilidad

FIABILIDAD DE UNA UNIDAD DE OBSERVACIÓN

Para cuantificar la fiabilidad de una unidad de observación hay que seguir el proceso siguiente:

- Colocar en un banco de pruebas el componente y ponerlo en funcionamiento hasta que falle.
- Registrar este tiempo.
- Poner en pruebas un nuevo componente y registrar el siguiente tiempo de fallo.
- Repetir este proceso tantas veces como esté previsto.

La fiabilidad se mide mediante la Cuota de fallos λ , que es el número de fallos por unidad de tiempo.

$$\lambda = \text{n}^\circ \text{ total de fallos} / \text{tiempo total acumulado}$$

Se puede expresar como el número de fallos por hora o como el porcentaje de fallos cada 1.000 horas.

$$\lambda = [\text{n}^\circ \text{ de fallos} / \text{tiempo total acumulado}(\text{h})] \times 100.000 = \% \text{ de fallos} / 1.000 \text{ horas}$$

Ejemplo: Al cabo de 1.000 horas de la prueba de 100 baterías, se obtienen los siguientes resultados: 2 fallan a las 400 horas, 1 a las 500 horas y 1 a las 700 horas.

La cuota de fallos λ se calcula dividiendo el número de fallos observados (4 en este caso) por el número total de horas de funcionamiento. Por tanto:

$$\lambda = 2+1+1/2 \times 400 + 500 + 700 + [(100-4) \times 1.000] = 0,000041 \text{ h}^{-1}$$

Es decir, el índice de fallos es del 4,1% cada 1.000 horas.

LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN TOTAL

La preocupación del usuario está no sólo en reducir los fallos durante la primera etapa, sino fundamentalmente en prolongar el tiempo que el producto funcione sin fallar.

Para representar matemáticamente, el comportamiento real de un producto a los fallos durante su ciclo total de vida, han sido establecidos modelos que sustituyen (de forma aproximada) a la verificación al azar, mediante funciones teóricas de distribución estadística.

Las distribuciones de probabilidad pueden ser continuas o discretas, dependiendo de que la característica que se mide pueda tomar cualquier valor, o sólo ciertos valores.

- *Distribuciones de probabilidad continuas:* La práctica ha demostrado que para los ensayos de duración resultan especialmente adecuadas las funciones de distribución siguientes:
 - La de Weibull.
 - La normal.
 - La logarítmico-normal.
 - La exponencial.
- *Distribuciones de probabilidad discretas:* Las distribuciones discretas se caracterizan porque los valores de la variable no pueden ser divididos ni mezclados unos con otros. Las distribuciones discretas más utilizadas son la binomial y la de Poisson.

6. FIABILIDAD DE LOS SISTEMAS

Los equipos, las instalaciones y en general, los sistemas, están compuestos por elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos. La fiabilidad de estos conjuntos, es decir, la probabilidad de no fallen, es el resultado de la acción combinada de la fiabilidad de sus elementos.

El análisis de la fiabilidad de un sistema se realiza descomponiéndolo en unidades operativas independientes, de manera que la probabilidad de que se produzca un fallo en una de ellas es un suceso casual y estadísticamente independiente de que se produzca en otra. Esta descomposición en unidades operativas no tiene por qué corresponderse con un conjunto físico.

6.1. Sistemas en serie

La fiabilidad R_s de un sistema compuesto por n unidades operativas independientes entre sí, alineadas de tal forma que el fallo de cualquiera de ellas provoca el fallo del sistema, queda definida por el producto de las fiabilidades R_i de las n unidades operativas.

Ejemplo: Un equipo está compuesto por tres elementos independientes alineados, cuyas fiabilidades al cabo de un tiempo determinado, son: 0,85, 0,90 y 0,80, respectivamente. La probabilidad que el equipo funcione al cabo de este tiempo, es:

$$P(\text{equipo funcione}) = R_A \times R_B \times R_C = 0,85 \times 0,90 \times 0,80 = 0,612$$

Este equipo es menos fiable que cualquiera de sus componentes, al ser $R_s = 61,2\%$, y la fiabilidad del menos fiable de sus componentes ser, $R_i = 80\%$.

6.2. Sistemas en paralelo

Cuando el sistema está compuesto por n unidades operativas independientes entre sí y dispuestas en paralelo, garantiza que el fallo de una cualquiera de ellas no causa el fallo del sistema.

Ejemplo: Un equipo consta de tres partes independientes en paralelo cuyas fiabilidades, al cabo de un tiempo determinado, son 0,85, 0,90 y 0,80 respectivamente. La probabilidad que el equipo funcione, al cabo de este tiempo, es:

$$P(\text{equipo funcione}) = 1 - P(\text{todas fallen}) = 1 - (0,15 \times 0,10 \times 0,20) = 0,997$$

Este equipo es más fiable que cualquiera de sus componentes, al ser $R_s = 99,7\%$, y la fiabilidad del más fiable de sus componentes ser, $R_i = 90\%$.

■ 1. ¿QUÉ ES?

Los gráficos de control son herramientas que permiten la comparación gráfica y cronológica de las características de calidad de un producto o los parámetros de un proceso con unos límites que reflejan la capacidad del proceso.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Un gráfico de control nos permite asegurar que un proceso está bajo control estadístico, identifica claramente las causas especiales que afectan a un proceso y magnitud de las causas especiales del mismo.

Una de las principales características de un gráfico de control es la capacidad de predicción del proceso. Para ello es necesario que la variabilidad en el producto sea debida únicamente a causas comunes.

Los gráficos de control nos permiten:

- Identificar las causas especiales.
- Reducir las variaciones en la producción.
- Observar las tendencias de un proceso.
- Incrementar el rendimiento total de la producción.
- Reducir las variaciones en la producción
- Obtener una mejor relación calidad/coste.
- Minimizar los desechos.

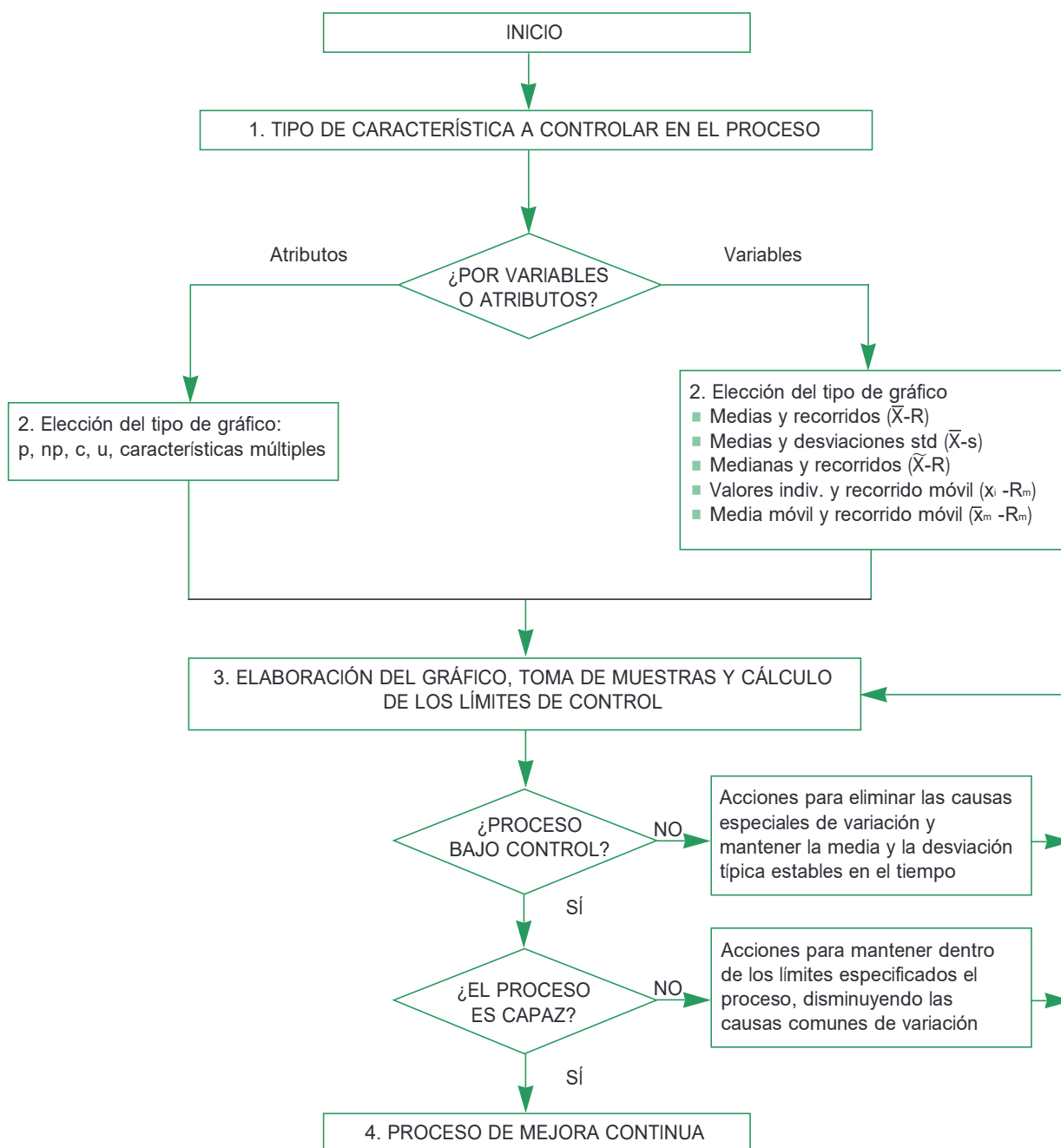
Pueden clasificarse según sus características: por variables y por atributos.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Causas comunes*: Fuente de variación permanente y estable. Forman parte de la variación aleatoria inherente al proceso en sí. Generalmente su origen se debe a un fallo del sistema, que sólo la supervisión puede corregir.
- *Causas especiales*: Fuentes de variación intermitente que es imprevisible e inestable; también se denomina causa asignable. Se aprecia por un punto fuera de los límites de control.
- *Datos variables*: Datos cuantitativos que nos indican el valor de una característica del producto o proceso. La evaluación se realiza de acuerdo con una escala de medida.
- *Datos atributos*: Datos cualitativos que nos indican la conformidad o no conformidad del producto con un criterio específico. La evaluación se realiza en términos de aceptable o no aceptable.
- *Media*: La media de una serie de valores se obtiene sumando todos los valores y dividiendo su resultado por el número de ellos.
- *Mediana*: Es el que divide a la serie de valores en dos grupos con el mismo número de elementos.
- *Desviación típica o estándar*: Es la raíz cuadrada de la media aritmética de las distancias al cuadrado de cada valor a la media de la distribución.

- *Recorrido*: Es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de una serie de datos.
- *Límites de control*: Líneas de un gráfico de control que sirven de base para juzgar si un grupo de valores está o no en estado de control estadístico (estable). Estos límites se calculan partiendo de los datos del proceso y no tienen relación con los límites de especificación.
- *Tolerancia*: Desviación permisible del campo de variación asignado a un valor nominal.
- *Muestra*: Uno o más hechos o mediciones individuales seleccionados de la salida del proceso.

4. DIAGRAMA DE FLUJO



■ 5. REALIZACIÓN

■ 5.1. Paso 1. Tipo de características a controlar en el proceso

Antes de comenzar un gráfico de control deberemos definir cuáles son las características que queremos controlar, ya que esto afectará al tipo de gráfico que posteriormente se elija, gráfico por variables o por atributos.

En la elección de las características se deberán tener en cuenta entre otras, los requisitos, especificaciones y exigencias de los clientes, los procesos problemáticos, áreas o procesos que necesitamos mejorar (incrementar rendimientos, reducción de retrabajos, desguaces etc.). En definitiva, todas aquellas características que nos permitan contribuir en la mejora de los procesos.

■ 5.2. Paso 2. Elección del tipo de gráfico

Una vez determinada la característica a controlar, se elegirá el gráfico que más se ajusta a la característica y al proceso. Los gráficos que podemos utilizar son:

GRÁFICOS POR VARIABLES:

- *Gráfico de X-R*: Gráfico de medias y recorridos. Permite seguir dos factores, uno que indica la tendencia central, la media, y el recorrido la dispersión. Este tipo de gráfico es el más utilizado.
- *Gráfico de X-s*: Gráfico de medias y desviaciones típicas, este gráfico pone en relación la media como factor de tendencia central y la desviación típica como factor de dispersión.
- *Gráfico de medianas y recorridos X-R*: El gráfico de medianas y recorridos, relaciona entre sí la mediana, como factor de tendencia central y el recorrido como factor de dispersión.
- *Gráfico de valor individual y recorrido móvil xi-Rm*: Este gráfico relaciona el valor individual, como factor de tendencia central, y el recorrido móvil como factor de dispersión. Este gráfico se utiliza cuando no es posible tener nada más que un valor por cada muestra.
- *Gráfico de media móvil y recorrido móvil Xm-Rm*: Este gráfico relaciona la media móvil, como factor de la tendencia central, y el recorrido móvil, como factor de dispersión.

GRÁFICOS POR ATRIBUTOS:

- *Gráfico p por atributos*: Proporción de piezas defectuosas. En algunos casos este valor se multiplica por 100 y entonces da el % de piezas defectuosas. La cantidad de piezas de la muestra no tiene que ser rigurosamente constante, puede variar en un 25%.
- *Gráfico np por atributos*: Número de piezas defectuosas por muestra. La cantidad de piezas de la muestra debe ser siempre constante.
- *Gráfico u por atributos*: Número de defectos por unidad. La cantidad de piezas de la muestra no tiene que ser rigurosamente constante, puede variar en un 25%.
- *Gráfico c por atributos*: Número de defectos por muestra. La cantidad de piezas de la muestra debe ser siempre constante.
- *Gráfico de características múltiples*: En muchas situaciones de control de proceso, hay que controlar más de una característica de atributo. Esto tiene la ventaja de que sólo se

necesita un gráfico para abarcar varios tipos de disconformidades. Este tipo de gráfico se puede aplicar a cualquiera de los cuatro sistemas de gráfico de control por atributos.

Existen otros gráficos menos utilizados como los de Forestier, de celda, de centro de recorrido.

5.3. Paso 3. Elaboración del gráfico, toma de muestras y cálculo de los límites de control

Una vez elegidas las características y el gráfico a utilizar seguiremos los siguientes pasos:

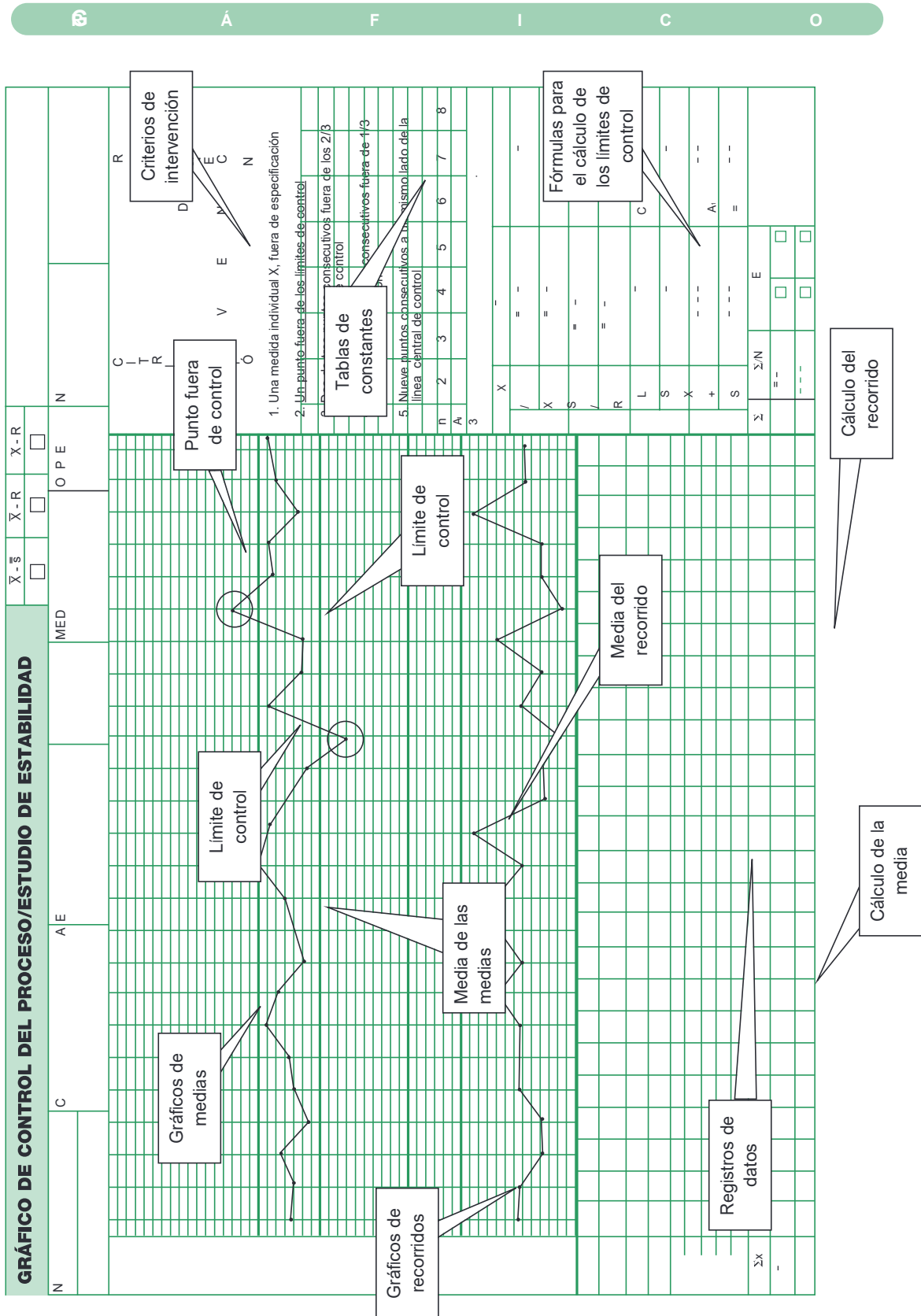
- Determinación del sistema de medición de la característica. El sistema debe ser exacto y preciso.
- Determinación del tamaño, la frecuencia y el número de muestras.
- Recogida de los datos de sucesivas muestras de producto conforme se vaya realizando la producción.
- Cálculo de los límites de control a partir de los datos obtenidos.
- Comienzo del gráfico anotando los valores obtenidos con los puntos representativos de la producción.
- Toma de las acciones correctoras pertinentes para eliminar las causas especiales que afectan al proceso.
- Nuevo cálculo de los límites de control eliminando aquellos valores asociados a causas especiales.
- El proceso está bajo control y es capaz de cumplir los límites especificados. Recogida y anotación de los datos según tamaño y frecuencia de las muestras, toma acciones correctoras en el caso de que un punto o tendencias indique una desviación de proceso. Los criterios de actuación sobre el proceso son los siguientes:
 - Una medida individual fuera de los límites de tolerancia o especificación. Esto quiere decir, que si aparece una medida de las cinco tomadas fuera de tolerancia hay que tomar acciones correctivas, aunque la media que calculemos sea correcta.
 - Un punto fuera de los límites de control.
 - Dos de tres puntos consecutivos fuera de los 2/3 centrales del área de control.
 - Cuatro de cinco puntos consecutivos fuera de 1/3 central del área de control.
 - Siete puntos consecutivos a un mismo lado de la línea central de control.

En la práctica, al iniciarse el establecimiento de los gráficos de control, es aconsejable elegir la dimensión o dimensiones que según la experiencia suelen traer problemas de calidad. Cuando se implante en un proceso o en una empresa por primera vez, para coger práctica se debe elegir una cota simple como un diámetro o longitud, prescindiendo de ángulos, conos, roscas, etc.

5.4. Paso 4. Proceso de mejora continua

Es en esta fase de implantación de un gráfico de control cuando el proceso está bajo control y el proceso es capaz. Esta situación nos permite predecir las condiciones del proceso, y asegurar la producción. Bajo estas circunstancias, en las que sólo las causas comunes son las responsables de las variaciones del proceso se debe proceder a mejorar estas variaciones que serán debidas a causas relacionadas con la mano de obra, la máquina, el medio ambiente, método, materiales y sistema de medición.

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN



1. ¿QUÉ ES?

Un histograma es la representación gráfica de un conjunto de datos en forma de distribuciones de frecuencias.

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Resume en una figura los datos de una tabla.

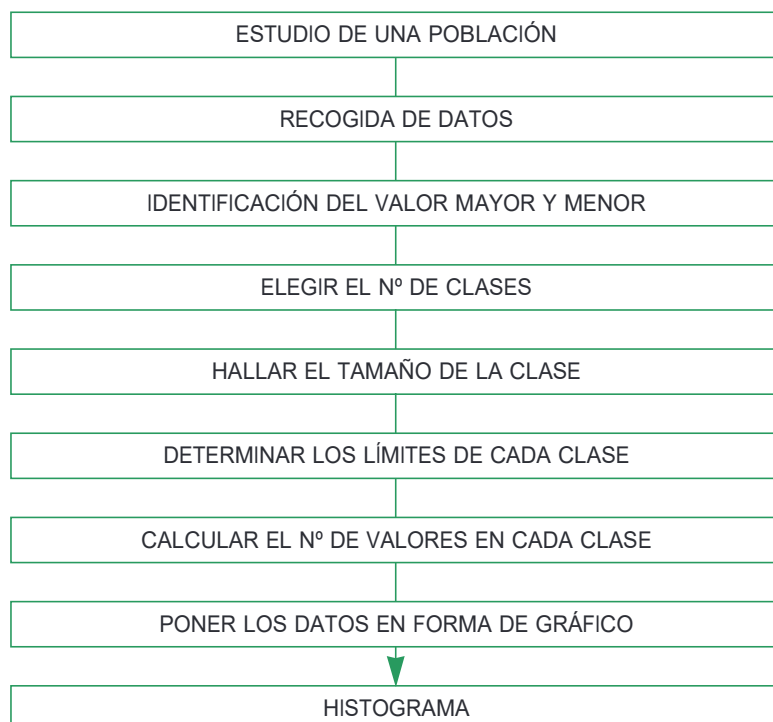
Da una visión rápida de las características de esos datos. Nos dice cuáles son los más frecuentes y la relación entre ellos. Permite detectar mezcla de poblaciones, valores anómalos, distribuciones truncadas.

Es un formato normalizado que permite la comunicación fácil entre usuarios.

3. DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Rango*: Diferencia entre el valor máximo y el mínimo.
- *Clase o subdivisión*: Son las partes en que dividimos la variación total de los datos.
- *Longitud del intervalo*: Es la diferencia entre los valores extremos de cada intervalo.
- *Marca de clase*: Es el valor del punto medio del intervalo.
- *Frecuencia absoluta*: Es el nº de datos que se ubican en dicho intervalo.
- *Formas de distribución típicas*: Forma de campana, doble pico, meseta, truncada...

4. DIAGRAMA DE FLUJO



■ 5. REALIZACIÓN

Etapas para la construcción de un histograma:

■ 5.1. Recogida y registro de datos (impreso apropiado)

- A mayor tamaño de muestra, más precisión (>30)

■ 5.2. Identificar el valor mayor (máx.) y menor (mín.)

- Cálculo del rango (r) = máx. – mín.

■ 5.3. Determinar el número de subdivisiones o clases (k)

NÚMERO DE OBSERVACIONES (N)	NÚMERO DE CLASES (K)
30 a 50	5 a 7
51 a 100	6 a 10
101 a 250	7 a 12
más de 250	10 a 20

■ 5.4. Hallar el tamaño de la clase (h): cociente r / K

■ 5.5. Redondear el tamaño de la clase (h)

■ 5.6. Determinar los límites de cada clase

- Ajustar (redondear) los límites de cada clase.
- Decidir dónde anotar los valores que caigan en los límites.

■ 5.7. Transferir las cifras de la hoja de datos a una hoja de control

- Poner las clases e intervalos de clases.
- Anotar el número de valores en la clase correspondiente.

■ 5.8. Preparar el histograma

- Escala horizontal: límites de las clases.
- Escala vertical: frecuencia (número de ocurrencias en cada clase).
- Poner los resultados en las clases correspondientes.
- Trazar el histograma en hoja adecuada (papel cuadrículado...).

5.9. Información complementaria

- Período de tiempo en que se obtuvieron los datos.
- Autor/es de la toma de datos.
- Fecha.
- Fuente /otros datos que ayuden a interpretar el gráfico.

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Queremos poner en forma de histograma las medidas obtenidas al mecanizar unas piezas.






Datos de partida:

- Característica: rectilínea.
- Tolerancia superior: 0.083.
- Tolerancia inferior: 0.000.
- Tamaño de la muestra: 30.

Datos obtenidos:

0,025	0,038	0,031	0,045	0,033	0,040
0,054	0,022	0,024	0,037	0,014	0,028
0,041	0,031	0,025	0,035	0,023	0,033
0,029	0,039	0,039	0,032	0,022	0,031
0,040	0,030	0,042	0,022	0,043	0,024

Valor máx.: 0.054
 Valor mín.: 0.014
 Valor medio: 0.0324
 Rango: 0.054 - 0.014 = 0.040
 Intervalo: 0.01
 Nº de intervalos: 5

INTERVALOS	FRECUENCIA	% FRECUENCIA	% FRECUENCIA ACUMULADA
0,06 - 0,05	1	3,3	100,0 
0,05 - 0,04	4	13,3	96,7 
0,04 - 0,03	14	46,7	83,3 
0,03 - 0,02	10	33,3	36,7 
0,02 - 0,01	1	3,3	3,3 

■ 1. ¿QUÉ ES?

El gráfico LOT-PLOT consiste, en esencia, en la representación gráfica de los datos de una muestra y, basándonos en métodos estadísticos, sacar conclusiones respecto a la calidad de las restantes unidades que componen el lote.

■ 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Con el método LOT-PLOT de representación gráfica, tendremos un procedimiento sencillo para conocer la calidad de un lote de unidades, a partir de los resultados obtenidos en una porción o muestra del mismo, según explicaremos seguidamente.

Con la representación gráfica de las unidades de la muestra se obtiene como una fotografía o imagen del lote completo; al mismo tiempo, nos indica cuál es la tendencia de la dimensión o característica que se controla: si tienden al máximo o el mínimo, si están centrados los datos, etc.

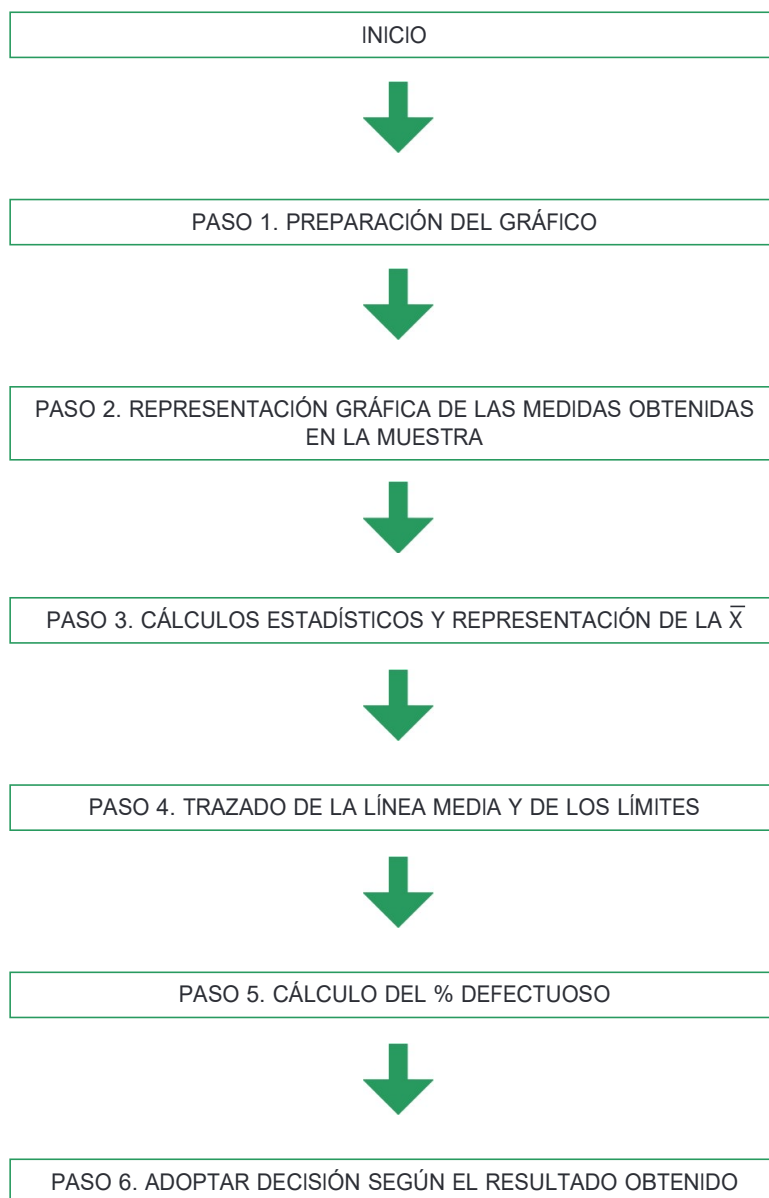
También podemos deducir, a la vista del gráfico, cuál es la dispersión de los datos: es decir, si las medidas obtenidas están concentradas en pocas casillas alrededor de la media o bien están muy dispersas; esto nos indicará la precisión de la máquina o el proceso.

Analizando el gráfico es frecuente encontrar sugerencias para acciones correctivas que permitan mejorar el proceso. La obtención de estos gráficos para varios suministradores es de gran utilidad a efectos comparativos entre ellos.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

- *Intervalo*: Margen de variación tolerable de la característica que se controla; estos valores se eligen de tal forma que el margen de tolerancia quepa en el gráfico con “holgura”; para un mejor aprovechamiento del gráfico, conviene dividir el margen de tolerancia en un número de partes o intervalos comprendido entre 10 y 20, procurando que sea el mayor número posible.
- *Especificación*: Indicación documentada de los valores entre los que se considera aceptable una característica.
- *Tolerancia*: Es la diferencia entre los valores máximo y mínimo de una especificación.
- *Recorrido*: El “recorrido” de una serie de valores es la diferencia entre el valor mayor y menor, es decir, es la distancia que hay que “recorrer” desde el menor valor al mayor.
- *Desviación típica*: Es la raíz cuadrada del cociente entre la suma de los cuadrados de las distancias de cada valor a la media y el número de valores o datos. Se representa por σ .

■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO



■ 5. REALIZACIÓN Y EJEMPLO DE REALIZACIÓN

Ejemplo: En fecha 25-10-2001 se ha recibido de un proveedor una partida de 1.000 ejes, código 35607.

En estos ejes queremos controlar los valores del diámetro exterior.

La característica especificada es $8 \pm 0,08$ mm.

MARZO 2002	INSPECCIÓN POR REPRESENTACIÓN GRÁFICA (LOT-PLOT)	FICHA 33
1ª EDICIÓN		PÁG. 3 DE 9

Es decir, los límites son:

Límite superior de tolerancia:8,08 (TOL. SUP.)

Límite inferior de tolerancia:7,92 (TOL. INF.)

5.1. Paso 1. Preparación del gráfico

Se cumplimentará el gráfico de la figura 1 rellenando las siguientes casillas:

- *PS N°*: En esta casilla se indica el número de código o catálogo de la pieza (o producto) que se verifica.
- *Descripción*: Se indica la designación o descripción de la pieza o producto en cuestión: Eje.
- *Proveedor*: En esta casilla se indicará el nombre del proveedor del lote de productos; este “proveedor” podría ser uno de los talleres de la propia fábrica.
- *Cantidad*: Número de unidades que componen el lote.
- *Inspector*: Nombre o iniciales del verificador (inspector) que está utilizando el impreso.
- *Especificación/tolerancia*: Son los límites tolerables, máximo y mínimo, especificados en el plano. En el ejemplo que consideramos: 7,92-8,08 mm ($8 \pm 0,08$).
- *Fecha de recepción*: Fecha en que se recibió el material: 25-10-2001.
- *Fecha de inspección*: Fecha en que se inspecciona la muestra: 26-10-2001.
- *Tamaño de la muestra*: Número de unidades que componen la muestra; en nuestro caso es fijo y se toman 50 unidades.
- *Valor*: En esta columna se ponen los intervalos en que se divide la tolerancia. En el ejemplo que estamos considerando: margen de tolerancia: $8,08 - 7,92 = 0,16$ mm.

MARZO 2002	INSPECCIÓN POR REPRESENTACIÓN GRÁFICA (LOT-PLOT)	FICHA 33
1ª EDICIÓN		PÁG. 5 DE 9

Dividimos este margen de tolerancia 0,16 mm en 16 partes o intervalos finales:

$$\frac{0,16}{16} = 0,01$$

Cada intervalo abarcará 0,01 mm.

Seguidamente y a la altura del "0" de la 3ª columna, se pondrá el valor medio de los límites de la tolerancia:

$$\text{Valor medio: } \frac{\text{máximo} + \text{mínimo}}{2} = \frac{8,08 + 7,92}{2} = 8,00\text{mm}$$

A continuación y sumando sucesivamente 0,01 mm (valor del intervalo) al valor medio, vamos situando hacia arriba y en la misma columna encabezada por "valor", las cifras resultantes:

8,01 - 8,02 - 8,03 - 8,04 - 8,05 - 8,06 - 8,07 - 8,08...

Igualmente hacia abajo restando 0,01 mm el valor medio:

7,99 - 7,98 - 7,97 - 7,96 - 7,95 - 7,94 - 7,93 - 7,92...

Con esto ya tenemos dispuesto el gráfico para su utilización de acuerdo con los resultados de las mediciones de las piezas de la muestra.

5.2. Paso 2. Representación gráfica de las medidas obtenidas en la muestra

Se extrae la muestra de 50 piezas. A continuación se agrupan estas 50 unidades en 10 sub-muestras o grupos de 5 unidades cada uno. Siempre se opera de este modo.

Se ha medido el diámetro en los 5 ejes que componen el primer grupo y se han obtenido los siguientes valores:

8,012 mm
8,022 mm
7,988 mm
7,991 mm
7,970 mm

Como estos valores corresponden al primer grupo de 5 unidades, se pondrá un 1 en la casilla correspondiente al intervalo en el que está comprendida cada medida.

Siempre que la medida obtenida coincida con uno de los valores de la escala, se anotará en la casilla superior de las dos que confluyen en dicho “valor”.

A continuación se tomará el segundo grupo de 5 ejes y se medirán sus diámetros. Se anotarán las medidas obtenidas en la casilla que les corresponda, poniendo un 2.

Del mismo modo, se continuará hasta haber anotado las 50 medidas de la muestra; en el apartado 2, se indican las medidas obtenidas en los 50 ejes de la muestra. Hemos obtenido, de este modo, la distribución de frecuencias de la muestra.

5.3. Paso 3. Cálculos estadísticos y representación de la \bar{x} y los límites

A partir de la columna “f” del gráfico Lot-Plot (ver Figura 1) se realizan una serie de cálculos conducentes a obtener el valor de la media \bar{x} y la situación de los límites en el gráfico.

- *Columna “f”*: Es la inicial de “frecuencia”. En esta columna se pone la frecuencia o número de datos que se han situado en cada intervalo.
Por ejemplo, en el intervalo 8,02-8,03 mm se han situado 3 unidades, cuyas medidas están comprendidas entre 8,02 y 8,03 mm. La frecuencia de este intervalo es, por lo tanto, 3; a la altura de la columna “f” pondremos un 3.
- *“d”*: En la siguiente columna del gráfico, encabezada por “d”, anotaremos un “0” a la altura del intervalo de mayor frecuencia, es decir, de la cifra más elevada indicada en la columna “f”.
Al intervalo de mayor frecuencia se le llama “intervalo modal”.
Al punto medio del intervalo modal se le designa MODA.
A continuación, se irá anotando correlativamente en la misma columna “d” y hacia arriba los valores +1, +2, +3, +4..., mientras existan cifras en la casilla correspondiente de la columna “f”. Igualmente se procedería hacia abajo anotando -1, -2, -3, etc.
- *“fd”*: En la columna encabezada por “fd” se pondrá el resultado de multiplicar los valores indicados en las columnas “f” y “d” manteniendo los signos de “d”.
Por encima del último valor superior de esta columna, se traza una línea horizontal poniendo encima de la misma el resultado de sumar los valores de esta columna que estén afectados por el signo +. Así encontramos:

$$+9+16+9+8+5=+47$$

Igualmente procederemos para los valores negativos:

$$-7-10-6-8-5=-36$$

- *Recorridos*: En la columna encabezada por “RECORRIDO” anotaremos los valores del recorrido encontrado para el grupo o sub-muestra de 5 unidades.
- *En “ΣR”*: pondremos la suma de los recorridos hallados para cada sub-muestra. Siempre refiriéndonos a la figura 1, obtenemos:

$$5+9+5+3+2+5+6+8+4+7=54$$

- *Cálculo del recorrido medio \bar{R}* : El recorrido medio es la media aritmética de los 10 recorridos hallados para cada grupo o sub-muestra.

$$\bar{R} = \frac{\Sigma R}{10} = \frac{54}{10} = 5,4$$

- *Cálculo de 3σ (3 sigma)*: El valor de 3σ (3 veces la desviación típica) se utiliza para calcular los límites entre los que estimamos se encontrarán las medidas de las unidades del lote, según veremos más adelante.

Para calcular 3σ multiplicaremos el recorrido medio \bar{R} por 1,3.

$$3\sigma = 1,3 \times \bar{R}$$

En el ejemplo que venimos explicando resulta:

$$3\sigma = 1,3 \times \bar{R} = 1,3 \times 5,4 = 7 \qquad 3\sigma = 7$$

- *" Σfd " (suma de valores "fd")*: En esta casilla se pone el resultado de la suma de los valores de la columna "fd"; como rutina de cálculo se toman las dos sumas parciales (positiva y negativa) y se restan anteponiendo al resultado el signo de la mayor.
En el ejemplo obtenemos:

$$\begin{aligned} +\Sigma fd &= +47 \text{ (parte superior de la columna "fd")} \\ -\Sigma fd &= -36 \text{ (parte inferior de la columna "fd")} \\ \text{"}\Sigma fd &= +47 -36 = +11 \qquad \Sigma fd = +11 \end{aligned}$$

- *" \bar{d} "*: Este valor nos indica la posición o distancia de la media \bar{x} con respecto al "0" situado en la columna "d"; es decir, con respecto a la Moda.
Para calcular \bar{d} se dividirá " Σfd " por 50, por ser éste el número de unidades de la muestra.

$$\bar{d} = \frac{\Sigma fd}{50} = \frac{2 \times \Sigma fd}{100}$$

Como regla práctica diremos que \bar{d} se obtiene multiplicando Σfd (con su signo) por 2 y poniendo una coma delante de las dos últimas cifras del resultado de esta multiplicación.

Es decir: $\Sigma fd \times 2 = 11 \times 2 = 22$
colocando la coma $\bar{d} = 0,22$

Con las operaciones efectuadas estamos en condiciones de dibujar los límites sobre el gráfico.

5.4. Paso 4. Trazado de la línea media y de los límites superior e inferior

- *Trazado de la línea media:* El valor d (0,22) nos indica la desviación de la media x con respecto al punto "0" de la columna "d", que habíamos asignado al intervalo de mayor frecuencia o MODA (frecuencia = 10).
- *Trazado de los límites:* El límite superior se trazará a una distancia de la línea media igual a 3σ . Para ello, tomamos como referencia la escala considerada en el apartado anterior. Como fácilmente puede verse en la figura 2, este valor de $3\sigma = 7$ nos indica que el límite superior dista 7 casillas de la línea media.

Igualmente se trazaría el límite inferior.

5.5. Paso 5. Cálculo del % defectuoso de un lote

Para calcular el % (estimado) de unidades defectuosas de un lote, procederemos como sigue.

Nos basaremos en las dos tablas situadas a la derecha del gráfico Lot-Plot.

- *Límite superior fuera de tolerancia:*

A = número de casillas (con un decimal) entre el límite superior y la tolerancia superior (5,4 por ejemplo).

B = número de casillas (con un decimal) entre el límite superior y la línea media. (7,5 por ejemplo).

Proporción de casillas entre el límite superior y la tolerancia:

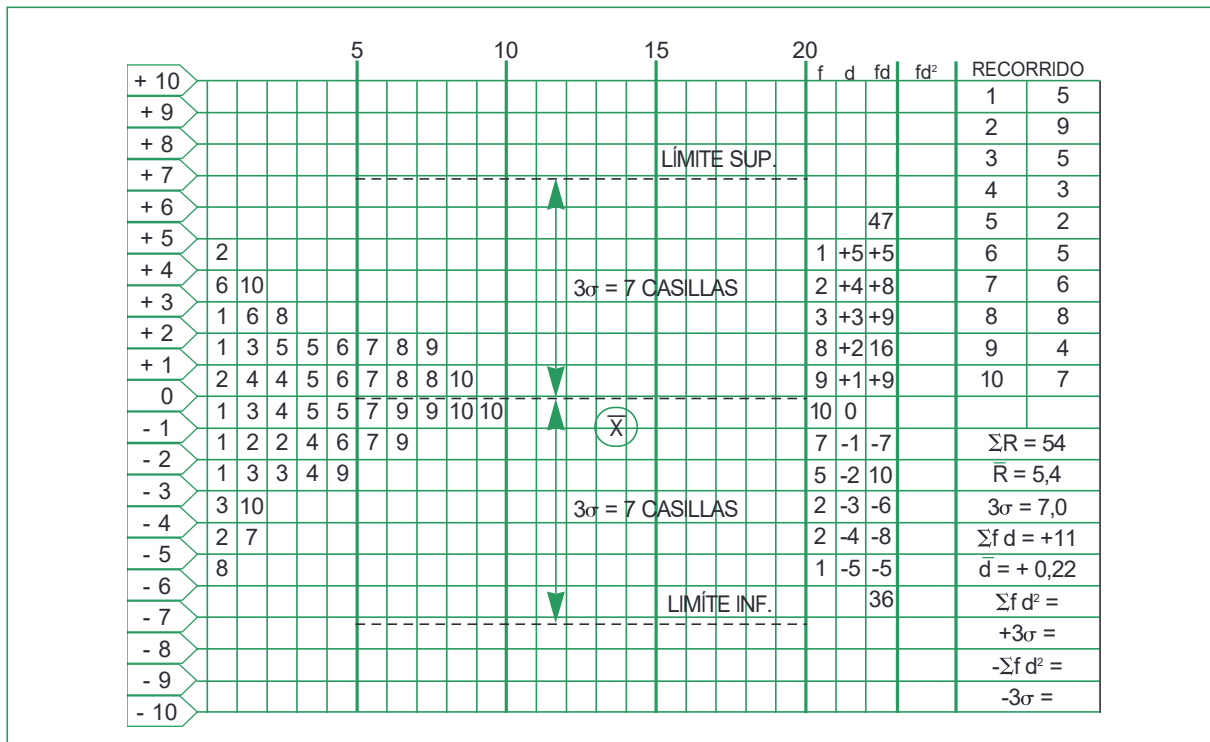
$$P = \frac{A}{B}$$

En la figura encontramos:

$$\frac{A}{B} = \frac{5,4 \text{ casillas}}{7,5 \text{ casillas}} = 0,72$$

En las tablas de la derecha del gráfico buscamos 0,72 en "número de casillas entre límites" y encontramos en la tabla de "% de piezas fuera de tolerancias" la cifra 20,1.

FIGURA 2



- Límite inferior fuera de tolerancias: Operando igualmente obtendremos:
 A = número de casillas entre el límite inferior y la tolerancia inferior: 1,7
 B = número de casillas entre el límite inferior y la línea media: 7,5.

$$\frac{A}{B} = \frac{1,7 \text{ casillas}}{7,5 \text{ casillas}} = 0,22$$

Del mismo modo que para el límite superior, encontramos que a 0,22 le corresponde un “% de piezas fuera de tolerancias”, igual al 0,9%.

- % defectuoso total: El % defectuoso total será la suma de los % defectuosos parciales.

$$\% \text{ defectuoso total} = 20,1 + 0,9 = 21 \%$$

■ 1. ¿QUÉ ES?

La mantenibilidad puede definirse como la facilidad de restauración del servicio después de un fallo.

La mantenibilidad, en un concepto amplio, puede ser entendida como la rapidez con la cual los fallos o el funcionamiento defectuoso de los equipos son diagnosticados, o la conservación programada es realizada con éxito.

■ 2. CARACTERÍSTICAS

La mantenibilidad es una extensión de la calidad operacional, o funcionalidad, a lo largo del tiempo. Es uno de los componentes de la calidad de un producto que contribuye más directamente a su disponibilidad.

La mantenibilidad impulsa los criterios relacionados con la minimización de los costes de los fallos.

El objetivo de la mantenibilidad es minimizar los costes y las actividades de mantenimiento. Se considera una función de algunas variables que interactúan entre sí como son el diseño, la configuración del equipo, su instalación, la accesibilidad y la calificación de la mano de obra que interviene en la instalación, la conservación y la operación.

La mantenibilidad, como una función activa de Ingeniería, puede ser programada para participar en las actividades que permitan minimizar los efectos posteriores del mantenimiento de los productos y/o de los sistemas.

■ 3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS

■ 3.1. Mantenibilidad

FUNCIÓN DE MANTENIBILIDAD

Probabilidad de cumplimiento de los tiempos de reparación, $M(t)$, es decir que la intervención de mantenimiento se lleve a cabo dentro de un tiempo "t" establecido.

Por ejemplo: La probabilidad de que a una caldera de vapor se le pueda realizar cualquier intervención necesaria para restaurar su funcionamiento en 24 horas.

FUNCIÓN DE NO MANTENIBILIDAD

Es la probabilidad de que la intervención se demore más del tiempo establecido. Es un complemento de la función anterior, es decir:

$$N(t) = 1 - M(t)$$

Por ejemplo: La probabilidad de que en una caldera de vapor, la reparación para restaurar el servicio dure más de 24 horas.

TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN, MRT

Es la media aritmética de la duración de un número de intervenciones de mantenimiento iguales.

■ 4. DIAGRAMA DE FLUJO

Las actividades más importantes de la función mantenibilidad son las siguientes:

- Definir los criterios de mantenibilidad general de la empresa.
- Desarrollar su proceso de implantación.
- Establecer el método de medición.

■ 4.1. Definición e Implantación

- Desarrollar el concepto general de mantenibilidad aplicable a todos los productos o sistemas.
- Participar durante el diseño en el establecimiento de las características físicas y operativas del producto o sistema.
- Definir las exigencias para convertirlas en criterios de diseño.
- Distribuir las exigencias entre los distintos componentes físicos o funcionales del producto o sistema.
- Definir las mediciones a realizar. Establecer los parámetros de mantenibilidad.
- Evaluar el diseño y el producto para identificar aspectos mejorables.
- Establecer los planes de mantenibilidad.

■ 5. PREDICCIÓN Y MEDICIÓN DEL TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN

Los métodos de predicción están en constante evolución debido a un alto grado de implantación del autocontrol, mejora del nivel de formación técnica de las personas, mayor disponibilidad de sistemas informáticos, etcétera.

Para la predicción del tiempo medio de una reparación es posible seguir varios procedimientos:

- Analizar una muestra de los procesos de mantenimiento que sean representativos del conjunto de actividades de mantenimiento de la empresa. Agrupar y tipificar utilizando baremos estándar.
- Descomponer las tareas de mantenimiento en las tareas elementales necesarias, y agrupar.
- Disponer de datos fiables de experiencias anteriores y transferirlos a los nuevos productos.

■ 1. RECOGIDA DE DATOS

■ 1.1. Razones para la toma de datos

“Lo que se puede medir se puede mejorar.”

El dominio o conocimiento de un proceso o la calidad de un producto lo tendremos, en tanto en cuanto, tengamos determinados los parámetros o características básicas que nos permitan definirlo.

Las decisiones que tomemos tanto en la resolución de problemas como en la mejora de productos o procesos se basarán en datos, por lo que de la fiabilidad de éstos y del rigor con que hayan sido tomados, dependerá en gran medida la adopción de una decisión correcta.

■ 1.2. Determinación de los datos a recoger

Debemos ser muy cuidadosos en la elección de los datos a recoger. Para ello tenemos que respondernos a las clásicas preguntas: ¿para qué?, ¿cuáles?, ¿cuántos, ¿dónde?, ¿quién?, ¿cuándo?, ¿con qué?

Los datos se necesitarán “para algún fin”(¿Para qué?), pues sólo sabiendo la intención podremos determinar cuáles precisamos.

Y la respuesta a esta pregunta depende de qué problemas buscamos resolver, sabiendo que los datos necesitan estar relacionados con el momento, con la causa que los originan, con el tipo de material que se ha utilizado, etc. Sólo la experiencia puede ayudarnos a encontrar la respuesta adecuada.

Y no hay que olvidar que la recogida y evaluación de datos ocasionan costes. Hay que centrarse, por lo tanto, en el volumen mínimo de datos (¿cuántos?) que nos permita interpretar los valores medidos o recogidos teniendo en cuenta el intervalo de confianza y la significación de los mismos.

Es importante recordar que los datos tienen que ser homogéneos para poder ser comparables. Se deberá determinar, por lo tanto, en qué elemento de control (¿dónde?) o en qué máquina se tomarán los datos.

Los trabajadores que tomen los datos tienen que estar formados en las técnicas de recogida de datos e informados de lo que se pretende (¿quién?).

Hay que concertar el momento en el que se debe realizar la recogida de los datos (¿cuándo?) y los elementos de medida que deberán emplearse (¿con qué?) acordes con el problema a analizar o con la característica a controlar (resolución adecuada, estimación del error de medición...).

■ 2. INSPECCIÓN TOTAL Y MUESTREO

■ 2.1. Inspección total

Se conoce con esta denominación al examen 100 % de todos los elementos de un determinado colectivo.

La inspección 100% o inspección total, aparte de no garantizar la calidad del producto (hay numerosos estudios que lo demuestran, dependiendo el % de error que se comete en este tipo de inspección, del número de defectos a inspeccionar, de la monotonía del trabajo, de las condiciones ambientales...), en ocasiones es incluso imposible de realizar, como es en el caso de ensayos destructivos.

A estas consideraciones tienen que añadirse el elevado coste económico que supone, por lo que en la mayoría de las ocasiones tiene que recurrirse a las técnicas de la inspección por muestreo.

■ 2.2. Inspección por muestreo

En este caso solamente se analiza una determinada cantidad de producto elegida de acuerdo a las técnicas estadísticas del “muestreo”.

Este tipo de inspección nos permite en base a pequeñas muestras, sacar conclusiones respecto al colectivo (población) de donde procede la muestra. Además, como ya hemos dicho en el párrafo anterior, es en algunos casos la única técnica posible.

■ 3. PASOS EN EL MUESTREO

Es aconsejable seguir las fases indicadas en el ciclo de Deming: PDCA (Planificar, Hacer o tomar la muestra, Controlar el resultado o analizar la información recogida, Actuar o establecer el plan de acción correspondiente).

En este escrito nos centraremos en el análisis de las tres primeras fases, al considerar la última de ellas (actuar) como una retroalimentación de las anteriores.

- En la planificación tenemos que incluir el “definir la población que se va a muestrear y el tamaño de la muestra”.

Hay que acotar y definir exactamente cuál debe ser el colectivo que va a ser objeto del muestreo y establecer, en función del nivel de precisión deseado, el tamaño de la muestra, atendiendo siempre a criterios de calidad y coste.

- Forma de seleccionar la muestra: podemos mencionar varios métodos tales como:
 - *Al azar*: en la que todos los elementos del colectivo tengan la misma probabilidad de ser elegidos y aquí tenemos que mencionar desde el método más clásico, como la utilización de tablas de números aleatorios, hasta métodos estadísticos más avanzados, como el método de Montecarlo.
 - *Sistemática*: atendiendo a una secuencia previamente establecida.

- *Estratificada*: en la que previamente se hace una discriminación atendiendo a diversas consideraciones como, por ejemplo, máquinas de procedencia, turnos de trabajo...
- *Consecutiva*: en la que se cogen un determinado número de piezas sin solución de continuidad.
- *Mixta*: como suele ocurrir en el caso de los controles estadísticos por variables para gráficos SPC.

De esta forma podemos conseguir unas muestras que sean auténticamente representativas de la población, punto imprescindible para poder extrapolar los resultados a todo el colectivo en estudio.

- Al control del resultado o análisis de la información recibida dedicaremos un punto específico, aunque previamente citaremos los sistemas de registro de datos.

■ 4. SISTEMA DE REGISTRO DE DATOS: TABLAS DE RECuento (fig. 1+3)

Las tablas de recuento se emplean para la recogida de datos de una manera sencilla. El número de sucesos (errores o de valores medidos) se anotan mediante rayas sobre formularios previamente preparados al efecto.

Podemos hablar de Registro de:

- Valores medidos en una pieza para saber cómo se distribuyen éstos (para conocer gráficamente dónde se sitúa la media y de qué índole es la dispersión de estos valores).
- Cantidad encontrada de varios tipos de fallos (es el típico registro de datos en la producción, anotando todos los defectos ocurridos y cuántas veces se presentan, con lo que permiten centrar esfuerzos en la resolución de los fallos más frecuentes).
- Un mismo tipo de fallo en lugares diferentes (puestos de trabajo, máquinas...).
- Mapa de localización de fallos: son útiles cuando queremos, de una manera gráfica, recibir información acerca de dónde se concentran ciertos defectos: por ejemplo, para saber dónde se localizan los poros en una pieza fundida o el número de fallos de soldaduras en circuitos impresos.

■ 5. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos necesitan ordenarse matemática y gráficamente para poder identificar y comprender la información contenida en los mismos.

- Desde el punto de vista matemático, los valores más interesantes son los que se refieren a valores centrales (media aritmética) y a la dispersión de éstos respecto a dicho valor central (recorrido y desviación típica):
 - *Media aritmética*: resultante de sumar todos los valores y dividir esta suma por el número de datos:

$$\bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

– *Recorrido*: diferencia entre el mayor y el menor valor:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

- Desviación típica o desviación estándar muy importante para el caso de distribución de valores según una distribución “normal”, que se calcula de la siguiente manera:
 - Se calcula la media aritmética.
 - Se realiza la suma de las diferencias elevadas al cuadrado entre los valores individuales y el valor medio.
 - Se divide dicha suma por el número de valores individuales menos 1.
 - Se calcula la raíz cuadrada:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- La representación gráfica de los datos facilita una interpretación rápida de los mismos. Para ello emplearemos:
 - Gráfico de representación secuencial de valores, por ejemplo, atendiendo a su orden de fabricación.
 - Histograma o diagrama de frecuencias (fig. 4).
El histograma muestra de forma clara, mediante rectángulos yuxtapuestos, datos agrupados procedentes de una población. Las superficies de esos rectángulos son proporcionales a las frecuencias de los datos relativos a cada clase.
- Diagramas de correlación (fig. 5): Se representa sobre cada eje de ordenadas los parámetros cuyo grado de relación entre ellos queremos comprobar. Son útiles cuando se quiere estudiar la relación causa-efecto entre dos magnitudes.

FIGURA 1. REGISTRO DE VALORES MEDIDOS

\varnothing [MM]	CANTIDAD
48,60	
48,61	
48,62	### ##
48,63	### ## ## ##
48,64	###
48,65	
48,66	
48,67	
48,68	

FIGURA 2. VARIOS TIPOS DE FALLO

TIPO DE FALLO	CANTIDAD
Mal funcionamiento	IIII
No hermético	I
Ángulo de encendido incorrecto	### ## II
Sin impulso de encendido	II
Otros	III

FIGURA 3. UN TIPO DE FALLO EN LUGARES DIFERENTES

MÁQUINA	CANTIDAD
1	###
2	II
3	### ## II

FIGURA 4. DIAGRAMA DE FRECUENCIAS

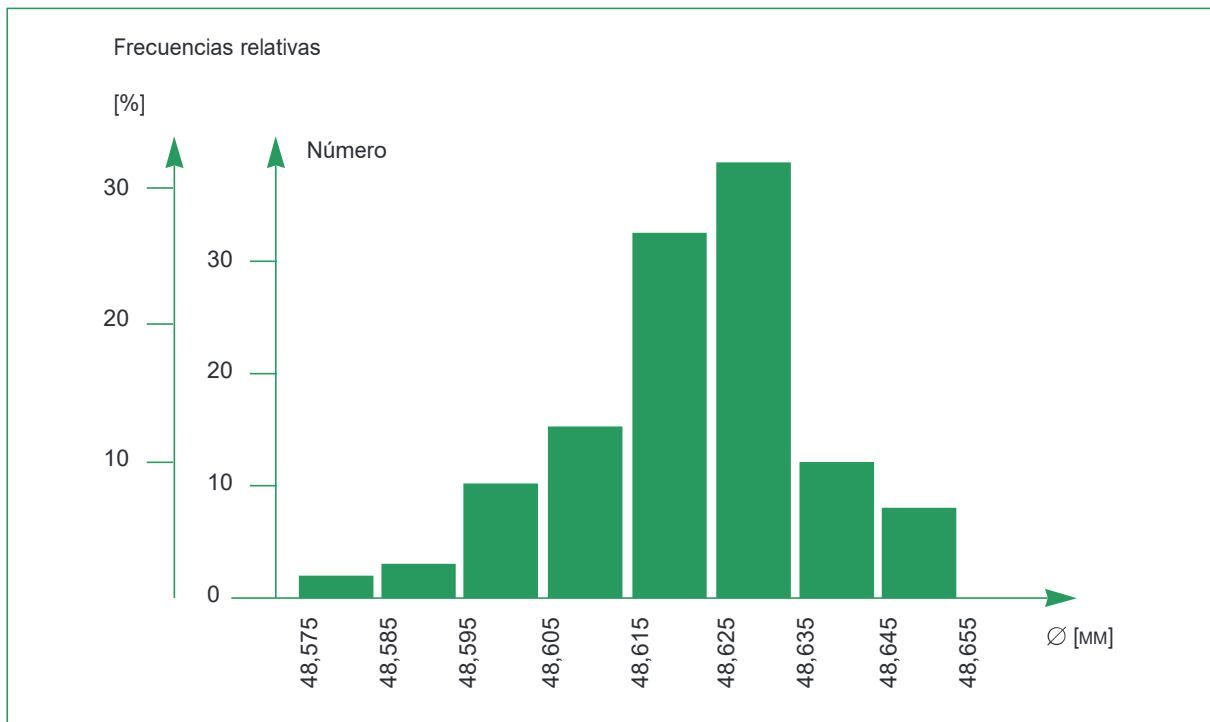


FIGURA 5. CORRELACIÓN ENTRE CAUDAL Y ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA TOBERA

