

881217

2
2ej



UNIVERSIDAD ANAHUAC
VINCE IN BONO MALUM

ESCUELA DE INGENIERIA
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**IMPLEMENTACION DEL CONTROL ESTADISTICO DE
CALIDAD EN LA FABRICACION DE CANDADOS
DE COMBINACION**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)**

P R E S E N T A :
GUSTAVO GOMEZ BETANCOURT

1992

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

CAPITULO I. INTRODUCCION.	1
1.1 Definición de Calidad, Eficiencia y Productividad y su Relación.	2
1.2 El Control de Calidad en las Industrias Actualmente.	3
1.3 Objetivos.	6
CAPITULO II. PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA FABRICACION DE CANDADOS DE COMBINACION, MEDICION Y OBTENCION DE DATOS.	8
2.1 Descripción de los Procesos de Manufactura.	9
2.1.1 Capacidad de los Procesos.	14
2.1.2 Mano de Obra.	15
2.2 Importancia de la Obtención de Datos y de los Métodos Estadísticos.	16
2.2.1 Puntos Esenciales para la Colección y Sumarización de Datos.	18
2.3 Procedimientos de Inspección.	19

2.3.1	Cantidad y Tipo de Inspección para Piezas y Componentes.	22
2.3.2	Muestreo al Azar.	24
2.4	Importancia del Control de los Procesos.	28
2.4.1	Control Estadístico del Proceso.	29

CAPITULO III. CONTROL ESTADISTICO DE LOS PROCESOS

	MEDIANTE LAS GRAFICAS DE CONTROL.	31
3.1	Generalidades.	32
3.2	Procedimiento para Construir las Gráficas de Control \bar{X} - R.	35
3.2.1	Aplicación de la Gráfica de Control \bar{X} - R en los Procesos.	41
3.2.2	Ejemplo Práctico de Aplicación.	43
3.2.3	Indice de Capacidad del Proceso.	47
3.3	Procedimiento para Construir las Gráficas de Control p.	51
3.3.1	Aplicación de la Gráfica de Control p en los Procesos.	54
3.3.2	Ejemplo Práctico de Aplicación.	56

3.4	Algunos Principios para Mejorar la Efectividad en los Sistemas Productivos.	59
3.5	Aseguramiento de la Calidad.	62
3.5.1	Beneficios de un Sistema de Aseguramiento de Calidad.	65
3.5.2	Estandarización del Control en el Proceso.	66
CAPITULO IV. SOLUCION DE PROBLEMAS POR MEDIO DEL CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD.		
4.1	Identificación de Problemas.	69
4.2	Técnicas Básicas del Control Estadístico de Calidad para la Solución de Problemas.	71
4.3	Círculos de Control de Calidad.	74
4.3.1	Objetivos de los Círculos de Control de Calidad.	76
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		
BIBLIOGRAFIA		

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.1 Definición de Calidad, Eficiencia y Productividad y su Relación.

Calidad significa satisfacer las necesidades o requisitos del consumidor o usuario. Desde el punto de vista de un trabajo o tarea, calidad significa hacer bien las cosas a la primera vez.

Al hablar de satisfacer a los consumidores, forzosamente debemos referirnos también al precio; por muy buena que sea la calidad, el producto o servicio no podrá satisfacer al cliente si el precio es excesivo.

La eficiencia relaciona el valor de los bienes o servicios de un proceso con valor de los insumos, por lo que la medida de la eficiencia es la utilidad. La búsqueda de la calidad no se limita a satisfacer a los consumidores, sino que cumple una función dentro de la empresa; es la búsqueda de las mejoras en cada proceso, en cada operación, en cada trabajo, lo que da como resultado una mayor productividad al producirse más artículos con menos recursos.

La calidad es la condición más importante para lograr la eficiencia, para mejorar el trabajo y para mejorar a su vez la productividad, ya que la reducción de desperdicio significa que horas hombre y horas máquina, así como materia prima, empleadas en la producción de productos defectuosos se añaden ahora a la producción adicional de buenos productos.

Los productos defectuosos no sólo perjudican al consumidor, sino que reducen las ventas; si una empresa manufactura productos que no puede vender, estará desperdiciando recursos.

1.2 El Control de Calidad en las Industrias Actualmente.

El control de calidad moderno tuvo realmente sus inicios con el doctor William Edwards Deming de nacionalidad norteamericana. A partir de 1950, el Dr. Deming, basándose en los métodos de control estadístico de calidad desarrollados por Shewhart, también norteamericano, enseñó a los ingenieros y administradores japoneses el uso de los métodos estadísticos y la importancia de la calidad para mejorar como consecuencia la productividad, dándole especial importancia al control estadístico de calidad en procesos y productos como forma de administrar una empresa.

Más tarde, el doctor Joseph Juran enseñaría a los japoneses la importancia que tiene la forma de administrar la función de las actividades para la calidad, generando con base en ello y en forma continua, cambios significativos y planeados para el mejoramiento de la calidad y la productividad.

Los japoneses definen el control de calidad de la manera siguiente: "El control de calidad es un sistema de métodos de producción que económicamente genera bienes o servicios de calidad, acordes con los requisitos de los consumidores." (1) De esta manera, practicar el control de calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor.

(1) Normas Industriales Japonesas, "¿Qué es el Control Total de Calidad?", Kaoru Ishikawa, Editorial Norma, 1986.

Teniendo en cuenta el objetivo de cualquier industria, que es el de obtener utilidades, y de acuerdo a las definiciones anteriores de control de calidad; las formas en que una industria puede contribuir con la sociedad, es decir, a mejorar el nivel y la calidad de vida son produciendo productos de buena calidad a bajo costo para los consumidores; y diseñando sistemas de trabajo que permitan un desarrollo equilibrado entre la tecnología y el hombre, es decir, las personas que laboran en dicha industria. Con esto último me refiero al diseño de sistemas de trabajo con los cuales se realicen tareas más completas y que proporcionen una satisfacción personal a las personas que las llevan a cabo y que permitan buscar mejoras continuamente de una forma organizada y científica. Esto conduce a innovaciones tecnológicas, así como al desarrollo de las personas que intervienen. De esta manera se contribuye finalmente al desarrollo económico y social del país.

Es cada día mayor el número de empresas que introducen programas de control de calidad en sus organizaciones. Y son cada día más las empresas que no se conforman tan sólo con obtener utilidades vendiendo sus productos o servicios, sino que se concientizan en optimizar su capacidad de producción, métodos administrativos, reducción de costos, etc.

El desarrollo industrial, económico y social de un país depende principalmente de sus altos niveles de calidad y productividad, así como de su crecimiento continuo en este campo. Por lo tanto, debe ser lo más prioritario el seguir un plan apropiado para lograrlo. El plan utilizado por las organizaciones en Japón se basa en la productividad como consecuencia de la búsqueda de la calidad, en la forma de administrar las actividades para la calidad y en el uso efectivo de métodos y herramientas estadísticas para la correcta toma de decisiones en los procesos de producción. Esto trae como consecuencia una mayor eficiencia. Actualmente, esta

estrategia se ha adoptado en varias empresas occidentales, incluyendo mexicanas, con resultados muy satisfactorios.

Con la inminente apertura de fronteras en nuestro país al libre comercio de productos extranjeros, no solamente de Estados Unidos sino también de productos japoneses, europeos y chinos, se torna de carácter vital el mejoramiento, no sólo de la calidad en nuestros productos y la productividad en nuestra industria, sino también la reducción de precios en los productos para hacerlos competitivos contra los mercados extranjeros.

La reducción del costo, y por lo tanto del precio de los productos vendrá como consecuencia de los dos puntos anteriores; aunque será también necesario dejar a un lado la fijación de precios respaldada por circunstancias ventajosas para productores y comerciantes como son la protección de productos, debida a aranceles, contra importaciones o al monopolio en la producción de bienes o servicios.

1.3 Objetivos.

Una vez establecidos los lineamientos de lo que es el control de calidad actualmente, así como de la importancia que tiene su implementación en la industria de nuestro país, se procederá a enumerar los objetivos de esta tesis.

Ya que para el ensamble y manufactura de los candados de combinación se requiere de una serie de componentes que proceden de varios proveedores, se proporcionarán las bases necesarias para la implementación de métodos de inspección de dichos componentes sin perder de vista el aspecto económico que implica cualquier tipo de inspección.

Uno de los primeros pasos para el control de calidad y el control estadístico de procesos es la obtención de información que deberá traducirse en datos. A lo largo del desarrollo de esta tesis se proporcionarán medios de obtención de información para localizar y corregir defectos en proveedores y en el sistema productivo.

Se analizará el control de procesos de manufactura en la fabricación de candados, así como problemas y defectos en dichos procesos por medio de las técnicas del control estadístico de calidad. Se debe tomar en cuenta que la utilización de todas aquellas técnicas que no tengan algún fin específico (como puede ser la obtención de información, control o mejoramiento del proceso, solución de problemas, etc.) no tiene objeto llevarlas a cabo.

Una vez establecidos los lineamientos para efectuar el diagnóstico del proceso, así como para su control estadístico, se darán las bases para llevar a cabo el análisis de resultados.

Se proporcionará la metodología para la solución de problemas en los procesos productivos, así como para la obtención de mejoras en los mismos.

CAPITULO II

PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA FABRICACION DE CANDADOS DE COMBINACION, MEDICION Y OBTENCION DE DATOS

2.1 Descripción de los Procesos de Manufactura.

Empecemos primero por establecer lo que es un proceso para posteriormente describir los procesos involucrados en la fabricación de candados de combinación.

Un proceso es simplemente una serie de actividades u operaciones encaminadas a producir un resultado deseado.

En todo proceso hay una combinación de elementos (mano de obra, materiales, maquinaria, métodos y medio ambiente) que se conjugan para producir dicho resultado.

Un trabajo es un proceso, y los componentes individuales que forman un trabajo son también procesos. Todos los procesos tienen dos factores en común:

- 1) entradas; materia prima, componentes, productos o servicios que otros proveen.
- 2) salidas; productos o servicios que se proveen a otros.

Se utilizará un diagrama de flujo (diagrama No.1) para describir las actividades que comprenden los procesos de manufactura y ensamble en la fabricación de candados de combinación, así como para mostrar la secuencia e interrelación de dichas actividades.

Nota: ver dibujo No. 1 para hacer referencia a los componentes del candado que se mencionan a continuación.

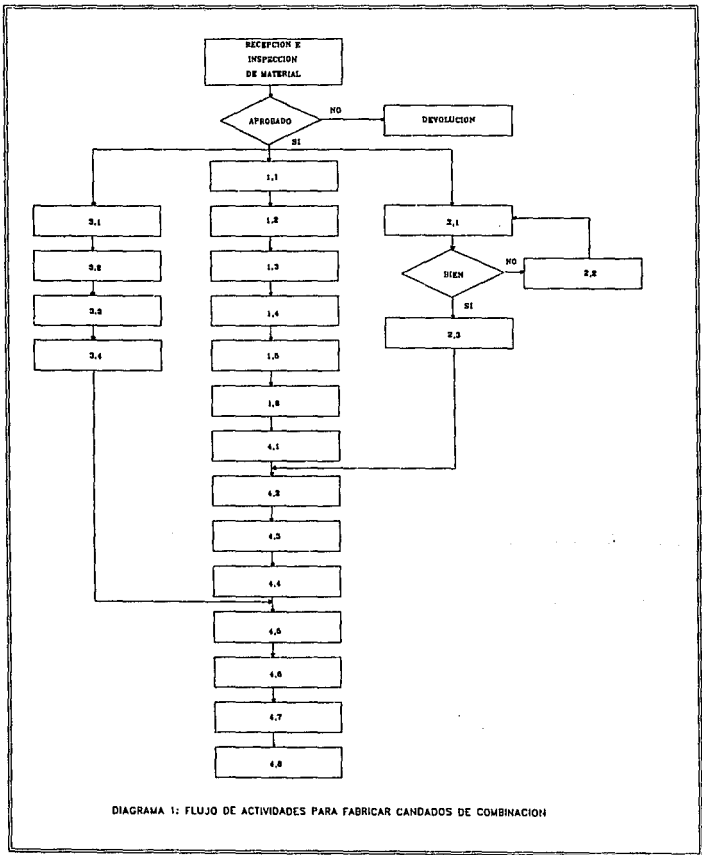
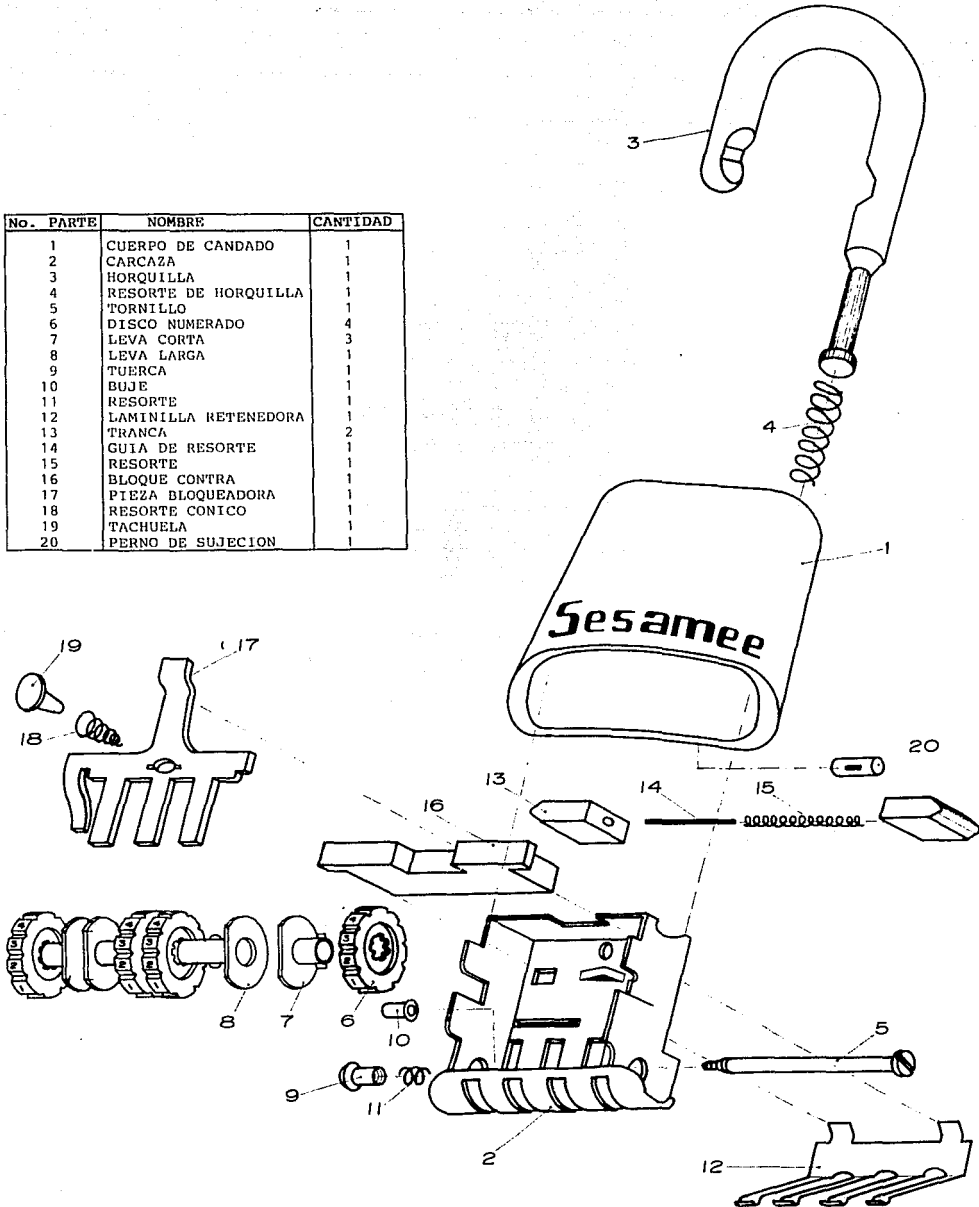


DIAGRAMA 1: FLUJO DE ACTIVIDADES PARA FABRICAR CANDADOS DE COMBINACION

NO. PARTE	NOMBRE	CANTIDAD
1	CUERPO DE CANDADO	1
2	CARCAZA	1
3	HORQUILLA	1
4	RESORTE DE HORQUILLA	1
5	TORNILLO	1
6	DISCO NUMERADO	1
7	LEVA CORTA	3
8	LEVA LARGA	1
9	TUERCA	1
10	BUJE	1
11	RESORTE	1
12	LAMINILLA RETENEDORA	1
13	TRANCA	2
14	GUIA DE RESORTE	1
15	RESORTE	1
16	BLOQUE CONTRA	1
17	PIEZA BLOQUEADORA	1
18	RESORTE CONICO	1
19	TACHUELA	1
20	PERNO DE SUJECION	1



Dibujo. I. VISTA DEL ENSAMBLE DE COMPONENTES QUE FORMAN EL CANDADO DE COMBINACION.

Descripción de actividades.

(1,1) Se le hacen tres barrenos al cuerpo del candado con un taladro múltiple. Dos de los barrenos son del mismo diámetro y se hacen sobre la cara superior del cuerpo con un cabezal doble, es decir, son paralelos y a diferente profundidad. El tercer barreno es de diámetro inferior y se hace en un plano perpendicular al de los otros dos, sobre la cara lateral posterior del cuerpo hasta atravesarla.

(1,2) En un taladro fijo convencional se le hace un barreno adicional al cuerpo del candado, necesario para el cambio de combinación y en el mismo plano que los dos barrenos anteriores.

(1,3) Se rebabea manualmente el interior del cuerpo del candado por medio de un formón.

(1,4) Se pule por medio de bandas de lija (grano No. 120) la superficie exterior del cuerpo hasta obtener un acabado de satinado.

(1,5) Se imprime con tinta epóxica negra, por medio de serigrafía, el logotipo (marca del candado) sobre el cuerpo del candado.

(1,6) Se le aplica laca por aspersión a la superficie exterior del cuerpo por medio de una máquina de alimentación continua.

(2,1) Se verifica la abertura de la horquilla con un probador.

(2,2) En caso de ser necesario se abre o se cierra la horquilla por medio de un dispositivo.

(2,3) Se efectúa el subensamble de horquilla y resorte por medio de un dispositivo neumático.

(3,1) Se efectúa el primer subensamblaje del mecanismo que consta de: 1 carcasa, 3 levas cortas, 1 leva larga, 4 discos con dígitos, 1 tornillo, 1 tuerca y 1 resorte.

(3,2) Se efectúa el segundo subensamblaje del mecanismo; en esta etapa se le agrega al mecanismo una laminilla retenedora cuya función es la de mantener los discos en una posición, es decir, que no giren libremente. Esto se hace por medio de un dispositivo que además pone la combinación en ceros (0000).

(3,3) Se revisa que el mecanismo efectivamente esté en ceros, que al oprimir el tornillo, las levas desembraguen y al soltarlo embraguen nuevamente con los discos numerados (funcionamiento esencial para lograr el correcto cambio de combinación del candado) y se aplica finalmente pegamento retenedor a la tuerca y tornillo.

(3,4) Se dejan transcurrir tres horas para permitir que el pegamento seque.

(4,1) Se aplica cera al fondo (interior) del cuerpo.

(4,2) Se inserta el subensamblaje de horquilla y resorte al cuerpo del candado.

(4,3) Se efectúa el subensamblaje de resorte, guía de resorte y dos trancas.

(4,4) Se inserta el subensamblaje de trancas al interior del cuerpo por medio de un dispositivo de inserción.

(4,5) Se le sobreponen al mecanismo otras cuatro piezas: 1 bloque contra, 1 pieza bloqueadora, 1 resorte cónico y 1 tachuela.

(4,6) Se introduce el mecanismo con las piezas adicionales al interior del cuerpo, también a su vez subensamblado, teniendo cuidado que la tachuela esté en posición correcta haciendo contacto con el cuerpo del candado.

(4,7) Se prueba el funcionamiento del candado, tanto que cierre y abra al cambiar combinación y regresarla a ceros, como el funcionamiento apropiado para hacer el cambio de combinación.

(4,8) Se inserta el perno de sujeción por medio de una prensa manual en el barreno en la cara posterior del cuerpo para mantener al mecanismo en su posición dentro del cuerpo del candado. Una vez insertado este perno hasta el fondo no hay manera de sacarlo sin estropear varias de las piezas del candado, ya que hay que barrenarlo.

De acuerdo a la secuencia de las actividades, podemos agruparlas en cuatro procesos fundamentalmente:

Proceso 1. Manufactura del cuerpo del candado. Se parte de un cuerpo de candado de latón que puede ser forjado o inyectado a partir de latón fundido para darle la configuración del interior. De acuerdo al diagrama No. 1, este proceso consta de las siguientes actividades: (1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,5) y (1,6).

Proceso 2. Subensamblaje de horquilla y resorte. La abertura de la horquilla se verifica insertándola en un probador. En caso de que la horquilla no entre libremente en el probador se abre o cierra, según sea necesario, por medio de un dispositivo manual. Este procedimiento se repite hasta obtener la abertura correcta de la horquilla y entonces se procede a efectuar el subensamblaje. Este proceso consta de las siguientes operaciones o actividades: (2,1), (2,2) y (2,3).

Proceso 3. Subensamblaje del mecanismo del candado. Se lleva a cabo en dos etapas y por medio de dos dispositivos, el primero de ellos es un dispositivo manual para facilitar la colocación de los componentes en su posición para luego atornillar el tornillo a la tuerca, y el segundo es un dispositivo neumático y eléctrico para sujetar el mecanismo ya prearmado y por medio de un motor eléctrico que hace girar un rodillo que al hacer contacto con los discos los colocará en ceros. Esto es posible, ya que al

hacer girar los disco de manera que la numeración descienda hasta el "0", no será posible hacerlos girar al dígito siguiente (9) debido a que los discos cuentan con una ranura en la que entra la laminilla retenedora y hace posible esta función. Una vez estando en ceros, los discos sólo podrán girar hacia el "1", y en ese sentido se les puede hacer girar cuantas vueltas se desee. Este proceso consta de las siguientes actividades: (3,1), (3,2), (3,3) y (3,4).

Proceso 4. Ensamble final del candado. Se utiliza como entrada para este proceso de ensamble el producto de los procesos anteriores. Consta de las siguientes actividades: (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), (4,7) y (4,8).

La operación crítica de todo el proceso es el barrenado del cuerpo del candado (1,2), ya que es la que marca la capacidad máxima de producción del proceso. Para todas las demás operaciones, si se desea incrementar el volumen de producción, se podrá incrementar también el número de operadores para cumplir con dicho volumen. Pero debido a que únicamente se cuenta con un solo taladro múltiple, la capacidad de producción de esta operación no podrá incrementarse a menos que se hiciera una inversión para adquirir otro taladro o se hiciera cada uno de los barrenos por separado con un taladro convencional, lo que representa una mala opción por el tiempo que se lleva procesar cada pieza.

Hay que aclarar que la actividad (4,3) da como resultado un subensamble y frecuentemente se ejecuta con anterioridad al ensamble final.

El diagrama No. 2 muestra una agrupación de las actividades afines del proceso para visualizar en una forma más sencilla el procedimiento de manufactura de los candados de combinación.

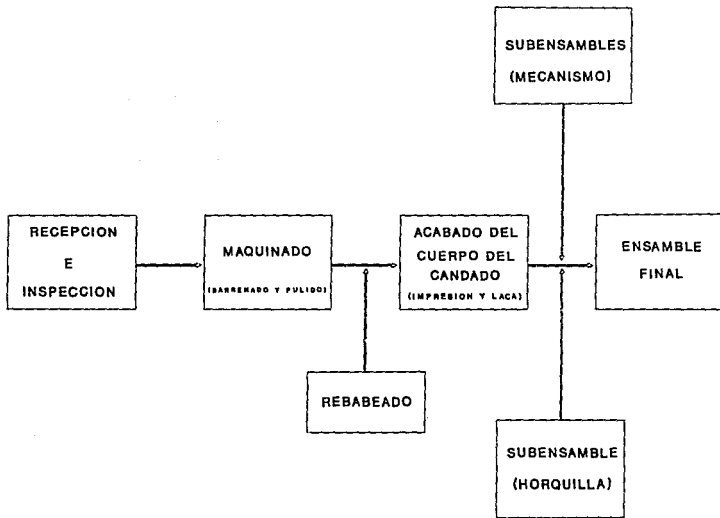


DIAGRAMA 2: DIAGRAMA DE BLOQUES DE OPERACIONES DE MANUFACTURA DEL CANDADO DE COMBINACION

2.1.1 Capacidad de los Procesos.

Los datos que a continuación se presentan para cada una de las operaciones provienen de obtener un promedio de varias observaciones, y se ha tomado también en cuenta el tiempo que se emplea para hacer movimiento de materiales, afilar herramienta, dar mantenimiento a máquinas y dispositivos, etc.

Para el proceso No. 1 se obtuvieron los siguientes datos: en la operación de barrenado con el taladro múltiple se tiene una capacidad de 215 pzas/hr. La segunda operación de barrenado arrojó una capacidad de 225 pzas/hr utilizando un solo taladro. Para la operación de rebabeado, una sola persona rebabea alrededor de 110 pzas/hr. En lo que respecta al pulido, un solo pulidor hace 42 pzas/hr. Para la impresión del logotipo se obtuvo un promedio de 380 pzas/hr y la capacidad de operación de la máquina laqueadora operando a velocidad máxima es de 390 pzas/hr.

En lo que respecta al proceso No. 2, se obtuvo una capacidad de proceso de 299 subensamblables por hora con un solo operador.

El proceso No. 3 arrojó las siguientes observaciones: en la primer operación de subensamblable se pueden armar 75 pzas/hr por cada operador y en la segunda operación de subensamblable se pueden armar 124 pzas/hr.

Para el proceso No. 4, cada ensamblador arma 42.5 pzas/hr.

2.1.2 Mano de Obra.

Con una demanda aproximada de 40,000 candados mensuales, con trabajar cada una de las líneas un turno diario (48 horas semanales) se cubre perfectamente dicha demanda teniendo en cuenta lo siguiente: para el proceso No. 1, en la operación de rebabeado será necesario contar con dos personas, así como en la de pulido serán necesarios cinco pulidores. Otro punto a considerar es que el operador que imprime el logotipo en el cuerpo del candado, posteriormente operará la máquina laqueadora.

Para el proceso No. 3, en lo que respecta a la primera operación de subensamble se requieren tres operadores de acuerdo a la capacidad de esta operación y dos operadores para la segunda operación de subensamble.

Para el proceso No. 4 será necesario contar con cinco ensambladores para cubrir la demanda.

Si se incrementara la demanda de candados al punto de sobrepasar la capacidad de la operación (1,2), habría que pensar en introducir un segundo turno, o bien, conseguir algún maquilador externo para cubrir dicho incremento.

De acuerdo a lo anterior es necesario contar con 23 personas, 21 de ellas para cumplir con las actividades anteriormente expuestas y dos adicionales para ejecutar tareas tales, como empaque del producto terminado, acomodo de materiales y piezas, traslado de componentes, etc. tomando en cuenta que habrá personas que podrán ayudar en estas actividades cuando la capacidad de la operación que ejecutan sobrepasa a la capacidad necesaria para cumplir con la demanda.

2.2 Importancia de la Obtención de Datos y de los Métodos Estadísticos.

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

El primer paso en el control de calidad es juzgar y actuar sobre la base de hechos. Hechos son datos tales como la longitud, el tiempo, la fracción defectuosa y el volumen de ventas. Los juicios que no están respaldados por datos corren el riesgo de incluir opiniones, exageraciones e impresiones desacertadas.

Este concepto no es nuevo, y sin embargo, muchas veces tendemos a pasarlo por alto. Lord Kelvin (ingeniero, matemático y físico de finales del siglo XIX y principios del XX) con frecuencia expresaba: "Cuando se puede medir aquello de que se habla, y expresarlo con cifras, se conoce algo sobre ello; pero cuando no se puede medir, cuando no se puede expresar con números, su conocimiento es de una clase pobre e insatisfactoria; puede ser el comienzo del conocimiento, pero ciertamente no ha avanzado, en sus pensamientos, hacia el estado de la ciencia, cualquiera que sea el tema."

(2)

Los datos deben ordenarse, analizarse e interpretarse en forma de valores y gráficas, lo que hace necesario el uso de la estadística. Sólo con el uso adecuado de métodos estadísticos para analizar los datos, puede la gente minimizar la confusión cuando hay variación en los procesos. Los métodos estadísticos ayudan a comprender los procesos, a controlarlos y luego a mejorarlos. De lo contrario, como muchas veces sucede, la gente empleará su tiempo en solucionar crisis o remediar fallas en vez de mejorar el sistema. De esta manera lo expresó el Dr. Deming en un discurso que pronunció en 1960 en la entrega del Premio Deming: "Lo que los métodos estadísticos hacen es señalar la presencia de causas especiales. Un punto que está fuera de los límites en un gráfico de control, o un resultado significativo en un experimento o prueba, casi

(2) "Control Estadístico de Calidad", E. Grant y R. Leavenworth, C.E.C.S.A., 1972.

siempre indican la existencia de una o más causas especiales. Los puntos que se encuentran bajo control, o los que no tienen mayor significado, indican que sólo continúan existiendo las causas comunes de variación..... Cuando uno encuentra la mayor parte de las causas especiales, y las elimina, todo lo que queda son las causas comunes de variación, que pueden ser de varios tipos - iluminación deficiente, humedad, vibración, comida mala en la cafetería, falta de un verdadero programa de calidad, mala supervisión, materias primas de mala calidad o calidad no uniforme, etc. Las causas comunes son más difíciles de identificar que las causas especiales. Además, la eliminación de las causas comunes requiere acción por parte de la administración de alto nivel. Los trabajadores y los supervisores no pueden cambiar la iluminación, ni redactar nuevos contratos para materias primas, ni establecer un programa de calidad, y sin embargo, éstos son ejemplos de causas comunes de variación y de mala calidad." (3)

Más adelante, en el tema 2.4 de este mismo capítulo se profundizará más acerca de las causas especiales y comunes de variación en los procesos.

Al estudiar las variables o características de calidad de un artículo, se tienen dos tipos de observaciones:

1) si la característica de interés puede ser medida diremos que se tiene una observación por mediciones.

2) si solamente nos interesa registrar la presencia o ausencia de una cualidad o descripción en un artículo, tal como etiquetar con "aceptado" o "rechazado", si el artículo satisface o no la cualidad; clasificar como "pasa" o "no pasa", si el artículo satisface o no las medidas especificadas, diremos que se tienen observaciones por atributos.

De acuerdo a lo anterior, los datos se pueden clasificar de la manera siguiente:

(3) "Cómo Administrar con el Método Deming", Mary Walton, Editorial Norma, 1988.

a) datos continuos, son valores que provienen de observaciones de variables por mediciones.

b) datos discretos, son valores que provienen de conteos referentes a observaciones de variables por atributos, es decir, son datos que guardan relación estricta con números enteros.

2.2.1 Puntos Esenciales para la Colección y Sumarización de Datos.

Se debe tener claro el propósito de la colección de los datos.

- Datos para análisis.
- Datos para el control del proceso.
- Datos para inspección, para aceptar o rechazar.

Por otro lado, debemos asegurarnos de la confiabilidad de los datos, así como de no caer en errores de medición. Hay que tomar en cuenta que en todo trabajo o proceso hay dispersión y, por lo tanto, los datos sin dispersión son datos falsos.

De acuerdo al propósito de su colección, y para tomar acciones y facilitar la evaluación de los datos, es necesario utilizar hojas de verificación o elaborar tablas bien estructuradas con los datos obtenidos que contengan toda la información que pudiera ser relevante (número de máquina, hora, operario, etc.).

Al hacer muestreos, la muestra debe representar acertadamente al conjunto total de datos.

2.3 Procedimientos de Inspección.

Casi cualquier compañía adquiere productos, materiales o servicios en una cantidad que representa un alto porcentaje de sus ventas. Estos materiales o servicios que entran a la compañía hacen necesario que haya tareas que se dediquen a prevenir la utilización de artículos defectuosos y a la aceptación de productos; acciones que frecuentemente se subestiman.

No se puede garantizar la calidad a los clientes si las materias primas, las piezas o componentes que se reciben o compran a un proveedor son defectuosas. Es por esto que se utilizan procedimientos de inspección para recibir o rechazar un lote de materias primas, piezas o componentes antes de incluirlas en los procesos de fabricación, manufactura o ensamble.

Si nuestro proveedor controla sus procesos de manufactura estadísticamente mediante gráficas de control, posiblemente no sea necesaria la inspección; pero en un principio siempre es recomendable efectuarla para asegurarnos del correcto empleo y resultado de dichas gráficas de control, así como de su confiabilidad. En el siguiente tema (2.3.1) se tocarán algunos puntos adicionales a considerar sobre la cantidad de inspección que se debe efectuar o no hacer ninguna en lo absoluto.

Gran parte de la inspección de aceptación se basa necesariamente en el muestreo ya que resulta prohibitivo el costo de inspección al 100%. Otro factor que influye en favor del muestreo es la fatiga de inspección, que hace de la inspección al 100% un método no muy confiable en muchas ocasiones.

Empecemos por establecer lo que es una muestra. Muestra (n) es una parte de una población (N) seleccionada especialmente para representarla. A su vez, población es

el conjunto de elementos sobre los cuales se realiza un estudio estadístico. Una noción que se tiene es que una muestra debiera ser lo mejor o lo peor de un grupo, lo que es totalmente incorrecto. La muestra debe representar fielmente la naturaleza de la población, por lo que el muestreo al azar es un buen camino.

Los datos que se obtienen no son todos iguales respecto a una misma variable o característica de calidad; siempre contienen dispersión debido a que existe un número infinito de causas de dispersión en las operaciones y procesos, y aunque las condiciones de producción estén en estado de control, es imposible eliminar toda la dispersión, lo que da lugar a la distribución de frecuencias (DF); la cual nos permite conocer el comportamiento de esa variable o característica de calidad del proceso.

La distribución de frecuencia es pues, la representación de los datos que componen una población, y la forma de representarla estadísticamente es a través de por lo menos dos valores o "estadísticos"; uno para medir la tendencia central de los datos y otro para medir su extensión o dispersión.

Las medidas de tendencia central que se emplean con mayor frecuencia son la mediana, la moda y la media (o promedio). La mediana es el valor central de la muestra cuando las observaciones se han clasificado por orden creciente de magnitud. La moda es el valor de la muestra que se repite el mayor número de veces.

Las medidas de dispersión más eficaces en control estadísticos de calidad son la amplitud o rango y la desviación estándar (σ). Más adelante, en el tema 3.2 se proporcionan las fórmulas matemáticas para obtener, tanto la media como el rango de una muestra.

La desviación estándar de una distribución se representa por la siguiente expresión algebraica:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} \dots (1)$$

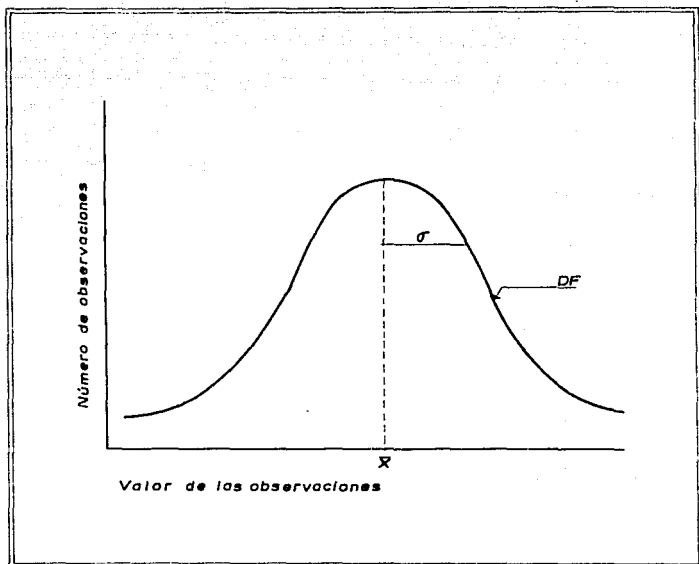
donde X es la característica de calidad observada, \bar{X} es la media de los valores de la característica de calidad y n es el tamaño de la muestra.

Muchas distribuciones de frecuencia de cualidades medidas de un producto fabricado, y muchas otras que se dan en la naturaleza responden aproximadamente a lo que se le llama "curva normal" (curva de distribución normal) o campana de Gauss. En la figura No. 1 se representa esta forma de campana simétrica, y para poder graficarla se necesita conocer únicamente la media y la desviación estándar. Los puntos que forman la curva normal son los valores de la característica de calidad X contra la frecuencia con que se repiten dichos valores.

Aunque casi toda la superficie que comprende esta curva está incluida entre los límites $\bar{X} \pm 3\sigma$ (99.73% del área total), la curva se extiende desde $-\infty$ hasta $+\infty$. De este concepto se desprenden los cálculos para los límites de control en el control estadístico de procesos, como ya se verá más adelante.

Sesgos son errores sistemáticos que conducen a una diferencia entre la estimación de población (o el valor de población) y el valor real. Es decir, una muestra se considera sesgada cuando las conclusiones que se obtienen no son necesariamente representativas de toda la población. La solución al sesgo desde el punto de vista estadístico es asegurar un muestreo aleatorio.

Por lo anterior, es importante que la muestra a seleccionar sea realmente representativa.



\bar{x} : Media, Tendencia del proceso respecto a la característica de calidad x .

σ : Desviación estándar.

DF: Distribución de frecuencia

FIG. 1. CURVA DE DISTRIBUCION NORMAL.

2.3.1 Cantidad y Tipo de Inspección para Piezas y Componentes.

Uno de los aspectos más importantes, y por lo que se recurre al muestreo, es el aspecto económico. Aunque a veces lo más económico es no hacer ninguna inspección en absoluto, otras veces lo más económico es inspeccionar al 100%. El objetivo debe ser fijar la cantidad y tipo de inspección que minimice la suma de costos de producción, aceptación y productos insatisfactorios. De acuerdo a esto, hay ciertas condiciones que son favorables para la no inspección, la inspección al 100% y el muestreo, como a continuación se describirán para las piezas y componentes que conforman el candado de combinación.

Lo primero a considerar es que cuando el producto no satisfactorio se descubre y se elimina fácilmente en una operación subsiguiente de producción, puede resultar más económico tolerar un porcentaje moderado no satisfactorio de tal producto que eliminarlo mediante una inspección, sobre todo si no se va a afectar la calidad de los candados finalmente. Este es el caso para los siguientes componentes: discos, tuerca, buje, laminilla retenedora, horquilla y bloque contra. Aunque todas estas piezas tienen una función muy importante para el funcionamiento del candado y deben cumplir en forma estricta con las dimensiones y especificaciones de los planos de diseño, resulta fácil detectar, ya sea a simple vista o en el momento de ensamblar, cualquier defecto en las mismas.

Cuando las piezas o componentes son sobradamente satisfactorias para la función que han de desempeñar o para el fin que se destinan, lo más económico es no hacer tampoco inspección ya que no se incurrirá en costos de productos finales (subensambles o candados) no satisfactorios que pudieran reducirse con la inspección. Tampoco se incurrirá en costos de producción, tales como recuperación de candados

defectuosos o desensamble parcial para sustituir algún componente. Este es el caso para los siguientes componentes: tachuela, guía de resorte, perno de sujeción y los cuatro tipos de resorte. De cualquier forma, de existir algún componente defectuoso, como en el caso anterior, resulta muy fácil detectarlo debido a lo sencillas que son estas piezas.

Como parte del proceso de ensamble se incluyó la inspección de todos los candados ya ensamblados pero antes de introducirles el perno de sujeción. Esto se hizo debido a que el tiempo que se lleva esta inspección de funcionamiento como parte del proceso final de ensamble es mínimo; sobre todo si se compara con el tiempo y costo que tiene recuperar candados defectuosos.

Por otro lado, como parte de la actividad (4,2), es recomendable que al insertar el subensamble de horquilla y resorte al cuerpo del candado se pruebe que la horquilla entre y salga libremente ya que esto es la base del accionamiento del candado.

Este es el caso también para la actividad (3,1). Al hacer el primer subensamble del mecanismo deberá revisarse que los discos giren libremente en el interior de la carcasa, de lo contrario este será el momento para efectuar cualquier corrección y no esperar a una etapa posterior del ensamble, lo que se traduciría en un mayor costo.

Para el resto de componentes (levas, tornillo, carcasa, cuerpo, pieza bloqueadora y trancas) debido a lo crítica de su función para el correcto funcionamiento final del candado y a lo complicada de su forma, se requiere de una inspección por muestreo para determinar la calidad de dichos componentes.

2.3.2 Muestreo al Azar.

Muestreo al azar significa llevar a cabo el muestreo de tal forma que cada unidad de la población tenga la misma oportunidad de ser incluida en la muestra, independientemente de su apariencia o posición.

En la inspección de aceptación, un artículo defectuoso es el que no cumple con las especificaciones en una o más características de calidad.

Una forma común de aceptación por muestreo es considerar por separado cada lote de producto y basar la decisión sobre una o más muestras del lote escogidas al azar, para la aceptación o el rechazo de dicho lote. Cuando la decisión se basa en la evidencia de una sola muestra, a este tipo de inspección se le conoce como muestreo simple.

Cualquier plan sistemático de muestreo simple requiere de la especificación de tres números: el número N de artículos en el lote (en nuestro caso será el número de piezas entregadas por el proveedor); el número n de artículos en la muestra al azar sacada del lote (será necesario determinar este número); y el número c de aceptación, que corresponde al máximo permisible de artículos defectuosos en la muestra. Un número de piezas defectuosas superior a c causaría el rechazo del lote.

Una forma de determinar el tamaño de la muestra n es por medio de las tablas de Dodge y Romig. Estas tablas se utilizan frecuentemente en la industria no sólo para la inspección de lotes de productos comprados, sino también para la inspección de proceso y del producto final. Ver tabla No. 1.

Promedio proceso %	0-.04			.05-.10			.11-.20			.21-.40			.41-1.00		
	n	c	100Pa.15	n	c	100Pa.15	n	c	100Pa.15	n	c	100Pa.15	n	c	100Pa.15
Tamaño lote															
1-15	todo	0	—	todo	0	—	todo	0	—	todo	0	—	todo	0	—
16-50	14	0	13.6	14	0	13.6	14	0	13.6	14	0	13.6	14	0	13.6
51-100	16	0	12.4	16	0	12.4	16	0	12.4	16	0	12.4	16	0	12.4
101-200	17	0	12.2	17	0	12.2	17	0	12.2	17	0	12.2	35	1	10.5
201-300	17	0	12.3	17	0	12.3	17	0	12.3	37	1	10.2	37	1	10.2
301-400	18	0	11.8	18	0	11.8	38	1	10.0	38	1	10.0	60	2	8.5
401-500	18	0	11.9	18	0	11.9	39	1	9.8	39	1	9.8	60	2	8.6
501-600	18	0	11.9	18	0	11.9	39	1	9.8	60	2	8.6	60	2	8.6
601-800	18	0	11.9	40	1	9.6	40	1	9.6	65	2	8.0	65	2	8.0
801-1000	18	0	12.0	40	1	9.6	40	1	9.6	65	2	8.1	65	2	8.1
1001-2000	18	0	12.0	41	1	9.4	65	2	8.2	65	2	8.2	95	3	7.0
2001-3000	18	0	12.0	41	1	9.4	65	2	8.2	95	3	7.0	120	4	6.5
3001-4000	18	0	12.0	42	1	9.3	65	2	8.2	95	3	7.0	155	5	6.0
4001-5000	18	0	12.0	42	1	9.3	70	2	7.5	125	4	6.4	155	5	6.0
5001-7000	18	0	12.0	42	1	9.3	95	3	7.0	125	4	6.4	185	6	5.6
7001-10,000	42	1	9.3	70	2	7.5	95	3	7.0	155	5	6.0	220	7	5.4
10,001-20,000	42	1	9.3	70	2	7.6	95	3	7.0	190	6	5.6	290	9	4.9
20,001-50,000	42	1	9.3	70	2	7.6	125	4	6.4	220	7	5.4	395	12	4.5
50,001-100,000	42	1	9.3	95	3	7.0	160	5	5.9	290	9	4.9	505	15	4.2

TABLA 1. Tabla de Dodge y Romig para un AOQL dado (muestreo simple). (Reproducción de las "Sampling Inspection Tables" de Dodge y Romig, John Wiley and Sons, 1959).

El sistema de Dodge y Romig utiliza el punto $p_{0.10}$ como índice para su plan de muestreo. El punto $100p_{0.10}$ se denomina "porcentaje defectuoso tolerado en el lote" y significa que es el porcentaje defectuoso con una probabilidad de aceptación de 0.10. Otro de los índices en el que se basan estas tablas es el AOQL (Average Outgoing Quality Limit) o "límite de calidad media de salida" que se refiere al valor máximo posible del porcentaje defectuoso promedio en el producto. La tabla No. 1 ofrece seis planes de muestreo dependiendo del promedio defectuoso del proceso, si este se desconoce habrá que seleccionar el plan de muestreo en la columna de la derecha de la tabla (1.61 - 2.00) que da una mejor probabilidad de aceptación a los lotes satisfactorios.

Por ejemplo, si recibimos 5,000 unidades de carcaza y sabemos por experiencias anteriores que generalmente se recibe un 1.15% de defectuosos, habrá que escoger la columna cuatro de la tabla, con los siguientes resultados:

$n = 125$ con un máximo permisible de cuatro defectuosos y un 6.4% defectuoso con una probabilidad de aceptación de 0.10

En general, cuando los lotes inspeccionados son tan buenos como el promedio de defectuosos del proceso utilizado para entrar en las tablas, es casi seguro que se aceptarán.

Existen otras tablas basadas también en el índice AOQL incluidas en los sistemas militares de inspección y otras también basadas en algún índice diferente a éste, que podrían utilizarse también.

De los componentes del candado que habrá que inspeccionar por medio de muestreo (levas, tornillo, carcaza, cuerpo, pieza bloqueadora y trancas), las más críticas son las levav, tornillo, carcaza y cuerpo del candado. Las tres primeras, por ser componentes del mecanismo, en caso de efectuarse el ensamble con piezas defectuosas generalmente esto se detectará hasta el proceso final de ensamble, lo que ocasiona costos de producción de desensamble y recuperación de componentes que podrían ser considerables.

Para el caso del cuerpo del candado, debido a lo intrincado de su diseño interior, resulta difícil el evaluar estas piezas e incluso en ocasiones es necesario hacer pruebas destructivas. Sin embargo, en caso de penetrar piezas defectuosas al proceso, al momento de efectuar la operación de maquinado de estas piezas (actividad (1,2)), las que se encuentran cerradas en cuanto a las dimensiones de la cavidad interior, serán separadas al no entrar éstas en el dispositivo de sujeción del taladro múltiple. Por otro lado, las piezas defectuosas que no sean detectadas en las operaciones iniciales del proceso de manufactura del cuerpo del candado podrán ser detectadas hasta el ensamble final o la inspección final del candado generándose también costos adicionales de producción.

Resulta menos costosa la detección y reemplazo de la pieza bloqueadora y trancas por ser piezas que se utilizan en los últimos pasos del ensamble del candado. Sin embargo, además del muestreo de todas estas piezas, es conveniente solicitar y desarrollar con los proveedores el uso de gráficas de control en sus procesos de fabricación con objeto de simplificar la inspección de estas piezas antes de incluirlas en los procesos de manufactura y ensamble, y para tener la seguridad y confianza de que la inspección por parte del proveedor fue realizada satisfactoriamente. "Tanto el cliente como el proveedor son plenamente responsables de la aplicación del control de calidad con mutuo entendimiento y cooperación en sus sistemas de control de calidad." (4)

(4) Kaoru Ishikawa, Seminario del Cuarto Simposium de Control de Calidad, Japón, 1966.

También para los demás componentes del candado será conveniente desarrollar con los proveedores la utilización de control estadístico y seguir el procedimiento que se indica en el tema anterior.

2.4 Importancia del Control de los Procesos.

Es posible desarrollar calidad en todos los pasos de todos los procesos y lograr una producción 100% libre de defectos. Esto se hace mediante el control de procesos. No basta con encontrar los defectos y fallas y corregirlos. Lo que hay que hacer es encontrar las causas de los defectos y fallas. El control del proceso ayuda a las personas a identificar y eliminar estas causas. Las compañías que dependen de la inspección masiva para garantizar la calidad, nunca la mejorarán; las inspecciones se hacen demasiado tarde, no son confiables y son ineficaces.

En cualquier proceso de producción siempre estará presente la variación o variabilidad. Variación es la diferencia entre los valores de una variable. La variación en los resultados depende de los cambios en los elementos que intervienen en el proceso.

La variación de cualquier proceso se analiza en función de las causas que la originan, distinguiéndose generalmente dos tipos de causas:

1) causas especiales de variación, se deben a cambios no ordinarios. Su solución requiere de una acción local. Estando el proceso bajo control, aparecen como puntos fuera de control, en forma eventual o periódica. Ejemplos de este tipo de causas son el desajuste de una máquina que interviene en algún punto del proceso, o la contratación de un operario nuevo.

2) causas comunes de variación, se deben al azar. Su solución requiere de acciones sobre el sistema. Deben analizarse en forma más detallada que las especiales, pueden motivar un cambio en el diseño del proceso o en los elementos que intervienen.

A la variación total debida sólo a causas comunes se le conoce como habilidad del proceso. Se dice que un proceso es hábil si cumple con las especificaciones en forma consistente.

En la figura No. 2 se observa una curva normal en la que los límites se establecen de acuerdo a especificaciones y es un ejemplo de un proceso hábil.

La herramienta para conocer cómo varía el proceso es el Control Estadístico del Proceso.

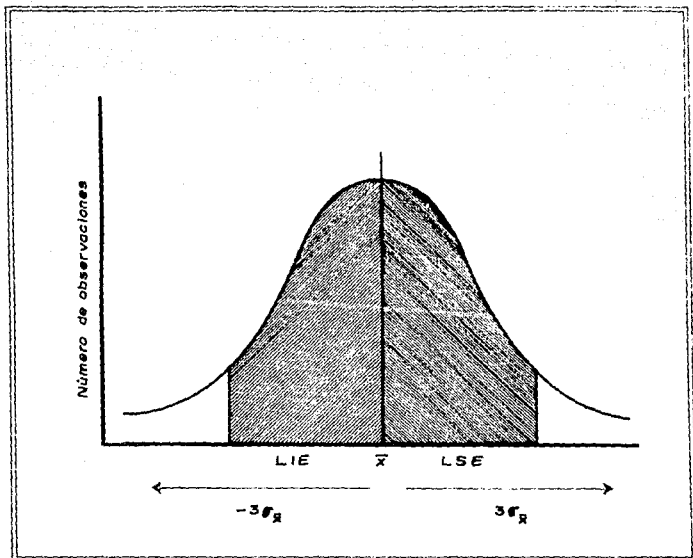
2.4.1 Control Estadístico del Proceso.

Uno de los precursores del control estadístico del proceso fué W. A. Shewhart y de esta manera recalca la importancia de la estadística para controlar los procesos: "La contribución a largo plazo de conceptos estadísticos depende, no tanto de la intervención de estadísticos altamente especializados en la industria, como de la formación de una generación de físicos, químicos, ingenieros y otros hombres con mentalidad estadística, que de alguna forma tome parte en el desarrollo y dirección de los procesos de producción del mañana." (5)

La calidad medida en los productos finales está siempre sujeta a un cierto grado de variación debido al azar. Cualquier esquema de producción e inspección lleva implícito algún sistema estable de causas debidas al azar. La variación de este patrón fijo es inevitable. Las razones por las que esa variación rebasa los límites de dicho patrón deben descubrirse y corregirse.

El control estadístico del proceso es el uso de técnicas de estadística, tales como las gráficas de control, para analizar el proceso, sus causas de variación, de tal

(5) "Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control", editado por W.E. Deming, The Graduate School. Department of Agriculture, 1939.



\bar{x} : Media de la característica de calidad X .

LSE: Límite superior de especificación

LIE: Límite inferior de especificación

σ_R Desviación estándar de la media.

FIG. 2. EJEMPLO DE UN PROCESO HABIL.

manera que pueden tomarse las acciones apropiadas para lograr y mantener un proceso en control y para mejorar la habilidad del proceso.

Algunas de las ventajas del control estadístico de los procesos son las siguientes:

- a) el desarrollo del proceso es predecible.
- b) los costos y la calidad son predecibles.
- c) la productividad está en su máximo y los costos al mínimo, bajo este esquema.
- d) los efectos de cambios en el sistema pueden ser medidos con gran velocidad y confiabilidad.
- e) permite modificar especificaciones que no pueden lograrse económicamente.
- f) se puede mejorar (o disminuir) la inspección, sus costos.

Por otro lado, se dice que un proceso está estable si no indica causas especiales en su variación, es decir, está en control estadístico. Su comportamiento futuro es predecible.

CAPITULO III
CONTROL ESTADISTICO DE LOS PROCESOS
MEDIANTE LAS GRAFICAS DE CONTROL

3.1 Generalidades.

Son siete las herramientas básicas para el control estadístico de los procesos. La función esencial de algunas de ellas es la de controlar procesos de tipo administrativo. Otras se utilizan para la detección y solución de problemas. Para nuestro caso, el control de procesos de manufactura en la fabricación de candados de combinación, las herramientas apropiadas son las gráficas de control.

Al utilizar las gráficas de control, además de controlar los procesos, se proporciona un lenguaje común para comunicarse sobre el comportamiento de un proceso entre los diferentes operarios del mismo, entre las diferentes estaciones del proceso, entre el proveedor y el usuario y, en general, todo el personal involucrado.

Las gráficas de control son herramientas simples y a su vez efectivas para lograr un control estadístico. Se prestan para que el operario las maneje en su propia área de trabajo. Proporcionan información confiable a la gente cercana a la operación sobre cuándo debieran tomarse ciertas acciones y cuándo no debieran tomarse. Sin embargo, aunque el trabajador requiere solamente de un conocimiento de aritmética simple para trazar una gráfica, no puede decidir por sí mismo si ha de usar una gráfica en el trabajo, y mucho menos puede iniciar un movimiento que estimule el uso de gráficas de control. Es responsabilidad de la administración enseñar el uso de estas gráficas y fomentar su implementación en los procesos, siempre y cuando puedan ser eficaces. "Debe evitarse la proliferación de gráficos sin propósito alguno." (6)

Una gráfica de control es simplemente una gráfica del proceso con límites superiores e inferiores que se determinan de manera estadística, trazados a uno y otro lado del promedio del proceso a los que se les llama "límites de control". (Ver figura No. 3).

(6) W.E. Deming, "Quality, Productivity and Competitive Position", M.I.T. Control, 1982.

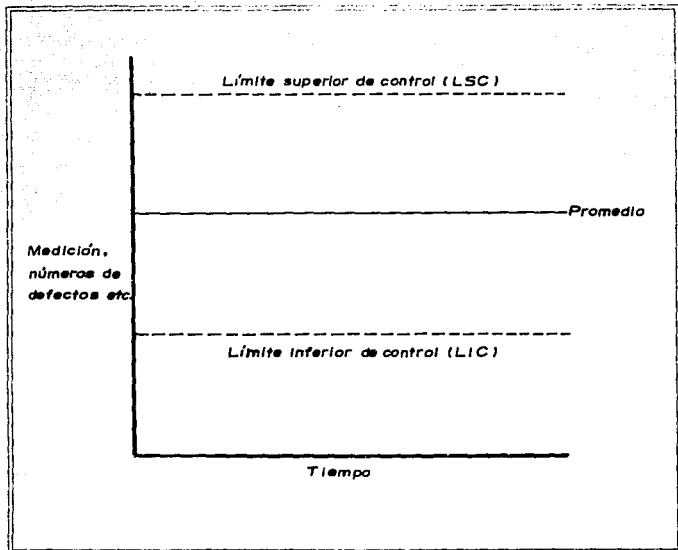


FIG. 3. ESQUEMA DE UNA GRAFICA DE CONTROL

No hay que confundir los límites de control del proceso con los límites de especificación. Los límites de especificación están determinados por el diseño mismo del producto, mientras que los límites superior e inferior de control quedan determinados al permitir que un proceso estable siga su marcha sin interferencia externa y al analizar luego los resultados usando una fórmula matemática. Es decir, los límites de control de cualquier proceso están determinados por el proceso mismo.

La fórmula para obtener los límites de control está diseñada para proporcionar un balance económico entre buscar con demasiada frecuencia causas especiales de variación en el proceso cuando no las hay y no buscar cuando podría descubrirse una causa especial.

Existen dos amplias categorías de gráficas de control dependiendo de la naturaleza de los datos. Una es para ser utilizada cuando se tienen datos continuos y se les llama "gráficas de control por variables"; y la otra es para ser utilizada cuando se tienen datos discretos y se les llama "gráficas de control por atributos".

De las gráficas de control por variables que existen, la más apropiada para nuestro proceso es la gráfica $\bar{X} - R$ (promedios y rangos). Esto es, debido a que es la gráfica de control de mayor sensibilidad para diagnosticar los problemas de calidad y como medio para detectar fuentes de problemas. El uso indiscriminado de las gráficas $\bar{X} - R$ para todas aquellas características de calidad que pueden medirse, muchas veces resulta totalmente impracticable y antieconómico por lo que debe utilizarse la experiencia y el sentido común para ver dónde son realmente necesarias o dónde existen áreas de oportunidad.

En el caso de las gráficas de control por atributos, la más apropiada para nuestro proceso es la gráfica p (porcentaje de unidades defectuosas), ya que es la que debe utilizarse cuando los tamaños de lote para cada punto de la gráfica son variables como ya se verá más adelante en el tema 3.3.1.

3.2 Procedimiento para Construir las Gráficas de Control \bar{X} -R .

Una gráfica de control \bar{X} - R se compone en realidad de dos gráficas: la gráfica \bar{X} nos muestra cualquier cambio en la media (valor medio) del proceso, mientras que la gráfica R nos muestra cualquier cambio en la dispersión del proceso. Se consideran las dos como una sola puesto que deben elaborarse juntas, y los cálculos para determinar las \bar{X} y R de las muestras se basan en los mismos datos.

A continuación se enlistan los pasos necesarios para su construcción:

Primer paso. Colección de los datos. Los datos o mediciones deberán agruparse en subgrupos. El Dr. Shewhart sugirió cuatro como el tamaño ideal del subgrupo (criterio que toma como base el que la distribución de \bar{X} se acerque a la normal, aún cuando la población no represente una curva normal; este hecho resulta muy útil en la interpretación de los límites de la gráfica de control).

Ford, al igual que muchas empresas, ha adoptado como típico el que las muestras o subgrupos estén formados por cinco piezas consecutivas, de esta manera las piezas en cada subgrupo estarán producidas bajo condiciones similares de producción y podrá detectarse si el proceso puede cambiar o mostrar inconsistencia en breves períodos de tiempo. Con menos de cinco empieza a perderse la sensibilidad de la gráfica para detectar problemas, y con más de cinco se obtiene muy poca información adicional. Se recomienda que el intervalo de los subgrupos sea de 1/2 a 2 horas, ya que más frecuentemente puede representar demasiado tiempo invertido y si es menos frecuente pueden perderse eventos importantes que sean poco usuales; hasta reunir por lo menos de 20 a 25 subgrupos que deberán capturar todas las fuentes de variación que puedan afectar al proceso. (7)

(7) Ford Motor Co., "Control Continuo del Proceso y Mejoras a la Habilidad del Proceso. Guía para el uso de Gráficas de Control para Mejorar la Calidad y Productividad", 1984, pág. 21.

Existe otro método para la elección de subgrupos que consiste en seleccionar los cinco productos para la toma de mediciones, al azar. Es decir, el inspector puede escoger de todos los artículos procesados desde su última visita, cinco piezas al azar. Si esto no fuera factible, puede efectuar cinco visitas a intervalos de tiempo o de producción iguales, tomando una medición en cada una de ellas que constituirán un subgrupo.

Con el primer método de selección de subgrupos se permite dentro de una misma muestra, una probabilidad de variación mínima (ya que las mediciones fueron tomadas de artículos consecutivos en un lapso de tiempo muy corto); mientras que la variación es máxima de un subgrupo a otro. En este caso, si se pueden eliminar las causas atribuibles de variación de un subgrupo a otro, la capacidad obtenible del proceso es óptima; además se proporciona una medida más sensible de los cambios acontecidos en la media del proceso. Este hecho hace que la gráfica de control proporcione una guía mejor para ajustar la máquina o efectuar otras acciones dirigidas a mantener una media dada. Debido a esto, este primer método es más adecuado para llevar a cabo el análisis de un proceso y para el control de procesos.

El segundo método para la elección de subgrupos se utiliza más para tomar decisiones sobre la aceptación del producto; debido a que con el primer criterio, si entre dos de los subgrupos se ha producido y corregido un cambio en la media del proceso, dicho cambio no se verá reflejado en el gráfico de control. En todo caso, antes de proceder a la elección de uno u otro método, hay que analizar si realmente es probable que puedan suceder dos cambios compensados de la media del proceso entre dos subgrupos consecutivos. Cuando se trata de operaciones realizadas por máquinas, es más probable que estos cambios ocurran en las máquinas manuales que en las automáticas.

Es recomendable usar una forma u hoja especial para la colección de los datos como la que se muestra en la parte superior de la gráfica No. 1. El tamaño de la muestra o subgrupo estará representado por "n" y el número de subgrupos por "K".

Segundo paso. Cálculo de la media \bar{X} y el rango R para cada subgrupo, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

para el valor medio,

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum X}{n} \dots (2)$$

donde X_1, X_2, \dots, X_n son los valores individuales que forman cada subgrupo.

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

$$R = X_{\max} - X_{\min} \dots (3)$$

Tercer paso. Obtención de la media de las medias $\bar{\bar{X}}$ y del rango promedio \bar{R} .

a) La media de las medias $\bar{\bar{X}}$ es la suma de todas las medias de cada subgrupo dividido entre el número de subgrupos K :

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K} = \frac{\sum \bar{X}}{K} \dots (4)$$

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

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_K}{K} = \frac{\sum R}{K} \dots (5)$$

Cuarto paso. Cálculo de los límites de control usando las fórmulas correspondientes.

a) Para la gráfica \bar{X} :

$$\text{Línea Central, } LC_X = \bar{X} \dots (6)$$

$$\text{Límite Superior de Control, } LSC_X = \bar{X} + A_2 \bar{R} \dots (7)$$

$$\text{Límite Inferior de Control, } LIC_X = \bar{X} - A_2 \bar{R} \dots (8)$$

b) Para la gráfica R :

$$\text{Línea Central, } LC_R = \bar{R} \dots (9)$$

$$\text{Límite Superior de Control, } LSC_R = D_4 \bar{R} \dots (10)$$

$$\text{Límite Inferior de Control, } LIC_R = D_3 \bar{R} \dots (11)$$

Los valores de los coeficientes A_2 , D_4 y D_3 dependen del tamaño de la muestra n , y se muestran en la tabla No. 2.

Las fórmulas de los límites de control se han desarrollado en base a la teoría de probabilidad, de tal manera que los puntos de la gráfica que caigan fuera de dichos límites no den falsas indicaciones de falta de control; es decir, es una buena razón para pensar que existe algún factor que incrementa la variación de la calidad y que puede identificarse.

No es el objeto de esta tesis el presentar el desarrollo matemático y obtención de estas fórmulas así como de los coeficientes que involucran, pero un resumen de su obtención puede encontrarse en textos como el de Eugene Grant y Richard Leavenworth, Control Estadístico de Calidad, C. E. C. S. A., págs. 87-91, y el de Richard Vaughn, Control de Calidad, Limusa, págs. 78-81.

n	A ₂	D ₄	D ₃
2	1.880	3.267	0
3	1.023	2.575	0
4	0.729	2.282	0
5	0.577	2.115	0
6	0.483	2.004	0
7	0.419	1.924	0.076
8	0.373	1.864	0.136
9	0.337	1.816	0.184

Tabla No. 2 Valores de los Coeficientes A₂, D₄ y D₃ .
(Extraída de ASTM Manual on Quality Control of
Materials, Filadelfia, Tabla B2.)

Quinto paso. Trazo de la gráfica de control $\bar{X} - R$. Al trazar las líneas de control debe dejarse una separación de por lo menos tres o cuatro centímetros entre el límite superior de control y el límite inferior de control. El trazo de la línea central debe ser continuo y el de los límites de control, punteado. Debe asignarse un intervalo adecuado, tanto para el eje vertical como para el horizontal y anotar sus valores. También deberán anotarse los valores de los límites de control y de la línea central.

Sexto paso. Graficar los valores de \bar{X} y R para cada subgrupo partiendo del mismo eje horizontal. Deben encerrarse en un círculo los puntos fuera de los límites de control, y unirse todos los puntos por líneas para facilitar la visualización de las tendencias del proceso.

Es conveniente que en la gráfica se anote la información necesaria para su comprensión como el tamaño de la muestra, operación, operario, etc.

3.2.1 Aplicación de la Gráfica de Control \bar{X} - R en los Procesos.

Es muy importante monitorear la operación en la que se hacen los barrenos con el taladro múltiple (actividad (1,2)), ya que la distancia entre los centros de los barrenos ($1.282 \pm .002$ pulg.) en la cara superior del cuerpo es vital para el correcto funcionamiento del candado. Al efectuar esta operación de barrenado repetidas veces, las brocas de la cabeza doble, debido a lo profundo que deben efectuarse los barrenos y a la operación misma, van perdiendo filo. Generalmente es necesario afilarlas cada 1,900 a 2,200 piezas, sin embargo, puede ocurrir que no sea necesario afilar las dos brocas al mismo tiempo. Puede ocurrir también la pérdida súbita del filo de alguna de las brocas al toparse ésta con algún material incrustado o extraño, debido a la contaminación del latón al fundirlo, ocasionando desgaste en el filo o el rompimiento del filo de los gabilanes de la broca.

Un factor por el que se hace difícil mantener la distancia entre centros, así como el paralelismo entre los dos barrenos es que al penetrar las brocas la pared superior del cuerpo, éstas seguirán removiendo material pero sólo de los costados, es decir, tenderán a jalarse hacia el centro del cuerpo del candado. Si las brocas se encuentran bien afiladas podrá fácilmente controlarse este efecto, de lo contrario, además de no conservarse el paralelismo entre los barrenos, al tender las brocas a jalarse hacia el centro del cuerpo producirán un ovalamiento en los barrenos.

Otro factor por el que puede variar la distancia entre centros de estos dos barrenos, es debido al desgaste tanto de las brocas en la superficie lateral de corte (desgaste en el filo de los gabilanes) como de los bujes guía para las brocas.

Esto sucederá con bastante menor frecuencia que la pérdida del filo de las brocas en la punta, pero ocasionalmente provocará problemas, ya que al haber juego entre la broca y el buje, no habrá forma de controlar el punto donde harán centro las brocas y, por consiguiente, no podrá controlarse la distancia entre centros.

La forma de monitorear esta operación de barrenado es utilizando la gráfica de control $\bar{X} - R$ para controlar la distancia entre centros de los barrenos. Al controlarse la distancia entre centros se estará controlando también el paralelismo entre los barrenos, ya que este es un efecto también del filo de las brocas, como lo es también el ovalamiento de los barrenos.

Debe tomarse en cuenta, que una vez que se ha producido una pieza defectuosa su recuperación no siempre es posible. Habría que volver a maquinar o barrenar el cuerpo con el taladro múltiple, pero si se ha producido ovalamiento o los puntos donde hicieron centro las brocas no son los correctos, no habrá forma de recuperar esas piezas. Por otro lado, un cuerpo defectuoso (mal maquinado) que llegue al proceso de ensamble, en la mayoría de los casos resultará en un candado defectuoso que en ocasiones no podrá detectarse hasta estar completamente armado. El costo del cuerpo de latón del candado representa aproximadamente un 30% del costo neto del producto final.

Desde el punto de vista de la reducción de costos de producción, cualquier característica de calidad que provoque rechazos o recuperaciones onerosas constituye un firme candidato para utilizar las gráficas de control.

En el barrenado de la cara lateral posterior del cuerpo que se lleva a cabo al mismo tiempo que los otros dos barrenos (en el mismo taladro múltiple), el filo de la broca no representa un factor tan crítico como el de las otras dos, ya que el material que se remueve es bastante menor y se perfora la pared del cuerpo de lado a lado.

3.2.2 Ejemplo Práctico de Aplicación.

Para este ejemplo se tomaron datos reales de la operación de barrenado que se describe en el tema anterior.

Primer paso. Para la recolección de datos se utilizaron intervalos de 1/2 hora, tomándose 5 mediciones para cada muestra. El número de subgrupos es de 25, por lo que el estudio cubre un turno y medio aproximadamente.

Nota: referirse a la parte superior de la gráfica No. 1.

Para tomar las mediciones de la distancia entre el centro de los barrenos se utilizó un calibrador. Primero se midió el diámetro de los barrenos tomados en el eje que pasa por los centros de ambos y se les dividió entre dos para obtener los radios. Posteriormente se procedió a medir la distancia de separación entre ambos barrenos y se le sumó el radio de los mismos.

En el caso en que los barrenos estaban ovalados, esto se reflejó en una distancia entre centros mayor a la tolerancia de la especificación, puesto que el ovalamiento se produce en el eje que pasa por los centros de los barrenos y únicamente en una sola dirección (en ambos barrenos, hacia afuera del centro del cuerpo del candado).

Segundo paso. Se calculó la media para cada uno de los subgrupos con la fórmula 2, donde:

$$\bar{X} = (1.284 + 1.281 + 1.283 + 1.279 + 1.283)/5 = 1.282$$

para el primer subgrupo, y así sucesivamente hasta el subgrupo número 25.

Para calcular los rangos se utilizó la fórmula 3, donde:

$$R = 1.284 - 1.279 = 0.005$$

para el primer subgrupo, y así sucesivamente hasta el subgrupo número 25.

Tercer paso. Para calcular la media de las medias y el rango promedio se utilizaron las fórmulas 4 y 5 respectivamente:

$$\bar{\bar{X}} = (1.282 + 1.2816 + 1.2824 + \dots + 1.2828)/25 = 1.28205$$

$$\bar{R} = (0.005 + 0.003 + 0.005 + \dots + 0.005)/25 = 0.00392$$

Cuarto paso. Para la gráfica \bar{X} se calculan la línea central y los límites de control con las fórmulas 6, 7 y 8.

$$LC_{\bar{X}} = 1.28205$$

$$LSC_{\bar{X}} = 1.28205 + (0.577)(0.00392) = 1.2843$$

$$LIC_{\bar{X}} = 1.28205 - (0.577)(0.00392) = 1.2797$$

Para la gráfica R se efectúan los mismos cálculos con las fórmulas 9, 10 y 11.

$$LC_R = 0.00392$$

$$LSC_R = (2.115)(0.00392) = 0.00829$$

$$LIC_R = 0$$

para tamaños de subgrupo menores a 7, el coeficiente D_3 es igual a cero.

Quinto y sexto pasos. En la gráfica No. 1 se muestra un formato típico, utilizado para la construcción de estas gráficas en el que se han trazado todos los parámetros y puntos de la gráfica de este ejemplo.

Conclusiones. La operación de barrenado con el taladro múltiple se encuentra bajo control estadístico, ya que tanto la gráfica de promedios como la de rangos no muestran puntos fuera de sus límites de control. En este ejemplo podemos observar que los límites de control de la gráfica de promedios proporcionan un campo de variación más amplio que los límites de especificación y, sin embargo, ninguna de las medias de los subgrupos caen tampoco fuera de los límites de especificación.

Si las gráficas indican que el proceso está fuera de control, se debe intentar establecer a través de ellas, como de cualquier otra información pertinente, cuáles pueden ser las causas atribuibles y si es probable su eliminación. Es muy importante este análisis para prevenir la repetición de las condiciones que originaron la falta de control. Por otro lado, es muy importante también la rapidez con la que se efectúe el análisis de los problemas con el propósito de minimizar la producción de piezas defectuosas. Después de eliminar los subgrupos que indiquen falta de control en la gráfica R, calcúlese un nuevo rango promedio y unos nuevos límites de control para R. Si con estos límites aparecen nuevos subgrupos fuera de control, sepárense y repítase el procedimiento. Si algún punto de la gráfica de rangos fuera excluido, deberá también ser excluido de la gráfica \bar{X} .

En caso de que no fuera posible la identificación de las causas especiales que originaron los puntos fuera de control en las gráficas, debe considerarse la posibilidad de que se trate de causas comunes de variación y, por lo tanto, será necesario tomar decisiones con respecto a modificar o actuar sobre el proceso en sí. Quizás esto deba aplazarse hasta obtener más información o más datos sobre el proceso. En el caso de dimensiones procedentes de operaciones de maquinado, es posible que sólo sea cuestión de un ajuste adecuado de la máquina.

Por otro lado, no siempre es necesario esperar a que los puntos de la gráfica caigan fuera de los límites de control para efectuar alguna acción correctiva. Como en el caso de este ejemplo, podemos observar que a partir del subgrupo número 19, el proceso tiene una tendencia de desplazamiento por encima de la línea central del mismo. A esto se le conoce como serie, y es precisamente una sucesión de puntos que indican la inclinación de una tendencia o desplazamiento del proceso (7 o más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del promedio). Si analizamos los datos de los subgrupos podremos apreciar que algunos valores están por encima de la tolerancia de especificación en una milésima, lo cual no es todavía crítico, sin embargo, nos podemos dar cuenta que las brocas han empezado a perder filo y es necesario afilarlas de inmediato.

3.2.3 Índice de Capacidad del Proceso.

Cuando según la gráfica de control un proceso está bajo control, se está en posición de juzgar si el proceso es hábil o no, es decir, si el campo de variación del proceso (6σ) es igual o menor a la diferencia entre los límites de especificación de la característica de calidad controlada (LSE - LIE), donde la desviación estándar puede calcularse por medio de la siguiente expresión:

$$\sigma = \bar{R}/d_2 \quad \dots (12)$$

donde d_2 es un factor estadísticamente calculado que relaciona el tamaño de muestra y la desviación estándar que se espera obtener en un muestreo al azar tomado de una población normal; sus valores se pueden apreciar en la tabla No. 3.

La herramienta estadística para saber lo anterior es el índice de capacidad del proceso (cp), también conocido como índice de compatibilidad del proceso.

El índice de capacidad del proceso es una expresión cuantitativa de precisión de un proceso industrial en condiciones normales de operación y control, respecto a sus límites de especificación o tolerancia establecidos.

Dado que el índice de capacidad del proceso refleja la variación debida a causas comunes (ya que las especiales fueron corregidas para la obtención del proceso bajo control), la falta de habilidad en un proceso mostrada por dicho índice casi siempre se debe a fallas en el sistema mismo.

Sus aplicaciones más importantes son las siguientes:

- a) Comparaciones entre especificaciones de producto y proceso.
- b) Selección de nuevo equipo (precisión y costo).
- c) Evaluación de la eficiencia de mantenimiento.

Número de observaciones en el subgrupo n	Factor para estimar a partir de R d_2
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.970
10	3.078
11	3.173
12	3.258
13	3.336
14	3.407
15	3.472
16	3.532
17	3.588
18	3.640
19	3.689
20	3.735
21	3.778
22	3.819
23	3.858
24	3.895
25	3.931

TABLA 3. Factor d_2 para estimar la desviación estándar. (Extraída de ASTM Manual on Quality Control of Materials, Filadelfia, 1972).

- d) Comparación entre maquinaria disponible.
- e) Evaluación periódica de la calidad del proceso.
- f) Análisis de problemas causados por materias primas.
- g) Análisis de diferencias entre operadores, líneas de producción, turnos, etc.
- h) Determinación de nuevas tolerancias o límites de especificación en proceso

y producto.

- i) Revisión de límites ya existentes para mejorar el servicio o producto.
- j) Evaluación periódica de proveedores.
- k) Ajuste de máquinas para su operación normal.
- l) Información para mantenimiento preventivo.

La fórmula básica para calcular la capacidad de un proceso es la siguiente:

$$cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \dots (13)$$

donde LSE y LIE son los límites superior e inferior de especificación respectivamente de la característica de calidad del proceso a analizar, y 6σ es el campo de variación del proceso.

Una vez obtenido este índice, si el resultado es mayor o igual a 1, se podrá decir que el proceso es hábil, es decir, cuanto mayor sea la razón entre LSE - LIE y el campo de variación del proceso (6σ), más favorable será la situación para obtener una producción correcta.

Si se presentara el caso de que el campo de variación del proceso fuera considerablemente menor que la diferencia entre los límites de especificación, podría resultar más rentable dejar de utilizar la gráfica de control, o por lo menos, incrementar

el intervalo de tiempo entre dos inspecciones (o toma de datos) consecutivas.

Análogamente, en el caso en que solamente exista un límite de especificación, ya sea el superior o el inferior, deberán utilizarse las siguientes fórmulas respectivamente:

$$cp = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \dots (14)$$

$$cp = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma} \dots (15)$$

donde \bar{X} es el promedio del proceso (la media de las medias) y 3σ es la mitad de la distribución del proceso.

Al igual que en el caso en el que se tienen dos límites de especificación, cuanto mayor sea la razón entre $LSE - \bar{X}$ ó $\bar{X} - LIE$ y la mitad del campo de variación del proceso (3σ), más favorable será la situación (el proceso tendrá una mayor habilidad).

Por ejemplo, utilizando los datos del tema 3.2.2 podemos obtener el índice de capacidad del proceso. Primero, por medio de la fórmula 12 se obtiene la desviación estándar,

$$\sigma = 0.00392/2.326 = 0.00168$$

donde el valor del factor d_2 se obtiene de la tabla No. 3 para un tamaño de muestra (n) igual a 5.

Se procede a calcular el índice de capacidad del proceso por medio de la fórmula 13, teniendo en cuenta que la especificación de la distancia entre centros en la

operación de barrenado es de 1.282 ± 0.002 pulg., y sustituyendo el valor de σ calculado anteriormente, obtenemos:

$$cp = \frac{1.284 - 1.280}{6(0.00168)} = 0.39$$

Como se puede apreciar, este proceso de barrenado no es hábil para las tolerancias que se requieren. Puesto que el proceso se encuentra bajo control, las variaciones que existen se deben a fallas del sistema (causas comunes de variación).

Como se comentó anteriormente, debido a que se trata de un proceso de maquinado, una forma de mejorar la capacidad del proceso podría consistir en hacer ajustes a la máquina. Si observamos detenidamente las mediciones individuales, así como las medias de los subgrupos, podemos apreciar que una mayor proporción de datos caen por encima de la línea central en la gráfica \bar{X} ; por lo que posiblemente una buena medida podría consistir en sustituir las brocas del taladro por otras de un material más rígido y con mayor resistencia al desgaste que las convencionales.

Con esto se podría contribuir a reducir la distribución del proceso con respecto a la media de la característica de calidad, en otras palabras, a cerrar los límites de control del proceso y, por lo tanto, se contribuiría también a reducir el campo de variación del proceso; incrementando de esta manera el índice de capacidad del proceso ya que hay que recordar que los límites de control para este ejemplo ofrecen un rango mayor que los límites de especificación. Esto significa que existe la probabilidad de que una porción de la producción caiga fuera del rango de tolerancia de especificación, aunque esto no forzosamente tendrá que ocurrir; pero cuanto más se acerque el índice de capacidad del proceso a 1, más favorable será la situación para obtener una producción dentro de tolerancias.

3.3 Procedimiento para Construir las Gráficas de Control p.

La gráfica de control p o de fracción defectuosa es la más versátil y la más ampliamente utilizada de las gráficas por atributos. Incluso puede aplicarse a características de calidad que podrían medirse como variables; por ejemplo, dimensiones verificadas mediante calibres "pasa-no pasa".

Estas gráficas proporcionan a la dirección registros de la historia de la calidad muy útiles. Muchas decisiones, a nivel de dirección, tienen que basarse en un conocimiento del nivel de calidad normalmente mantenido, y en la rápida información acerca de los cambios que sufre. También proporcionan los medios para descubrir aquellos puntos fuera de control que requieren una acción para identificar y corregir las causas de la mala calidad, así como descubrir también causas irregulares de mejora de calidad que podrían convertirse en causas de mejora constante.

A continuación se enlistan los pasos necesarios para su construcción:

Primer paso. Colección de los datos. Es recomendable diseñar una forma para la colección de los datos como la que se muestra en la tabla No. 4.

Segundo paso. Cálculo de la fracción defectuosa (porcentaje defectuoso) para cada fecha o subgrupo en porcentaje,

$$p = \frac{\text{Número de Defectuosos}}{\text{Número de Inspeccionados}} = \frac{np}{n} \dots (16)$$

debe multiplicarse el resultado por 100 para representarlo como porcentaje p(%).

Tercer paso. Cálculo de la fracción defectuosa promedio,

$$\bar{p} = \frac{np}{n} \dots (17)$$

debe multiplicarse el resultado por 100 como en el caso anterior.

Cuarto paso. Cálculo de la línea central y de los límites de control usando las fórmulas correspondientes. El cálculo de los límites de control deberá efectuarse para cada subgrupo, es decir, cada punto de la gráfica tendrá unos límites de control diferentes.

$$\text{Línea Central, } LC_p = \bar{p} \dots (18)$$

Límite Superior de Control,

$$LSC_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \dots (19)$$

Límite Inferior de Control,

$$LIC_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \dots (20)$$

Las fórmulas de los límites de control están basadas, al igual que las de las gráficas $\bar{X} - R$, en 3σ . Es decir, el cálculo de las gráficas de control está basado en la expresión $\bar{p} \pm 3\sigma$, donde la expresión para calcular σ en las fórmulas 19 y 20 es una expresión transformada y simplificada de la fórmula 1, cuyas bases se encuentran en la teoría de probabilidad (este desarrollo puede encontrarse en el texto de Eugene Grant y Richard Leavenworth, Control Estadístico de Calidad, C. E. C. S. A., capítulos 3 y 7).

Aunque generalmente en la práctica industrial los límites 3σ son los mejores, ya que constituyen un balance económico entre el costo de investigar causas

atribuibles cuando éstas no existen y el costo de no tenerlas en cuenta cuando están presentes, se dan casos en los que se considera conveniente el utilizar límites de control más cerrados (2σ). Esto sucede cuando se emplea la gráfica p como un instrumento para ejercer una presión ejecutiva sobre el mejoramiento de la calidad.

Quinto paso. Trazo de la gráfica de control p . Debe asignarse un intervalo adecuado para los ejes vertical y horizontal y anotar sus valores. El trazo de los puntos que representen la fracción defectiva debe ser en porcentaje y se trazarán también los límites de control para cada punto.

Es conveniente que en la gráfica se anote la información necesaria para su comprensión.

3.3.1 Aplicación de la Gráfica de Control p en los Procesos.

Una forma de verificar si la inspección por medio de muestreo de componentes para el ensamble de los candados es en realidad efectiva, es por medio de la utilización de gráficas de control p en algunos puntos del proceso anteriores al ensamble final del candado.

De los subensambles que componen el candado, el más importante debido a las funciones que debe realizar, es el subensamble del mecanismo. Para supervisar la calidad del mecanismo e indirectamente la calidad de las piezas que lo componen es necesario el empleo de gráficas p, tanto en la operación del primer subensamble de dicho mecanismo (actividad (3,1)) como en el segundo subensamble del mismo (actividad (3,2)).

Además de supervisar la calidad del subensamble en cuanto a funcionamiento es necesario supervisar también el correcto ensamble del mecanismo en sí, es decir, que alguno de los discos no esté volteado, que se hayan utilizado tres levas chicas y una grande y no cuatro levas chicas o que se haya colocado la leva grande en algún lugar equivocado, que no se haya atornillado completamente la tuerca, etc. que son los problemas que se presentan con mayor frecuencia.

Para poder llevar esto a cabo, es necesario que cada trabajador inspeccione los artículos que él mismo ha producido. Este es el sistema de autoinspección. Cuando se practica correctamente, el trabajador sabe inmediatamente si el producto es bueno o malo y puede, en muchas ocasiones, tomar las medidas correctivas sin dilación. En esta forma se puede reducir muchísimo el número de artículos defectuosos o que requieran correcciones.

Este método de autoinspección es una de las bases del control de calidad actual, pero para que realmente sea efectivo debe concientizarse a los trabajadores de no entregar artículos defectuosos al siguiente paso del proceso de producción.

La forma de saber si este método realmente se está aplicando correctamente es por medio de las gráficas de control, y en nuestro caso, por medio de las gráficas p.

En resumen, la utilización de gráficas p es la última oportunidad para supervisar la calidad del mecanismo e identificar defectos que impedirían el correcto funcionamiento del candado antes del ensamble final.

Otro punto donde es importante la utilización de las gráficas p es para supervisar la calidad final de los candados, lo cual ayudará en forma indirecta a dar un seguimiento a la calidad de los componentes que se suman al proceso de ensamble en las operaciones finales, en cuanto a su adecuación a especificaciones de funcionamiento.

3.3.2 Ejemplo Práctico de Aplicación.

Para este ejemplo se tomaron datos reales de la autoinspección que realizan los ensambladores de la primera operación de subensamble del mecanismo. Concretamente, este ejemplo fue tomado de los resultados obtenidos de uno de los tres ensambladores que realizan esta operación, ya que es conveniente cuando se tiene más de un operario realizando la misma actividad en la que se va a utilizar la gráfica de control, llevar una gráfica para cada uno de los operarios por separado.

Primer paso. Para el tamaño del subgrupo de cada uno de los puntos de la gráfica se consideró la producción de un día de trabajo (8 horas), es decir, cada punto de la gráfica corresponde a los resultados de la producción de cada día. Este estudio abarca 25 días de trabajo.

Debido a que los datos corresponden a los resultados de una autoinspección por el ensamblador como parte del proceso de ensamble, no se puede hablar de muestras ni de tamaños de muestra, sino que se trata del estudio de una población.

Este será el caso también para las demás operaciones en las que se utilicen gráficas p en el proceso de manufactura de los caudados.

En la parte inferior de la gráfica No. 2 se muestran los datos obtenidos.

Segundo paso. Por medio de la fórmula 16 se calcula la fracción defectiva para el primer subgrupo:

$$p = 7/591 = 0.0118(100) = 1.18\%$$

y así sucesivamente hasta el subgrupo número 25.

Tercer paso. Para calcular la fracción defectiva promedio se utiliza la fórmula 17; de esta manera se tiene:

$$\bar{p} = 176/15016 = 0.0117(100) = 1.17\%$$

Cuarto paso. Se calculan la línea central y los límites de control con las fórmulas 18, 19 y 20.

$$LC_p = 1.17\%$$

$$\begin{aligned} LSC_p &= 0.0117 + 3 \cdot 0.0117(1 - 0.0117)/591 = 0.0249(100) \\ &= 2.49\% \end{aligned}$$

$$LIC_p = 0.0117 - 3 \cdot 0.0117(1 - 0.0117)/591 = -0.0015$$

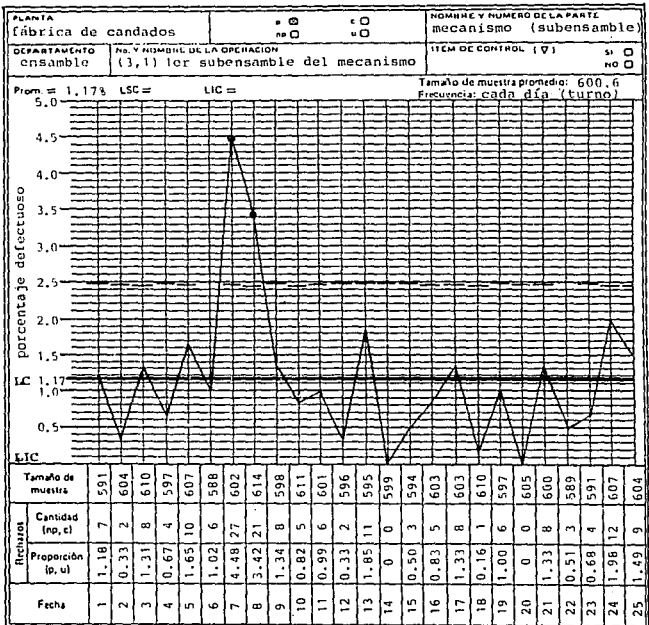
cuando el resultado del cálculo del límite inferior de control es negativo deberá tomarse como cero.

Estos son los cálculos de los límites de control para el primer subgrupo, deberá repetirse el mismo procedimiento hasta concluir con el subgrupo 25.

Quinto paso. En la gráfica No. 2 se muestra un formato típico, utilizado para la construcción de estas gráficas, en el que se han trazado todos los parámetros y puntos de la gráfica de este ejemplo.

Conclusiones. Se puede apreciar que dos puntos de la gráfica (subgrupos 7 y 8) caen por encima de los límites superiores de control. Esto implica que se trata de causas especiales de variación.

Analizando lo que sucedió en esas dos fechas, encontramos que el dispositivo de ensamble del operario sufrió un desperfecto, por lo que fué necesario proporcionarle otro mientras se efectuaba la reparación. Debido a que no estaba familiarizado con este



GRAFICA 2. Ejemplo del empleo de la gráfica de control p en el proceso de ensamble del mecanismo del candado de combinación.

dispositivo en especial, ensambló un número mayor de artículos defectuosos bastante superior al promedio normal.

Cuando sucede este tipo de anomalías debe evaluarse qué resulta más económico, si tolerar el incremento de producto defectuoso temporalmente mientras se repara la máquina, permitir al operario que reduzca su producción para que con un menor ritmo de trabajo pueda poner especial atención en los artículos que produce, o en un caso extremo en que el costo de producir artículos defectuosos sea muy elevado, suspender la actividad de ese operario hasta reparar la máquina.

En nuestro caso resultó muy sencillo reparar los defectivos que se presentaron, ya que el problema de mayor incidencia consistió en que el tornillo no era atornillado completamente a la tuerca ocasionando el mal funcionamiento del subensamble. Esto se corrige con solo darle unas vueltas más al tornillo; por lo que en este caso la mejor opción consistió en que el operario continuara sus actividades normalmente hasta que fuera reparado su dispositivo de ensamble y componer aquellos subensambles defectuosos. Esta decisión debe tomarse en cuanto se detecte el primer punto que caiga fuera de control y se establezcan las causas que lo originaron.

Por otro lado, podemos observar que para esta operación específicamente, los límites superiores de la gráfica de control fluctúan entre 1.47% y 1.50%; hay un rango de únicamente tres centésimas de porcentaje para este límite de control, por lo que para simplificar los cálculos de estas gráficas podría tomarse el valor de 1.47% como el límite superior de control para todos los subgrupos.

Esta diferencia tan reducida para los límites superiores de control se debe a que la diferencia del tamaño de los subgrupos es muy pequeña en relación a la magnitud de dichos subgrupos.

3.4 Algunos Principios para Mejorar la Efectividad en los Sistemas Productivos.

Muchas organizaciones frecuentemente se encierran al medir ciertas actividades las cuales hacen que la organización luzca bien en documentos, pero que no revelan mucha información sobre cómo compiten en relación a calidad en sus mercados. Estos son indicadores de autogratificación que en nada favorecen a la empresa a identificar y responder a las necesidades de cambio.

En vez de clarificar con persistencia su rendimiento de calidad, estas organizaciones se concentran en medir los porcentajes de ganancias, ingresos anuales, el crecimiento, número de adquisiciones, etc.; tales medidas son necesarias e importantes, pero quizás hubieran podido ser mejores si se hubiera hecho un mejor trabajo en satisfacer las expectativas de los clientes.

El punto es que para medir calidad hay que medir aquellos indicadores directamente relacionados con la satisfacción de los clientes como lo son las quejas, pérdida de negocios (difícil de medir pero es posible si se es persistente), servicio a tiempo, retrasos en fechas fijadas (externas e internas), etc. Generalmente este tipo de reportes son percibidos como negativos, y sin embargo, la voluntad de definir y medir lo negativo para alcanzar el mejoramiento es algo típico de la organización "abierta". Este tipo de organización confronta consistentemente la necesidad continua de hacer cambios y mejoras en los sistemas productivos al revisar su rendimiento por indicaciones de clientes insatisfechos.

Estas oportunidades de mejora en los sistemas productivos pueden ser un reflejo también de las conclusiones que aportan las gráficas de control. El momento más indicado para mejorar un sistema es cuando se han eliminado las causas especiales de

variación y está bajo control estadístico. En ese momento, la gerencia puede influir eficazmente en el sistema, buscando maneras de reducir la variación.

En caso de eliminar las causas especiales de variación y obtener un control estadístico del proceso, si la tolerancia del proceso es considerablemente mayor que la tolerancia especificada (que el rango de los límites de control sea mayor que el de los límites de especificación); a no ser que pueda reducirse la dispersión del proceso, es obvio que aunque se lleve bajo control, se obtendrá un porcentaje elevado de producto defectuoso. Esto mismo sucederá cuando la media del proceso no pueda ajustarse a la media de especificación.

En el caso de nuestro ejemplo del tema 3.2.2, cuando se inició la operación de maquinado del cuerpo del candado, inicialmente la media del proceso se encontraba por encima de la media de especificación. Esto ocasionaba, como consecuencia, que varias de las piezas sobrepasaran la tolerancia superior de especificación (1.284 pulg.) aún cuando el proceso se encontraba bajo control. Fue necesario ajustar el taladro, cerrando un par de milésimas la distancia entre las brocas y por consiguiente, de los bujes guía. Con esto se logró desplazar la media del proceso para aproximarla a la media de especificación (1.282 pulg.).

En este caso la solución fué relativamente sencilla, sin embargo, se presentarán ocasiones en que la información proporcionada por las gráficas de control acerca de las tolerancias naturales que mantendrán una máquina o algún método de producción nos indique que no será posible, aún ajustando la máquina o el método, adecuarlos a las tolerancias de especificación y en este caso será necesario introducir cambios importantes en dichas máquinas o métodos (adquirir maquinaria nueva, automatizar el proceso, hacer un cambio en el material de alguna pieza, etc.).

Existirán ocasiones en las que pueda hacerse precisamente lo contrario,

utilizar las gráficas de control para determinar la capacidad de un proceso de fabricación y en base a esto establecer los límites de especificación. Esto será posible cuando la especificación de la pieza o producto se adecúe al uso futuro que se le dará.

Los límites de especificación deberían definirse exactamente según lo que se necesita. En muchas ocasiones estos límites son más estrechos de lo necesario, frecuentemente porque no ha habido tiempo o no se ha intentado descubrir qué es lo necesario. Un factor muy importante para la definición de estos límites es el costo, factor que no puede juzgarse adecuadamente sin tener la información acerca de la capacidad del proceso de fabricación que proporciona la gráfica de control. Es por esto que muchas veces la conclusión más adecuada a la que se llega al utilizar las gráficas de control es la de cambiar las especificaciones. De nada sirve tener especificadas ciertas tolerancias que, o bien no podrían cumplirse nunca, o que para cumplirse incrementarían el costo del producto de tal forma, que lo sacarían de competitividad en el mercado.

3.5 Aseguramiento de la Calidad.

En un principio la calidad se aseguraba únicamente mediante la inspección final de los productos. Con el tiempo, esto fue considerado insuficiente dada la existencia de defectuosos en el mercado. Fue entonces cuando la importancia de las actividades de aseguramiento de la calidad en el proceso de producción, tales como la inspección diaria y el autocontrol, fueron enfatizados.

En la actualidad, y bajo los esquemas del control estadístico de la calidad, el proceso de aseguramiento de la calidad consiste en ejecutar el control de calidad consistentemente desde la etapa de diseño del producto hasta el servicio postventa.

Un sistema de aseguramiento de la calidad puede ser definido como el sistema total de todas las cosas para adaptar la calidad actual del producto o servicio positivamente a la calidad requerida por el mercado o cliente y de acuerdo a la calidad pagada. Es un sistema organizado que permite llevar a cabo y asegurar el uso, la función, el mantenimiento, la fiabilidad, etc. del producto en cada etapa de su desarrollo (diseño, compras, fabricación, inspección, almacenaje, transportación, ventas, servicios) para su buen uso.

Las etapas para el aseguramiento de la calidad pueden enumerarse como sigue:

1) Calidad de diseño. Con esto se pretende investigar la calidad de un producto o servicio para determinar cuáles características deben ser aseguradas o desarrolladas y dónde se originan. Esto se hace a través de relacionar las características de calidad funcionales con las características de calidad no funcionales de un producto o servicio.

Las características de calidad funcionales son aquellas características de

calidad verdaderas o lo que realmente se busca en un producto o servicio, y las no funcionales son aquellas características de calidad sustitutas o características que al cumplirse contribuyen a que se cumpla con las características de calidad funcionales.

Por ejemplo, el espesor y el ancho (características de calidad no funcionales) en una cinta de papel contribuyen a que ésta no se rompa (característica de calidad funcional).

La calidad de diseño también se lleva a cabo a través de decidir los límites de tolerancia y estándares de materia prima.

2) Diseño y control del proceso. Esto implica lograr la estabilización del control en los procesos de producción mediante decidir cuándo, quién, dónde y cómo deben ser controlados los factores y características de calidad.

Se hace a través de análisis comparativos de los requerimientos y manifiestos de los usuarios, lo que también da lugar al desarrollo de nuevos productos, y por medio del estudio de capacidad de los procesos.

No hay que olvidar que para poder lograr una producción correcta se deberá contar con insumos satisfactorios, por lo que habrá que insistir y apoyar a los proveedores en el uso de control estadístico en sus procesos.

3) Inspección. Consiste en establecer dónde, cuándo y cómo debe ser realizada la inspección.

Esto se logra a través de la inspección de las características de calidad no funcionales por el propio departamento de producción, en lo posible (autoinspección), y verificando las características de calidad funcionales por el departamento de inspección.

4) Servicio. Se busca establecer un plan para el trabajo de servicio postventa y obtener información (retroalimentación) sobre la distribución de los productos y grado de satisfacción de los consumidores.

Se lleva a cabo por medio de la instrucción a usuarios de las características y utilización del producto; por medio de la implementación de reportes de problemas de calidad, tanto externos como internos; con un sistema bien organizado de monitoreo; y el adecuado entrenamiento a ingenieros y técnicos de servicio.

Para que un sistema de aseguramiento de calidad tenga éxito, debe convertirse en un sistema del comportamiento humano en la implementación de las condiciones físicas necesarias, en el suministro de herramientas, dispositivos, información, etc. necesarios en cada etapa para que lo que ahí sucede, suceda bien desde la primera vez. Y la forma de asegurar que esto se lleve a cabo es por medio de la estandarización de la forma en la que deben llevarse a cabo los procesos.

De esta manera, el aseguramiento de la calidad en el concepto moderno comienza en el momento en que se concibe la idea para la fabricación de un producto y no termina hasta que éste ha cumplido su vida útil, abarcando todas las áreas relacionadas de alguna manera con la función de la empresa en las cuales debe haber una sistematización de los procedimientos. Cada uno de estos departamentos deberá adecuar sus funciones al marco del aseguramiento de la calidad, teniendo en cuenta que la información y retroalimentación sobre el desempeño del producto juegan un papel primordial dentro de este sistema.

3.5.1 Beneficios de un Sistema de Aseguramiento de Calidad.

De acuerdo a los objetivos fundamentales de un sistema de aseguramiento de la calidad que consisten en asegurar que los productos o servicios no ocasionen problemas a los consumidores y usuarios, y que internamente en una compañía el producto de cualquier proceso no de problemas al siguiente proceso mediante la estandarización del trabajo, se desprenden los siguientes beneficios:

- 1) Se llevan a cabo actividades sistemáticas para remediar los problemas de calidad.
 - 1.1) Solución efectiva a problemas y acción preventiva por parte de las diferentes áreas de la compañía.
 - 1.2) Acción correctiva inmediata mediante el procesamiento de quejas.
 - 1.3) Instrucción a los usuarios antes del servicio.

- 2) Se llevan a cabo actividades sistemáticas para fomentar en consumidores y usuarios la confianza en la calidad de los productos o servicios.
 - 2.1) Establecimiento, evaluación y verificación de la ejecución de estándares de procedimientos.
 - 2.2) Confirmación de la calidad del producto terminado.

- 3) Se diagnostican áreas de oportunidad.

- 4) Se efectúan acciones para el mejoramiento de la calidad y la productividad.

- 5) Se minimizan el desperdicio y los rechazos.

- 6) Se reducen inventarios y se aseguran entregas.

En general, por medio de un sistema de aseguramiento de calidad se obtienen beneficios indirectamente como la reducción de costos y la obtención de un mayor mercado (incremento en ventas) para los productos y servicios.

3.5.2 Estandarización del Control en el Proceso.

Cuando en un proceso se utilizan los mismos materiales, el mismo método y se llevan a cabo las mismas operaciones, es conveniente establecer normas para ellos. De esta manera, el procedimiento para llevar a cabo dicho proceso será siempre el mismo, contribuyendo así a disminuir la variación.

Si se tiene un proceso bajo control, es conveniente en ese momento crear la estandarización de los procedimientos y métodos que dieron lugar a que así fuera, y en caso de ya existir algún estándar de los procedimientos, quizás fuera conveniente modificarlos para asegurar que el proceso continúe bajo control. De esta manera, la estandarización debe ser flexible y dinámica en cuanto a que si los procedimientos no son los apropiados o es necesario tomar alguna acción correctiva basada en los resultados, dichos estándares deberán modificarse.

En caso de que se haya determinado la necesidad de utilizar gráficas de control en algún punto o algunos puntos del proceso, su utilización deberá incluirse dentro de la estandarización del procedimiento para asegurar la detección de causas atribuibles de variación en caso de que se presenten y pueda ser posible su eliminación.

Una vez que se ha llevado a cabo la estandarización, los factores a controlar deberán ser vigilados continuamente, por lo que es importante darle entrenamiento al trabajador acerca de los estándares de trabajo o de operación.

Una forma efectiva de hacer cumplir los estándares es haciendo a los empleados y trabajadores responsables de su ejecución, en la medida de lo posible, y de su establecimiento.

CAPITULO IV
SOLUCION DE PROBLEMAS

4.1 Identificación de Problemas.

Muchos de los problemas que se presentan a lo largo de los procesos productivos no será posible eliminarlos por medio de la utilización de gráficas de control, ya que probablemente su uso no será posible, como por ejemplo el reproceso del cuerpo del candado en cuanto a pulido debido a marcas o maltrato.

Generalmente, para identificar aquellas situaciones que realmente son un problema y para cuantificar la gravedad de los problemas se utiliza la medición en términos de su valor monetario. Cuando este tipo de medición sea posible, la decisión de atacar el problema, así como posiblemente la forma de atacarlo será muy clara.

Sin embargo, habrá ocasiones en que la empresa no identifique cierta clase de costos y, por lo tanto, no será posible cuantificar las situaciones en unidades monetarias; como es el caso de resultar sumamente difícil cuantificar cuanto cuesta retocar los desperfectos o daños causados al cuerpo del candado por la imposibilidad de ir reuniendo todas las piezas defectuosas y emplear el tiempo de un turno completo de uno de los pulidores para efectuar las reparaciones, ya que es necesario utilizar ese inventario.

Y aún más, cuando son varias las causas que contribuyen a formar el problema; cuál habrá que solucionar primero. En el caso de nuestro ejemplo, los defectos en el cuerpo del candado se pueden deber a maltrato al momento de ensamblar, manchas de tinta al imprimir el logotipo, rayones al acomodar o al transportar el material, etc.

Habrà otras ocasiones en las que se esté plenamente conciente de la existencia de un problema debido al costo que ocasiona, pero que no se sepa con claridad cuál de las causas que lo originan habrá que corregir primero. En la mayoría de los casos el 20% de los problemas ocasionan el 80% del impacto en cuestión de costos, y será ese 20% el

que convendrá empezar por solucionar. Generalmente no será posible eliminar completamente el 80% restante sin incurrir en fuertes gastos e inversiones; y en esos casos habrá que evaluar qué resulta más económico, si proceder a hacer dichos gastos e inversiones o soportar el problema y cuidar que sus efectos sobre el proceso no crezcan, y hasta tratar de minimizarlo. Es decir, controlar de alguna manera aquellos problemas que no sea posible eliminar.

La forma de identificar problemas, ya sea que se puedan cuantificar en unidades monetarias o de alguna otra forma (número de artículos a reprocesar, de defectos, de fallas, etc.) y de identificar sus causas es por medio de las técnicas estadísticas básicas del control de calidad. Específicamente la hoja de verificación, el histograma, el diagrama de Pareto y el diagrama causa - efecto son de gran utilidad.

4.2 Técnicas Básicas del Control Estadístico de Calidad para la Solución de Problemas.

Cuando se esté tratando un problema, ya sea identificándolo o identificando sus causas para posteriormente solucionarlo, posiblemente será necesario utilizar más de una de las técnicas o herramientas estadísticas básicas.

A continuación se proporciona una breve descripción de ellas y los casos en que podrán ser utilizadas.

Hoja de Verificación. Es un formato especialmente elaborado para coleccionar datos fácilmente. Los factores a identificar deben ser previamente establecidos y podrán anotarse nuevos factores en el momento en que se presenten, factores tales como tipos de defectos, fallas, demoras, etc. que son registrados por medio de marcas. En la figura 4a. se muestra un ejemplo de una hoja de verificación.

Las hojas de verificación son de gran utilidad para encontrar e identificar problemas o áreas de oportunidad, así como para la obtención de datos.

Histograma. Es una gráfica de barras que muestra la forma en que se distribuyen las observaciones en un muestreo. La frecuencia de los acontecimientos en determinados rangos se representa con barras verticales del mismo ancho y la altura determina la frecuencia.

Por medio de los histogramas se puede conocer la relación entre los límites de especificación o tolerancia y la distribución de la población; si existe tendencia entre la media de la distribución de la población y el valor medio de los límites de especificación o de tolerancia. También revelan información respecto al proceso de producción, tal como estabilidad de la producción y cumplimiento de las normas de operación o

procedimientos estándar.

El histograma nos ayuda a detectar los problemas mayores para concentrarnos en su solución. En la figura 4b. se muestra un ejemplo.

Diagrama de Pareto. Es una gráfica que representa en forma ordenada la ocurrencia, de mayor a menor, de factores o problemas sujetos a estudio, tales como fallas, defectos, causas que ocasionan un problema, etc.

Este diagrama se basa en el principio de que el 20% de los problemas causan el 80% del impacto en un sistema. Es el primer paso para la realización de mejoras una vez que ya se tiene información sobre el impacto (unidades monetarias, número de defectuosos, etc.) que tienen los problemas o sus causas en el sistema, para concentrarnos en los vitales. En la figura 4c, se muestra un ejemplo.

Diagrama Causa - Efecto. Fue desarrollado por el Dr. Kaoru Ishikawa en 1953 y desde entonces ha contribuido a la solución de problemas y realización de mejoras en el trabajo.

Es una herramienta que consiste en identificar en la parte derecha del diagrama el efecto que se va a estudiar (ya sea un problema o una característica de calidad verdadera) y en la parte izquierda, las causas que originan dicho efecto (ya sean las causas que dan lugar a un problema o las características de calidad sustitutas que dan lugar a las verdaderas).

Generalmente se identifican cinco áreas en el diagrama (ver figura 4d.), materiales, método, maquinaria, mano de obra y medio ambiente, en las que habrá que colocar cada una de las causas que se identifiquen.

Este diagrama nos ayuda a seleccionar las causas que originan un problema,

con el objeto de eliminar o disminuir estas causas y de esta forma corregir el problema.

Usualmente, para solucionar un problema o hacer una mejora dentro de un sistema, lo primero que debe hacerse es generar datos del problema o situación que se quiere mejorar, para lo cual las hojas de verificación son las adecuadas. Una vez hecho esto, se deberá proceder a investigar las causas del problema (diagrama causa - efecto) si es que se desconocen, para determinar qué causa o qué problema, en caso de que sean varios, habrá que atacar primero para lo que el diagrama de Pareto o el histograma son de gran utilidad.

No necesariamente se utilizarán todas las técnicas anteriormente descritas para la solución de un problema o la mejora en un sistema, ni necesariamente en el orden que se acaba de mencionar. Lo que sí debe tenerse presente es el tipo de información que proporciona cada una de ellas, ya que su utilización simplifica en gran medida las acciones para la solución de problemas.

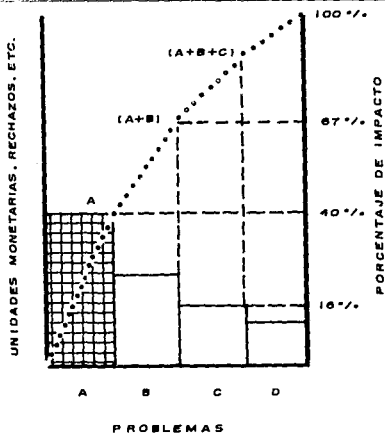


FIG. 4c. **DIAGRAMA DE PARETO.**

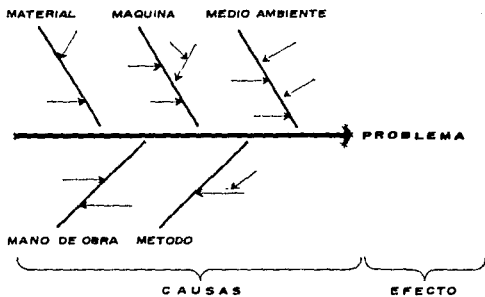


FIG. 4d. **DIAGRAMA CAUSA-EFECTO.**

4.3 Círculos de Control de Calidad.

Las actividades de los círculos de control de calidad tuvieron su origen en Japón en el año de 1962 a través de la publicación de la revista Gemba - to - QC (control de calidad para supervisores) en abril de ese año, con el Dr. Kaoru Ishikawa como colaborador.

La revista se creó partiendo del principio de que no se pueden producir artículos de buena calidad con sólo impartir educación a la alta administración de una compañía; se necesitaba la cooperación de los trabajadores de la línea encargados de manufacturar los productos. "El control de calidad sólo tendrá éxito cuando los supervisores y los trabajadores de línea asuman la responsabilidad por el proceso." (8)

Actualmente, y después de casi 30 años de su creación, los círculos de control de calidad siguen teniendo el mismo auge que entonces, siendo México uno de los países donde han adquirido la importancia merecida, al convertirse de carácter primordial el que los productos mexicanos sean de buena calidad y tengan una aceptación internacional favorable.

Un círculo de control de calidad es un grupo pequeño formado por 6 a 10 trabajadores de la misma área que desarrolla actividades voluntarias relacionadas con el control de calidad dentro del departamento de trabajo al cual pertenecen. Este grupo lleva a cabo continuamente el control y mejoramiento del área de trabajo utilizando técnicas de control de calidad, tales como estratificación, hoja de verificación, histogramas, diagramas causa - efecto, gráficas de control, tormenta de ideas, diagrama de Pareto para tratar áreas de oportunidad como productividad, mantenimiento, limpieza, seguridad, etc.

El propósito de los círculos de control de calidad debe ser también el de capacitar y concientizar a los trabajadores, así como el de propiciar su autodesarrollo y

(8) Kaoru Ishikawa, "¿Qué es el Control Total de Calidad?", Editorial Norma, 1986.

desarrollo mutuo.

La estructura que deberá existir en cualquier círculo de control de calidad es la siguiente: debe haber un líder formal que podría ser el supervisor; deberá existir también un facilitador externo al círculo que proporcione apoyo en cuanto a conseguir la asesoría necesaria cuando el círculo la necesite y deberá tener conocimientos de ingeniería industrial, solución de conflictos y del proceso general de la empresa. Las juntas tendrán una duración aproximada de una hora cada semana. Deberá tenerse presente que sin el debido apoyo e impulso de la dirección de la empresa facilitando los elementos y recursos necesarios, la implementación de círculos de control de calidad no tendrá éxito.

Los pasos, a grandes rasgos, para la implementación de círculos de control de calidad en una empresa son los siguientes:

- 1) Difusión del movimiento de círculos de control de calidad desde el nivel de dirección de la empresa.
- 2) Entrenamiento a supervisores en todo lo relacionado con círculos de c. c. (las siete técnicas estadísticas básicas, liderazgo, elementos básicos de ingeniería industrial). Debe enseñarse cómo enfocar los métodos estadísticos; en cuanto a las técnicas básicas bastará con el diagrama de causa - efecto, el diagrama de Pareto, el histograma, la hoja de verificación y el principio de estratificación; todo lo demás se puede ir enseñando cuando las actividades de los círculos ya estén bien encaminadas.
- 3) Pedir voluntarios entre los supervisores ya instruidos para que organicen círculos, con ellos como líderes.
- 4) Los líderes enseñan a los miembros del círculo lo que han aprendido, si es necesario la persona que promueve el control de calidad en la empresa o alguna otra que se asigne

puede ayudar en este proceso. Debe tomarse en cuenta que el nivel de educación promedio en los trabajadores mexicanos es hasta el cuarto año de enseñanza primaria, por lo que será necesario enseñar matemáticas básicas antes de las técnicas estadísticas.

5) El grupo empezará por identificar los problemas que existen en su área de trabajo y elegirá uno para trabajar sobre él.

Al principio, generalmente los supervisores son los más indicados para actuar como líderes de los círculos, pero a medida que las actividades progresan es mejor que la posición de liderazgo sea electiva.

4.3.1 Objetivos de los Círculos de Control de Calidad.

Por todo lo anteriormente expuesto, los objetivos principales de los círculos de control de calidad se establecen de la siguiente manera:

- I. Contribuir al mejoramiento y desarrollo de la empresa.
- II. Respetar al ser humano y construir un lugar feliz de trabajo.
- III. Desplegar al máximo las habilidades y capacidades de los hombres.
- IV. Establecer un estado de control, observando los estándares establecidos.
- V. Incrementar la moral como consecuencia de tomar parte en las actividades del departamento.
- VI. Motivar unas relaciones humanas armoniosas al interactuar entre los demás miembros del grupo.

VII. Permitir que ingenieros y especialistas dediquen su tiempo a trabajos propios de su posición, desarrollando mejores métodos y tecnología.

Los círculos de control de calidad no son sino una parte de las actividades que hay que realizar para implementar el Control de Calidad en una empresa, y específicamente ofrecen una gran contribución a la solución de problemas y mejoramiento de las áreas de trabajo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al querer implementar cualquier técnica de control estadístico en algún proceso de manufactura, administrativo o de servicio, el primer paso forzosamente consistirá en la obtención de información acerca del proceso que se desea controlar y la recolección de datos. Datos que deberán representar en la forma más fielmente posible la información acerca del proceso.

Si se parte de errores al obtener datos, a pesar de tener una muestra representativa y realizar un buen estudio estadístico de ella, las conclusiones estarán alejadas de la realidad.

Para nuestro caso, en la implementación del control estadístico de calidad en la fabricación de candados de combinación, es de primordial importancia la información que se obtenga sobre la calidad de los materiales de entrada o insumos para nuestros procesos (componentes del candado). Un insumo defectuoso generalmente dará lugar a un producto defectuoso.

No se puede tolerar material defectuoso en ninguna etapa de producción. El producto de una operación es insumo para la siguiente operación. Un producto defectuoso, una vez que ha sido producido, se mantendrá en el proceso hasta ser descubierto en pruebas o procesos posteriores para ser corregido y reemplazado a un mayor costo.

Al utilizar las técnicas estadísticas, en especial las gráficas de control, para supervisar o dar seguimiento al desarrollo de un proceso, hay que tener cuidado en dar seguimiento a aquellas características de calidad que realmente son vitales para la calidad del producto final o aquellas en que realmente sea necesaria la utilización de gráficas. Debe tratar de evitarse que el personal busque problemas o errores donde no los hay y que se introduzcan medidas correctivas en procesos que están marchando correctamente,

ya que en muchas ocasiones estas medidas lejos de ayudar, contribuyen a crear descontrol.

En base a todo esto se desprende el que en aquellos procesos donde la capacidad del proceso es bastante sobrada de acuerdo a los requerimientos y el proceso no muestra variaciones esporádicas repentinas, probablemente sea mejor eliminar el uso de la gráfica de control. Después de todo, hay que tener presente que la utilización de técnicas estadísticas debe contribuir a facilitar y mejorar el trabajo, si éstas no proporcionan contribución alguna en cierto proceso, no tiene caso utilizarlas.

Por otro lado, las autoridades en control de calidad, algunas de las cuales se han mencionado a lo largo de esta tesis, sostienen que el control de calidad como se concibe actualmente debe implementarse y seguirse siempre, no solamente mientras se solucione un problema o se meta bajo control algún proceso; ya que la variación existe en todo proceso debido a causas al azar y puesto que no es posible eliminarlas completamente, siempre existirá la forma de mejorar un proceso; y a esto precisamente es a lo que se le conoce como el proceso de la mejora continua.

En lo que se refiere a círculos de control de calidad, una consideración que debe hacerse es que en cualquier empresa en México donde se vayan a instituir, deberá proporcionarse primero una instrucción en aritmética básica a los trabajadores para posteriormente continuar con las técnicas estadísticas básicas. Incluso una vez iniciadas las actividades de los círculos, deberá continuarse con la instrucción hasta que sea posible que los trabajadores elaboren un histograma y una gráfica de control y los puedan interpretar. Esta tarea no será fácil y se requerirá de tiempo antes de comenzar a ver resultados, e incluso en un principio y aún algún tiempo después de iniciadas las actividades, esto constituirá un costo, más que un ahorro para la empresa. Pero si se tiene paciencia y constancia, los beneficios tanto para la empresa como para los

trabajadores pueden ser sorprendentes.

En general, al implementar un sistema de control de calidad, además de información e instrucción a todo el personal de la empresa, así como posiblemente un cambio en las políticas y objetivos de la misma, se necesitará promover un cambio en la forma de pensar y actuar de la gente y vencer la resistencia al cambio que se presentará; pero con persistencia y determinación, una vez que esto se logre, la posición competitiva que se obtenga será muy favorable, mejorará la productividad y se reducirán los costos de producción.

BIBLIOGRAFIA

Arrona H., Felipe de J., "Calidad, el Secreto de la Productividad", Editorial Técnica, 1985.

Deming, W. Edwards, "Quality, Productivity and Competitive Position", Massachusetts Institute of technology Control, 1982.

Dodge I. y H. G. Romig, "Sampling Inspection Tables - Single and Double Sampling", John Wiley and Sons, 1959.

Grant, Eugene L. y Leavenworth, Richard, "Control Estadístico de Calidad", C. E. C. S. A., 1972.

Ishikawa, Kaoru, "¿Qué es el Control Total de Calidad?", Editorial Norma, 1986.

Juran, J. M., "Management of Inspection and Quality Control", Harper & Row Publishers, 1945.

Juran, J. M., "Managerial Breakthrough (A New Concept of the Manager's Job)", McGraw-Hill, 1964.

Kennedy, John B. y Neville, Adam M., "Estadística para Ciencias e Ingeniería", Harla, 1976.

Liningner, Charles A. y Warwick, Donald P., "La Encuesta por Muestreo: Teoría y Práctica", C. E. C. S. A., 1982.

Shewhart, W. A. (editado por W. E. Deming), "Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control", The Graduate School, Department of Agriculture, 1939.

Vaughn, Richard C., "Control de Calidad", Limusa, 1982.

Walton, Mary, "Cómo Administrar con el Método Deming", Editorial Norma, 1988.

Weiers, Ronald M., "Investigación de Mercados", Prentice Hall, 1986.

Manuales y Cursos.

"Control Continuo del Proceso y Mejoras a la Habilidad del Proceso. Guía para el Uso de Gráficas de Control para Mejorar la Calidad y Productividad.", Ford Motor Co., 1984.

"Manual de Metodología para la Solución de Proyectos. Cuaderno Estadístico.", HYLSA, 1988.

"Manual on Quality Control of Materials", American Society for Testing and Materials, 1972.

"Material Didáctico del Diplomado en Administración Integral para la Calidad y Productividad", ITESM, 1987.

"Materiales de Entrenamiento de JUSE para la Especialización en Control Total de Calidad y Circulos de Calidad", JUSE, 1979.

"Seminario del Cuarto Simposium de Control de Calidad", Kaoru Ishikawa, Japón, 1966.