



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE MEXICO

U. N. A. M.
AUTONOMA
DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

Departamento de
Exámenes Externos

CALIDAD EN LAS ORGANIZACIONES (EMPRESAS E
INSTITUCIONES DE PRODUCCION Y DE SERVICIOS).
CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS EN UNA EMPRESA
TRANSFORMADORA DE PAPEL.

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A :
ALESSANDRA PAOLA GAVITO TICOZZI

ASESOR: DR. ARMANDO AGUILAR MARQUEZ.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO. 2001.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AV. FERIA 14
MEXICO



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Calidad en las Organizaciones (Empresas e Instituciones de Producción y de Servicios). Control Estadístico de Procesos en una Empresa Transformadora de Papel.

que presenta la pasante: Alessandra Paola Gavito Ticozzi
con número de cuenta: 9551982-7 para obtener el título de :
Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 3 de Octubre de 2001.

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Dra. Frida María León Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Juan Rafael Garibay Bermúdez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Dr. Armando Aguilar Márquez</u>	<u>[Firma]</u>

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que pusieron en mi una esperanza tratando de asegurar mi porvenir.

**A mi hermana Silvia de quien siempre recibí incondicional apoyo y
quien es mi mejor amiga y confidente.**

A mi nonna por contagiar mi vida con su alegría.

A mis maestros por ser forjadores de mi formación profesional.

Y a mis amigos que saben que cuentan conmigo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.	1
OBJETIVOS.	5
HIPÓTESIS.	5
CAPÍTULO 1. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS: GÉNESIS Y DESARROLLO.	6
1.1. El Control Estadístico en el Proceso de la Calidad.	6
1.2. Antecedentes Históricos del CEP.	7
1.3. El Control Estadístico de Procesos.	11
1.4. Metodología para implantar el Control Estadístico de Procesos.	13
CAPÍTULO 2. LAS GRÁFICAS DE CONTROL COMO HERRAMIENTA DEL CEP.	14
2.1. Naturaleza de las gráficas de control.	14
2.2. Metodología para desarrollar y utilizar las gráficas de control.	15
2.3. Beneficios de las gráficas de control.	44
CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL CEP EN UN EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL.	46
3.1. Aspectos generales de la empresa.	46
3.2. Análisis del proceso de producción de la empresa.	47
CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82
APÉNDICE A. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	85
APÉNDICE B. FACTORES PARA CALCULAR LOS LÍMITES DE CONTROL	86

INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años, grandes cambios han revolucionado el entorno social, político y económico a nivel mundial: cambios sin duda trascendentes, unos previsibles, otros, simplemente inimaginables, que nos han hecho presenciar sucesos como la caída de muros, la fragmentación de bloques nacionales en países independientes y la transición de la economía internacional hacia la globalización, propuesta como paradigma ideal y necesario frente a la crisis del modelo capitalista.

Nadie ha podido apartarse de este proceso de cambios, ni siquiera las economías más fuertes, menos aún los países en desarrollo, los cuales han estado realizando grandes esfuerzos por acceder de una manera ventajosa a la integración, con el fin de superar el atraso heredado, o impedir que se amplie.

Tal es el caso de México quien, como otros, ha buscado acortar la brecha del crecimiento respecto a los países del mundo avanzado a través de diversos acuerdos comerciales.

Mucho se ha hablado de los beneficios que estos tratados podrían aportar a nuestro país, tales como: mercados más amplios para los productos nacionales, crecimiento de la economía y del empleo, y la disminución de la incertidumbre económica. La realidad es más compleja: las organizaciones se han visto obligadas a buscar afanosamente nuevas estrategias para adaptarse con éxito a la creciente competencia internacional y a los mayores niveles de exigencia de los clientes y consumidores.

Es precisamente en este entorno en el que la Calidad Total se proyecta como un nuevo sistema de gestión empresarial y factor de primer orden para la competitividad de las empresas.

Íntimamente relacionado a este concepto y sirviéndole de soporte, se encuentra el Control Estadístico de Procesos que es el punto focal del presente trabajo.

El Control Estadístico de los Procesos, CEP, es una metodología que tiene por objetivo monitorear un proceso, identificando la naturaleza, alcance y causas de variación, para señalar la necesidad de tomar alguna acción correctiva cuando sea apropiado, promoviendo así la mejora continua.

Para tal efecto, el CEP se vale de diversas herramientas estadísticas, una de las cuales son las gráficas de control.

Esta herramienta, a pesar de ser considerada el método estadístico más versátil e importante por todos los beneficios que aporta a lo largo de la producción, en muchas ocasiones resulta muy laboriosa, en especial cuando deben analizarse todas las características de calidad involucradas en un proceso. Por lo anterior, resulta necesario contar con una ayuda para efectuar esta tarea en forma más rápida, exacta, eficiente y que tenga la capacidad de manejar una cantidad relevante de información.

En el mercado existe una gran variedad de programas para este tipo de aplicaciones. Sin embargo, no todas las empresas pueden tener acceso a ellos, debido a su alto costo y a su sofisticada tecnología.

Lo anterior no significa que no pueda haber un uso parcial de estos avances tecnológicos. Un ejemplo es Minitab, un programa que puede bajarse de Internet por tiempo limitado y por medio del cual es posible monitorear y resolver los problemas de la calidad de los productos.

Minitab fue utilizado para la realización de la presente investigación que gira en torno al proceso de producción de una empresa transformadora de papel.

Ésta, a pesar de tener varios años de fundada, se encuentra en un periodo de estancamiento. Los directivos están abiertos a las necesidades actuales y, por lo mismo, están interesados en un proceso de implantación de un sistema de calidad.

Porque así se me solicitó, se omitirán tanto el nombre como datos específicos que pudieran revelar la identidad de la empresa que amablemente me permitió realizar la presente investigación.

Mi análisis se orienta principalmente hacia un objetivo primordial, que es el de implantar el Control Estadístico de Procesos en una empresa transformadora de papel, con la finalidad de controlar y mejorar la calidad de sus procesos y productos.

Para lograr este propósito se han desarrollado tres capítulos: 1) Control Estadístico de Procesos: Génesis y Desarrollo, 2) Las Gráficas de Control como herramienta del CEP; y 3) Aplicación del CEP en una empresa transformadora de papel.

En el primer capítulo se engloba los antecedentes y los principales conceptos que fundamentan el campo del Control Estadístico. En el segundo capítulo se analizan las gráficas de control como herramienta del CEP. El tercer capítulo es un estudio práctico enfocado a la empresa ya mencionada.

Es importante señalar que está fuera del alcance de la investigación darle seguimiento al proceso de implantación del CEP, aspecto que hubiera sido de suma importancia para comprobar la eficiencia y eficacia de nuestro análisis, debido a que la puesta en marcha de un programa de tal magnitud implica un lapso de tiempo importante, del cual no dispongo. Sin embargo el futuro nos permitirá ver si las predicciones hechas son confiables.

El marco metodológico dentro del cual se desarrolla el presente trabajo es la Teoría General de Sistemas, así llamada debido al aporte de la informática al objeto de estudio, y que se aplica al campo de la teoría organizacional. El análisis sistémico concibe al sistema como abierto y dinámico, en constantes intercambios con el ambiente. Sus características son:

1. La entrada o importación de energía o recursos.
2. Su procesamiento en lo que se conoce como caja negra o proceso.
3. El resultado o salida.
4. La ciclicidad de la secuencia anterior (puntos 1, 2, 3)
5. El insumo de información, retroalimentación negativa y el proceso de codificación. El sistema recibe la información. La retroalimentación negativa se refiere a la información orientada a mantener al sistema dirigido hacia el logro de un objetivo preestablecido. Para poder interpretar la información, el sistema desarrolla un proceso de codificación.

6. La estabilidad y la homeostasis dinámica. Esto se refiere a la existencia de un equilibrio que no coincide de ningún modo con la inmovilidad.
7. Diferenciación. La organización como sistema abierto que es, se mueve hacia una mayor elaboración y complicación de sus componentes, adquiriendo un carácter más especializado y diferenciado.
8. El todo y la sinergia. Las organizaciones son más que la simple suma de sus partes componentes. Por "efecto sinergista" se entiende el resultado, comportamiento o producto cuyas características fundamentales no se pueden deducir a partir de las características de sus insumos.

El uso de la Teoría General de los Sistemas ofrece ventajas explicativas pues considera una realidad dinámica y un constante cambio al interior de los mismos sistemas. El logro principal de la teoría sistémica organizacional está en dirigir la atención a las interrelaciones entre la organización y su entorno.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implantar el Control Estadístico de Procesos en una empresa transformadora de papel con la finalidad de controlar y mejorar la calidad de sus procesos y productos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- a. Conjuntar las gráficas de control con el programa estadístico Minitab, para agilizar la implantación del CEP.
- b. Evaluar el proceso en base a los resultados de las gráficas de control.
- c. Proponer alternativas dirigidas a la toma de acción de mejoras.

HIPÓTESIS

La implantación de un Control Estadístico de Procesos permite controlar y mantener bajo un nivel predecible de calidad los procesos y productos de una empresa transformadora de papel.

CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS: GÉNESIS Y DESARROLLO

1.1. EL CONTROL ESTADÍSTICO EN EL PROCESO DE LA CALIDAD

Durante muchos años, el sistema proteccionista en nuestro país, como en otros de Latinoamérica, había impedido valorar las duras condiciones de la competencia internacional y los diferentes requerimientos de los clientes y consumidores respecto a la calidad en los productos, en las entregas, en los precios y en la atención.

La apertura comercial de México, iniciada a finales del siglo pasado y actualmente en su apogeo, ha significado, para casi todas las ramas industriales y algunas del sector servicios, la necesidad de revalorar y redefinir el concepto de calidad, ya no sólo para estar en posibilidad de competir, sino para algo más elemental: sobrevivir.

Lo anterior ha implicado entender que la calidad va más allá de su significado etimológico, de atributo o propiedad que distingue a las personas, bienes y servicios, de acuerdo al latín "*qualitas*". Un producto o un servicio es de calidad cuando logra satisfacer las necesidades, expectativas y requerimientos del consumidor; como tal, la calidad no es un concepto inamovible, sino un proceso dinámico, de mejora continua, adecuado a los tiempos.

El tema de la calidad ha tenido entonces un proceso evolutivo en la historia de la humanidad y, a través de las experiencias y el desarrollo de los conocimientos, ha adquirido matices diferentes. Es así como ahora la calidad representa un nivel de excelencia en todos los aspectos de la organización, e incluye el enfoque al cliente, la participación y trabajo en equipo y la mejora y aprendizajes continuos. Estos principios definen a la Calidad Total.

Las circunstancias económicas del mundo contemporáneo y el imperativo de atraer divisas por la vía del comercio obligan a las organizaciones en general a implantar sistemas administrativos enfocados a la calidad total.

Para ello, se apoyan en la metodología estadística, la cual se vuelve una herramienta fundamental que permite identificar las oportunidades de mejora que pudieran pasar desapercibidas, definir y medir el estado actual del proceso, analizar y reconocer posibles fuentes de problemas y finalmente verificar si las soluciones propuestas y adoptadas tentativamente contribuyen a reducir el problema.

Una metodología estadística útil para la función del aseguramiento de la calidad total es el Control Estadístico del Proceso, o CEP, que consiste en "vigilar los procesos para identificar las causas de variación y para señalar la necesidad de tomar alguna acción correctiva cuando sea apropiado"¹. El CEP es el enfoque que permite mejorar el proceso de producción cotidianamente, garantizando la calidad del producto.

1.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CEP.

Las técnicas estadísticas aplicadas de forma efectiva a la problemática derivada en la producción industrial y al aseguramiento de la calidad no han tenido una larga historia.

Es en un memorándum fechado en mayo del 1924 cuando Walter A. Shewart, de *Bell Telephone Laboratories*, esboza por primera vez el concepto estadístico de los diagramas de control. Este evento se considera el inicio del control estadístico de procesos.

En la misma década H.F. Dodge y H.G. Roming, otros dos científicos de *Bell System*, destacan en el desarrollo de la aplicación de las teorías estadísticas a la inspección de muestras y elaboran las *Sampling Inspection Tables Dodge-Roming*. Posteriormente, en colaboración con la *American Society of Testing and Materials* (ASTM), la *American Standard Association* (ASA), y la *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), inician la divulgación de los métodos estadísticos en Estados Unidos y en Inglaterra.

Al inicio, en Estados Unidos hubo renuencia a la adopción de estos métodos, debido sobre todo a dos factores: la convicción de los ingenieros de que su función era principalmente

¹ Ver James R. Evans y W.M. Lindsay "La Administración y el Control de la Calidad", Thomson Editores, México 1999.

mejorar los métodos técnicos de producción, y la carencia de ingenieros de producción que conocieran de estadística.

Debido a lo anterior, eran escasas las empresas industriales que empleaban la nueva técnica.

Fue un conflicto de la magnitud de la Segunda Guerra Mundial y la participación de Estados Unidos en él, lo que detonó la adopción del Control Estadístico de la Calidad y del empleo de las normas relativas ("*Tablas Militares*").

El Departamento de Defensa de Estados Unidos solicitó a la *American Standards Association* que diera inicio a una nueva serie de normas relacionadas con la producción militar, consistentes en: (a) una guía para el control de calidad, (b) un método de los diagramas de control para el análisis de datos; y (c) un método de diagramas de control de la calidad durante la producción.

Estas normas se usaron como material didáctico en programas de capacitación patrocinados por el *Programa de Instrucción y Entrenamiento en Ingeniería, Ciencias y Administración en Tiempo de Guerra* del gobierno de los Estados Unidos.

Al mismo tiempo, se impulsó la investigación científica relativa al desarrollo de modelos estadísticos aplicables al control de calidad: el *Grupo de Investigaciones Estadísticas de la Universidad de Columbia en Nueva York* produjo manuales para la armada de los Estados Unidos que incluían el muestreo por atributos y la técnica de muestreo secuencial.

Al concluir la guerra ya se publicaba en Estados Unidos la *Revista Industrial Quality Control* y se había constituido la *American Society for Quality Control (ASQC)*, llevando a la industria estadounidense al liderazgo americano respecto al Control Estadístico de la Calidad.

En el continente europeo, específicamente en la industria del Reino Unido, la aceptación de los nuevos métodos estadísticos fué rápida: los primeros trabajos fueron desarrollados en los años veinte por el Ing. Bernard Dudding y el Ing. L. H. C. Tippett.

En 1931 Egon S. Pearson, del *University College*, estableció contacto con Shewart y un año después publicó su estudio titulado "*Un análisis de las aplicaciones del método estadístico en el control y la estandarización de la calidad de productos manufacturados*", en la reunión anual de la *Royal Statistical Society*.

El intercambio de información entre Shewart y Pearson propició estancias en empresas, visitas de carácter académico, tanto en Estados Unidos como en Gran Bretaña, y ciclos de conferencia. Como resultado de estas últimas, el *British Standards Institute* formó un comité,

integrado por figuras como Pearson, Dudding y representantes de diversas industrias británicas, encargado de los "*Métodos Estadísticos en la Estandarización y la Especificación*".

Entre los resultados, vale la pena mencionar la norma BS(British Standar)600-1935 *The Application of Statistical Methods to Industrial Standarization and Quality Control*, que llevó el nombre de Egon Pearson y la BS 2564 - *Control chart technique when manufacturing to a specification*, elaborada por B.P. Dudding y W.J. Jennett y preparada originalmente para la *General Electric Company* en 1944.

Para 1937, en Gran Bretaña, los métodos estadísticos eran aplicados a productos como hulla, coque, hilados y tejidos de algodón, tejidos de lana, cristales para anteojos, lámparas, materiales para construcción y productos químicos. La aplicación se vio estimulada, como consecuencia de la guerra, y en 1952 la *Royal Statistical Society* incorporó la revista *Applied Statistic* a su grupo de publicaciones

Desde Estados Unidos y Gran Bretaña, las técnicas del control de calidad se extendieron a otros países.

En el continente asiático, específicamente en Japón, ya habían sido traducidas al japonés las normas británicas de control estadístico de calidad (la mencionada *serie BS 600*). Sin embargo, la industria estaba todavía alejada del tema, debido al nivel escolar muy bajo del personal y a una estructura social muy autoritaria, por lo cual el Taylorismo era considerado como el sistema de administración más moderno y el control de calidad dependía enteramente de la inspección. Así, Japón era competitivo en costos y precios, más no en calidad.

La Segunda Guerra Mundial enfrentó a Japón con la realidad de la baja calidad de su industria bélica, lo cual fue uno de los motivos que provocó la derrota del país. Al terminar la guerra se dio mucha importancia, tanto por parte de los japoneses como de la fuerza de ocupación norteamericana, a la implantación de sistemas de control estadístico de la calidad, especialmente en el área de comunicaciones y, posteriormente, en el área agrícola e industrial.

Para 1950, se estableció el sistema de normas NIJ (*Normas Industriales Japonesas*), que contribuyó a introducir y difundir el control de calidad estadístico en las industrias japonesas

Al inicio, la respuesta de los trabajadores no fué positiva: muchos se quejaban de la dificultad de la implantación de las normas y de la cantidad de ellas, y alegaban que, más que

a la calidad, ésto iba a controlar su trabajo individual. Por su lado, los gerentes se aislaban mostrando poco interés en involucrarse en el sistema.

Los doctores Joseph Juran y W. Edwards Deming favorecieron, a través de conferencias, la aceptación de las técnicas estadísticas en todos los niveles.

El doctor Kaoru Ishikawa sirvió de columna vertebral en estos programas de calidad y en 1960 instituyó los primeros círculos de calidad en Japón.

Los japoneses integraron la calidad en toda la organización y desarrollaron una cultura de mejora continua, logrando que su industria evolucionara hasta convertirse en una de las mejores del mundo.

En Europa se formó la *Organización Europea para el Control de Calidad* y el *Comité Técnico 69 para Aplicaciones de los Métodos Estadísticos de la Organización Internacional de Normalización (ISO)*; este último tiene como misión emitir normas para planes de muestreo y diagramas de control.

México, al igual que otros países, mostró en un principio escepticismo, e incluso indiferencia, respecto al concepto de calidad. A partir de la fundación del *Instituto Mexicano de Control de Calidad (IMECCA)*, órgano encargado de informar y difundir las experiencias de otros países en el área, en 1974, empieza a surgir cierto interés tanto a nivel gubernamental como particular.

Una década después se constituye la *Fundación Mexicana para la Calidad Total A.C. (FUNDAMECA)* la cual, auspiciada por el gobierno, organiza desde 1984 el "Premio Nacional de la Calidad". Con ello se propicia que la gran mayoría de las grandes empresas mexicanas adopten algún modelo de administración para la calidad.

Diverso es el caso de las empresas medianas y pequeñas, muchas de las cuales no cuentan con soportes administrativos ni con facilidades tecnológicas, razón por la cual se les dificulta la implantación de modelos administrativos modernos.

En muchas de las micro empresas mexicanas es tan grande el atraso y el desorden administrativo, que la implantación de modelos taylorianos se considera ya un avance, más no resulta suficiente para implementar de un solo paso algún modelo del control estadístico de la calidad, y mucho menos un sistema de calidad total.

Esto conlleva un grave problema para la economía mexicana, ya que su tejido económico está conformado precisamente por estas empresas, algunas informales, otras familiares, las cuales, sin el apoyo decidido gubernamental y en un ambiente de competencia como es el que vivimos, están destinadas a sucumbir.

1.3. EL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS.

El Control Estadístico de los Procesos es una metodología estadística que permite vigilar los procesos en todos los momentos, razón por la cual ofrece importantes beneficios para las organizaciones que lo implantan.

A través de él, es posible detectar la necesidad de cambios, con el fin de mantener al proceso completo bajo control, al establecer la existencia de causas que provocan variaciones.

La variación, o variabilidad, es la causa fundamental de las diferencias en la confiabilidad y calidad del producto. Se define como la diferencia entre objetos que, de otro modo, se concebirían como lo más semejantes posible.

En todos los procesos siempre está presente la variabilidad. Aun en los sistemas más modernos de producción altamente automatizados y estrictamente controlados, no es posible fabricar piezas exactamente iguales.

Las variaciones del proceso se deben a dos clases de causas: (1) *aleatorias o comunes* y (2) *asignables o especiales*.

Las *causas aleatorias o comunes* se deben al azar exclusivamente y producen muchas variaciones de pequeña magnitud que, sumadas unas a otras, dan lugar a un comportamiento patrón estable en el tiempo. Se puede así predecir la variación futura, ya que ésta tiene carácter permanente, y sólo puede modificarse mediante la adopción de medidas correctivas, mismas que pueden ser solucionadas por la dirección y no por el personal del área.

Como ejemplos se pueden citar: la vibración de las máquinas, la variación de la energía eléctrica, etc.

Las *causas asignables o especiales* de variación son debidas a causas específicas que se pueden averiguar y se manifiestan por mínimas variaciones de gran magnitud que aparecen de forma irregular y esporádica, lo cual las hace imprevisibles.

La aplicación de medidas correctivas queda generalmente en manos del personal del área y en algunos casos amerita la participación de sus superiores.

Como ejemplos se pueden citar un error del personal, un lote de materia prima defectuosa, etc.

Mediante la identificación de las causas especiales y la toma de medidas correctivas para evitar que reaparezcan, llegamos a obtener un proceso afectado únicamente por causas comunes de variación. En estas condiciones, el proceso se hace previsible, permitiéndonos cuantificar dicha variación para intentar minimizarla.

Un sistema gobernado solamente por causas comunes se conoce como sistema estable o bajo control.

Es esencial para toda administración comprender qué es un sistema estable y la diferencia entre causas de variaciones especiales y comunes ya que, en caso contrario, no se podrá predecir el desempeño de un sistema. Al intentar mejorar un proceso, la administración puede confundir las variaciones, atribuyéndolas a causas comunes, cuando en realidad se deben a causas especiales, o viceversa. En el primer caso, el resultado sería la ausencia de reducción de variación y en el segundo, el incremento de la misma.

Gracias al CEP se pueden determinar de manera cuantitativa y cualitativa la naturaleza y magnitud de los ajustes necesarios para el funcionamiento del proceso, proporcionando además retroalimentación al personal.

Si bien el Control Estadístico de los Procesos nos ofrece la posibilidad de lograr la mejora continua de la calidad, se aprecian dificultades para implantarlo. Algunas de ellas son, por ejemplo, la resistencia al cambio por parte del personal, una indiferencia o apatía de la gerencia y del gobierno, la falta de motivación, el conocimiento deficiente de la técnica y la falta de capacitación.

Es por ello que, antes de establecer el Control Estadístico de Procesos en una empresa, conviene esclarecer el porqué y el para qué se quiere implantar.

Aunado a lo anterior, se debe analizar si hay un verdadero interés por parte de la gerencia, y si este interés es entendido y compartido por todo el personal, mismo que, para tal fin, deberá estar capacitado; en caso contrario, habrá que planear un programa de capacitación destinado a la gente que juega un rol importante en este sistema.

La respuesta puede tener un peso importante en el éxito de la implantación del programa.

1.4. METODOLOGÍA PARA IMPLANTAR UN CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Para implantar un Control Estadístico de Procesos se recurre a una serie de acciones auxiliadas por unas herramientas básicas.

La secuencia presentada a continuación es variable, dependiendo del proceso y de la información con la que se cuenta.

1. Definir el problema básico, identificando las causas y prioridades por atender (Diagramas de flujo, Hojas de Verificación, Diagrama de Pareto y Diagramas de Causa-Efecto)
2. Recabar mediciones directas que permiten el análisis del proceso (Hojas de Verificación)
3. Detectar las causas potenciales de cualquier inestabilidad (Diagramas de Causa-Efecto)
4. Relacionar la variable de interés con otras variables del proceso (Diagrama de Dispersión)
5. Proponer e implantar soluciones.
6. Verificar de manera continua la estabilidad y la capacidad del proceso, estandarizando o planteando nuevas soluciones (Gráficas de Control, análisis de la capacidad del proceso)

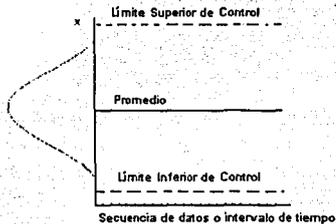
Como resulta de lo anterior, existen muchas herramientas útiles para la estabilidad del proceso y la mejora de la capacidad. Las gráficas de control son, sin duda, la más eficaz de ellas, mismas que se utilizan en la presente investigación y que se detallan en el siguiente capítulo.

LAS GRÁFICAS DE CONTROL COMO HERRAMIENTA DEL CEP

2.1. NATURALEZA DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

Las gráficas de control, conocidas también como diagramas de control, desarrolladas por el doctor Walter A. Shewhart en la segunda década del siglo pasado, son la representación gráfica de una característica de calidad, medida o calculada a partir de muestras del producto, en función del número de muestras o del tiempo.

Estas gráficas constan de una línea central, correspondiente a la calidad promedio a la cual el proceso tiende, y dos límites de control, uno inferior y otro superior, que delimitan un área. Si los valores caen dentro de esta área y no se comportan de manera sistemática, o no aleatoria, entonces se considera que el proceso está bajo control estadístico, de lo contrario se indica la falta de mismo.



Las gráficas de control son una herramienta eficaz para mejorar la productividad, ya que previenen defectos, manteniendo el proceso bajo control durante la etapa de fabricación, y evitan el costo de separar los artículos correctos de los defectuosos, después de su fabricación. Con esto, se reducen el rechazo y la reelaboración del producto, por ende, los costos disminuyen y la capacidad de la producción aumenta.

Así mismo, las gráficas de control evitan que al proceso se implementen ajustes innecesarios, derivados de posibles variaciones anormales ilusorias.

También proporcionan información para el análisis, ya que a menudo el patrón de los puntos en el diagrama de control contiene información diagnóstica para un operario o ingeniero con experiencia, información que permite proceder a un cambio en el proceso que mejore su rendimiento.

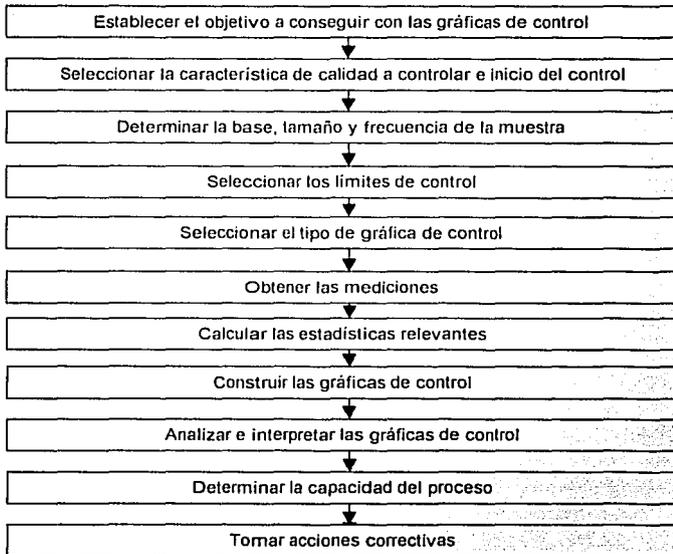
Adicionalmente, ofrecen información sobre el valor de parámetros importantes del proceso y de su estabilidad en el tiempo, con lo que es posible conocer la capacidad del proceso.

Por todo ello, las gráficas de control se encuentran entre los medios de control administrativo más relevantes: tienen tanta importancia como los controles de costos y materiales.

La tecnología informática moderna ha facilitado la implementación de las gráficas de control para cualquier tipo de procesos, obteniendo y analizando los datos en tiempo real y en línea en el centro de trabajo.

2.2. METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR Y UTILIZAR LAS GRÁFICAS DE CONTROL

En el manejo de las gráficas de control es útil tener una relación de las decisiones, cálculos y acciones que deben realizarse. Un ejemplo de ello se muestra en el diagrama siguiente, el cual se explicará a detalle posteriormente:



2.2.1. OBJETIVOS A CONSEGUIR CON LAS GRÁFICAS DE CONTROL.

Algunos de los propósitos del uso de las gráficas de control son:

- Obtener información para establecer o cambiar especificaciones, procedimientos de producción y/o inspección, aceptación, o de ambos.
- Proporcionar un criterio para la toma de decisiones durante la producción, acerca de cuándo investigar causas de variación, y actuar para poder corregirlas, o cuándo hay que dejar que el proceso continúe libremente.
- Proporcionar un criterio para la toma de decisiones de carácter general, con respecto a la aceptación o el rechazo de productos fabricados o comprados.
- Averiguar, después de un cierto período de tiempo, la proporción media de artículos o piezas defectuosas sometidas a inspección.
- Poner a la atención de la dirección cualquier cambio en el nivel medio de calidad
- Proporcionar un criterio para poder enjuiciar si los sucesivos lotes pueden considerarse representativos de un proceso.
- Familiarizar al personal con el uso de las gráficas de control

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD E INICIO DEL CONTROL.

Al inicio suele ser difícil determinar qué productos o características del proceso habrá que controlar y en qué puntos del proceso deben aplicarse las gráficas de control. Lo normal es tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Al inicio de un programa de control es necesario aplicar las gráficas de control a cualquier característica del producto u operaciones que se consideren importantes. Los diagramas proporcionarán una retroalimentación inmediata en cuanto a su necesidad.
- Las gráficas de control que se consideren innecesarias van eliminadas y se añaden otras, según el criterio de los ingenieros y operarios. Normalmente, se utilizan más diagramas de este tipo al principio que después de la estabilización del proceso.
- Los diagramas de control son un procedimiento de control en líneas de proceso. Se deben implementar y mantener lo más cerca posible del centro de trabajo, para tener una retroalimentación rápida.

- Los operadores del proceso y los ingenieros de producción deben ser los responsables directos de recabar los datos del proceso; construir los diagramas e interpretar los resultados, al ser ellos los que tienen el conocimiento detallado del proceso que se necesita, y la capacidad de corregir trastornos en él, usando la gráfica de control como un dispositivo para mejorar el funcionamiento.

2.2.3. BASE, TAMAÑO Y FRECUENCIA DE LA MUESTRA.

La especificación de la base, tamaño y frecuencia de muestreo son decisiones críticas que hay que tener en cuenta al diseñar un diagrama de control.

Base de la muestra.

Hablando en términos generales, las muestras o subgrupos deberán elegirse en forma que sean lo más homogéneos posible, y que de uno a otro permitan la máxima variación.

Tamaño de la muestra.

Cuando hay que escoger el tamaño de la muestra, debe pensarse previamente en el tamaño del cambio que se trata de detectar. Si el cambio del proceso es relativamente grande, se usan tamaños muestrales más reducidos que los que se tendrían que utilizar para cambios relativamente pequeños.

Cuando se trabaja con gráfica de control para atributos, la muestra debe ser suficientemente grande, a fin de que exista la oportunidad para ver que la variación se encuentre dentro de ella. En la aplicación industrial de la gráfica de control para atributos, el tamaño más comúnmente empleado es de quince a veinticinco.

En las gráficas de control para datos variables, la selección de la muestra tiene que cumplir con dos funciones:

- a) Seleccionarse de modo que se maximicen las oportunidades de que ocurra una diferencia entre promedios muestrales, y
- b) Seleccionarse de modo que se maximicen las diferencias dentro de la muestra.

En la aplicación industrial de la gráfica de control para datos variables, el tamaño más comúnmente empleado es de cinco.

Frecuencia de la muestra.

En cuanto a la selección de la frecuencia de muestreo, la mejor situación, desde el punto de vista de la detección de cambios, sería tomar muy a menudo muestras grandes. Sin embargo, esto no suele ser económicamente factible. El problema se resuelve tomando muestras pequeñas a intervalos cortos o bien muestras grandes a intervalos largos. La práctica industrial común tiende a favorecer la toma de muestras pequeñas más frecuentes, sobre todo en procesos de manufactura con un gran volumen de producción, o en los que puede presentarse una gran cantidad de causas atribuibles de diferentes tipos.

Gracias al desarrollo de la tecnología de la detección y la medición automáticas, es posible reducir en forma significativa la frecuencia de muestreo. La percepción automática y las poderosas computadoras con software de control estadístico de procesos, aplicadas en el lugar de trabajo para un control del proceso en línea y en tiempo real, dan una nueva dimensión importante al control estadístico de procesos.

2.2.4. LÍMITES DE CONTROL

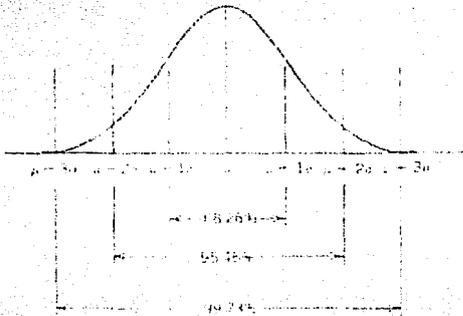
La especificación de los límites de control es una de las decisiones importantes que hay que tomar al diseñar un diagrama de control.

Sin importar la distribución de la característica de calidad, es práctica estándar determinar los límites de control como un múltiplo de la desviación estándar del estadístico representado en la gráfica. Se escoge en general el múltiplo 3, es decir, se acostumbra utilizar los límites de control de tres sigmas en los diagramas de control.

Se justifica el uso de límites de control de tres sigma porque dan buenos resultados en la práctica. Pero la razón fundamental radica en que la mayoría de las distribuciones con que nos encontramos normalmente se aproximan a la forma de campana de Gauss, correspondiente a la función de densidad de la distribución normal.

Si se usa la desviación estándar (sigma) para dividir el área que se encuentra debajo de la curva, se puede calcular las áreas de cada zona limitada por los valores $\mu \pm k\sigma$ de la abscisa como un porcentaje del área total que hay debajo de las curvas. Así, la probabilidad de encontrar un valor dentro de $\mu \pm \sigma$ es aproximadamente del 68%, o lo que es lo mismo, la probabilidad de obtener un valor fuera de estos límites es aproximadamente del 32%.

Similarmente, la probabilidad de que los valores caigan fuera de los límites $\mu \pm 2\sigma$ es aproximadamente del 4.5%, mientras que la probabilidad de que los valores caigan fuera de los límites $\mu \pm 3\sigma$ es ya pequeñísima (sólo del 0.3%). Puesto que un acontecimiento que tenga esta probabilidad tan baja sucede muy raramente, usualmente si los datos caen fuera de los límites 3-sigma, se llega a la conclusión de que la distribución ha cambiado, que el proceso ha cambiado, y que hay alguna anomalía en el proceso.



Es muy recomendable el uso de dos conjuntos de límites de control en los diagramas, límites exteriores y límites interiores. Los límites exteriores en tres sigma son los límites normales de acción, es decir, cuando un punto cae fuera de esta limitación se busca una causa atribuible y se toman acciones correctivas, si es necesario. Los límites interiores normalmente se toman de dos sigma y se llaman límites de advertencia. Si uno o más puntos caen entre los límites de advertencia y los de acción, o están muy cercanos al límite de advertencia, entonces hay que sospechar que el proceso no está funcionando adecuadamente. Cuando sucede esto, una posible acción es incrementar la frecuencia de muestreo y utilizar estos datos adicionales, junto con los puntos sospechosos, para investigar el estado de control del proceso.

Los límites de advertencia mejoran la sensibilidad del diagrama de control. Su desventaja es que no tienen una interpretación precisa y pueden confundir al personal de operación.

2.2.5. TIPOS DE GRÁFICAS DE CONTROL.

Las gráficas de control se dividen en *gráficas de control para datos variables* y *gráficas de control para atributos*, según si las observaciones respecto a la característica de calidad son expresadas de manera cuantitativa o cualitativa, respectivamente.

La elección de un tipo de gráfica está en función de las necesidades. Así, una gráfica de control para datos variables es apropiada si:

- Se introduce un nuevo proceso, o bien se fabrica un nuevo producto mediante un proceso ya existente.
- El proceso ha estado funcionando durante algún tiempo, pero tiene problemas crónicos, o no puede cumplir con las tolerancias especificadas.
- El proceso tiene problemas, y el diagrama de control puede ser útil para fines de diagnóstico (localización de averías).
- Se necesitan pruebas destructivas (u otros procedimientos de prueba costosos)
- Se reduce al mínimo el muestreo para aceptación u otras pruebas cuando el proceso se puede manejar bajo control.
- Se han utilizado gráficas de control de atributos, pero el proceso está fuera de control o bajo control pero con producción inaceptable.
- Se tienen procesos con especificaciones muy estrechas, tolerancias de montaje traslapadas, u otros problemas de manufactura difíciles.
- Se tienen situaciones en las que el operario debe decidir si ajusta o no el proceso, o bien cuándo se tiene que evaluar una configuración.
- Se quiere un cambio en las especificaciones del proceso.
- Se debe demostrar continuamente la estabilidad y capacidad del proceso, por ejemplo en industrias no reguladas.

Una gráfica de control por atributos es apropiada si:

- Los operarios controlan las causas atribuibles y es necesario reducir el rechazo del proceso.
- El proceso es una operación de montaje complicada, y la calidad del producto se mide en términos de la ocurrencia de disconformes, del funcionamiento exitoso o fallido del producto,

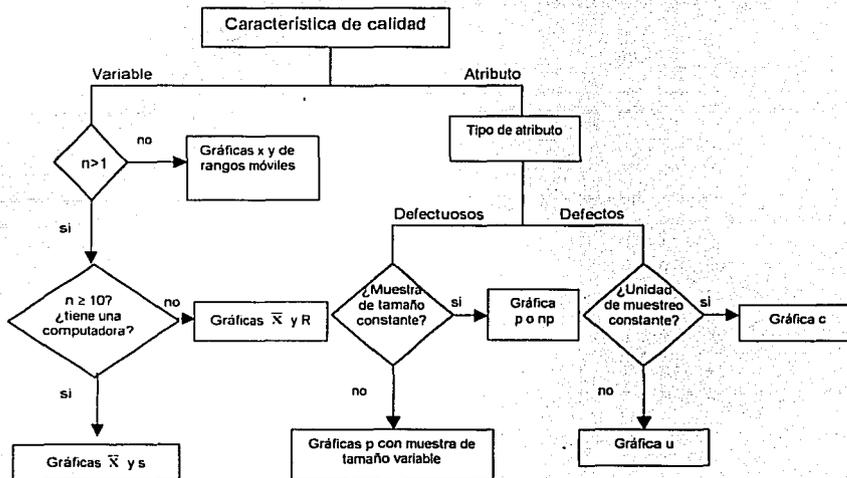
etc. (algunos ejemplos son computadoras, equipo de automatización de oficinas, automóviles y los subsistemas importantes de estos productos.)

- Se necesita un control del proceso, pero no se pueden obtener datos de mediciones

Las gráficas de control para datos variables más importantes son: las gráficas de medias, de rangos, de desviaciones típicas y de individuos.

Las gráficas de control por atributos más importantes son las gráficas de la proporción de unidades defectuosas, del número de unidades defectuosas, del número de defectos y la gráfica del número de defectos por unidad.

La siguiente figura representa una guía para la selección de las gráficas de control.



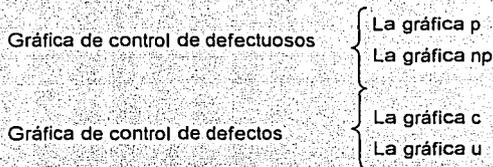
Las condiciones bajo las que se usan las gráficas de control son dos: con estándar dado y sin estándar dado. En la primera condición, la tendencia central y los valores de dispersión han sido establecidos inicialmente; en la segunda condición, los valores de los límites de control y de la tendencia central se calculan como parte del análisis de un proceso, tal vez uno que no haya sido examinado previamente, o uno al que se le han hecho grandes cambios, o uno que se examina para el estado de control continuo.

2.2.5.1. GRÁFICA DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

La gráfica de control para atributos se utiliza cuando se tienen características de calidad no medibles de manera cuantitativa, es decir, cuando se clasifica cada elemento en una de dos clases: dentro o fuera de especificaciones.

La facilidad y el costo de obtención de los datos son algunas de las mayores ventajas de este tipo de gráficas. Un inconveniente es la necesidad de trabajar con muestras grandes para obtener muestras confiables.

La gráfica de control para atributos se clasifica en:



entendiendo como defecto la característica única de calidad que dentro de un elemento no cumple las especificaciones; y como defectuoso a los elementos que contengan uno o más defectos.

El modelo probabilístico en el que se sustenta el diseño y operación de la gráfica de control de defectuosos es el binomial, mientras que para las gráficas de control de defectos es el modelo de Poisson.¹

¹ Ver el apéndice A para mayor detalle de las distribuciones de probabilidad.

2.2.5.1.1. GRÁFICA p

La gráfica de control por atributos más versátil y más usada es la gráfica p, también conocida como gráfica de la fracción defectuosa o no conforme. Ésta se refiere a la fracción de elementos rechazados producidos en un lote.

Su estudio se divide en dos casos: 1) tamaño de muestra constante, y 2) tamaño de muestra variable.

Tamaño de muestra constante

- a. A las k muestras (se recomienda que k tome valores entre 25 y 30) de tamaño n (constante), seleccionadas a intervalos de tiempo establecidos, se les determina el número de defectuosos (y_i) y con ello se calcula la fracción defectuosa muestral, p_i:

$$p_i = \frac{y_i}{n}$$

- b. Posteriormente, se procede a estimar el nivel medio del proceso y su dispersión, es decir:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k y_i}{k \cdot n} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_k}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k p_i}{n}$$

$$s_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

- c. Finalmente se construye la gráfica de control con línea central al nivel \bar{p} y sus límites de control superior e inferior:

$$LSC_p = \bar{p} + 3s_p$$

$$LC_p = \bar{p}$$

$$LIC_p = \bar{p} - 3s_p$$

Si el límite de control inferior es menor a cero se utiliza el valor de cero.

El análisis de una gráfica p es similar a la de una gráfica \bar{x} o R. Los puntos que queden fuera de los límites de control representan una situación fuera de control. También, con el fin de

identificar causas especiales, deben buscarse patrones y tendencias. Sin embargo, un punto en una gráfica p por debajo del límite de control inferior, o el desarrollo de una tendencia por debajo de la línea central, indica que el proceso quizás haya mejorado, ya que el ideal es cero defectuosos.

Tamaño de muestra variable.

Si el tamaño de la muestra no puede mantenerse constante en distintas observaciones, los límites de control de la gráfica de control se pueden obtener usando las observaciones individuales o bien usando un tamaño de muestra promedio

Para el caso de las observaciones individuales:

- a. A las k muestras (se recomienda que k tome valores entre 25 y 30) de tamaño n_i (variable), seleccionadas a intervalos de tiempo establecidos, se les determina el número de defectuosos (y_i) y con ello se calcula la fracción defectuosa muestral, p_i :

$$p_i = \frac{y_i}{n_i}$$

- b. Posteriormente, se determinan los límites de control variables para la i-ésima observación:

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

$$LC_p = \bar{p}$$

$$LIC_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

donde $\bar{p} = \frac{\Sigma \text{la cantidad de no conforme}}{\Sigma n_i}$

Algunas de las desventajas de este método son que:

- Se requiere cálculos adicionales en cada observación
- Su apariencia es complicada para el personal de línea, y
- La situación de un punto en la gráfica en relación a los demás no tiene significado claro, por tanto, es difícil detectar con esta gráfica patrones no aleatorios.

Para el caso de las muestras promedios, los límites de control se calculan de la forma siguiente:

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

$$LC_p = \bar{p}$$

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

$$\text{donde } \bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{k}$$

Las desventajas de este procedimiento son que:

- Dado que los límites de control son sólo aproximados, los puntos que estén fuera de control pudieran no aparecer como tales en la gráfica.
- Como resultado de los tamaños variables de las muestras, las corridas o patrones no aleatorios son difíciles de interpretar, porque la desviación estándar difiere de una a otra muestra, por lo que este procedimiento debe ser utilizado con precaución.

Gráfica p con estándar dado.

El diseño de la gráfica p, cuando se tienen estándares dados, es similar al indicado anteriormente, pero en lugar de calcular los parámetros de diseño, se utiliza el valor estándar para \bar{p}_0 .

2.2.5.1.2. GRAFICA np.

La gráfica np, también conocida como gráfica de control para la cantidad de artículos defectuosos, o no conformes, es una alternativa muy útil a la gráfica p, ya que sus cálculos son más simples.

La elaboración de la gráfica de control es esencialmente la misma que para la gráfica p, sustituyendo la fracción defectuosa (p_i) por el número de defectuosos (np_i), es decir:

- A las k muestras (se recomienda que k tome valores entre 25 y 30) de tamaño n (constante), seleccionadas a intervalos de tiempo establecidos, se les determina el número de defectuosos (y_i) y con ello se calcula la fracción defectuosa muestral, p_i :

$$p_i = \frac{y_i}{n}$$

- b. Posteriormente, se procede a estimar el nivel medio del proceso y su dispersión, es decir:

$$n\bar{p} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_k}{k}$$

$$s_{np} = \sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

$$\text{donde } \bar{p} = \frac{(n\bar{p})}{n}$$

- c. Finalmente se construye la gráfica de control con línea central al nivel $n\bar{p}$ y sus límites de control superior e inferior:

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

$$LC_{n\bar{p}} = n\bar{p}$$

$$LIC_{n\bar{p}} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

Si el límite de control inferior es menor a cero se utiliza el valor de cero.

Gráfica np con estándar dado.

El diseño de la gráfica np cuando se tienen estándares dados, es similar al indicado anteriormente pero en lugar de calcular los parámetros de diseño, se utiliza el valor estándar para $n\bar{p}_0$.

2.2.5.1.3. GRÁFICAS c.

La gráfica c se utiliza para controlar la cantidad total de defectos por unidad cuando el tamaño de la muestra es constante.

El procedimiento para construir una gráfica de control c es:

- a. A las k unidades de inspección (se recomienda que k tome valores entre 25 y 30) de tamaño n (constante), seleccionadas a intervalos de tiempo establecidos, se les determina el número de defectos (c_i) y con ello se estima el nivel medio del proceso y su dispersión,

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i}{k}$$

$$s_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

- b. Finalmente se construye la gráfica de control con línea central al nivel \bar{c} y sus límites de control superior e inferior:

$$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LC = \bar{c}$$

$$LIC_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Si el límite de control inferior es menor a cero se utiliza el valor de cero.

Gráfica c con estándar dado.

El diseño de la gráfica c cuando se tienen estándares dados, es similar al indicado anteriormente pero, en lugar de calcular los parámetros de diseño, se utiliza el valor estándar para \bar{c}_0 .

2.2.5.1.4. GRÁFICAS u.

La gráfica u se utiliza para controlar la cantidad total de defectos por unidad cuando el tamaño de la muestra no es constante.

Al igual que en la gráfica p, su estudio se divide en dos casos: 1) tamaño de la muestra constante, y 2) tamaño variable.

Tamaño de muestra constante

- a. A las k unidades de muestreo (se recomienda que k tome valores entre 25 y 30) de tamaño n (constante), seleccionadas a intervalos de tiempo establecidos, se les determina el número de defectos (c_i) y con ello se calcula el número promedio de defectos por unidad de medición, esto es:

$$u_i = \frac{c_i}{n}$$

- b. Posteriormente, se procede a estimar el nivel medio del proceso y su dispersión, es decir:

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

$$s_u = \sqrt{\bar{u} / n_i}$$

- c. Finalmente se construye la gráfica de control con línea central al nivel \bar{p} y sus límites de control superior e inferior:

$$LSC_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u} / n_i}$$

$$LC_u = \bar{u}$$

$$LIC_u = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u} / n_i}$$

Si el límite de control inferior es menor a cero se utiliza el valor de cero.

Tamaño de muestra variable.

Al igual que con la gráfica p, existe la alternativa de límites de control promedio; en este caso se aplican las mismas fórmulas y comentarios hechos anteriormente.

Gráfica u con estándar dado.

El diseño de la gráfica u cuando se tienen estándares dados, es similar al indicado anteriormente pero, en lugar de calcular los parámetros de diseño, se utiliza el valor estándar para \bar{u} .

2.2.5.1.5. CLASES DE DEFECTOS.

Una aplicación de las gráficas c y u es un sistema de calificación de la calidad. Cuando algunos defectos se consideran más serios que otros, se pueden clasificar, o calificar, en clases diferentes. Un posible esquema de defectos es el siguiente:

Defectos clase A: Muy graves. La unidad es completamente inadecuada para el uso, o fallará en servicio de tal manera que no se pueda reparar con facilidad en el lugar de trabajo, o bien ocasionará lesiones personales o daños materiales.

Defectos clase B: Graves. La unidad sufrirá tal vez una falla clase A durante el servicio, generará seguramente problemas operacionales menos graves, o con seguridad reducirá su duración o incrementará los costos de mantenimiento.

Defectos clase C: Moderadamente importantes. La unidad probablemente fallará durante el servicio, causará problemas menos graves que una falla de operación, tendrá tal vez duración reducida, producirá un aumento en los costos de mantenimiento, o bien tendrá un defecto importante en el acabado, la presentación o la calidad del trabajo.

Defectos clase D: Poco importantes. La unidad no fallará durante el servicio, pero presenta defectos menores en el acabado, la presentación o la calidad del trabajo.

2.2.5.2. GRÁFICA DE CONTROL PARA DATOS VARIABLES

Las gráficas de control para datos variables se utilizan cuando se tienen características de calidad expresadas en términos de una medida numérica.

Se usan ampliamente, pues permiten el uso de procedimientos de control más eficientes, y proporcionan más información respecto al rendimiento del proceso que los diagramas de control para atributos.

En estas gráficas se controlan tanto el valor medio de la característica de calidad, como su variabilidad. Para el primer caso, se utilizan las gráficas de control de media, o gráficas de \bar{x} , mientras que, para el segundo, existen dos posibilidades: la gráfica de control de la desviación estándar, llamada gráfica de s , y la gráfica de control de la amplitud, llamada gráfica de R .

Esta última es más usada, debido esencialmente a su sencillez, en el sentido que puede ser obtenida mediante cálculos manuales

La hipótesis de la que se parte, al utilizar las gráficas de control para datos variables, es que las mediciones que conforman la muestra, tienen un comportamiento aproximadamente normal.²

² Ver el Apéndice A para mayor detalle de las distribuciones de probabilidad.

2.2.5.2.1. GRÁFICA \bar{x} y R.

- a. A las k muestras (se recomienda que k tome valores entre 25 y 30) de tamaño n (con tamaños de muestra entre 3 y 10, siendo el más común 5), seleccionadas a intervalos de tiempo establecidos, se les determina la media y el rango.

$$\bar{x}_i = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

$$R = X_{\text{MAX},n} - X_{\text{MIN},n}$$

- b. Posteriormente, se procede a estimar el nivel medio del proceso y su dispersión, es decir:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$$

- c. Finalmente se construye la gráfica de control con línea central al nivel $\bar{\bar{x}}$ y \bar{R} sus límites de control superior e inferior, respectivamente:

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \qquad LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LC_R = \bar{R} \qquad LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \qquad LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

donde las constantes D_3 , D_4 , y A_2 dependen del tamaño de la muestra y pueden localizarse en el apéndice B. Si el límite de control inferior es menor a cero, se utiliza el valor de cero.

Los límites de control representan el rango dentro del cual se espera estén todos los puntos, si el proceso está bajo control estadístico. Si cualquier punto cae afuera de los límites de control, o se observa cualquier patrón fuera de lo común, entonces probablemente alguna causa especial ha afectado el proceso.

Para determinar si un proceso está bajo control estadístico, se analiza primero la gráfica R. Lo anterior se debe a que los límites de control de \bar{x} dependen del rango promedio, por lo que las causas especiales en la gráfica R pueden producir patrones fuera de lo común en la gráfica \bar{x} , aún cuando el centrado del proceso esté bajo control. Una vez conseguido el control estadístico en la gráfica R, se puede desviar la atención a la gráfica de \bar{x} .

Gráfica \bar{x} y R con estándar dado.

El diseño de la gráfica cuando se tienen estándares dados, es similar al indicado anteriormente pero en lugar de calcular los parámetros de diseño, se utiliza el valor estándar de su tendencia central y dispersión.

Los límites de control se trazan conforme a:

$$\begin{aligned} LSC_{\mu_0} &= \mu_0 + \frac{3\sigma_0}{\sqrt{n}} & LSC_R &= D_2\sigma_0 \\ LC_{\mu_0} &= \mu_0 & LC_R &= d_2\sigma_0 \\ LSC_{\mu_0} &= \mu_0 - \frac{3\sigma_0}{\sqrt{n}} & LIC_R &= D_1\sigma_0 \end{aligned}$$

2.2.5.2.2. GRÁFICA \bar{x} y s.

- a. A las k muestras (se recomienda que k tome valores entre 25 y 30) de tamaño n (con tamaños de muestra entre 3 y 10, siendo el más común 5), seleccionadas a intervalos de tiempo establecidos, se les determina la media y la desviación estándar de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- b. Posteriormente, se procede a estimar el nivel medio del proceso y su dispersión, es decir:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k}$$

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

- c. Finalmente, se construye, la gráfica de control con línea central al nivel \bar{x} y \bar{s} , y sus límites de control superior e inferior, respectivamente:

$$\begin{aligned} LSC_{\bar{x}} &= \bar{x} + A_2 \bar{R} & LSC_s &= B_4 \bar{s} \\ LC_{\bar{x}} &= \bar{x} & LC_s &= \bar{s} \\ LIC_{\bar{x}} &= \bar{x} - A_2 \bar{R} & LIC_s &= B_3 \bar{s} \end{aligned}$$

donde las constantes A_2 , B_3 y B_4 dependen del tamaño de la muestra y pueden localizarse en el apéndice B. Si el límite de control inferior es menor a cero, se utiliza el valor de cero.

Gráfica \bar{x} y s con estándar dado.

El diseño de la gráfica cuando se tienen estándares dados, es similar al indicado anteriormente pero, en lugar de calcular los parámetros de diseño, se utiliza el valor estándar de su tendencia central y dispersión.

Los límites de control se trazan conforme a:

$$\begin{aligned} LSC_{\mu_0} &= \mu_0 + \frac{3\sigma_0}{\sqrt{n}} & LSC_s &= B_6 \sigma_0 \\ LC_{\mu_0} &= \mu_0 & LC_s &= C_4 \sigma_0 \\ LIC_{\mu_0} &= \mu_0 - \frac{3\sigma_0}{\sqrt{n}} & LIC_s &= B_5 \sigma_0 \end{aligned}$$

2.2.5.2.3. GRÁFICA PARA VALORES INDIVIDUALES.

En muchos procesos, con el desarrollo de la inspección automatizada, se pueden medir las características de calidad de cada uno de los elementos producidos. De ahí que el tamaño de la muestra para el control de los procesos es $n=1$, y puede utilizarse una gráfica de control para mediciones individuales, también conocida como gráfica x .

Con las mediciones individuales se pueden estimar las desviaciones estándar y utilizar los límites de control tres sigma del proceso. Una estimación de la desviación estándar del proceso está dada por \bar{R} / d_2 , por lo que una gráfica x para mediciones individuales tendría límites de control tres sigma definidos por:

$$LSC_x = \bar{x} + \frac{3\bar{R}}{d_2}$$

$$LC_x = \bar{x}$$

$$LIC_x = \bar{x} - \frac{3\bar{R}}{d_2}$$

Para la medición de la variabilidad del proceso, se utiliza un promedio móvil de rangos, es decir, un rango móvil, con n observaciones sucesivas. La cantidad de observaciones utilizadas en los rangos móviles determina la constante d_2 . La gráfica de rango móvil tiene límites de control definidos por:

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LC_R = \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

que son comparables a la gráfica de rangos ordinarios.

Al interpretar los patrones de una gráfica de rango móvil son necesarias ciertas precauciones. Los puntos que están más allá de los límites de control son señal de casos asignables; sin embargo, los rangos sucesivos están correlacionados y pueden causar patrones o tendencias en las gráficas que no son indicativos de una situación fuera de control. En la gráfica x , se supone que las observaciones individuales no están relacionadas; por lo tanto, se deben investigar los patrones y tendencias.

Las gráficas de control para valores individuales tienen la ventaja de que las especificaciones se pueden trazar sobre la gráfica, comparándolas directamente con los límites de control. Por otra parte, las gráficas para valores individuales son menos sensibles a muchas de las situaciones que pueden detectarse mediante gráficas \bar{x} y R. Asimismo, en la gráfica individual pueden aparecer ciclos y tendencias cortos, sin que aparezca en una gráfica \bar{x} o R. Finalmente, la hipótesis de normalidad de las observaciones resulta más crítica que en el caso de gráficas \bar{x} y R, por lo que, cuando la hipótesis de normalidad no es válida, puede presentarse una mayor posibilidad de error.

Gráfica para valores individuales con estándar dado.

El diseño de la gráfica cuando se tienen estándares dados, es similar al indicado anteriormente pero, en lugar de calcular los parámetros de diseño, se utiliza el valor estándar de su tendencia central y dispersión.

Los límites de control se trazan conforme a:

$$LSC_{\mu_0} = \mu_0 + 3\sigma_0$$

$$LC_{\mu_0} = \mu_0$$

$$LSC_{\mu_0} = \mu_0 - 3\sigma_0$$

2.2.6. OBTENCIÓN DE LAS MEDICIONES

Un buen estudio estadístico empieza con una buena obtención de mediciones, para lo cual conviene tomar ciertas precauciones como:

- a) Establecer el porqué y el para qué de la recolección de los datos.
- b) Registrar fielmente los resultados.
- c) Efectuar la medición con la mayor precisión posible.
- d) Cuidar que los instrumentos de medición estén bien calibrados, y
- e) Usar adecuadamente los instrumentos de medición.

Lo anterior nos conduce al comentario siguiente: Si se parte de errores, a pesar de tener una muestra representativa y realizar un buen estudio estadístico de ellas, las conclusiones estarán alejadas de la realidad.

2.2.7. ESTADÍSTICAS RELEVANTES

Se refiere a la representación de un conjunto de datos mediante un solo número que se vuelve descriptivo del conjunto entero.

Se clasifican en *medidas de tendencia central* y en *medidas de dispersión o variabilidad*.

Las *medidas de tendencia central* dan a conocer el valor más representativo de un conjunto de datos. Las más usuales son la *media*, la *mediana* y la *moda*.

La *media aritmética de la población* (μ) es igual a la suma de los valores de todos los elementos de la población ($\sum x$), dividida entre el número de elementos de esta última (N)

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

La *media aritmética muestral* (\bar{x}) se obtiene dividiendo la suma de los valores observados en la muestra entre el número de elementos de la muestra (n)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

La *mediana* (\tilde{x}) de un conjunto de datos es el valor del elemento central (o la media de los dos elementos centrales) cuando los datos están ordenados, es decir, dispuestos en orden de magnitud creciente o decreciente.

La *moda* (\hat{x}) se define como el valor que se presenta con mayor frecuencia en un conjunto de datos. La moda puede no existir, e incluso si existe, puede no ser única.

Los *cuantiles* de orden k se definen como los valores de la distribución que la dividen en k partes con la misma frecuencia de observaciones.

Las *medidas de dispersión* dan a conocer la variación que existe en un conjunto de datos. Las más usuales son el *rango*, la *varianza* y la *desviación estándar*.

El *rango* (R) es la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de un conjunto de datos, es decir:

$$R = X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}$$

La *varianza de la población* (σ^2) es la medida del cuadrado de la distancia promedio que hay entre la media y cada elemento de la población.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}$$

La *varianza muestral* (s^2) se define como la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones con respecto a \bar{x} dividida por el número total de observaciones menos uno.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

La *desviación estándar de la población* (σ) se define como la raíz cuadrada de la varianza de la población. Es un parámetro más útil que la varianza, ya que se expresa en las mismas unidades que los datos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

La *desviación estándar de la muestra* (s) es la raíz cuadrada de la varianza de la muestra. Se observa de la ecuación anterior que N se convierte en n-1 y μ se reemplaza por la media muestral \bar{x} .

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

El *error estándar* es un estadístico muy utilizado como medida de dispersión debido a sus propiedades muestrales. Su expresión matemática es:

$$e = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

2.2.8. INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

2.2.8.1. PROCESO BAJO CONTROL

Cuando un proceso está bajo control estadístico, los puntos de una gráfica de control fluctúan al azar entre los límites sin un patrón reconocible. La siguiente lista de verificación da un conjunto de reglas generales para examinar un proceso, con el fin de determinar si está bajo control:

- No hay algún punto fuera de los límites de control.
- La cantidad de puntos por encima y por debajo de la línea central es aproximadamente la misma.
- Los puntos parecen concurrir aleatoriamente por encima y por debajo de la línea central.
- La mayoría de los puntos, pero no todos, aparecen cerca de la línea central, y sólo unos cuantos se ubican cerca de los límites de control.

2.2.8.2. PROCESO FUERA DE CONTROL

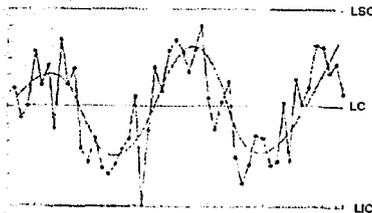
Una gráfica de control puede indicar una condición fuera de control, no sólo cuando uno o más puntos se hallan fuera de los límites, sino también cuando los puntos localizados exhiben algún patrón de comportamiento no aleatorio. Algunos de estos patrones son:

Series o rachas. El *Western Electric Handbook* señala un conjunto de reglas de decisión para detectar series o rachas en las gráficas de control. Específicamente, sugiere llegar a la conclusión de que el proceso está fuera de control si se presenta una o más de las situaciones siguientes:

- Uno o más puntos están fuera de los límites de control.
- Una racha de por lo menos 7 u 8 puntos sobre la línea central o debajo de ella, o bien la racha por encima o por debajo de la mediana.
- Dos o tres puntos consecutivos fuera de los límites de advertencia de dos sigmas, pero todavía entre los límites de control.
- Cuatro o cinco puntos consecutivos más allá de los límites sigma.

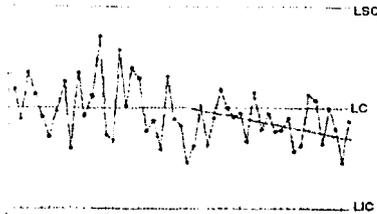
- Un patrón anormal o no aleatorio en los datos
- Seis puntos consecutivos creciendo o decreciendo.
- Catorce puntos consecutivos alternando crecimiento y decrecimiento.
- Quince puntos en la franja de una sigma a los lados de la línea central.
- Uno o más puntos cerca de un límite de advertencia o de control.

Ciclos. Los ciclos son patrones breves y repetidos en la gráfica, que alternan picos elevados y valles profundos. Estos patrones son resultado de causas que varían periódicamente como: cambios de operador o fatiga al final de turno, de calibradores distintos utilizados por inspectores diferentes, efectos estacionales como temperatura o humedad, o diferencias entre los turnos diurno y nocturno, programas de mantenimiento, rotación de dispositivos, o calibradores, diferencias entre turnos o fatiga del operador.



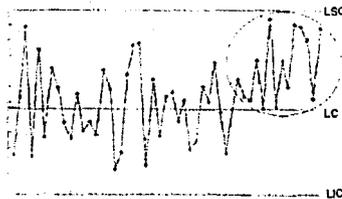
Tendencias. Una tendencia es resultado de alguna causa que afecta gradualmente las características de calidad del producto y hace que los puntos de una gráfica control, poco a poco, se muevan hacia arriba o hacia abajo a partir de la línea central. Conforme un nuevo grupo de operadores va adquiriendo experiencia en el puesto, o conforme mejora el mantenimiento del equipo, puede ocurrir alguna tendencia. En las gráficas \bar{x} las tendencias pueden ser resultado de mejora en la destreza del operador, en la acumulación de suciedad o rebabas en dispositivos, desgaste en herramientas, cambios en la temperatura o en la humedad o por envejecimiento del equipo. En la gráfica R una tendencia creciente puede deberse a una disminución gradual en la calidad de los materiales, a fatiga del operador, al aflojamiento gradual de alguna herramienta o dispositivo o el desafilado de una herramienta. Una tendencia

decreciente, a menudo, es resultado de mejoras en la destreza del operador, o de mejores métodos de trabajo, mejores materiales comprados, o un mejor o más frecuente mantenimiento.



Desplazamiento súbito en el promedio del proceso. Un número fuera de lo común de puntos consecutivos que caen a un lado de la línea central por lo que general es indicación de que el promedio del proceso se ha desplazado súbitamente. Por lo común, es resultado de alguna influencia externa que afectó el proceso, y que debería considerarse como causa especial. Las causas posibles pudieran ser un operador nuevo, un inspector nuevo, un nuevo ajuste de máquina o un cambio de puesta en marcha en algún método.

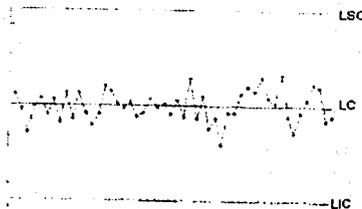
Si en la gráfica R el desplazamiento es hacia arriba, el proceso se ha hecho menos uniforme. Causas típicas pueden ser descuido de los operadores, mantenimiento inadecuado o defectuoso, o posiblemente un dispositivo que necesita reparación. Si el desplazamiento en la gráfica R es hacia abajo, la uniformidad del proceso ha mejorado; esto pudiera ser resultado de un mejor trabajo por parte del personal o mejores máquinas y materiales. Debe hacerse todo el esfuerzo posible para determinar la razón de la mejora y conservarla.



Inestabilidad. La inestabilidad está caracterizada por fluctuaciones no naturales erráticas a ambos lados de la gráfica a través del tiempo. Los puntos a veces aparecen por afuera de los límites superior e inferior de control, sin un patrón uniforme. En este caso, las causas asignables pueden ser más difíciles de identificar que cuando hay presente algún patrón específico. Una causa frecuente de inestabilidad es un exceso en el ajuste de una máquina, es decir, las mismas razones que hacen que los puntos abracen los límites de control.

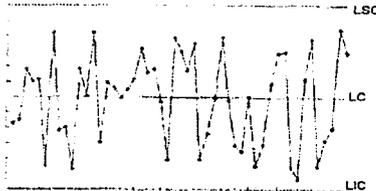


Abrazando a la línea central. Esto ocurre cuando prácticamente todos los puntos se ubican cerca de la línea central. En la gráfica de control parece que los límites de control son demasiado amplios. Una causa común de abrazar a la línea central es que la muestra incluye un elemento que sistemáticamente se ha tomado de sólo una de varias máquinas, operadores, etc. Una causa de este patrón, frecuentemente pasada por alto, es un error en el cálculo de los límites de control, quizás o por utilizar un factor equivocado de la tabla, o por poner mal el punto decimal en los cálculos.



Mezcla. Es una combinación de dos patrones distintos en una misma gráfica, es decir cuando muchos puntos aparecen cerca de los límites de control, con muy pocos lejos de ellos. Una

mezcla se puede subdividir en dos patrones por separado. Puede resultar un patrón de mezcla cuando se utilizan en un proceso diferentes lotes de materias primas o cuando los componentes se producen en máquinas diferentes, pero se envían a un grupo de inspección común.



2.2.9. ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS PROCESOS

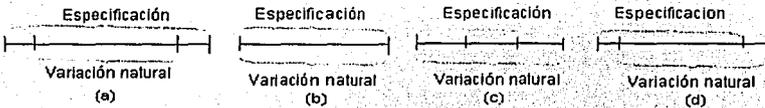
La capacidad de los procesos es un estudio de ingeniería orientado a determinar la habilidad que tiene un proceso para producir el rendimiento conforme al rango de variación permitido por las especificaciones.

El concepto de capacidad estrictamente se aplica a un proceso que está bajo control estadístico. Por lo tanto, el análisis de capacidad de proceso debe ser efectuado en conjunto con métodos de control para proveer verificación continua de control.

La capacidad de los procesos tiene tres componentes de importancia: (1) las especificaciones de diseño, (2) el centrado de la variación natural y (3) el rango o dispersión de la variación. Los resultados que se pueden presentar cuando se comparan estos componentes son cuatro:

- a. *Cuando las especificaciones son más tolerantes que la variación natural.* En este caso el proceso generará productos que cumplan con las especificaciones.
- b. *Cuando la variación natural y las especificaciones son las mismas.* En este caso podría producirse un pequeño porcentaje de productos que no cumplen, por lo tanto el proceso debe ser vigilado de cerca.

- c. Cuando el rango de la variabilidad natural es mayor que la especificación. En este caso el proceso actual no cumple con las especificaciones, aún cuando está controlado.
- d. Cuando el promedio del proceso está fuera del centro. En este caso, aún cuando el proceso tiene la capacidad inherente de cumplir con las especificaciones, se deberá emprender una acción correctiva ya que, de lo contrario, una porción considerable del resultado caerá fuera de los límites de especificación.



La capacidad de los procesos suele cuantificarse mediante una medida conocida como el índice de la capacidad del proceso, C_p (conocida a veces como índice del potencial del proceso), el cual se identifica como la relación de la amplitud de la especificación y de la tolerancia natural del proceso:

$$C_p = \frac{UTL - LTL}{6\sigma}$$

donde UTL = límite superior de tolerancia, LTL = límite inferior de tolerancia, σ = desviación estándar del proceso.

Otro índice ampliamente usado es el C_{pk} el cual proporciona información sobre el centrado del proceso. Este índice se determina de la siguiente manera:

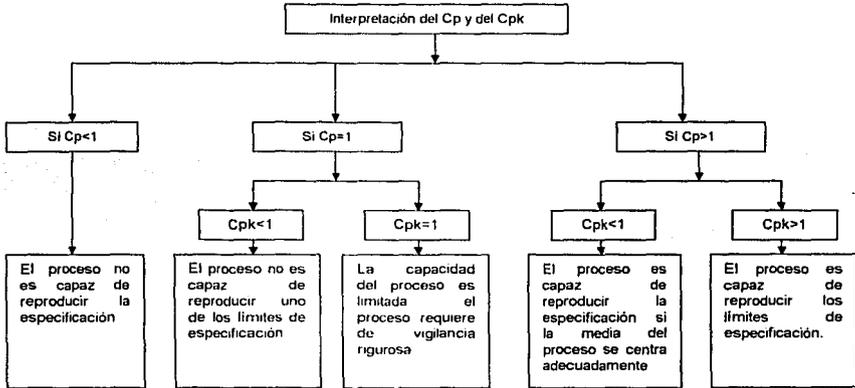
$$C_{p_u} = \frac{UTL - \mu}{3\sigma} \text{ (índice superior de un solo lado)}$$

$$C_{p_l} = \frac{\mu - LTL}{3\sigma} \text{ (índice inferior de un solo lado)}$$

$$C_{p_k} = \min(C_{p_l}, C_{p_u})$$

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

La interpretación de estas medidas se muestra en el siguiente esquema:



Nota: si el $Cp=1$ y el $Cpk>1$ hay un error en el cálculo

Los estudios de capacidad tienen una gran importancia en los programas de mejora continua de la calidad, ya que cubren la etapa de perfeccionamiento en el que se evalúa la capacidad y se adoptan las medidas correctivas necesarias para mejorarla. Por eso es indispensable que todos los departamentos de una empresa conozcan de los resultados de los estudios de capacidad.

Para lograr la participación de todos los departamentos en un programa de mejora continua de la calidad, es importante que el personal sea motivado adecuadamente y que conozca los objetivos que busca la organización.

Actualmente toda empresa requiere de personal que piense y participe en la solución de los problemas de su área de trabajo, siempre bajo la idea del trabajo en equipo y del esfuerzo conjunto.

2.2.10. ACCIONES CORRECTIVAS

J.M. Juran propone las siguientes medidas:

	El producto se ajusta a las tolerancias		El producto no se ajusta a las tolerancias	
	Variación del proceso pequeña en relación con las tolerancias	Variación del proceso grande en relación con las tolerancias	Variación del proceso pequeña en relación con las tolerancias	Variación del proceso grande en relación con las tolerancias
El proceso está bajo control	Considere la reducción de coste con un proceso menos preciso, considere el valor de un diseño con tolerancias más estrechas	Generalmente no se toma ninguna medida	El proceso está "mal centrado" hacia una media errónea. Por lo general es fácil corregirlo permanentemente.	El proceso puede estar mal centrado y también demasiado disperso. Corrija el centrado. Considere qué resulta más económico, si realizar un proceso más preciso, o fijar tolerancias más amplias, aceptando una clasificación del producto
El proceso está fuera de control	Generalmente no se toma ninguna medida	Investigue la causa de la falta de control. La decisión de corregir o no, debe basarse en el coste de la acción correctiva	El proceso está mal centrado, o es errático, o ambas cosas a la vez. Corrija el centrado. Descubra la causa de la falta de control. Considere qué resulta más económico, si realizar un proceso más preciso, o fijar tolerancias más amplias, aceptando una clasificación del producto	

*Como aproximación, puede decirse que una variación del proceso (llamada a veces tolerancia natural = σ_n) menor que un tercio de la tolerancia es pequeña, menor que dos tercios de la tolerancia es grande.

2.3. BENEFICIOS DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

Además de hacer datos visibles al usuario, las gráficas de control facilitan la respuesta apropiada al proceso de variación, distinguiendo una variación aleatoria de una variación que es probablemente debida a "causas asignables".

El papel e importancia de las gráficas de control en varias actividades relacionadas con procesos son señalados a continuación:

- a) *Control de proceso.* Las gráficas de control de variables se usan para detectar cambios en el centro del proceso o variabilidad del proceso y desencadenar acciones correctivas, además de mantener o restaurar la estabilidad en el proceso.
- b) *Análisis de capacidad del proceso.* Si el proceso es estable, la información de las gráficas de control deberá ser utilizada subsecuentemente para estimar la capacidad del proceso.
- c) *Análisis del sistema de medición.* En la incorporación de límites de control que reflejan la variabilidad inherente del sistema de medición, las gráficas de control muestran además que el sistema de medición es capaz de detectar la variabilidad del proceso o producto de interés. Las gráficas de control pueden ser usadas también para vigilar las mediciones del mismo proceso.
- d) *Análisis de causa y efecto.* La correlación entre eventos del proceso y patrones de las gráficas de control puede ayudar a inferir las causas asignables y elaborar un efectivo plan de acción.
- e) *Mejora continua.* Las gráficas de control se usan para vigilar y ayudar a identificar causas de variación del proceso; además ayudan a reducir las causas de variación.

APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL.

3.1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA.

La empresa en cuestión, ubicada en el Estado de México, surge alrededor de los años setenta, con el objetivo principal de ofrecer a la industria mexicana de las artes gráficas una opción en papeles recubiertos para impresión.

Su línea de productos abarca desde papeles recubiertos de alto brillo, papel metalizado, papel lustre y servicios especiales.

Hasta hace unos años, esta empresa se caracterizaba por ser la única, a nivel nacional, en ofrecer este tipo de productos, por lo que nunca se cuestionó la necesidad de buscar alternativas tecnológicas y administrativas más adecuadas a los tiempos y al contexto mundial.

La apertura económica de nuestro país y la consiguiente penetración de empresas con tecnología de punta, iniciada hace unos años y actualmente en su apogeo, han puesto en crisis a esta empresa, la cual, para aminorar los efectos negativos, se ve presionada a implantar un sistema de gestión de calidad en la búsqueda, no sólo de tener la capacidad de competir equitativamente, satisfaciendo las necesidades y requerimientos de los clientes, sino de subsistir ella y los que de ella dependen.

Es en este contexto cuando se me permite participar en la formulación de un proyecto dirigido a controlar y mejorar la calidad de sus procesos y productos, como parte de una serie de acciones más amplias, tendientes a la mejora continua e integral de la calidad, que incluye tanto la capacitación del personal, la adecuación de la maquinaria, la búsqueda de procesos alternativos, etc.

3.2. ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA.

3.2.1. OBJETIVOS A CONSEGUIR CON LAS GRÁFICAS DE CONTROL.

- Determinar si el proceso puede cumplir con las especificaciones predeterminadas.
- Proporcionar un criterio para la toma de decisiones de carácter general en el transcurso de la producción, indicando cuándo hay que buscar causas de variación, y actuar para intentar corregirlas, o cuándo hay que dejar que el proceso continúe libremente

3.2.2. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD A CONTROLAR.

Las características de calidad que se nos permitió analizar son: el calibre, el peso base, la blancura, el brillo y la humedad.

A continuación se detallará cada una.

3.2.2.1. Calibre.

El calibre, llamado también espesor, se define como la distancia perpendicular que existe entre dos superficies paralelas, planas y circulares del papel, bajo condiciones específicas y controladas de presión y velocidad.

Su determinación se logra mediante micrómetros que son aparatos en los que se coloca la muestra entre dos caras circulares planas y paralelas entre sí, una de las cuales se encuentra fija y la otra tiene movimiento en dirección perpendicular a la primera. Al poner la muestra entre estas caras, la distancia que las separa es igual al espesor de la muestra, que queda indicado en la carátula del micrómetro. El procedimiento se describe con todo detalle en el método estándar TAPPI T411.

El espesor es una propiedad muy importante desde el punto de vista de la transformación y el uso final del papel. Su importancia se debe a que, al variar el espesor, el

manejo del papel en algunas máquinas se dificulta; además se ven afectadas casi todas sus propiedades físicas, ópticas y eléctricas, pudiendo provocar problemas en su uso.

3.2.2.2. Peso Base.

El peso es una de las especificaciones más comunes relativas al papel. Debido a que éste se utiliza en forma de hoja y su área tiene más importancia que su volumen, el peso del papel se expresa por unidad de área.

El peso del papel se expresa como gramos por metro cuadrado en el sistema métrico y se denomina gramaje. En el sistema inglés se denomina peso base, y se expresa en libras por resma, libras por mil hojas, o libras por mil pies cuadrados.

En el método estándar TAPPI T410, se encuentra el procedimiento detallado para la determinación del peso base, que consiste en pesar varias hojas de dimensiones conocidas y calcular su peso por unidad de área. Para realizar esta medición se emplean basculinas o balanzas.

El peso afecta todas las propiedades físicas del papel y muchas de las ópticas y eléctricas, por lo que es indispensable llevar un control cuidadoso de esta característica durante la fabricación de cualquier tipo de papel, para asegurar su uniformidad.

Es imposible mantener el peso al gramaje exacto especificado. La práctica comercial permite una variación del $\pm 5\%$ del peso especificado.

3.2.2.3. Blancura.

La blancura se refiere a la reflectividad general o claridad (es decir, la eficiencia visual) del papel; es una función de la reflectancia especular general del papel, la distribución de energía iluminante, las condiciones de observación y las características del que observa.

Aunque la eficiencia visual es función de la reflectancia sobre el espectro visible, la blancura se basa en una medición de la reflectancia de la luz de los papeles blancos o casi blancos bajo una sola longitud de onda en la región azul del espectro, es decir, luz cuya longitud de onda dominada es de 457 nm.

Existen varios instrumentos para medir la blancura según el producto de papel, y todas miden la reflectividad a 457 nm. Sin embargo, difieren en la geometría del instrumento y en el método utilizado para medir la reflectividad.

Uno de estos instrumentos es el Photovolt. En estos, la iluminación de la muestra de papel se hace con rayos paralelos de luz blanca, que inciden en el papel en un ángulo de 43° y la reflectancia difusa se mide perpendicular al papel.

Las especificaciones y métodos de prueba correspondientes a estos equipos se encuentran en el método TAPPI T432.

La blancura es una característica del papel que se aprecia a simple vista, y es fundamental en el resultado de la impresión, de allí su importancia. Sin embargo, como la apreciación visual es influenciada por la idea particular de cada observador, resulta complicada su definición y, debido a que es una apreciación subjetiva, se presta fácilmente a provocar polémicas.

3.2.2.4. Brillo.

Es la propiedad por la cual una superficie es capaz de reflejar los rayos paralelos de una fuente de luz que incide en ella, en un ángulo de reflexión igual al de incidencia, en forma semejante a como ocurre en un espejo. A esto se le llama reflexión especular.

Para medir el brillo de un papel se han utilizado ángulos diferentes de incidencia de la luz, pero la mayoría de las mediciones se realizan a un ángulo de 73° de la normal a la hoja, como recomienda el método de TAPPI T 480; este ángulo corresponde al de 13° con respecto al plano del papel, que se usa en el aparato Photovolt. Sin embargo, aún no se ha llegado a un

acuerdo universal sobre el ángulo que debe utilizarse para medir el brillo, aparentemente el ángulo de 73° es el mejor para la mayoría de los papeles, pero no es recomendable para papeles con alto brillo, con los cuales conviene más el uso de un ángulo menor. De hecho, existen instrumentos que toman la medida a 43° o a 60°.

En cuanto a los instrumentos para medir el brillo especular, todos cuentan con una fuente de luz, un colimador para producir un haz de rayos paralelos, un sistema para dirigir la luz hacia la muestra de papel a un ángulo de incidencia fija y uno para medir la luz reflejada por el papel a un ángulo de reflexión igual al de incidencia. Dichos aparatos se suelen calibrar a 100° con un estándar de cristal negro pulido.

3.2.2.5. Humedad.

El contenido de humedad es la cantidad de agua que posee un papel, expresada como porcentaje de su peso.

Existen diversos métodos para medir el contenido de humedad del papel. Entre los métodos más utilizados destacan el secado en estufa y los métodos por destilación, conductividad eléctrica radiación infrarroja y absorción de ondas electromagnéticas.

El contenido de humedad es una especificación importante del papel ya que afecta el peso, la resistencia, la permanencia, la estabilidad dimensional y las propiedades eléctricas del papel. Sin embargo, resulta conveniente que el papel contenga un pequeño porcentaje de humedad para darle flexibilidad, ya que si su contenido de humedad es muy bajo, éste se vuelve quebradizo e inestable. En papeles para impresión, se recomienda, de acuerdo con el tipo de papel y el proceso de impresión, que el contenido de humedad del papel se mantenga entre el 6 y el 10%.

3.2.3. BASE, TAMAÑO Y FRECUENCIA DE LAS MUESTRAS

La muestra representativa para la prueba de control en la empresa la constituye una partida de papel que abarca todo el ancho de la máquina tomada, una vez estabilizado el proceso, al inicio y al final de cada rollo.

Debido a que las pruebas que se realizan para el calibre, peso base, blancura y brillo se hacen en tres posiciones diferentes de la partida de papel (frente, centro y transmisión), se considerará como tres el tamaño de la muestra. Para la humedad el tamaño de la muestra será de uno.

3.2.4. LÍMITES DE CONTROL

Para la elaboración de la gráfica de control se emplearán los límites de control de tres sigma.

3.2.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE GRÁFICA DE CONTROL

Las características de calidad que se analizarán son todas variables cuantitativas, por lo que las gráficas de control para variables son las adecuadas para el caso.

Para la humedad, debido a que el tamaño de su muestra es equivalente a uno, se emplearán las gráficas de control para valores individuales y rango móvil; mientras que para el calibre, el peso base, la blancura y el brillo, se emplearán gráficas de control de medias y rangos, ya que el tamaño de su muestra es mayor que uno.

3.2.6. ESTADÍSTICAS RELEVANTES EMPLEANDO MINITAB

Para el cálculo de las medidas de estadística descriptiva, la investigación se apoya en el software Minitab, el cual es un programa estadístico que implementa procedimientos, vía menús desplegables y vía macros, para el control de la calidad.

CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

Se comienza introduciendo los datos de alguna de las características de calidad a analizar, en una columna en la hoja de cálculo del programa.

	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22
1	5.12	16.9	84.0	61.0	324.0				
2	5.42	16.9	84.2	72.2	326.0				
3	5.19	17.3	84.0	62.2	330.5				
4	6.04	16.5	83.9	62.4	327.0				
5	4.97	16.7	84.3	69.4	320.0				
6	5.50	17.1	84.5	62.5	326.0				

A continuación, se selecciona la subopción *Display Descriptive Statistics* de la opción *Basic Statistics* del menú *Stat* obteniéndose la caja de diálogo de la figura siguiente, en cuyo campo *Variables* se introducen los nombres de las variables a analizar.

Stat > Basic Statistics > Display Descriptive Statistics...

Stat > Basic Statistics > Store Descriptive Statistics...

Stat > Basic Statistics > 1-Sample Z...

Stat > Basic Statistics > 1-Sample T...

Stat > Basic Statistics > 2-Sample T...

Stat > Basic Statistics > Paired T...

Stat > Basic Statistics > 1 Proportion...

Stat > Basic Statistics > 2 Proportions...

Stat > Basic Statistics > 2 Variances...

Stat > Basic Statistics > Correlation...

Stat > Basic Statistics > Covariance...

Stat > Basic Statistics > Normality Test...

Stat > Basic Statistics > Power and Sample Size

Stat > Control Charts > Control Charts

Stat > Control Charts > Quality Tools

Stat > Control Charts > Reliability/Survival

Stat > Control Charts > Multivariate

Stat > Control Charts > Time Series

Stat > Tables

Stat > Nonparametrics

Stat > I/O

Stat > Power and Sample Size

Stat > Regression > Regression

Stat > Regression > ANOVA

Stat > Regression > DOE

Stat > Regression > Control Charts

Stat > Regression > Quality Tools

Stat > Regression > Reliability/Survival

Stat > Regression > Multivariate

Stat > Regression > Time Series

Stat > Tables

Stat > Nonparametrics

Stat > I/O

Stat > Power and Sample Size

Stat > Regression > Regression

Stat > Regression > ANOVA

Stat > Regression > DOE

Stat > Regression > Control Charts

Stat > Regression > Quality Tools

Stat > Regression > Reliability/Survival

Stat > Regression > Multivariate

Stat > Regression > Time Series

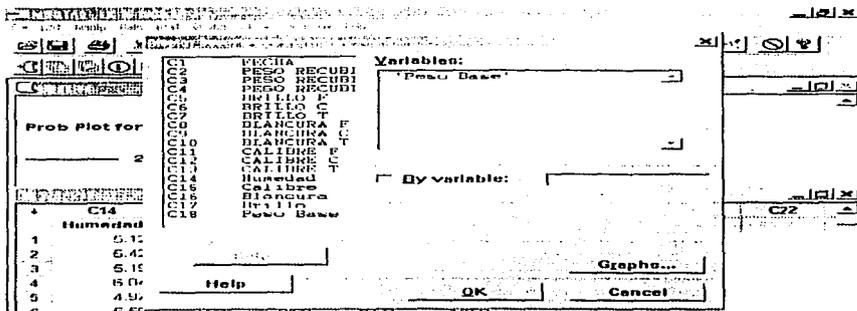
Stat > Tables

Stat > Nonparametrics

Stat > I/O

Stat > Power and Sample Size

CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL



Welcome to Minitab, press F1 for help

Al pulsar OK se obtiene el resumen de las medidas descriptivas que incluye: media, media truncada, mediana, desviación estándar, error estándar, mínimo, máximo y cuartiles.

A continuación se presenta un resumen de las medidas de estadística descriptiva correspondiente a los tres últimos años de cada una de las características de calidad analizadas:

Humedad	1999	2000	2001
No. de datos, N	105	119	16
Media	5.2831	5.2537	5.742
Mediana	5.3200	5.2300	5.940
Media Truncada	5.2896	5.2425	5.757
Desviación Estándar	0.5126	0.5158	0.470
Error Estándar	0.0500	0.0473	0.117
Mínimo	3.9300	4.0900	4.848
Máximo	6.5500	6.5500	6.430
Cuartil 1, Q ₁	4.9650	4.9100	5.420
Cuartil 3, Q ₃	5.6550	5.5900	6.063

Calibre	1999	2000	2001
No. de datos, N	315	357	48
Media	16.604	16.710	16.825
Mediana	16.500	16.700	16.900
Media Truncada	16.600	16.707	16.823
Desviación Estándar	0.355	0.331	0.228
Error Estándar	0.020	0.018	0.033
Mínimo	15.700	15.900	16.300
Máximo	17.900	17.700	17.300
Cuartil 1, Q ₁	16.500	16.500	16.700
Cuartil 3, Q ₃	16.900	16.900	16.900

CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

Blancura	1999	2000	2001
No. de datos, N	315	357	48
Media	84.516	83.929	83.942
Mediana	84.500	84.000	84.300
Media Truncada	54.563	83.977	83.975
Desviación Estándar	1.273	1.745	1.422
Error Estándar	0.072	0.092	0.205
Mínimo	80.200	75.200	80.100
Máximo	87.500	88.200	86.200
Cuartil 1, Q ₁	83.800	83.050	82.500
Cuartil 3, Q ₃	85.300	85.100	84.900

Brillo	1999	2000	2001
No. de datos, N	315	357	48
Media	52.09	36.490	36.044
Mediana	63.40	36.300	35.200
Media Truncada	52.61	36.353	36.080
Desviación Estándar	20.52	8.392	6.295
Error Estándar	1.16	0.444	0.909
Mínimo	12.40	19.200	21.100
Máximo	82.90	58.700	48.400
Cuartil 1, Q ₁	31.70	30.200	30.900
Cuartil 3, Q ₃	69.80	42.250	40.500

Peso Base	1999	2000	2001
No. de datos, N	315	357	48
Media	320.71	328.62	323.27
Mediana	320.00	328.00	323.25
Media Truncada	320.62	328.50	323.20
Desviación Estándar	6.77	9.76	4.26
Error Estándar	0.38	0.52	0.61
Mínimo	304.00	302.00	314.50
Máximo	355.00	358.50	333.00
Cuartil 1, Q ₁	316.50	320.50	319.50
Cuartil 3, Q ₃	325.00	336.00	327.28

La representación del conjunto de datos, de cada una de las características de calidad analizadas, mediante valores descriptivos como la media, la mediana, la desviación estándar, etc., muestra que existen diferencias entre los resultados obtenidos para cada año.

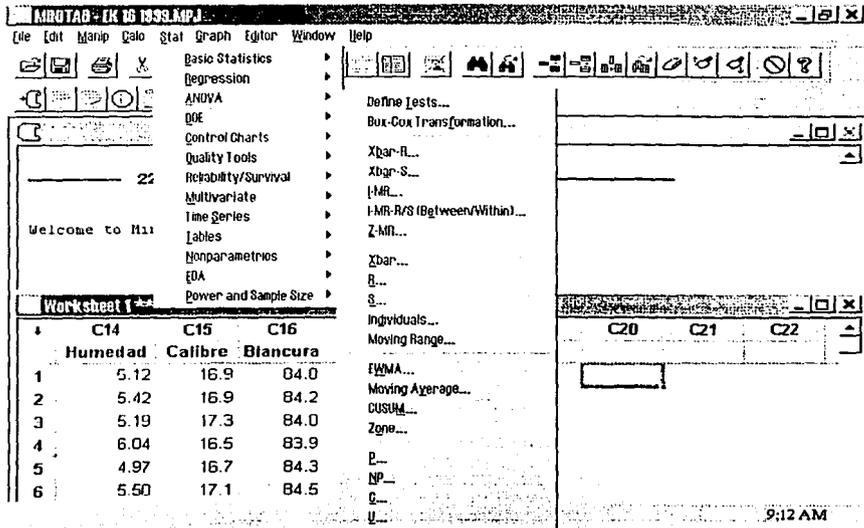
Algunas de estas diferencias son más significativas que otras (tal es el caso del brillo que pasa de un valor, para la desviación estándar, de 20.52° en 1999 a 6.295° en el año en

curso), sin embargo es difícil definir a través de un sólo número no sólo las verdaderas causas sino el momento preciso en el que surgieron dichas variaciones.

Es por lo anterior que, es necesario apoyarse en tras herramientas tales como las gráficas de control, mismas que se desarrollarán a continuación.

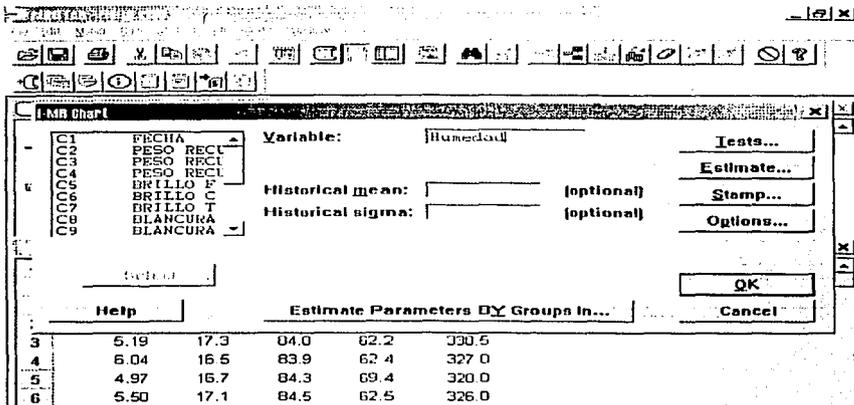
3.2.7. CONSTRUCCIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL EMPLEANDO MINITAB

Minitab permite el trabajo con gráficas de control por variables mediante las subopciones de la opción *Control Charts* del menú general del programa *Stat* como se indica en la siguiente figura.



Para las gráficas de control de valores individuales y rango móvil se selecciona la subopción *I-MR* y se rellena la pantalla de entrada como se muestra a continuación:

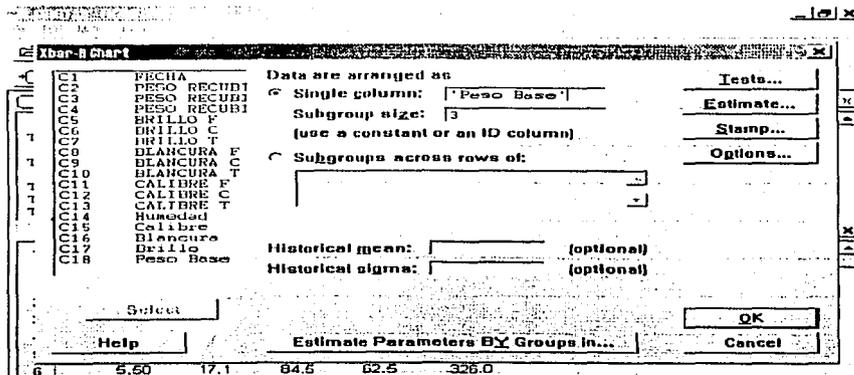
CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL



Welcome to Minitab, press F1 for help.

9:16 AM

Para las gráficas de control de medias y rangos se selecciona la subopción *Xbar-R* y se rellena la pantalla de entrada, indicado el tamaño de la muestra o subgrupo (*Subgroup size*) como se muestra a continuación:



Welcome to Minitab, press F1 for help.

9:28 AM

En cualquiera de los casos, para fijar los tests de causas especiales de la Western Electric se elige el botón test y se señalan todas las opciones en la pantalla resultante.

Tests For Special Causes (default definitions)

Perform all eight tests

Choose specific tests to perform

- One point more than 3 sigmas from center line
- Nine points in a row on same side of center line
- Six points in a row, all increasing or all decreasing
- Fourteen points in a row, alternating up and down
- Two out of three points more than 2 sigmas from center line (same side)
- Four out of five points more than 1 sigma from center line (same side)
- Fifteen points in a row within 1 sigma of center line (either side)
- Eight points in a row more than 1 sigma from center line (either side)

Help OK Cancel

3					
4					
5	4.97	16.7	84.3	69.4	320.0
6	5.50	17.1	84.5	62.5	326.0

Welcome to Minitab, press F1 for help.

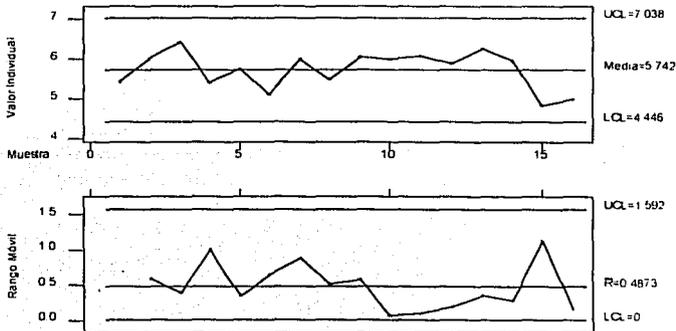
9:19 AM

Al pulsar OK dos veces se obtiene la gráfica de control respectiva. Ésta puede, eventualmente, editarse, agregando o modificando características al gusto de la persona que las elabora como por ejemplo colores, texto, etc.

A continuación se presentan las gráficas de control, correspondientes a los tres últimos años, para cada una de las características de calidad:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Gráfica de Control para Valores Individuales y Rango Móvil, Humedad 2001



INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

En las gráficas de control para la humedad de 1999 y 2000 no se observa la presencia de control estadístico. Hay problemas debidos a patrones cíclicos, tendencias, cambios de nivel y se observan fallas en el test de causas especiales de la Western Electric, tales como:

- Puntos están fuera de los límites de control
- Rachas de por lo menos 7 u 8 puntos sobre la línea central o bajo ella, o bien por encima o por debajo de la mediana.
- Puntos consecutivos que caen más allá de los límites de advertencia de dos sigma.
- Puntos consecutivos se encuentran a una distancia de una sigma o más de la línea central.

Algunas de las posibles causas podrían ser: cambios ambientales como temperatura, fatiga o cansancio del operario, rotación regular de operarios o máquinas (o ambos), fluctuaciones del voltaje o presión, desgaste de las herramientas, introducción de nuevos trabajadores, métodos, materia prima o maquinas, de cambios en la destreza, atención o motivación de los operarios, entre otras.

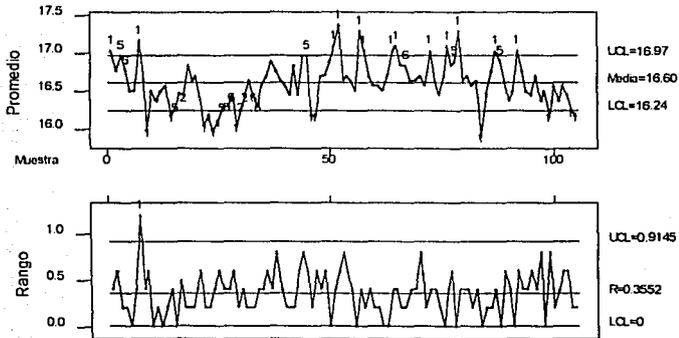
En la gráfica de control para la humedad del 2001 se observa la presencia de control estadístico, sin embargo, la conclusión deducida del período de observación tan breve se debe

CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

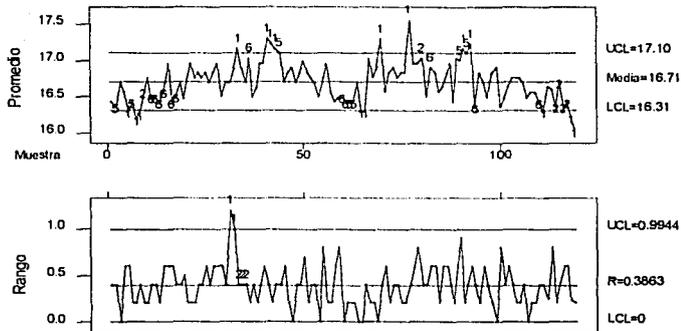
mantener sólo como una alternativa pendiente de confirmación o cambio según la trayectoria que siga la gráfica de control y las pruebas que se vayan acumulando.

3.2.7.2. Calibre.

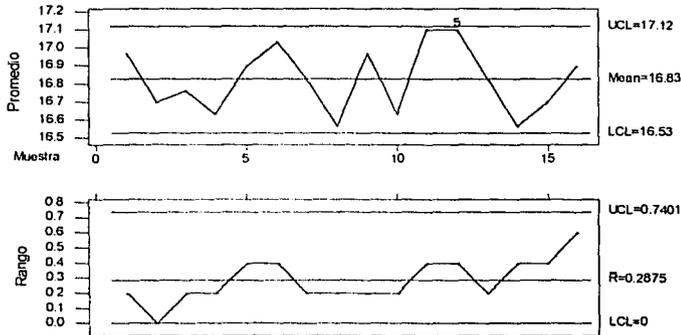
Gráfica de Control de x y R, Calibre 1999.



Gráfica de Control de x y R, Calibre 2000.



Gráfica de Control de x y R, Calibre 2001



INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

En las gráficas de control para el calibre de 1999 y 2000 no se observa la presencia de control estadístico. Hay problemas debidos a tendencias, cambios de nivel, estratificaciones, patrones de mezclado y se observan fallas en el test de causas especiales de la Western Electric, tales como:

- a) Puntos están fuera de los límites de control
- b) Rachas de por lo menos 7 u 8 puntos sobre la línea central o bajo ella, o bien por encima o por debajo de la mediana.
- c) Puntos consecutivos que caen más allá de los límites de advertencia de dos sigma.
- d) Puntos consecutivos se encuentran a una distancia de una sigma o más de la línea central.

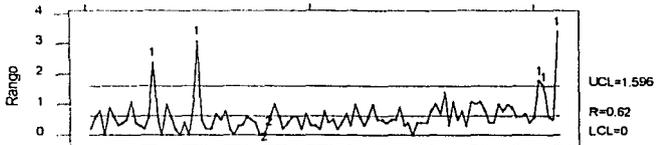
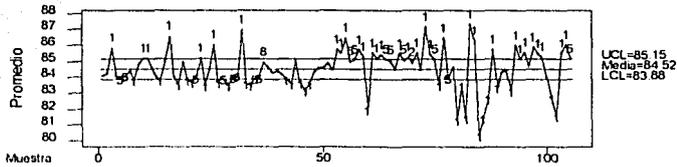
Algunas de las posibles causas podrían ser: desgaste de las herramientas, introducción de nuevos trabajadores, métodos, materia prima o maquinas, de cambios en la destreza, atención o motivación de los operarios, sobrecontrol, entre otras.

En la gráfica de control para la humedad del 2001 se observa la presencia de control estadístico, sin embargo, la conclusión deducida del periodo de observación tan breve se debe

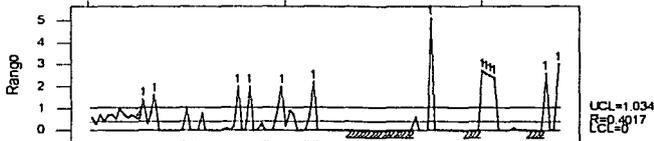
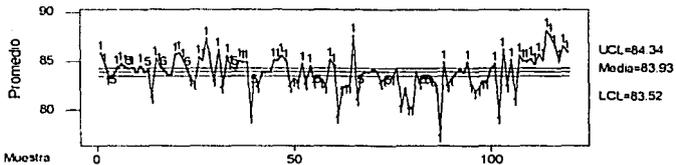
mantener sólo como una alternativa pendiente de confirmación o cambio según la trayectoria que siga la gráfica de control y las pruebas que se vayan acumulando.

3.2.7.3. Blancura.

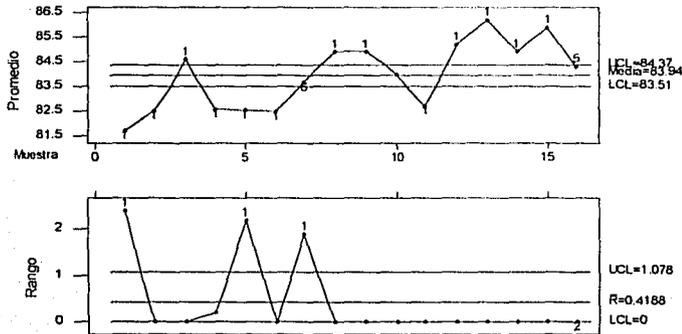
Gráfica de Control de x y R, Blancura 1999.



Gráfica de control de x y R, Blancura 2000



Gráfica de Control de \bar{x} y R, Blancura 2001



INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

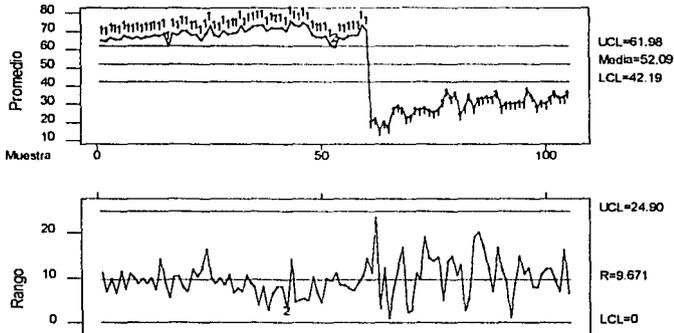
En las gráficas de control para la blancura de 1999, 2000 y 2001 no se observa la presencia de control estadístico. Hay problemas debidos a patrones cíclicos, tendencias, estratificaciones y se observan fallas en el test de causas especiales de la Western Electric, tales como:

- Puntos están fuera de los límites de control
- Rachas de por lo menos 7 u 8 puntos sobre la línea central o bajo ella, o bien por encima o por debajo de la mediana.
- Puntos consecutivos que caen más allá de los límites de advertencia de dos sigma.
- Puntos consecutivos que se hallan al mismo lado de la línea central.
- Puntos consecutivos se encuentran a una distancia de una sigma o más de la línea central.

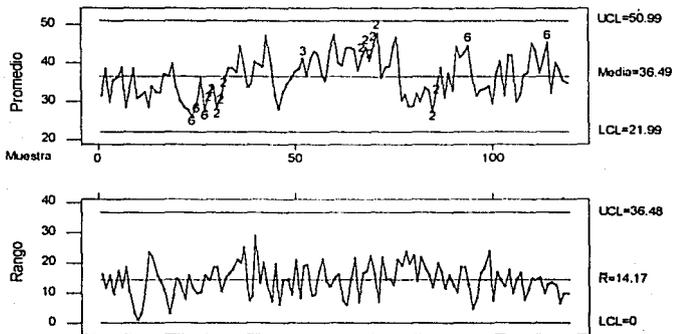
Algunas de las posibles causas podrían ser: desgaste de las herramientas, introducción de nuevos trabajadores, métodos, materia prima o maquinas, de cambios en la destreza, atención o motivación de los operarios, sobrecontrol, cambios ambientales como temperatura, fatiga o cansancio del operario, rotación regular de operarios o máquinas (o ambos), fluctuaciones del voltaje o presión, desgaste de las herramientas, entre otras.

3.2.7.4. Brillo

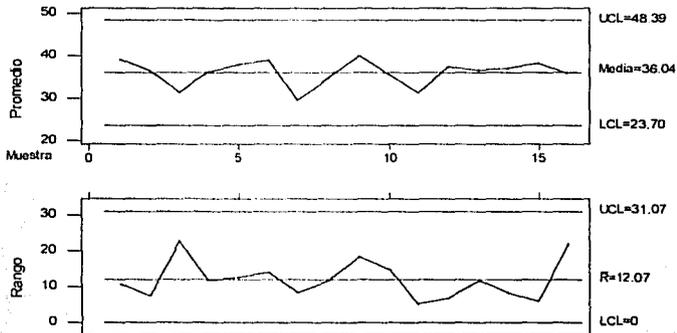
Grafica de control x y R, Brillo 1999.



Gráfica de Control de x y R, Brillo 2000



Gráfica de Control de \bar{x} y R, Brillo 2001



INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

En las gráficas de control para el brillo de 1999 y 2000 no se observa la presencia de control estadístico. Hay problemas debidos a tendencias, estratificaciones, cambios de nivel y se observan fallas en el test de causas especiales de la Western Electric, tales como:

- a) Puntos están fuera de los límites de control
- b) Rachas de por lo menos 7 u 8 puntos sobre la línea central o bajo ella, o bien por encima o por debajo de la mediana.
- c) Puntos consecutivos que caen más allá de los límites de advertencia de dos sigma.
- d) Puntos consecutivos que se hallan al mismo lado de la línea central.
- e) Puntos consecutivos se encuentran a una distancia de una sigma o más de la línea central.

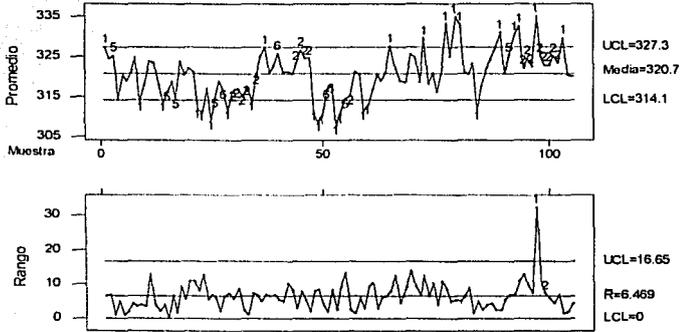
Algunas de las posibles causas podrían ser: desgaste de las herramientas, introducción de nuevos trabajadores, métodos, materia prima o maquinas, de cambios en la destreza, atención o motivación de los operarios, sobrecontrol, inadecuada suposición de tener una distribución normal, entre otras

En la gráfica de control para el brillo del 2001 se observa la presencia de control estadístico, sin embargo, la conclusión deducida del período de observación tan breve se debe

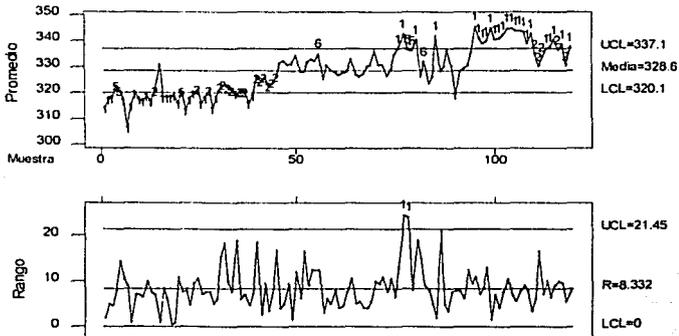
mantener sólo como una alternativa pendiente de confirmación o cambio según la trayectoria que siga la gráfica de control y las pruebas que se vayan acumulando.

3.2.7.5. Peso Base.

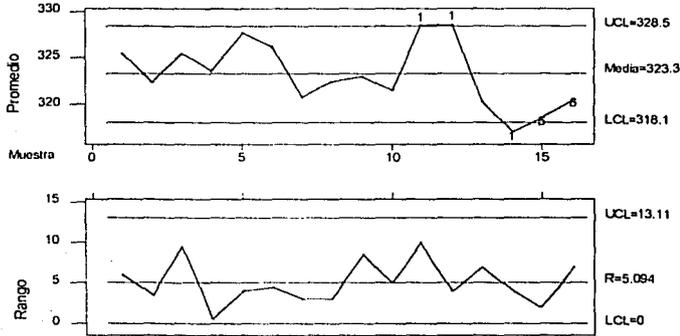
Gráfica de Control x y R, Peso Base 1999.



Gráfica de Control de x y R, Peso Base 2000.



Gráfica de Control de x y R, Peso base 2001



INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

En las gráficas de control para el peso base de 1999,2000 y 2001 no se observa la presencia de control estadístico. Hay problemas debidos tendencias, estratificaciones, cambios de nivel y se observan fallas en el test de causas especiales de la Western Electric, tales como:

- a) Puntos están fuera de los límites de control
- b) Rachas de por lo menos 7 u 8 puntos sobre la línea central o bajo ella, o bien por encima o por debajo de la mediana.
- c) Puntos consecutivos que caen más allá de los límites de advertencia de dos sigma.
- d) Puntos consecutivos que se hallan al mismo lado de la línea central.

Algunas de las posibles causas podrían ser: desgaste de las herramientas, introducción de nuevos trabajadores, métodos, materia prima o maquinas, de cambios en la destreza, atención o motivación de los operarios, sobrecontrol, cambios ambientales como temperatura, fatiga o cansancio del operario, rotación regular de operarios o máquinas (o ambos), fluctuaciones del voltaje o presión, desgaste de las herramientas, entre otras.

3.2.8. INTERPRETACIÓN DEL PROCESO EN BASE A LAS GRÁFICAS DE CONTROL

Las gráficas de control, para las características de calidad de 1999 y 2000, muestran un patrón de variabilidad no natural, con lo que se concluye que el proceso no se encuentra bajo control.

En estos años, la presencia de tendencias, ciclos, puntos fuera de los límites de control, cambios súbitos en los promedios y en los rangos, etc. indican que es necesaria la búsqueda de las causas anormales de variación y la toma de acciones correctivas para asegurarse de que en el futuro no se presenten más.

Al no tener acceso a información detallada acerca del proceso en los años analizados, es difícil definir las verdaderas causas que originan la variación.

Lo que se puede formular es tan sólo una hipótesis en el sentido de que dicha variación es debida a causas como la falta de calibración de los equipos de medición, falta de uniformidad en la materia prima (por cuanto concierne a la calidad del material como del proveedor), frecuentes cambios en el personal técnico, desgaste del equipo y la herramienta, mantenimiento deficiente, oscilación en la energía eléctrica, errores de medición, efectos estacionales como temperatura o humedad, etc.

Para efectos prácticos, puede decirse que en el 2001 el proceso se comporta como si no existieran causas de variación asignable, sin embargo esta conclusión es tan sólo una alternativa pendiente de confirmación o cambio según la trayectoria que sigan las gráficas de control y las pruebas que se vayan a acumulando.

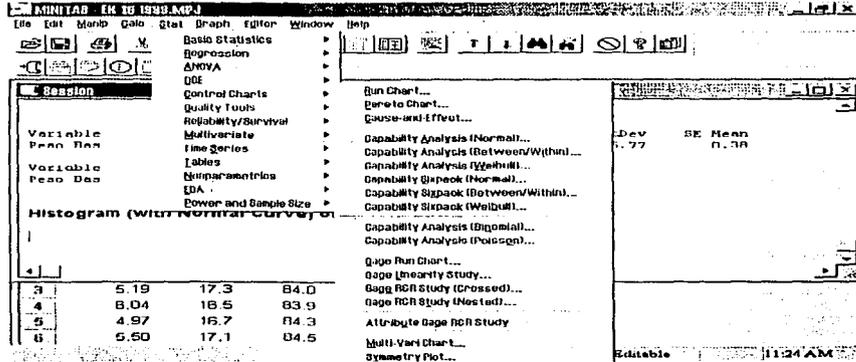
Las acciones a tomar según las pruebas que ofrece la gráfica de control dependen de la relación existente entre el comportamiento real del proceso y el que se supone debería tener, es decir, hay que comparar el modelo de variación aparente que muestra la gráfica de control con las especificaciones lo cual resulta más sencillo cuando el proceso está bajo control.

3.2.9. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

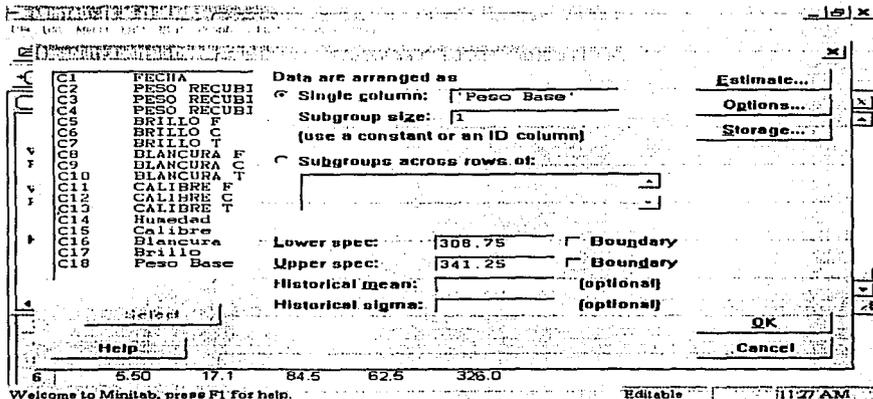
Debido a que el proceso no se encuentra bajo control estadístico, el estudio de la capacidad del proceso es válido sólo hasta la fecha analizada, no existiendo nada que asegure la estabilidad a largo plazo. Evidentemente, una vez que el proceso se encuentra bajo control estadístico si es posible predecir eventos futuros.

APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

Minitab implementa el análisis de la capacidad para procesos a través de las subopciones de la opción *Quality Tools* del menú *Stat* tal y como se muestra en la siguiente figura:



Al elegir la subopción *Capability Analysis (Normal)* se obtiene la siguiente pantalla, cuyas opciones ya se han explicado anteriormente salvo *Lower Spec* y *Upper Spec* que se utilizan para introducir los límites inferior y superior de especificaciones, respectivamente:



Al pulsar **OK** se obtiene el estudio de la capacidad:

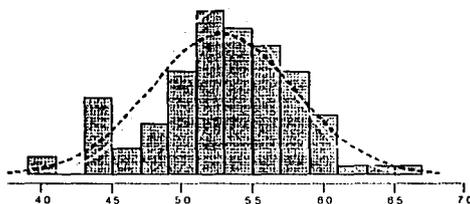
CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

A continuación se presenta los resultados obtenidos para todas las características de calidad correspondientes a los tres últimos años:

Análisis de la Capacidad del Proceso, Humedad 1999.

Datos Proceso
LSC 6 00000
Objetivo +
LIC 4 00000
Media 5 28314
Tamaño muestra 105
Dev. Std (Within) 0 432361
Dev. Std (Overall) 0 513805

Capacidad del Proceso (Within)
Cp 0.77
CPU 0.55
CPL 0.69
Cpk 0.55
Cpm +



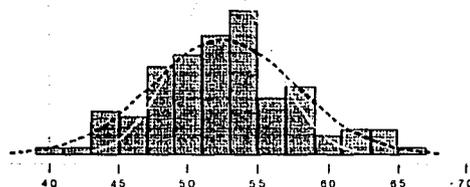
Capacidad del Proceso (Overall)
Pp 0.85
PPU 0.47
PFL 0.83
Ppk 0.47

Comportamiento Observado		Comportamiento Exp (Within)		Comportamiento Exp (Overall)	
PPM < LSL	9523 81	PPM <	1476 58	PPM < LSL	8255 55
PPM > USL	47819 05	PPM > USL	48654 39	PPM > USL	81478 83
PPM Total	57142 86	PPM Total	50153 96	PPM Total	87735 38

Análisis de la Capacidad del Proceso, Humedad 2000.

Datos del proceso
LSC 6 00000
Objetivo +
LIC 4 00000
Media 5 25370
Tamaño de la muestra 119
Dev. Std (Within) 0 337781
Dev. Std (Overall) 0 516652

Capacidad del Proceso (Within)
Cp 0.99
CPU 0.74
CPL 1.24
Cpk 0.74
Cpm +



Capacidad del Proceso (Overall)
Pp 0.64
PPU 0.48
PFL 0.81
Ppk 0.46

Comportamiento observado		Comportamiento Exp (Within)		Comportamiento Exp (Overall)	
PPM < LSL	0 00	PPM < LSL	102 99	PPM < LSL	7640 69
PPM > USL	84033 61	PPM > USL	13572 47	PPM > USL	74378 17
PPM Total	84033 61	PPM Total	13675 46	PPM Total	82018 86

CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

Análisis de la Capacidad del Proceso, Humedad 2001.

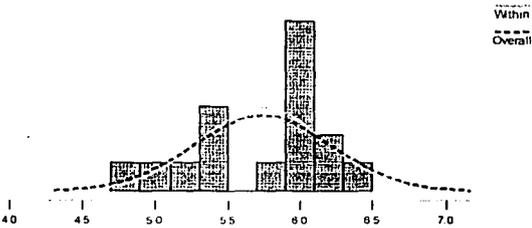
Datos del Proceso
 LSC 6 00000
 Objetivo *
 LIC 4 00000
 Media 5.74168
 Tamaño de la muestra 18
 Desv. Std. (Within) 0.432033
 Desv. Std. (Overall) 0.477427

Capacidad del Proceso (Within)

Cp 0.77
 CPU 0.20
 CPL 1.34
 Cpk 0.20
 Cpm *

Capacidad del Proceso (Overall)

Pp 0.70
 PPU 0.18
 PPL 1.22
 Ppk 0.18



Comportamiento Observado		Comportamiento Exp. (Within)		Comportamiento Exp. (Overall)	
Pp	0.70	PFM < LSL	0.00	PFM < LSL	131.91
PPU	0.18	PFM > USL	375000.00	PFM > USL	204371.59
PPL	1.22	PFM Total	375000.00	PFM Total	204503.50
Ppk	0.18				

Análisis de la Capacidad del Proceso, Calibre 1999.

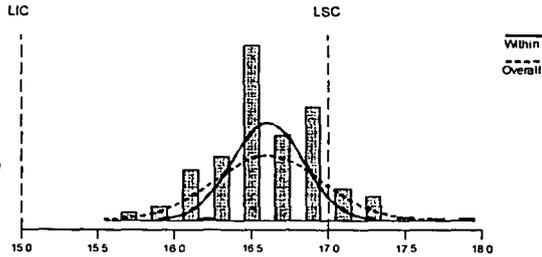
Datos del Proceso
 LSC 17 0000
 Objetivo *
 LIC 15 0000
 Media 16.0044
 Tamaño de la muestra 315
 Desv. Std. (Within) 0.226488
 Desv. Std. (Overall) 0.356471

Capacidad del Proceso (Within)

Cp 1.42
 CPU 0.56
 CPL 2.27
 Cpk 0.56
 Cpm *

Capacidad del Proceso (Overall)

Pp 0.94
 PPU 0.37
 PPL 1.50
 Ppk 0.37



Comportamiento Observado		Comportamiento Exp. (Within)		Comportamiento Exp. (Overall)	
Pp	0.94	PFM < LSL	0.00	PFM < LSL	3.19
PPU	0.37	PFM > USL	107036.51	PFM > USL	123004.72
PPL	1.50	PFM Total	107036.51	PFM Total	123007.91
Ppk	0.37				

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

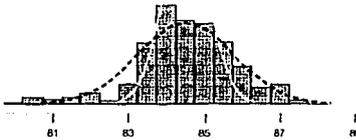
Análisis de la Capacidad del Proceso, Blancura 1999.

Datos del Proceso
 LSC 83 0000
 Objetivo +
 LIC 77 0000
 Medda 84 5158
 Tamaño de la muestra 315
 Dev. Std. (Within) 0 80671
 Dev. Std. (Overall) 1 27387

Within
 Overall

Capacidad del Proceso (Within)

Cp 1.64
 Cpu -0.83
 Cpl 4.12
 Cpk -0.83
 Cpm .



Capacidad del Proceso (Overall)

Pp 0.79
 Ppu -0.40
 Ppl 1.97
 Ppk -0.40

Comportamiento Observado		Comportamiento Exp. (Within)		Comportamiento Exp. (Overall)	
PPM < LSL	0 00	PPM < LSL	0 00	PPM < LSL	0 00
PPM > USL	914285 71	PPM > USL	993006 98	PPM > USL	863022 22
PPM Total	914285 71	PPM Total	993006 98	PPM Total	863022 22

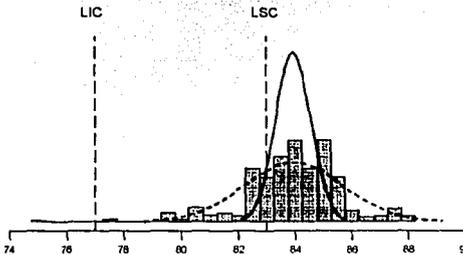
Análisis de la Capacidad del Proceso, Blancura 2000.

Datos del Proceso
 LSC 83 0000
 Objetivo +
 LIC 77 0000
 Medda 83 9291
 Tamaño de la muestra 357
 Dev. Std. (Within) 0 81086
 Dev. Std. (Overall) 1 74577

Within
 Overall

Capacidad del Proceso (Within)

Cp 1.64
 Cpu -0.51
 Cpl 3.78
 Cpk -0.51
 Cpm .



Capacidad del Proceso (Overall)

Pp 0.57
 Ppu -0.18
 Ppl 1.32
 Ppk -0.18

Comportamiento Observado		Comportamiento Exp. (Within)		Comportamiento Exp. (Overall)	
PPM < LSL	2601 12	PPM < LSL	0 00	PPM < LSL	36 07
PPM > USL	750700 28	PPM > USL	935874 30	PPM > USL	702713 28
PPM Total	753301 40	PPM Total	935874 30	PPM Total	702749 35

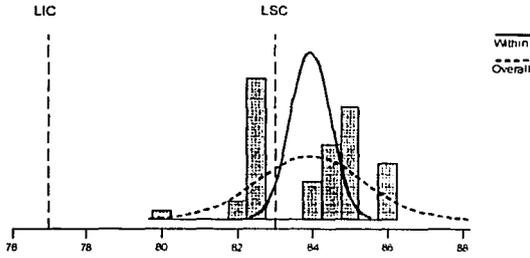
CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

Análisis de la Capacidad del Proceso, Blancura 2001.

Datos del Proceso
 LSC 83 0000
 Objetivo +
 LIC 77 0000
 Meda 83 9417
 Tamaño de la muestra 48
 Desv Std (Within) 0 53946
 Desv Std (Overall) 1 42169

Capacidad del Proceso (Within)
 Cp 1 85
 Cpu -0 58
 Cpl 4 29
 Cpk -0 58
 Cpm .

Capacidad del Proceso (Overall)
 Pp 0 70
 Ppu -0 22
 Ppl 1 83
 Ppk -0 22



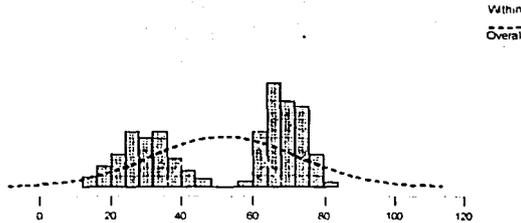
Comportamiento Observado	Comportamiento Exp (Within)	Comportamiento Exp (Overall)
PPM < LSL	0 00	PPM < LSL 0 53
PPM > USL	625000 00	PPM > USL 748084 02
PPM Total	625000 00	PPM Total 748084 54

Análisis de la Capacidad del Proceso, Brillo 1999.

Datos del Proceso
 LSC 35 0000
 Objetivo +
 LIC 25 0000
 Meda 52 0873
 Tamaño de la muestra 315
 Desv Std (Within) 6 0289
 Desv Std (Overall) 20 5367

Capacidad del Proceso (Within)
 Cp 0 28
 Cpu -0 84
 Cpl 1 50
 Cpk -0 94
 Cpm .

Capacidad del Proceso (Overall)
 Pp 0 08
 Ppu -0 28
 Ppl 0 44
 Ppk -0 28

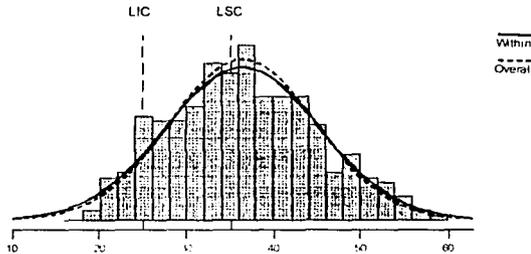


Comportamiento Observado	Comportamiento Exp (Within)	Comportamiento Exp (Overall)
PPM < LSL	120834 82	PPM < LSL 3 51
PPM > USL	693641 27	PPM > USL 997703 00
PPM Total	790476 19	PPM Total 997706 80

CAPÍTULO 3.
APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

Análisis de la Capacidad del Proceso, Brillo 2000.

Datos del Proceso
 LSC 35 0000
 Objetivo *
 LIC 25 0000
 media 38 4868
 Tamaño de la muestra 357
 Desv Std (Within) 8 83111
 Desv Std (Overall) 8 36700



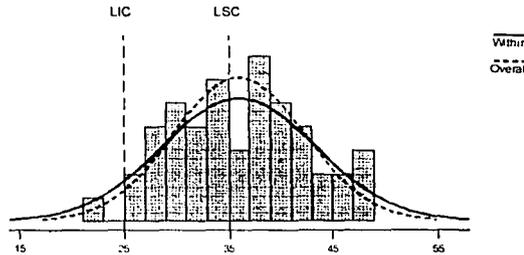
Capacidad del Proceso (Within)
 Cp 0.19
 Cpu -0.08
 Cpl 0.43
 Cpk -0.08
 Cpm *

Capacidad del Proceso (Overall)
 Pp 0.20
 Ppu -0.06
 Ppl 0.48
 Ppk -0.08

Compartamento Observado		Compartamento Exp. (Within)		Compartamento Exp. (Overall)	
P/M < LSL	65204.10	P/M < LSL	64748.33	P/M < LSL	65826.30
P/M > USL	567422.81	P/M > USL	569458.45	P/M > USL	570387.56
P/M Total	652966.91	P/M Total	634206.78	P/M Total	659213.85

Análisis de la Capacidad del Proceso, Brillo 2001

Datos del proceso
 LSC 35 0000
 Objetivo *
 LIC 25 0000
 Media 36 0438
 Tamaño de la muestra 48
 Desv Std (Within) 7 38193
 Desv Std (Overall) 6 25635



Capacidad del proceso (Within)
 Cp 0.23
 Cpu -0.05
 Cpl 0.50
 Cpk -0.05
 Cpm *

Capacidad del Proceso (Overall)
 Pp 0.28
 Ppu -0.08
 Ppl 0.58
 Ppk -0.08

Compartamento Observado		Compartamento Exp. (Within)		Compartamento Exp. (Overall)	
P/M < LSL	20833.33	P/M < LSL	66792.12	P/M < LSL	30882.07
P/M > USL	541699.67	P/M > USL	556371.81	P/M > USL	505841.82
P/M Total	562533.00	P/M Total	623163.93	P/M Total	606723.79

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL CEP EN UNA EMPRESA TRANSFORMADORA DE PAPEL

Análisis de la Capacidad del Proceso, Peso Base 1999.

Datos del proceso

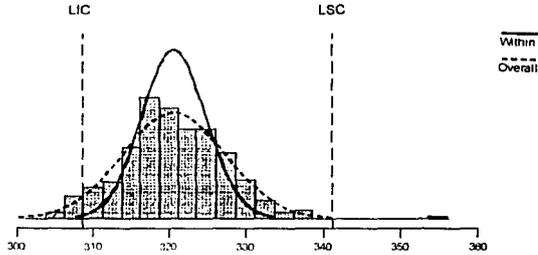
LSC 341 250
 Objetivo -
 LIC 308 750
 Media 320 710
 Tamaño de la muestra 4 2012
 Desv. Std. (Within) 4 2012
 Desv. Std. (Overall) 6 77485

Capacidad del Proceso (Within)

Cp 1.27
 Cpu 1.01
 CPL 0.94
 Cpk 0.94
 Cpm -

Capacidad del proceso (Overall)

Pp 0.80
 Ppu 1.01
 PPL 0.59
 Ppk 0.59



	Comportamiento observado	Comportamiento Exp. (Within)	Comportamiento Exp. (Overall)
PPM < LSL	41,260.64	2409.61	38750.29
PPM > USL	3174.60	0.71	1215.58
PPM Total	44435.24	2410.32	39965.88

Análisis de la Capacidad del Proceso, Peso Base 2000.

Datos del Proceso

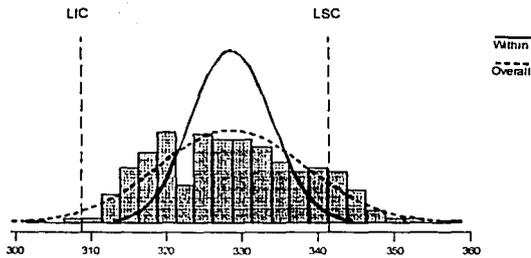
LSC 341 250
 Objetivo -
 LIC 308 750
 Media 328 622
 Tamaño de la muestra 357
 Desv. Std. (Within) 5 24186
 Desv. Std. (Overall) 9 76401

Capacidad del Proceso (Within)

Cp 1.03
 Cpu 0.60
 CPL 1.28
 Cpk 0.60
 Cpm -

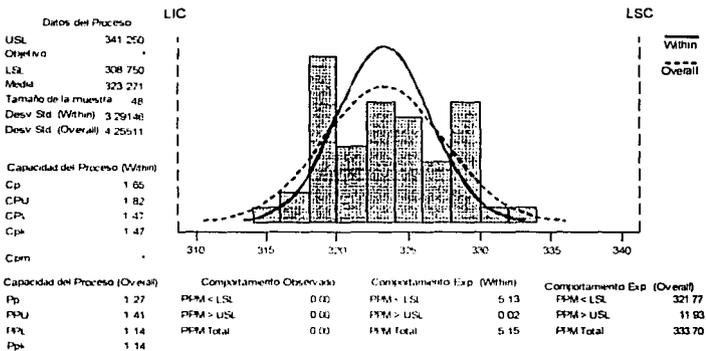
Capacidad del Proceso (overall)

Pp 0.55
 Ppu 0.43
 PPL 0.68
 Ppk 0.43



	Comportamiento Observado	Comportamiento Exp. (Within)	Comportamiento Exp. (Overall)
PPM < LSL	8400.36	75.04	20014.69
PPM > USL	120448.18	7006.64	87947.36
PPM Total	128851.54	8071.68	118962.05

Análisis de la Capacidad del Proceso, Peso Base 2001.



ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

Debido a que el Cp es menor que uno para varias características de calidad en los años analizados, se concluye que el proceso no es capaz de reproducir las especificaciones, es decir, los límites de tolerancia natural sobrepasan los límites de especificaciones, generando un gran número de artículos con disconformidad.

Solicitar la ampliación de los límites de tolerancia, buscar otras alternativas de máquinas dentro de la empresa, reparar las máquinas involucradas o, como última alternativa, adquirir nuevo equipo, son las opciones que podrían solucionar la problemática. Sin embargo, como el proceso no se encuentra bajo control estadístico sería prematuro inclinarse sobre alguna decisión en especial.

Ante todo es aconsejable eliminar las causas atribuibles presentes en el proceso y después eventualmente pensar en la conveniencia de recurrir a alguna de las alternativas mencionadas.

3.2.10. TOMA DE ACCIONES CORRECTIVAS

De acuerdo al análisis de las gráficas de control y de la capacidad del proceso, la serie de acciones que, desde mi particular punto de vista, la empresa puede tomar en consideración para mejorar tanto sus indicadores operativos como los financieros se divide básicamente en dos aspectos: el primero se enfoca al proceso como tal y el segundo al entorno que lo circunda.

En el primer caso se recomienda que:

- a. Se descubran las verdaderas causas de la falta de control en el proceso para que, dada la posibilidad, se corrijan.
- b. Se identifique los requerimientos de calibración de los equipos de medición involucrados, seleccionando patrones, métodos y procedimientos y estableciendo la frecuencia para llevar a cabo dicha calibración.
- c. Se considere la conveniencia de fijar límites de tolerancia más amplios.
- d. Se considere la conveniencia de realizar un proceso más preciso.

En el segundo caso se recomienda que:

- a. Se integre un equipo de mejoramiento de la calidad que tenga como una de sus responsabilidades más importantes establecer y dar seguimiento a cuestiones operativas, estratégicas y de calidad, con el fin de asegurar la mayor congruencia entre todas ellas.
- b. Se establezca un programa educativo con el objeto de concientizar a todo el personal respecto a la naturaleza, alcances, objetivos, metodología de análisis y aspectos técnicos del CEP.
- c. Se busque la comunicación entre los diferentes departamentos de la empresa, a través de un programa de desarrollo humano.

Sin lugar a dudas, el proceso de planeación estratégica es uno de los elementos fundamentales que podrán explicar el avance de la empresa.

Planear y replanear, revisando escenarios, precisando la definición de objetivos y valorando los avances, permitirá congruencia en las acciones y alentará un proceso de

evolución y aprendizaje del personal, que significará la consistencia en los esfuerzos desarrollados.

Se debe estar conscientes de que el alcance de los objetivos estratégicos no se hace mediante acción instantánea y, aun estando bien planteadas las acciones iniciales para alcanzarlos, habrá muchos factores internos y externos que obligarán a revisarlas, a riesgo de equivocarse.

La planeación es una acción constante, un proceso que nunca termina, cuya aplicación demanda un tenaz esfuerzo.

Planear es, efectivamente, establecer retos que alcanzar y caminos que recorrer.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

CONCLUSIONES

Como resultado de la aplicación de la metodología estadística conocida como Control Estadístico de Procesos, o CEP, al proceso de producción de una empresa transformadora de papel, punto focal de la presente investigación, se ha llegado a conclusiones que coinciden con la hipótesis formulada, en el sentido de que la implantación del CEP permite identificar la naturaleza, alcance y causas de la variación, con lo cual se promueve una mejora sustancial, no sólo de las variables analizadas, es decir, la blancura, el brillo, la humedad, el peso base y el calibre, sino de todo el proceso, asegurando que el producto que se entrega es de la calidad establecida.

Por lo anterior, el CEP, lejos de ser una moda a seguir, se ha vuelto hoy un imperativo en toda empresa que busca una mejora en su proceso productivo.

La posibilidad de apoyar a esta metodología con un programa o software de fácil manejo, como lo es el Minitab, permite aminorar la carga del trabajo, haciéndolo más ágil y dinámico, a la vez que deja de ser tarea exclusiva de expertos en cálculos estadísticos para volverse herramienta de uso en línea por el personal operativo.

Sin embargo, estas reflexiones no pueden ser absolutas ni mucho menos tener carácter finalista: en esta época de constantes cambios e inestabilidad, la principal preocupación, para los directivos de cualquier organización, es el garantizar la permanencia de la misma en el futuro.

Actuar estratégicamente para este fin implica enfrentar riesgos, incertidumbre, cambio, contingencia, complejidad, conflicto. Además, implica aceptar la idea de que no existe una forma de organizar que sea la mejor. El cálculo y la estimación son parte de la estrategia, pero no son la estrategia en sí.

En el caso específico de la empresa transformadora de papel, la aplicación de la metodología estadística reveló ciertas anomalías en el proceso de producción. Éstas pueden

ser corregidas siempre y cuando exista, por parte de la empresa misma, la idea que se necesita mucho más que cálculos o gráficas para alcanzar los niveles competitivos que la actualidad demanda.

La práctica de nuevos modelos de gestión empresarial y organizacional es un factor determinante para llevar a cabo la reforma económica que México demanda de forma eficaz y eficiente; además, es importante para suplir viejas prácticas productivas y dejar atrás la noción de la empresa como productora de bienes y servicios al límite de la calidad, para dar lugar a otra con capacidad emprendedora y generadora de productos de máxima calidad.

En este contexto, destaca el papel del gobierno que, en cuestión de calidad, lejos que el simple ofrecimiento de premios, debe fomentar la relación escuela-industria, aún muy incipiente en nuestro país, o producida en forma esporádica y superficial, creando conciencia sobre su importancia y orientando el proceso de mejora continua hacia la innovación.

Se requiere entonces de un balance armónico que conjugue y se sustente en los intereses de todos los involucrados con la organización y con el país. La calidad es tarea de todos, pero puede volverse tarea de nadie, si no existe una organización administrativa que formule ideas congruentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amsted, R.T. & Butler, H.E. "Control Estadístico de Procesos Simplificado, Pasos Prácticos hacia la Calidad", Panorama, México 1993.
2. Casey, J.P. "Pulpa y papel, química y tecnología química", Vol.3, Noriega-Limusa, México 1991.
3. Charbonneau, H.C. "Control de Calidad", McGraw-Hill, México 1989.
4. Deming, W.E. "Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control" Dover, New York 1986.
5. Duncan, A.J. "Control de Calidad y Estadística Industrial", Alfaomega, México 1989.
6. Evans J.R. & Lindsay, W.M. "La Administración y el Control de la Calidad" International Thomson, México 2000.
7. Feigenbaum, A.V. "Control Total de la Calidad" CECSA, México 1995.
8. Flores Benitez, F. "Probabilidad y Estadística" ESQUIE, IPN.
9. Ford Motor Co. "Control Continuo del Proceso y Mejoras a la Habilidad del Proceso", ITESM, 1984.
10. González, C. "Calidad Total", McGraw-Hill, México 1996.
11. Grant, E.L. & Leavenworth, R.S. "Control Estadístico de la Calidad" CECSA, México 1994.
12. Hayes & Roming "Modern Quality Control" Bruce Inc, USA 1977.

13. Hines, W.W. & Montgomery, D. "Probabilidad y estadística para ingeniería", Continental, México 1999.
14. Ishikawa, K. "¿Qué es el Control Total de la Calidad?", Norma, Colombia 1985
15. Juran, J.M. & Gryna, F.M. "Manual de Control de Calidad, Vol. I y Vol. II", McGraw-Hill, España 1997.
16. Kume, H. "Herramientas estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad" Norma, Argentina 1992.
17. Maseda Pola, A. "Aplicación de la Estadística al Control de Calidad", Marcombo, España 1993.
18. Mayén González, J. "Control Estadístico del Proceso" UAM Azcapotzalco, México 1997.
19. Mireles Viveros & Revilla Vázquez "Elaboración de una Herramienta para la Implantación de un Control Estadístico de Procesos empleando Gráficas de Control", FES-Cuautitlán, Edo. Méx. 1994.
20. Mitra, A. "Fundamental of Quality Control and Improvement", Prentice hall, USA 1998.
21. Mittag & Rinne "Statistical Methods of Quality Assurance", Chapman & Hall, USA 1993.
22. Montógomery, D.C. "Control Estadístico de la Calidad", Iberoamérica, México 1991
23. Olivera Salazar & Zuñiga Barrera "Serie de probabilidad y estadística", IMPOS, México 1977.
24. Pérez, C. "Control estadístico de la Calidad. Teoría, práctica y aplicaciones informáticas" Alfarema Ra-ma, México 1999.

25. Pond, R. J. "*Fundamentals of Statistical Quality Control*", MacMillan College Publishing Co., USA 1994
26. Proyecto de Norma PROY-NMX-CC-10017-IMNC-2000 (ISO/TR 10017:1994)
27. Wetherill, G.B. & Brown, D.W. "*Statistical Process Control, theory and practice* " Chapman and Hall, Great Britain 1991.

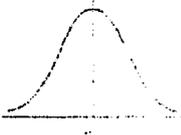
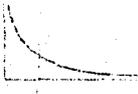
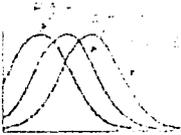
PAGINAS DE INTERNET

1. <http://www.pochteca.com.mx/boletines.html>
2. <http://www.calidad.com.ar>
3. <http://www.thequalitytimes.com>
4. <http://www.tamayo.mty.itesm.mx/6sigma>
5. http://www.216.74.78.80/hispacal_index.php
6. <http://biwe.es>
7. <http://www.unicej.it>
8. <http://www.iso.ch/iso/en/isoonline.openerpage>

**APÉNDICE A.
DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.**

Una distribución de probabilidades representa un modelo teórico de la frecuencia relativa de una variable aleatoria. Al relacionar las distribuciones de probabilidad con las variables aleatorias que representan, permite clasificar las distribuciones como discretas o continuas.

Las distribuciones de uso más frecuente en el control estadístico de la calidad son la distribución binomial, la distribución de Poisson, la distribución normal y la distribución exponencial.

Distribución	Forma	Función de probabilidad	Comentarios sobre su aplicación
Normal		$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	Aplicable cuando una concentración de observaciones cae cerca de la media, y cuando las observaciones tienen una misma probabilidad de ocurrir por arriba y por abajo de la media. Las variaciones en observaciones son por lo general resultado de causas muy pequeñas.
Exponencial		$f(x) = 1 - e^{-\lambda x}$	Aplicable cuando lo más probable es que ocurran más observaciones por abajo de la media que por arriba.
Poisson		$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$	Lo mismo que en el caso binomial, pero particularmente de aplicación cuando son posibles muchas oportunidades de ocurrencia de un evento o suceso, pero en cada ensayo con una baja probabilidad (inferior a 0.10).
Binomial		$f(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x (1-p)^{n-x}$	Aplicable al definir la probabilidad de x ocurrencias en n ensayos de un evento, con una probabilidad constante de ocurrencia en cada ensayo, de manera independiente.

Fuente: James R. Evans y W.M. Lindsay "La Administración y el Control de la Calidad", Thomson Editores, México 1999. Pág. 645.

APÉNDICE B.
FACTORES PARA CALCULAR LOS LÍMITES DE CONTROL

APÉNDICE B.
FACTORES PARA CALCULAR LOS LÍMITES DE CONTROL

Observaciones en la muestra n	Gráfica para medias			Gráfica para desviaciones estándar								Gráfica de rangos					
	Factores para los límites de control			Factores para la línea central		Factores para los límites de control				Factores para la línea central		Factores para los límites de control					
	A	A ₁	A ₂	C ₁	C ₂	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	d ₁	d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	
2	1.210	1.800	2.666	0.7978	1.7533	0.0000	3.2670	0.0000	2.0000	1.1290	0.8085	0.8330	0.0000	3.6860	0.0000	3.2570	
3	1.7320	1.0250	1.9940	0.8962	1.1294	0.0000	2.5690	0.0000	2.2760	1.6930	0.5607	0.8900	0.0000	4.3640	0.0000	2.5740	
4	1.5000	0.7200	1.8780	0.9213	1.0854	0.0000	2.2060	0.0000	2.0080	2.0660	0.4857	0.8900	0.0000	4.8660	0.0000	2.2620	
5	1.3420	0.5770	1.4270	0.9400	1.0339	0.0000	2.0990	0.0000	1.9940	2.3260	0.4299	0.8640	0.0000	4.9180	0.0000	2.1140	
6	1.2240	0.4830	1.2870	0.9515	1.0010	0.0000	1.9700	0.0000	1.8740	2.5340	0.3848	0.8480	0.0000	5.0780	0.0000	2.0040	
7	1.1340	0.4190	1.1820	0.9594	1.0423	0.1180	1.8920	0.1130	1.8090	2.7040	0.3698	0.8330	0.2040	5.2040	0.0760	1.9240	
8	1.0610	0.3730	1.0960	0.9650	1.0363	0.1050	1.8150	0.1790	1.7510	2.8470	0.3612	0.8200	0.3980	5.3090	0.1390	1.8640	
9	1.0030	0.3370	1.0230	0.9693	1.0317	0.2380	1.7610	0.2330	1.7010	2.9100	0.3567	0.8060	0.5470	5.3930	0.1840	1.8160	
10	0.9490	0.3060	0.9750	0.9727	1.0281	0.2640	1.7160	0.2760	1.6480	3.0180	0.3248	0.7970	0.6970	5.4680	0.2230	1.7770	
11	0.8960	0.2800	0.9270	0.9754	1.0252	0.3210	1.6790	0.3130	1.6370	3.1330	0.3152	0.7870	0.8110	5.5250	0.2660	1.7000	
12	0.8440	0.2580	0.8800	0.9776	1.0228	0.3400	1.6460	0.3460	1.6100	3.2580	0.3069	0.7780	0.9220	5.5840	0.2830	1.7170	
13	0.8320	0.2490	0.8500	0.9784	1.0210	0.3600	1.6190	0.3740	1.5850	3.3990	0.2968	0.7700	1.0250	5.6470	0.3070	1.6920	
14	0.8020	0.2340	0.8170	0.9791	1.0194	0.4060	1.5840	0.3660	1.5630	3.4070	0.2935	0.7630	1.1180	5.6990	0.3290	1.6720	
15	0.7790	0.2210	0.7860	0.9801	1.0180	0.4280	1.5720	0.4210	1.5440	3.4720	0.2880	0.7560	1.2030	5.7470	0.3470	1.6530	
16	0.7540	0.2120	0.7630	0.9810	1.0169	0.4480	1.5620	0.4400	1.5260	3.5320	0.2831	0.7500	1.2820	5.7820	0.3630	1.6370	
17	0.7380	0.2040	0.7380	0.9821	1.0157	0.4640	1.5540	0.4580	1.5110	3.5880	0.2787	0.7440	1.3560	5.8200	0.3780	1.6220	
18	0.7070	0.1940	0.7180	0.9834	1.0146	0.4820	1.5180	0.4750	1.4960	3.6500	0.2747	0.7360	1.4240	5.8560	0.3810	1.6090	
19	0.6980	0.1870	0.6980	0.9841	1.0140	0.4970	1.5030	0.4900	1.4830	3.6880	0.2711	0.7300	1.4870	5.8910	0.4030	1.5970	
20	0.6710	0.1800	0.6800	0.9860	1.0132	0.5100	1.4800	0.5040	1.4700	3.7350	0.2677	0.7290	1.5490	5.9210	0.4150	1.5850	
21	0.6590	0.1730	0.6930	0.9876	1.0126	0.5230	1.4770	0.5180	1.4580	3.7780	0.2647	0.7240	1.6060	5.9610	0.4250	1.5750	
22	0.6400	0.1670	0.6470	0.9882	1.0118	0.5340	1.4690	0.5260	1.4480	3.8190	0.2618	0.7200	1.6590	5.9740	0.4340	1.5660	
23	0.6240	0.1620	0.6330	0.9887	1.0114	0.5450	1.4660	0.5380	1.4380	3.8580	0.2592	0.7160	1.7100	6.0090	0.4430	1.5570	
24	0.6120	0.1570	0.6190	0.9892	1.0109	0.5560	1.4450	0.5490	1.4290	3.8960	0.2567	0.7120	1.7590	6.0310	0.4510	1.5480	
25	0.6000	0.1560	0.6000	0.9896	1.0105	0.5650	1.4350	0.5560	1.4200	3.9310	0.2544	0.7080	1.8090	6.0500	0.4590	1.5410	