

01167



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**TESIS**  
**DISEÑO ECONOMICO DE DIAGRAMAS DE SHEWHART**

**PRESENTADA POR:**  
**ROBERTO RIVERA SALGADO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN INGENIERIA**  
**(PLANEACION)**

**DIRIGIDA POR:**  
**M. en I. OCTAVIO ESTRADA CASTILLO**

**Ciudad Universitaria, octubre de 1997.**

**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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

*Agradezco de todo corazón:*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme enseñado el espíritu universitario.*

*A mi familia, profesores, amigos y a todos aquellos que de una u otra manera participaron en mi desarrollo, no sólo profesional sino también personal.*

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>4</b>
1.1 CONTROL DE CALIDAD.....	4
1.2 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS (CEP).....	7
1.2.1 <i>Diagramas de control estadístico de procesos (DCEP)</i> .....	7
1.2.2 <i>Capacidad del proceso</i> .....	12
<b>2. EXPLORACIÓN PRECISA.....</b>	<b>15</b>
2.1 DIAGRAMA DE CONTROL DE SHEWHART.....	15
2.1.1 <i>Fundamentación estadística de los Diagramas de Control</i> .....	16
2.1.2 <i>Construcción del Diagrama <math>\bar{X}</math>-R</i> .....	19
2.2 DISEÑO ECONOMICO DE LOS DIAGRAMAS DE SHEWHART.....	23
2.2.1 <i>Deficiencias</i> .....	23
2.2.2 <i>Consideraciones del proceso</i> .....	24
2.2.3 <i>Parámetros de Costos</i> .....	24
2.2.4 <i>Modelos Económicos para Diagramas de Control <math>\bar{X}</math>-R</i> .....	25
<b>3. DESARROLLO.....</b>	<b>28</b>
3.1 MODELO PROPUESTO.....	28
3.2 PROGRAMA DE CÓMPUTO.....	32
3.2.1 <i>Menús</i> .....	33
3.2.2 <i>Datos de entrada</i> .....	34
3.2.3 <i>Datos de salida</i> .....	34
3.2.4 <i>Valuación de parámetros</i> .....	35
3.3 PASOS A SEGUIR PARA LA IMPLANTACION DE LOS DIAGRAMAS DE SHEWHART.....	35
3.3.1 <i>Preliminares</i> .....	36
3.3.2 <i>Preparación de los Diagramas de Control</i> .....	37
3.3.3 <i>Construcción del diagrama de control</i> .....	39
3.3.4 <i>Interpretación de los Diagramas</i> .....	40
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>44</b>
<b>APÉNDICE A.....</b>	<b>45</b>
<b>APÉNDICE B.....</b>	<b>46</b>
<b>APÉNDICE C.....</b>	<b>47</b>
<b>APÉNDICE D.....</b>	<b>48</b>
<b>APÉNDICE E.....</b>	<b>49</b>

## Introducción

Los diagramas de control de Shewhart son herramientas gráficas importantes para establecer y mantener el control estadístico de un proceso. Para su implantación se han elaborado varios métodos, los cuales se basan en tomar mediciones, de muestras periódicas, de cierta característica de calidad del proceso, para el cálculo de estadísticos que sirven como estimadores del desempeño del proceso. Muy pocos de estos métodos han tomado en cuenta factores de costos en el diseño de sus parámetros.

Para elaborar los diagramas, cuatro parámetros de diseño deben ser especificados: tamaño de muestra  $n$ , frecuencia de muestreo  $h$  y los valores de  $K_1$  y  $K_2$  para el cálculo de los límites de control.

Tradicionalmente, los diagramas de control se han diseñado basándose sólo en criterios estadísticos y heurísticos, dejando a un lado los costos que ello implica. Estos costos de muestreo y pruebas, de investigación y reparación o corrección de causas atribuibles y de producción de artículos disconformes tienen consecuencias económicas que influyen en los valores que toman los parámetros  $n$ ,  $h$ ,  $K_1$  y  $K_2$ .

Por lo anterior, es de gran importancia incorporar dichas consideraciones en el diseño de diagramas de control ya que en todas las empresas se trabaja con recursos limitados; por ello en esta tesis se pretende ilustrar como implantar diagramas de control, tomando en cuenta algunos costos de operación en que se incurre, a lo cual se denominará diseño económico-estadístico de diagramas de control.

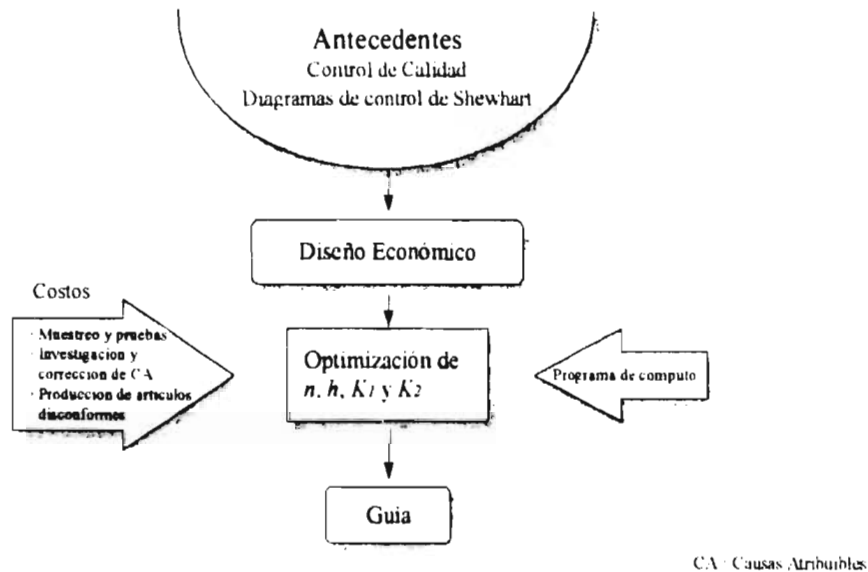
### Objetivo general

A partir de los modelos existentes de diseño de diagramas de control considerando factores económico-estadísticos, se seleccionará uno de ellos, se propondrá una serie de pasos para su implantación y se desarrollará un sistema de cómputo que calcule los parámetros para el trazo de un diagrama de control.

### Objetivos específicos

- Describir deficiencias en el diseño de los Diagramas de Shewhart.
- Diseñar Diagramas de Shewhart tomando en cuenta algunos costos de operación del proceso de control.
- Definir estrategias para la implantación de Diagramas de Shewhart considerando algunos costos de operación.
- Elaborar un programa de cómputo para el cálculo de los límites de control, tomando en cuenta algunos costos de operación del proceso de control.

El esquema siguiente muestra el desarrollo del presente trabajo :



El diseño económico de diagramas de control está enmarcado por el control de calidad, por lo que primeramente se hace una breve descripción de éste y demás subtemas como los diagramas de control estadístico y en particular los de Shewhart.

Se elaboró un programa de computo en Visual Basic para optimizar los parámetros  $n$ ,  $h$ ,  $K_1$  y  $K_2$ . Como datos de entrada utiliza los factores de costos, tiempos de búsqueda y criterios estadísticos para determinar causas atribuibles.

Finalmente, se presenta una guía de los pasos necesarios para implantar un diagrama de control  $\bar{x}$ - $R$  diseñado económicamente.

## 1. Marco Conceptual.

### 1.1 Control de calidad

El término control se refiere, en pocas palabras, al proceso sistemático y estructurado empleado para establecer y cumplir estándares. Para ello se compara el desempeño real con el estándar fijado y se observa si la diferencia es significativa<sup>1</sup>.

En esta tesis se entiende como proceso a la combinación única de máquinas, herramientas, métodos, materiales y personas que logran una producción de bienes o servicios para satisfacer las necesidades de la sociedad. Un cambio en cualquiera de sus componentes constituye un nuevo proceso<sup>2</sup>.

Los procesos a los que se refiere este trabajo, se enfocan principalmente a los de manufactura, sin embargo, es aplicable a procesos de servicio puro, como pueden ser los que ofrece un banco.

El proceso de control tiene la naturaleza de un ciclo de retroalimentación<sup>3</sup> (ilustración 1-1). El control incluye la siguiente secuencia universal de pasos<sup>4</sup>:

1. Seleccionar el sujeto de control: esto es, escoger lo que se quiere regular.
2. Elegir una unidad de medida.
3. Establecer una meta para el sujeto de control.
4. Crear un sensor que pueda medir el sujeto de control en términos de la unidad de medida.
5. Medir el desempeño real.
6. Interpretar la diferencia entre el desempeño real y la meta.
7. Tomar medidas (si es necesario) sobre la diferencia.

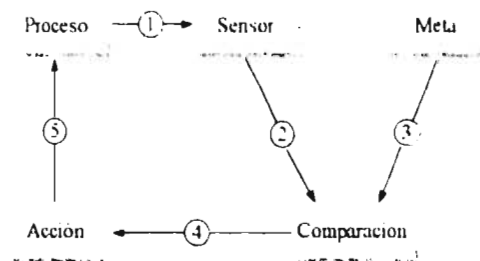


Ilustración 1-1<sup>5</sup>

<sup>1</sup> J.M. Juran y F.M. Gryna. *Análisis y Planeación de la Calidad*, p. 98

<sup>2</sup> J.M. Juran. *Quality Control Hand Book*, p. 23.1.

<sup>3</sup> J.M. Juran y F.M. Gryna, *ob. cit.*, pp. 98-99.

<sup>4</sup> *Idem*

<sup>5</sup> *Idem*



La palabra calidad tiene múltiples significados, algunas de las nociones que se tienen sobre este concepto se ilustran en el cuadro siguiente.

<b>Percepciones Sobre el Concepto de Calidad</b>	
NO ES:	ES:
-Un programa	-Una forma de vida
-Un lujo	-Una necesidad y un arma para competir
-Un ejercicio para evitar gastos	-Una inversión para lograr mayores beneficios
-Una actividad extra	-Una manera de llevar a cabo las actividades correctamente y en forma continua
-Un problema de manufactura y/o del área de calidad	-Una responsabilidad personal de todos
-Un ejercicio de recorte de costos	-Una forma de incrementar utilidades, satisfacción del cliente y satisfacción por el trabajo
-Un conjunto de reglas y regulaciones de arriba a abajo	-Un sistema de convencimientos que impulsa mejoras
-Una condena por hacer mal las cosas	-Un sistema que impulsa la mejora continua
-Una gran cantidad de propaganda	-Una serie de ideas y acciones que proporcionan beneficios tangibles a todos los actores
-Una forma de arreglar las cosas rápidamente	-Una forma de arreglar las cosas de tal forma que los errores no se repitan
-Un enfoque: nosotros ganamos, ellos pierden	-Un enfoque de todos ganamos
-Una cosa intangible	-Una cosa medible
-Una manera de cumplir únicamente las especificaciones	-Una manera de cumplir las expectativas del cliente
-Una manera de admitir siempre los mismos niveles de error porque errar es de humanos	-Una reducción sostenida de los niveles de error
-Un enfoque de encontrar y corregir errores	-Un enfoque de prevención de errores

**Ilustración 1-2**

A continuación se presentan algunas de las principales definiciones sobre calidad<sup>6</sup>.

**Calidad, consiste en definir aquellas características del producto basadas en las necesidades de los clientes para lograr su satisfacción<sup>7</sup>.**

Calidad es sinónimo de Adecuación para el Uso.

Calidad es anticipar. Identificar y Satisfacer las necesidades de los Clientes internos y externos en forma continua

**Calidad, consiste en la carencia de deficiencias.**

Este concepto se enfoca principalmente a los costos al reducir desperdicios, retrabajos, quejas y otras consecuencias de tener deficiencias. Las “deficiencias” pueden tener diferentes unidades: errores, defectos, fallas, fuera de especificaciones, etc. Al reducir las deficiencias se incrementa la satisfacción del cliente.<sup>8</sup>

Las características de calidad son el bloque básico sobre el cual son construidas las propiedades de la calidad de un producto. Para Juran, dichas características representan todo aquel conjunto de rasgos, propiedades, atributos o parámetros de los productos, materiales o procesos, que son necesarios para alcanzar la adecuación para el uso. Estas características, según Juran pueden ser clasificadas de la siguiente forma:

- Tecnológicas. Dureza, inductancia, grado de acidez, etc.
- Psicológicas. Aficiones, belleza, estatus, etc.
- Orientadas en el tiempo. Confiabilidad, mantenimiento, etc.
- Éticas. Cortesía, Prontitud, etc.
- Contractuales. Estipulaciones de Garantía, por ejemplo

Para el caso de productos (físicos y tangibles) las características de calidad que resaltan son las tecnológicas. Las características de calidad en la industria del servicio son dominadas por lo psicológico y lo ético.

El concepto de características de calidad es muy viejo para la especie humana, pues a lo largo de su existencia los ha usado con distintas orientaciones. Por ejemplo las características tecnológicas (principalmente propiedades de los materiales) comenzaron a ser usadas hace varios cientos de años y aun más con la creciente aceleración de la instrumentación.

---

<sup>6</sup> Ibidem, p. 2.2.

<sup>7</sup> J.M. Juran, ob. cit., pp. 2-3.

<sup>8</sup> J.M. Juran y F.M. Gryna, ob. cit., pp. 4-5.

## 1.2 Control Estadístico de Procesos (CEP)

El CEP es una rama del control de calidad y se define como “la aplicación de los métodos estadísticos a la medición y análisis de la variación en cualquier proceso”

### 1.2.1 Diagramas de control estadístico de procesos (DCEP)

Un DCEP es una comparación gráfica de los datos de desempeño del proceso con los límites de control estadístico calculados, dibujados como líneas rectas limitantes sobre la gráfica. Los datos generalmente se constituyen en grupos de mediciones provenientes de la secuencia normal de producción y preservan el orden de los datos. La línea central es el promedio total de los grupos.

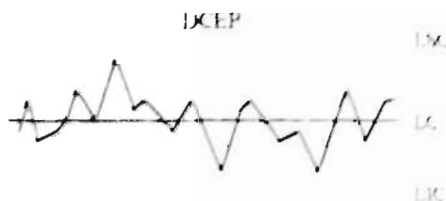


Ilustración 1-3

El objetivo principal de los DCEP es el detectar las causas especiales (o atribuibles) de la variación de un proceso.

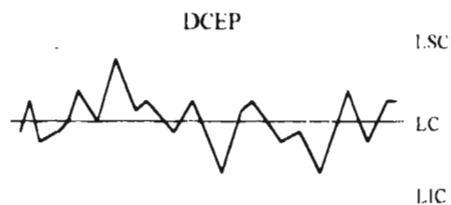
Entender el concepto de causas especiales es esencial para el entendimiento de los diagramas de control, por ello a continuación se muestra una tabla que establece la distinción entre causas aleatorias y causas atribuibles.

## 1.2 Control Estadístico de Procesos (CEP)

El CEP es una rama del control de calidad y se define como “la aplicación de los métodos estadísticos a la medición y análisis de la variación en cualquier proceso”<sup>9</sup>.

### 1.2.1 Diagramas de control estadístico de procesos (DCEP)

Un DCEP es una comparación gráfica de los datos de desempeño del proceso con los límites de control estadístico calculados, dibujados como líneas rectas limitantes sobre la gráfica. Los datos generalmente se constituyen en grupos de mediciones provenientes de la secuencia normal de producción y preservan el orden de los datos. La línea central es el promedio total de los grupos.



**Ilustración 1-3**

El objetivo principal de los DECP es el detectar las causas especiales (o atribuibles) de la variación de un proceso.

Entender el concepto de causas especiales es esencial para el entendimiento de los diagramas de control, por ello a continuación se muestra una tabla que establece la distinción entre causas aleatorias y causas atribuibles.

---

<sup>9</sup> Ibidem. p. 377.

<b>Distinción entre causas de variación aleatorias y atribuibles<sup>10</sup></b>	
<i>Causas aleatorias (comunes)</i>	<i>Causas especiales (atribuibles)</i>
<b>Descripción</b>	
Consiste en muchas causas individuales	Consiste en una o algunas causas individuales
Cualquier causa aleatoria resulta en una cantidad de variación minúscula (pero muchas causas aleatorias actúan juntas para dar una variación sustancial)	Una sola causa atribuible puede resultar en una variación grande
Los ejemplos incluyen la variación humana al preparar los controles de la máquina; una pequeña vibración en las máquinas; pequeñas variaciones en la materia prima	Los ejemplos incluyen errores del operador, una mala preparación o un lote de materia prima defectuosa
<b>Interpretación</b>	
No es económico eliminar la variación aleatoria del proceso	La variación asignable puede ser detectada, la acción para eliminar las causas casi siempre tiene una justificación económica
Una observación dentro de los límites de control de una variación aleatoria significa que el proceso no debe de ajustarse	Una observación fuera de los límites de control significa que el proceso debe investigarse y corregirse
Cuando sólo hay variación aleatoria, el proceso es suficientemente estable para usar procedimientos de muestreo para predecir la calidad de la producción total o realizar estudios de optimización del proceso	Con una variación atribuible presente, el proceso no es suficientemente estable para utilizar los procedimientos de muestreo para pronósticos

**Tabla 1**

Todos los procesos productivos, de cualquier tipo, presentan variación (esto se debe a que en la naturaleza, desde un punto de vista microscópico, nada es determinístico, en cualquiera de los factores que intervienen aparecen fenómenos aleatorios); dicha variación se debe a causas comunes y a causas especiales. Idealmente solo deben estar presentes las causas comunes en un proceso; cuando esto sucede se establece que este estado representa un proceso estable y predecible con un mínimo de variación. Cuando un proceso opera en estas condiciones, se dice que se encuentra “en estado de control estadístico”. La gráfica para este proceso contiene a todos los puntos dentro de los límites de control estadístico. El objetivo de un DCEP no es lograr el estado de control estadístico como un fin, sino el reducir la variación, esto se traduce en que con el tiempo, al recalcular los límites periódicamente se debe reflejar en que dichos límites cada vez son más estrechos.

Un diagrama de control puede verse en forma análoga a las líneas que acotan un carril en una carretera muy transitada; mientras un vehículo circule dentro de dichos límites, se puede pensar que se conduce bajo control y por lo tanto dicho vehículo debe continuar, en cambio, si el automóvil va invadiendo otro carril, a su derecha o a su izquierda, entonces se dice que se conduce fuera de control y debe parar para no tener un accidente.

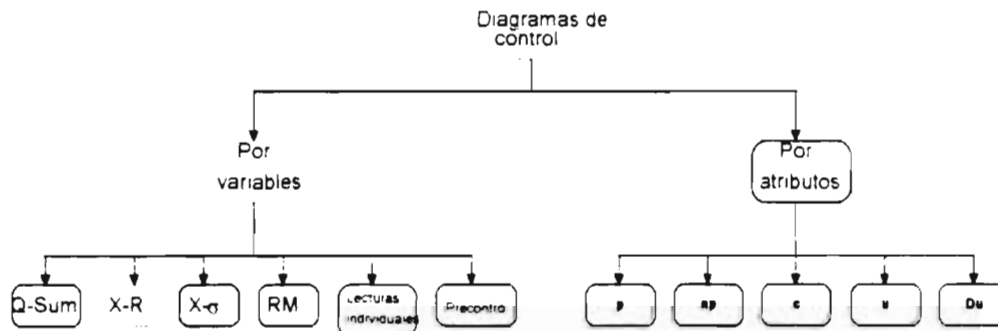
<sup>10</sup> *Ibidem*, p. 110.

En la ilustración 1-4 se muestra un ejemplo de como algunos factores generan las causas que dan lugar a las variaciones observables en los procesos.



**Ilustración 1-4<sup>11</sup>**

Se puede dividir los diversos DCEP en la siguiente clasificación :



**Ilustración 1-5**

### 1.2.1.1 Escalas de Medición

Cualquier característica de calidad puede ser verificada utilizando una de las siguientes escalas

<sup>11</sup> Angel Pola M. **Aplicación de la estadística al Control de la Calidad** p. 16.

- Clasificatoria: Esta escala es aplicable para aquellas características que no pueden ser medidas en términos numéricos, sólo pueden ser clasificadas. Como ejemplos se pueden citar las placas de los carros, el tipo de sangre, el género, etc.
- Ordinal: En este tipo de escalas, los valores que toma la característica de interés pueden ser jerarquizados, pero sin saber a ciencia cierta la separación que existe entre cada uno de estos valores. Por ejemplo: el color de piel, se puede ordenar de más oscuro a más claro, pero sin saber que tanto más oscuro.
- Por intervalos: En este tipo de escalas si se pueden establecer mediciones propiamente dichas, es decir, ya se pueden clasificar y jerarquizar los distintos valores que toma la característica, además de que se puede establecer que tanta diferencia existe entre un valor y otro, aunque todavía no se tiene un valor fijo (el cero) a partir del cual establecer posiciones absolutas.
- Absoluta: Con este tipo de escalas cualquier característica de calidad puede ser medida, y cada uno de los valores que toma dicha característica puede ser clasificado, ordenado y saber la posición que guarda con respecto a un valor fijo denominado "cero".

#### 1.2.1.2 Diagramas de Control Por Variables

Cuando la característica de calidad a seleccionar puede ser medida en una escala por intervalos o absoluta se dice que es una variable y al diagrama que se utiliza para controlarla se le denomina diagrama de control por variables. Como ejemplos de características de calidad por variables se pueden citar: temperatura, presión, volumen, dureza, conductividad, etc

Algunos de los diagramas de control que se utilizan para controlar este tipo de características de calidad se citan a continuación:

**Q-Sum.** Diagrama de control de la suma acumulada. Diagrama cronológico de la suma acumulada de las desviaciones de una muestra estadística que se alejan de un valor de referencia. La gráfica Q-Sum se centra en los valores meta y no en el promedio real de los datos del proceso. Los límites de control no son paralelos, ni fijos; se presentan como una pantalla en forma de V y se mueve conforme se grafica cada punto. Cada punto contiene información de todos los datos anteriores. Este tipo de diagramas son útiles para detectar pequeñas variaciones.

$\bar{x}$ -**R.** Diagrama de medias y rangos. Se toman muestras del proceso y se calcula la media ( $\bar{x}$ ) y el rango ( $R$ ) para cada muestra. Se elaboran diagramas diferentes para  $\bar{x}$  y  $R$ , con sus respectivos límites de control. Este tipo de diagramas se explicará con más detalle en el capítulo 2.

$\bar{x} - \sigma$  Diagrama de medias y desviaciones. Es muy similar al anterior ( $\bar{x}$  y  $R$ ), la diferencia es que en lugar de graficar los valores  $R$ , se grafican las desviaciones estandar ( $\sigma$ ) de las muestras.

**RM. Rangos móviles.** Es un diagrama similar al de  $\bar{x}$  en el que el rango no es una línea continua, sino que se establece para cada muestra.

**Lecturas individuales.** Con frecuencia llamada gráfica de corrida. Es una representación de las observaciones individuales contra el tiempo. En el caso más sencillo se agregan los límites de especificación al diagrama, en otros, se utiliza  $\pm 3\sigma$ . Este diagrama no es tan sensible como el  $\bar{x}$  y debe de tenerse la certeza de que los datos tienen distribución normal.

**Pre-Control.** Es un diagrama de control usado para medir la aptitud de un proceso sin necesidad de calcular los límites de control, permitiendo al mismo tiempo, comparar contra las especificaciones. Para su construcción se dividen los límites de especificación en cuatro: los dos centrales la zona verde, los siguientes la zona amarilla y fuera de los límites, la zona roja. Para determinar la capacidad del proceso o para reasumir la producción, cinco unidades deberan caer en la zona verde (garantiza  $(C_{pk}=1.33^*)$ ; con muestras de dos unidades: continuar si una cae en zona verde y otra en zona amarilla o dos verdes; dos en zona amarilla o una en zona roja indicara detener el proceso.

### 1.2.1.3 Diagramas de Control Por Atributos

Cuando la característica de calidad a seleccionar no puede ser medida en terminos absolutos o por intervalos, solo puede ser clasificada, entonces se dice que es por atributos y para su control se utiliza un diagrama de control por atributos. Como ejemplos de características de calidad por atributos se pueden citar: apariencia de una pieza, sabor, belleza, etc.

Algunos de los diagramas de control que se utilizan para controlar este tipo de características de calidad se citan a continuación:

**p. Control de la fracción de defectuosos.** Se utiliza el diagrama  $p$  cuando se quiere controlar la fracción defectuosa. Para cada muestra se cuentan el número de elementos defectuosos y se divide entre el tamaño de la muestra. La línea central ( $\bar{p}$ ) es el promedio de todas las fracciones defectuosas y los límites de control

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

\* Se explica con detalle en la sección 1.2.2



$\bar{x}-\sigma$  Diagrama de medias y desviaciones. Es muy similar al anterior ( $\bar{x}$  y  $R$ ), la diferencia es que en lugar de graficar los valores  $R$ , se grafican las desviaciones estandarizadas ( $\sigma$ ) de las muestras.

**RM. Rangos móviles.** Es un diagrama similar al de  $\bar{x}$  en el que el rango no es una línea continua, sino que se establece para cada muestra.

**Lecturas individuales.** Con frecuencia llamada gráfica de corrida. Es una representación de las observaciones individuales contra el tiempo. En el caso más sencillo se agregan los límites de especificación al diagrama, en otros, se utiliza  $\pm 3\sigma$ . Este diagrama no es tan sensible como el  $\bar{x}$  y debe de tenerse la certeza de que los datos tienen distribución normal.

**Pre-Control.** Es un diagrama de control usado para medir la aptitud de un proceso sin necesidad de calcular los límites de control, permitiendo al mismo tiempo, comparar contra las especificaciones. Para su construcción se dividen los límites de especificación en cuatro: los dos centrales la zona verde, los siguientes la zona amarilla y fuera de los límites, la zona roja. Para determinar la capacidad del proceso o para reasumir la producción, cinco unidades deberán caer en la zona verde (garantiza  $(p_k=1.33^*)$ ); con muestras de dos unidades: continuar si una cae en zona verde y otra en zona amarilla o dos verdes; dos en zona amarilla o una en zona roja indicará detener el proceso.

### 1.2.1.3 Diagramas de Control Por Atributos

Cuando la característica de calidad a seleccionar no puede ser medida en términos absolutos o por intervalos, sólo puede ser clasificada, entonces se dice que es por atributos y para su control se utiliza un diagrama de control por atributos. Como ejemplos de características de calidad por atributos se pueden citar: apariencia de una pieza, sabor, belleza, etc.

Algunos de los diagramas de control que se utilizan para controlar este tipo de características de calidad se citan a continuación:

***p.*** Control de la fracción de defectuosos. Se utiliza el diagrama  $p$  cuando se quiere controlar la fracción defectuosa. Para cada muestra se cuentan el número de elementos defectuosos y se divide entre el tamaño de la muestra. La línea central ( $\bar{p}$ ) es el promedio de todas las fracciones defectuosas y los límites de control:

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

---

\* Se explica con detalle en la sección 1.2.2

- np.** Control del número de defectuosos. En este diagrama se grafican el número de defectuosos por muestra ( $pn$ ), La línea central es  $\bar{p}n$  y los límites  $\bar{p}n \pm 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$ .
- c.** Número de defectos. En este diagrama se grafican el número de defectos por muestra, para obtener la línea central ( $\bar{c}$ ) se promedian los defectos entre el número de muestras. Los límites de control son  $\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$ .
- u.** Defectos por unidad. Los valores a graficarse  $u$  son el promedio de defectos por unidad ( $c/n$ ). La línea central es el promedio  $\bar{u}$  y los límites de control están dados por  $\bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ .

## 1.2.2 Capacidad del proceso

Es importante asegurarse que el proceso será capaz de mantener las tolerancias. Para ello, se ha desarrollado el concepto de capacidad del proceso, que proporciona una predicción cuantitativa de que tan adecuado es un proceso.

### 1.2.2.1 Usos<sup>12</sup>

- Predecir el grado de variabilidad que exhibirán los procesos. Esta información permite a los diseñadores el establecer límites de especificación realistas.
- Seleccionar, entre procesos que compiten, el proceso más adecuado para que las tolerancias se cumplan.
- Planear la interrelación de procesos secuenciales. Un proceso puede distorsionar la precisión del proceso siguiente.
- Proporcionar una base cuantitativa para establecer un programa de verificaciones del control periódico del proceso y reajustes.
- Asignarles a las máquinas los trabajos más adecuados para ellas.
- Probar teorías de causas de defectos durante los programas de mejoramiento de la calidad.
- Servir como base para la especificación de los requerimientos de calidad para las máquinas compradas.

### 1.2.2.2 Índice $C_p$

Para un proceso considerado como estable y sujeto sólo a causas comunes de variación, se considera que la amplitud de la variación, para la característica de calidad de interés, está dada por seis veces su desviación estándar, es decir,

$$\text{Amplitud del proceso} = 6\sigma$$

<sup>12</sup> Tomado de J.M. Juran y F. M. Gryna. ob. cit., pp 393-394.

Si el proceso está centrado en la especificación nominal y sigue una distribución normal, el 99.73% de la producción caerá en este rango

El conocer la capacidad del proceso nos permite compararla con los límites de especificación o tolerancia requerida. Para ello se utiliza el índice  $C_p^{13}$ :

$$C_p = \frac{\text{Tasa de capacidad} = (\text{Rango de especificación})}{\text{Amplitud del proceso}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

donde

$LSE =$  Limite superior de especificación.

$LIE =$  Limite inferior de especificación.

### 1.2.2.3 Índice $C_{pk}$

El  $C_p$  supone que el promedio del proceso es igual al punto medio de los límites de especificación, sin embargo esto no se cumple. Para ello es necesario contar con un índice que refleje ambas variaciones, Tal índice es el  $C_{pk}$  y se estima mediante<sup>14</sup>:

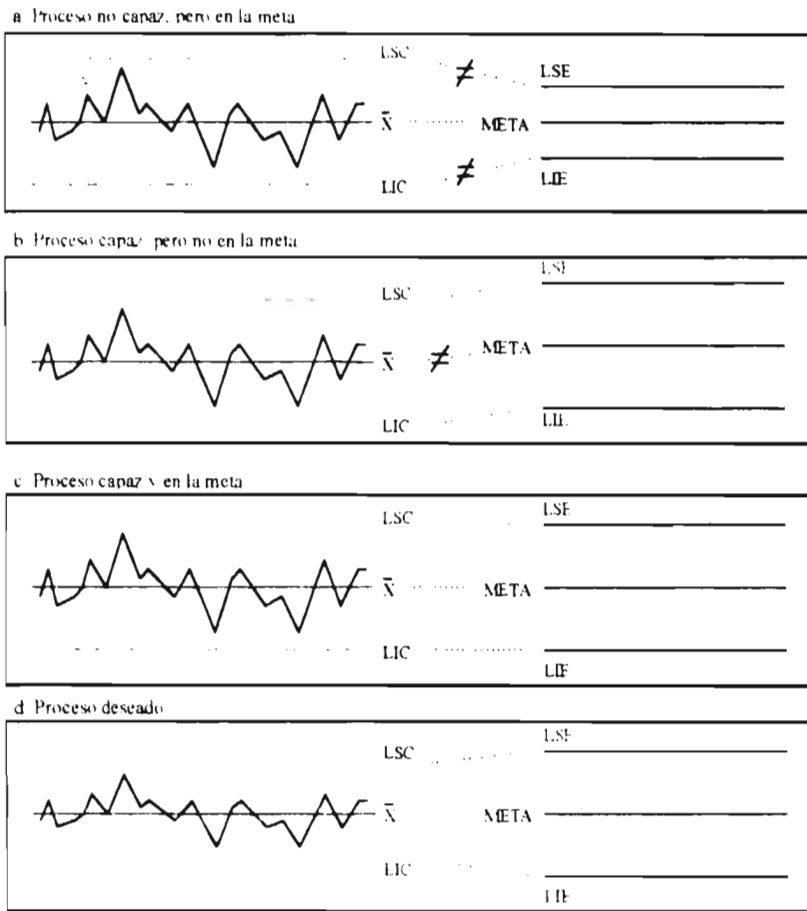
$$\hat{C}_{pk} = \min \left[ \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}}, \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}} \right]$$

$$\hat{\sigma}_1 = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{ó} \quad \hat{\sigma}_2 = \frac{\bar{S}}{C_4}$$

La capacidad del proceso se puede explicar gráficamente con la siguiente ilustración:

<sup>13</sup> Ver Ibidem. p. 398.

<sup>14</sup> Ibidem. p. 397.



**Ilustración 1-6**

De la ilustración anterior observamos que el  $C_p$  no distinguiría los casos b) y c). Por ello es útil el  $C_{pk}$ .

Por otro lado, es importante hacer notar que en el caso c),  $C_{pk} = 1$ , mientras que para a)  $C_{pk} < 1$  y para d)  $C_{pk} > 1$ .

Cuando el  $C_{pk} \geq 1.33$  se considera que el producto tiene muy buena calidad<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Kaoru Ishikawa. **Introduction to Quality Control**. p. 238.

## 2. Exploración Precisa.

### 2.1 Diagrama de Control de Shewhart

Los diagramas de control basados en mediciones de características de calidad, son con frecuencia más económicos que los basados en atributos. Los diagramas de control de variables más frecuentemente utilizados son los de promedio, o diagramas  $\bar{x}$ , y los de amplitud, o diagramas  $R$ . Cuando se realiza el control utilizando variables en lugar de atributos, habitualmente se hace bajo la forma de diagrama  $\bar{x}$  para controlar el promedio del proceso, y un diagrama  $R$  o uno  $\sigma$  para controlar la variabilidad general del proceso. Cuando ambos se utilizan conjuntamente darán un control razonablemente bueno de la totalidad del proceso.

	TIPO DE DIAGRAMA	
	Por variables	Por atributos
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra pequeña</li> <li>• Proporciona mayor información</li> <li>• Económico</li> <li>• Sencillo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad para registrar los atributos</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una sola característica de calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra grande</li> <li>• Poca información</li> <li>• Mayor costo</li> </ul>

Comparación de los diagramas por variables contra diagramas por atributos

Tabla 2

Por otro lado, el rango de la muestra es más fácil de calcular que la desviación estándar de la misma. "En muestras pequeñas de 10 o menos de la distribución normal es también casi tan eficiente como la desviación estándar de la muestra."<sup>16</sup> Otras diferencias entre diagramas  $\bar{x}-R$  y  $\bar{x}-s$  son mostrados en la Tabla 3

$\bar{x}-R$	$\bar{x}-s$
Detecta cambios súbitos	Detecta cambios graduales
Facilidad de cálculo	Complejidad de cálculo
	Se utiliza cuando $n$ es variable (Moen, Ronald D. p. 29)
	Si $n > 15$ (Grant Eugene L. p. 137.)
	Si $n > 10$ (QCHB p. 23-12)

Tabla 3

<sup>16</sup> Duncan Acheson J., **Control de Calidad y estadística Industrial**, p. 467.

Por estos motivos es que el presente trabajo se enfoca al uso de Diagramas  $\bar{x}$ -R

## 2.1.1 Fundamentación estadística de los Diagramas de Control

### 2.1.1.1 Distribución Normal

Si  $x$  es una variable aleatoria normal, entonces su distribución está dada por

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty$$

Los parámetros de la distribución son la media  $\mu$  ( $-\infty < \mu < \infty$ ) y la desviación estándar  $\sigma > 0$ . Por la frecuencia de uso de esta distribución se acostumbra usar la siguiente notación

$$x \sim N(\mu, \sigma^2)$$

### 2.1.1.2 Propiedad Reproductiva de la Distribución Normal

Sean  $x_1, x_2, \dots, x_n$  con " $n$ " variables aleatorias normales e independientes y

$$x_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$$

$$x_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$$

...

$$x_n \sim N(\mu_n, \sigma_n^2)$$

Entonces

$$y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$$

Tiene distribución normal

$$y \sim N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

con

$$\begin{aligned} \mu_y &= \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n \\ \sigma_y^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2 \end{aligned}$$

Por estos motivos es que el presente trabajo se enfoca al uso de Diagramas  $\bar{x}$ -R.

## 2.1.1 Fundamentación estadística de los Diagramas de Control

### 2.1.1.1 Distribución Normal

Si  $x$  es una variable aleatoria normal, entonces su distribución está dada por

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty$$

Los parámetros de la distribución son la media  $\mu$  ( $-\infty < \mu < \infty$ ) y la desviación estándar  $\sigma > 0$ . Por la frecuencia de uso de esta distribución se acostumbra usar la siguiente notación

$$x \sim N(\mu, \sigma^2)$$

### 2.1.1.2 Propiedad Reproductiva de la Distribución Normal

Sean  $x_1, x_2, \dots, x_n$  con “ $n$ ” variables aleatorias normales e independientes y

$$x_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$$

$$x_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$$

...

$$x_n \sim N(\mu_n, \sigma_n^2)$$

Entonces

$$y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$$

Tiene distribución normal

$$y \sim N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

con

$$\begin{aligned} \mu_y &= \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n \\ \sigma_y^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2 \end{aligned}$$

### 2.1.1.3 Teorema del Límite central<sup>17</sup>

Si se toma una variable aleatoria de tamaño  $n$  de una población cuyo promedio es  $\mu$  y su varianza es  $\sigma^2$ , entonces el promedio  $\bar{X}$  de la muestra tiene una distribución normal aproximada con promedio  $\mu$  y varianza  $\frac{\sigma^2}{n}$ . Es decir, la función de distribución de

$$\frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Es aproximadamente normal estándar. La aproximación mejora a medida que aumenta el tamaño de la muestra.

### 2.1.1.4 Límites de Control

A partir de la probabilidad de que la variable aleatoria normal  $x$  quede en los siguientes rangos

$$\begin{aligned} P(\mu_x - \sigma_x \leq x \leq \mu_x + \sigma_x) &= 0.6826 \\ P(\mu_x - 2\sigma_x \leq x \leq \mu_x + 2\sigma_x) &= 0.9546 \\ P(\mu_x - 3\sigma_x \leq x \leq \mu_x + 3\sigma_x) &= 0.9973 \end{aligned}$$

y de que  $\bar{x} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$ , entonces

$$P\left(\mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \bar{x} \leq \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 0.9973$$

Da que no se conocen los parámetros poblacionales  $\mu$  y  $\sigma$ , lo que se busca en la práctica es aproximar estos valores a través de los estimadores puntuales  $\hat{\mu}$  y  $\hat{\sigma}$ .

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} \text{ y } \hat{\sigma}_1 = \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ ó } \hat{\sigma}_2 = \frac{\bar{S}}{C_4}$$

para obtener los siguientes límites

$$\text{para } \bar{x} \quad \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{R}}{\sqrt{nd_2}} \leq \bar{x} \leq \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{R}}{\sqrt{nd_2}} \quad \text{ó} \quad \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{S}}{C_4\sqrt{n}} \leq \bar{x} \leq \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{S}}{C_4\sqrt{n}}$$

$$\text{para } R \quad D_3\bar{R} \leq R \leq D_4\bar{R}$$

<sup>17</sup> Scheaffert / McClave. **Probabilidad y Estadística para Ingeniería**. p232.



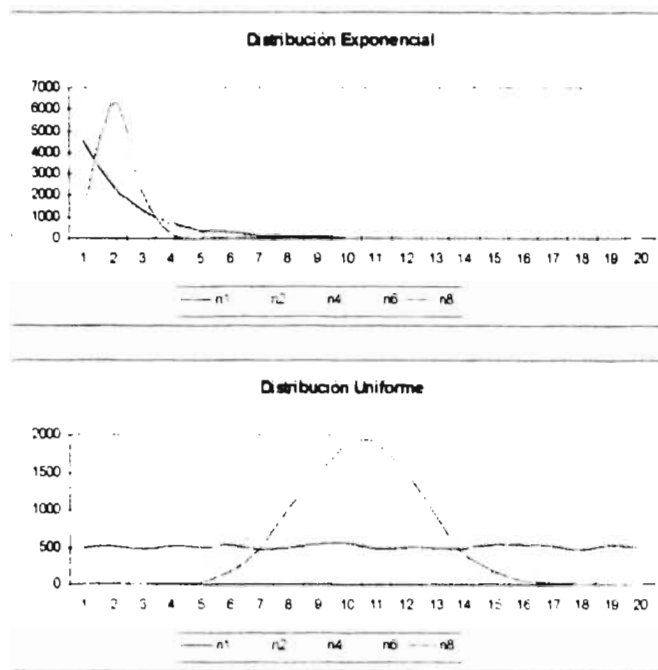
y para  $S$   $B_3 \bar{S}_x \leq S_x \leq B_4 \bar{S}_x$

Los valores  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $C_4$ ,  $d_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  se obtienen de la relación de la amplitud de una muestra proveniente de una distribución normal y la desviación estándar de dicha población. En la tabla del apéndice A, se dan valores para diferentes tamaños muestrales.

### 2.1.1.5 Tamaño de Subgrupo ( $n$ )

El subgrupo o muestra, son los elementos que se toman del grupo total a estudiar.

El tamaño de los subgrupos para que  $\bar{x}$  sea considerada con distribución normal, parte de criterios obtenidos de simulaciones como las siguientes :



**Ilustración 2-1**

Los gráficos anteriores se obtuvieron generando variables aleatorias con la distribución exponencial y uniforme. El tamaño de los grupos es de 10,000. Los primeros se modelaron con una distribución exponencial utilizando la expresión  $x_i = -\ln R_i$  y los segundos con distribución uniforme siendo  $x_i = R_i$ .

De lo anterior se observa que conforme aumenta el valor de  $n$ , la distribución tiende a ser normal tal y como se mencionó en la sección 2.1.1.3

### 2.1.2 Construcción del Diagrama $\bar{x}$ -R

Los siguientes son los pasos básicos para la construcción de diagramas de control para promedios y rangos muestrales<sup>18</sup>:

#### **Estratificación de los datos**

Deberán estratificarse la información a obtener acorde a factores tales como el tiempo de medición y el orden en el cual los lotes fueron producidos, y, si es posible, por proceso

#### **Organización de los datos en subgrupos racionales**

Estos subgrupos son conocidos como muestras. Al número de datos en cada muestra se le llama tamaño de la muestra y es denotado por la letra  $n$ . En la mayoría de los casos estos subgrupos son tomados por día, proceso, lote etc.

El tamaño de las muestras deberá ser uniforme, si en alguna muestra existe algún dato de más, deberá eliminarse aleatoriamente. El tamaño de la muestra a veces toma un valor de  $n$  de 6 hasta 10 en casos especiales, pero comúnmente son utilizados tamaños de muestra de 2 a 5<sup>(19)</sup>.

#### **Preparación de las hojas de datos (plantillas)**

Es conveniente el diseñar plantillas o formatos para el vaciado de los datos. En ellas se organizan los datos en subgrupos y los cálculos se realizan fácilmente. Tales plantillas deberán contener toda la información necesaria para la elaboración del diagrama

#### **Recolección de datos**

Es necesario recolectar al menos 100 datos recientes que proporcionen información importante desde el punto de vista del control. Los datos deberán ser recogidos bajo las mismas condiciones que las programadas a futuro. Si los datos son de 20 a 50 se puede realizar el diagrama (se deberá redibujar en cuanto se acumulen más datos), pero siempre deberán elegirse 100 o más de ser posible. La calidad de los datos recolectados es tan importante como la cantidad.

#### **Cálculo de los promedios de las muestras ( $\bar{x}$ )**

El promedio ( $\bar{x}$ ) para cada muestra es calculado como

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

#### **Cálculo de los rangos de las muestras ( $R$ )**

Para calcular el rango muestral se identifican, para cada muestra, el mayor y el menor valor y se restan

<sup>18</sup> Basados en Kaoru Ishikawa, ob. cit., pp 150-159

<sup>19</sup> Ibidem, p 151

## 2.1.2 Construcción del Diagrama $\bar{x}$ -R

Los siguientes son los pasos básicos para la construcción de diagramas de control para promedios y rangos muestrales<sup>18</sup>:

### Estratificación de los datos

Deberán estratificarse la información a obtener acorde a factores tales como el tiempo de medición y el orden en el cual los lotes fueron producidos, y, si es posible, por proceso.

### Organización de los datos en subgrupos racionales

Estos subgrupos son conocidos como muestras. Al número de datos en cada muestra se le llama tamaño de la muestra y es denotado por la letra  $n$ . En la mayoría de los casos estos subgrupos son tomados por día, proceso, lote etc.

El tamaño de las muestras deberá ser uniforme, si en alguna muestra existe algún dato de más, deberá eliminarse aleatoriamente. El tamaño de la muestra a veces toma un valor de  $n$  de 6 hasta 10 en casos especiales, pero comúnmente son utilizados tamaños de muestra de 2 a 5<sup>(19)</sup>.

### Preparación de las hojas de datos (plantillas)

Es conveniente el diseñar plantillas o formatos para el vaciado de los datos. En ellas se organizan los datos en subgrupos y los cálculos se realizan fácilmente. Tales plantillas deberán contener toda la información necesaria para la elaboración del diagrama.

### Recolección de datos

Es necesario recolectar al menos 100 datos recientes que proporcionen información importante desde el punto de vista del control. Los datos deberán ser recogidos bajo las mismas condiciones que las programadas a futuro. Si los datos son de 20 a 50 se puede realizar el diagrama (se deberá redibujar en cuanto se acumulen más datos), pero siempre deberán elegirse 100 o más de ser posible. La calidad de los datos recolectados es tan importante como la cantidad.

### Cálculo de los promedios de las muestras ( $\bar{x}$ )

El promedio ( $\bar{x}$ ) para cada muestra es calculado como

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

### Cálculo de los rangos de las muestras (R)

Para calcular el rango muestral se identifican, para cada muestra, el mayor y el menor valor y se restan.

<sup>18</sup> Basados en Kaoru Ishikawa. ob. cit., pp 150-159.

<sup>19</sup> Ibidem. p. 151.

$$R = x_{m,1} - x_{m,m}$$

### **Cálculo del promedio total ( $\bar{\bar{x}}$ )**

El promedio total ( $\bar{\bar{x}}$ ) es calculado a partir del promedio de los promedios muestrales ( $\bar{x}$ ).

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

donde  $m$  es el número de muestras tomadas.

### **Cálculo del promedio de los rangos muestrales ( $\bar{R}$ )**

El promedio de los rangos muestrales ( $\bar{R}$ ) es calculado a partir de todos los rangos muestrales

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

### **Cálculo de las líneas de control**

Los diagramas  $\bar{x}$ - $R$  requieren líneas de control, tanto para  $\bar{x}$  como para  $R$ . Cada diagrama de control tiene las siguientes tres líneas de control:

- Límite superior de control,  $LSC'$
- Línea central,  $LC'$
- Límite inferior de control,  $LIC'$

Las líneas de control son calculadas de la siguiente manera:

a) Líneas de control para  $\bar{x}$

- Línea central:  $LC' = \bar{\bar{x}}$
- Límite superior de control:  $LSC' = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$
- Límite inferior de control:  $LIC' = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$

$A_2$  es un coeficiente que depende del tamaño de la muestra. //

b) Líneas de control para el diagrama  $R$

- Línea central:  $LC = \bar{R}$
- Línea superior de control  $LSC = D_4 \bar{R}$
- Límite inferior de control  $LIC = D_3 \bar{R}$

$D_4$  y  $D_3$  son coeficientes que dependen de  $n$ .

Para información sobre los coeficientes, ver el apéndice A.

### **Elaboración de la plantilla para el diagrama de control**

Los diagramas de control son graficados sobre papel con divisiones horizontales de 2 a 5mm y verticales de 1 a 2mm. El diagrama  $\bar{x}$  deberá estar situado arriba del diagrama  $R$ ; con una altura de 15cm de separación entre ellos es suficiente. El papel deberá ser tan largo como el tiempo de registro lo requiera. Se deberán dejar espacios para realizar anotaciones. El papel deberá tener la mejor calidad posible, ya que el diagrama puede ser usado y guardado por largo tiempo.

### **Dibujar los límites de control**

El diagrama de control  $\bar{x}$  deberá colocarse arriba del diagrama  $R$ . Los números de subgrupos, van colocados en el eje horizontal de ambos diagramas.

Se acostumbra que la línea central sea continua — (azul) y para los límites de control discontinua ---- (rojas. Esto, con el fin de remarcar las líneas críticas de los límites) en cada tipo de diagrama.

### **Graficar los puntos**

El promedio  $\bar{x}$  y el rango  $R$  de cada muestra es graficado en su respectivo diagrama. Para ello es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

- Los puntos deberán ser graficados claramente. No deberán ser pequeños, más bien un poco gruesos.
- Es mejor utilizar diferentes símbolos para el diagrama  $\bar{x}$  y el  $R$ , por ejemplo puntos (•) para  $\bar{x}$  y cruces (×) para el  $R$ .
- Si se agrupan diversos datos por turno, máquina, equipo, etc. se les puede diferenciar mediante colores.
- Los puntos que salgan de los límites de control deberán señalarse por símbolos específicos tales como ⊕ y ⊗.
- Para puntos que se encuentren sobre la línea central podrán utilizarse símbolos tales como ◌, ◐ con el fin de indicar si está sobre o debajo de la línea.
- Cuando los puntos sean dibujados deberán unirse con una línea fina.

En general los puntos deberán ser claros y que permitan una comprensión fácil del diagrama.

### **Agregar información necesaria**

Colocar a la izquierda de cada diagrama sus respectivos símbolos ( $\bar{x}$  y  $R$ ), etiquetar las líneas (LSC, LIC y LC) y agregar otros datos importantes (características de calidad, unidades de medición, fecha, etc.)

### **Ejemplo**

El siguiente es un ejemplo de la elaboración de un diagrama mediante una plantilla.



## 2.2 Diseño Económico de los diagramas de Shewhart

### 2.2.1 Deficiencias

Para utilizar un diagrama de control es necesario seleccionar un tamaño muestral  $n$ , una frecuencia o intervalo de muestreo  $h$  y los límites de control para el diagrama a partir del valor de  $k$  (numero de desviaciones estándar arriba o debajo de la línea central). A la determinación de estos parámetros se llama regularmente Diseño del Diagrama de Control.

Habitualmente, los DC se han diseñado tomando en cuenta solo criterios estadísticos. De esta manera, se busca seleccionar el tamaño muestral y límites de control, que permitan detectar un cambio particular en la característica de calidad para que se mantenga en los valores especificados.

Diversos autores recomiendan diferentes tamaños de muestras: "Es suficiente utilizar muestras de tamaño 4 ó 5 para asegurar una solidez razonable con respecto a la suposición normal"<sup>20</sup>, "Subgrupos de 2-10 son utilizados, siendo más comunes subgrupos de 3-6"<sup>21</sup>, "El tamaño de subgrupo es de 4 a 5 y con 25 subgrupos"<sup>22</sup>. Cuando los criterios con los que se cuenta son principalmente estadísticos y heurísticos, el utilizar 25 subgrupos de 4 ó 5 elementos es lo más recomendable, esto se basa en experimentos como los mostrados en la Ilustración 1-1 y al consenso de la mayoría de los expertos en la materia. Sin embargo, aunque estos criterios son los más recomendables tienen un alto grado de subjetividad.

La frecuencia de muestreo rara vez se trata analíticamente, por lo regular se basa en la jornada de trabajo, tasa de producción, frecuencia esperada de cambios hacia un estado fuera de control y posibles consecuencias de cambios de tal proceso.

El diseño de un diagrama de control tiene consecuencias económicas, porque la determinación de sus parámetros influye en los costos de muestreo y pruebas, costos asociados a la investigación de señales fuera de control y a la posible corrección de causas atribuibles, y a los costos que implica que un artículo disconforme llegue a un consumidor.

Si se muestrea con mucha frecuencia el resultado será más confiable, pero más costoso. De la misma manera, al incrementar el tamaño de la muestra se aumenta la confiabilidad, pero se incrementan los costos. El ampliar los límites de control disminuirá el número de veces que se pare el proceso, pero aumentará el riesgo de producir artículos disconformes que incrementarán substancialmente los costos, si se reducen los límites de control, será más difícil producir un artículo disconforme, pero el costo de investigar falsas alarmas aumentará.

---

<sup>20</sup> Douglas Montgomery, **Control de calidad**, p. 169.

<sup>21</sup> Moen, Ronald D. p. 29

<sup>22</sup> J.M. Juran, ob. cit., p. 23.9

Por lo tanto, es recomendable el considerar el diseño de un diagrama de control desde un punto de vista económico, en el cual, se encuentre el punto óptimo que permita un mínimo de costo y un máximo de confiabilidad.

## 2.2.2 Consideraciones del proceso

Los supuestos sobre el comportamiento del proceso son comunes a varios modelos económicos. En general se consideran los siguientes:

- Proceso mediante un sólo estado bajo control. Si el proceso sólo tiene una característica medible, entonces el estado bajo control corresponderá a la medida de esta característica, cuando no hay causas atribuibles. Cada estado se asocia normalmente a un tipo particular de causa atribuible.
- Naturaleza de las transiciones entre los estados bajo control y fuera de control. Las causas atribuibles se acostumbra suponer en un intervalo de tiempo con distribución de Poisson, lo que indica que es una variable exponencial. También se supone que las transiciones del proceso de un estado a otro son instantáneas y no lentas.
- Corrección del proceso. Otra consideración es que el proceso no es autocorregible. Es decir, una vez que el proceso está fuera de control, es necesaria la intervención de la administración.

## 2.2.3 Parámetros de Costos

En la ilustración 2-3 se muestra un esquema de los costos que influyen en los parámetros de diseño  $n$ ,  $k$  y  $h$ .

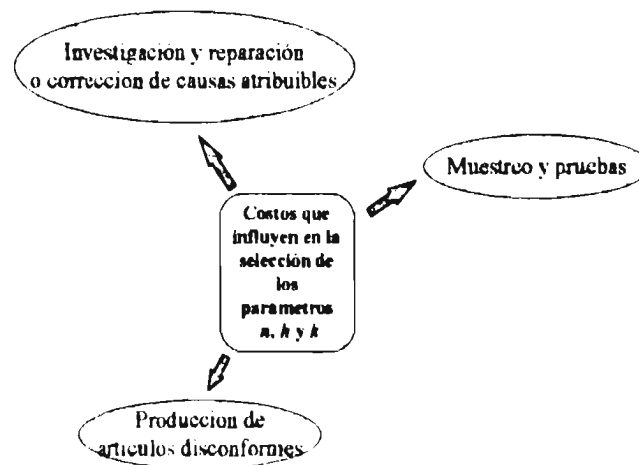


Ilustración 2-3



Es importante notar que los costos fijos para el diseño y puesta en marcha de un CEP, como son los costos de tiempos de planeación, diseño, capacitación, etc., no se incluyen en la ilustración 2-3 por no incidir directamente en los parámetros  $n$ ,  $h$  y  $k$ . Ello no implica que no sean considerables o que no tenga que dedicárseles un estudio aparte.

**Costos de Muestreo y Pruebas.** Estos incluyen los gastos de sueldos y salarios de inspectores, técnicos, equipos de prueba necesarios; y en el caso de pruebas destructivas, el costo de los productos utilizados.

Se divide el costo de muestreo y pruebas en fijos y variables, pudiéndose representar

$$a_1 + a_2n$$

con el fin de obtener una relación sencilla ya que es difícil obtener y evaluar la información relacionada con los costos.

**Costos de Investigación y reparación o corrección de causas atribuibles.** Estos costos surgen a partir de una alarma dada por el diagrama. La alarma puede ser cierta o falsa, de cualquier manera implica un costo de investigación. Además, en caso de ser cierta la alarma, se agregará el costo de la corrección de la causa atribuible.

**Costos de producción de artículos disconformes (pérdidas cuando el proceso está fuera de control).** Son costos de fallas internas; es decir costos de retrabajo o de rechazo, costos de reemplazo o reparación por la cobertura de la garantía. También las fallas externas por la inconformidad de los consumidores y la consecuente modificación de la demanda futura, así como pérdidas debidas a demandas por responsabilidad legal de la empresa.

#### 2.2.4 Modelos Económicos para Diagramas de Control $\bar{x}$ -R

Diversos modelos y programas para el Diseño Económico de diagramas de Shewhart son presentados en los apéndices C y D.

Saniga en 1977<sup>23</sup> propuso un modelo en el cual se optimizaban los parámetros  $n$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  y  $k$ .

$L_1$  y  $L_2$  son los coeficientes para determinar los límites de control

$$LSC_{\bar{x}} = \mu_0 + L_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu_0 - L_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LSC_R = L_2 \sigma_0$$

$$LIC_R = 0$$

<sup>23</sup> Saniga, 1977, pp. 420-431.

$k$  es el número esperado (en promedio) de unidades producidas antes de falla.

En este modelo se consideran 3 estados de control:

0 = En control estadístico.

1 = La media cambia de  $\mu_0$  a  $\mu_1$ .

2 = La varianza cambia de  $\sigma_0^2$  a  $\sigma_1^2$ .

La distribución considerada del tiempo entre fallas se supone exponencial.

En 1979<sup>24</sup> el mismo autor, muestra otro modelo en el que se obtienen los mismos parámetros, pero hace hincapié en la distribución del tiempo entre fallas.

Las distribuciones que propone son:

Geométrica	Carecen de memoria
Exponencial	
Poisson	Tienen memoria
Series logarítmicas	

El carecer de memoria significa que la información anterior a la falla, no afecta el origen de esta.

En 1989<sup>25</sup> Saniga, propone un modelo con distribución de falla exponencial que optimiza los parámetros  $n$ ,  $h$ ,  $L_1$ ,  $L_{2l}$  y  $L_{2u}$ . Los límites se calculan de la siguiente manera:

$$LSC_x = \mu_0 + L_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LIC_x = \mu_0 - L_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LSC_R = L_{2u} \sigma_0$$

$$LIC_R = L_{2l} \sigma_0$$

En este modelo se agregan las restricciones de  $\beta$ ,  $\alpha$  y  $ATS$  (*Average Time to Signal*) máximos con el fin de obtener un diseño económico-estadístico.

El  $ATS$  es el tiempo promedio para el fallo y es igual a la frecuencia de muestreo entre la probabilidad de alarma verdadera ( $h/p$ ).

Jones y Case<sup>26</sup> en 1981 elaboran un modelo para optimizar los parámetros  $n$ ,  $h$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$ .

---

<sup>24</sup> Saniga. 1979, pp. 254-260.

<sup>25</sup> Saniga. 1989, pp. 313-320.

<sup>26</sup> Jones y Case. 1981, pp. 182-195.

Los límites se calculan de la siguiente manera

$$LSC_{\bar{x}} = \mu_0 + K_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu_0 - K_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LSC_R = K_2 \sigma_0$$

$$LIC_R = K_3 \sigma_0$$

En este modelo se hace la consideración de 8 estados de control:

- 0 = La media y la varianza están en control.
- 1 = La media está fuera de control, la varianza en control y no ha sido detectado
- 2 = La varianza está fuera de control, la media en control y no ha sido detectado.
- 3 = La media y la varianza están fuera de control y no ha sido detectado.
- 4 = La media está fuera de control, la varianza en control y ha sido detectado.
- 5 = La varianza está fuera de control, la media en control y ha sido detectado
- 6 = La media y la varianza están fuera de control y ha sido detectado.
- 7 = Final del ciclo donde se identifica la causa asignable. Sólo se utiliza como notación dentro del modelo.

Por otro lado, se asigna una  $\lambda_1$  para la media y una  $\lambda_2$  para la varianza. ( $\lambda_i$ , índice de ocurrencia de falla)

**Rahim**<sup>27</sup> en 1989 propone un modelo en el que la distribución es exponencial con cuatro estados de control:

- a) Periodo en control
- b) Periodo fuera de control
- c) Periodo de búsqueda de falsa alarma
- d) Periodo de búsqueda y reparación de alarma cierta

Los parámetros que optimiza son  $n$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  y  $h$

Con  $K_1$  y  $K_2$  se obtienen los límites de la siguiente manera

$$LSC_{\bar{x}} = \mu_0 + K_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu_0 - K_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LSC_R = K_2 \sigma_0$$

$$LIC_R = 0$$

---

<sup>27</sup> Rahim, 1989, pp 65-67

Los límites se calculan de la siguiente manera

$$LSC_{\bar{x}} = \mu_0 + K_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu_0 - K_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LSC_R = K_2 \sigma_0$$

$$LIC_R = K_3 \sigma_0$$

En este modelo se hace la consideración de 8 estados de control:

0 = La media y la varianza están en control.

1 = La media está fuera de control, la varianza en control y no ha sido detectado

2 = La varianza está fuera de control, la media en control y no ha sido detectado

3 = La media y la varianza están fuera de control y no ha sido detectado

4 = La media está fuera de control, la varianza en control y ha sido detectado

5 = La varianza está fuera de control, la media en control y ha sido detectado

6 = La media y la varianza están fuera de control y ha sido detectado.

7 = Final del ciclo donde se identifica la causa asignable. Solo se utiliza como notación dentro del modelo.

Por otro lado, se asigna una  $\lambda_1$  para la media y una  $\lambda_2$  para la varianza. ( $\lambda_i$ , índice de ocurrencia de falla)

**Rahim**<sup>27</sup> en 1989 propone un modelo en el que la distribución es exponencial con cuatro estados de control:

a) Periodo en control

b) Periodo fuera de control

c) Periodo de búsqueda de falsa alarma

d) Periodo de búsqueda y reparación de alarma cierta.

Los parámetros que optimiza son  $n$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  y  $h$

Con  $K_1$  y  $K_2$  se obtienen los límites de la siguiente manera:

$$LSC_{\bar{x}} = \mu_0 + K_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu_0 - K_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LSC_R = K_2 \sigma_0$$

$$LIC_R = 0$$

---

<sup>27</sup> Rahim, 1989, pp. 65-67.

### 3. Desarrollo

#### 3.1 Modelo Propuesto

El modelo propuesto es el de Rahim<sup>28</sup>. El modelo presentado por Saniga (1977) tiene el inconveniente de que utiliza el parámetro  $k$  que indica el número esperado de unidades producidas antes de falla, lo cual dificulta la comparación entre diferentes modelos. El algoritmo del mismo autor en 1979 propone diferentes distribuciones entre tiempos de falla, pero no concreta los modelos. Saniga en 1989 elabora un modelo más complejo, ya que el modelo optimiza también el  $LIC$  para el diagrama  $R$ , además utiliza más parámetros de entrada. El modelo de Jones y Case se complica al utilizar 8 estados de control y un índice más para la ocurrencia de falla. El modelo de Rahim simplifica el  $LIC$  del diagrama  $R$  y sólo utiliza 4 estados de control, al mismo tiempo, el procedimiento que sigue es similar al de los otros métodos.

La notación utilizada en el modelo es:

- $n$  = tamaño de la muestra
- $h$  = intervalo de muestreo medido en horas
- $\tau_s$  = tiempo esperado de búsqueda de falsa alarma
- $\tau_r$  = tiempo esperado de búsqueda de alarma cierta
- $K_s$  = costo esperado de búsqueda de falsa alarma
- $K_r$  = costo esperado de búsqueda de alarma cierta
- $V_0$  = ganancia por hora cuando el proceso está en control
- $V_1$  = ganancia por hora cuando el proceso está fuera de control
- $I$  = pérdida por hora cuando el proceso está fuera de control ( $V_0 - V_1$ )
- $I$  = ingreso neto promedio por hora
- $L$  = pérdida esperada por hora
- $b$  = costo fijo de muestreo
- $c$  = costo variable por pieza muestreada
- $\alpha$  = probabilidad de que el diagrama  $\bar{x}$  y  $R$  indiquen falsa alarma
- $\beta$  = probabilidad de error tipo II en ambos diagramas
- $\alpha_x$  = Probabilidad de error tipo I en el diagrama  $\bar{x}$
- $P_x$  = Probabilidad de alarma cierta ( $1 - \beta_x$ )
- $\alpha_R$  = Probabilidad de error tipo I en el diagrama  $R$
- $P_R$  = Probabilidad de alarma cierta ( $1 - \beta_R$ )
- $\Phi(x)$  = Función acumulativa de la distribución normal
- $P$  = probabilidad de alarma cierta ( $1 - \beta$ ) en ambos diagramas
- $\tau$  = tiempo promedio del intervalo hasta antes de que la falla ocurra

---

<sup>28</sup> Rahim, 1989, p. 66.

$K_1$  = coeficiente para el limite de control del diagrama  $\bar{x}$   
 $K_2$  = coeficiente para el limite de control del diagrama  $R$   
 $\sigma_0$  = desviación estándar del proceso bajo control  
 $\sigma_1$  = desviación estándar del proceso fuera de control  
 $\lambda$  = indice de ocurrencia de fallas (número de fallas por hora)  
 $\delta$  = parametro de cambio de la media (de  $\mu_0$  a  $\mu_1 = \mu_0 + \delta \sigma_0$ )

El desarrollo del modelo parte de lo siguiente :

Estados de : **Tiempo esperado del ciclo de producción (horas)**  
 Bajo control + Fuera de control + Búsqueda de falsa alarma + Búsqueda y correccion de alarma verdadera

$$= \frac{1}{\lambda} + \left( \frac{h}{P} - \tau \right) + \frac{\alpha \tau_1}{h} \left( \frac{1}{\lambda} - \tau \right) + \tau.$$

Estados de : **Ingreso neto esperado del ciclo de producción**  
 Bajo control + Fuera de control + Búsqueda de falsa alarma + Búsqueda y correccion de alarma verdadera

$$= \frac{V_0}{\lambda} + V_1 \left( \frac{h}{P} - \tau \right) - \frac{\alpha K_1}{h} \left( \frac{1}{\lambda} - \tau \right) - \frac{(h + cn)}{h} \left( \frac{1}{\lambda} + \frac{h}{P} - \tau \right) - K,$$

**Ingreso neto esperado del ciclo de producción por hora**

$$I = \frac{\text{Tiempo esperado del ciclo de produccion (horas)}}{\text{Ingreso neto esperado del ciclo de produccion}}$$

La perdida esperada por hora L, es  $V_0 - I$ . Después de simplificar se obtiene

$$L = \frac{\lambda V_1 B_1 + V_0 B_0 + \lambda W + (h + cn)(1 - \lambda B_1) \cdot h}{1 + \lambda B_1 + \tau_1 B_0 + \lambda \tau}$$

Siendo el modelo a minimizar L

donde

$$\begin{aligned}
 V &= V_0 - I \\
 V &= K_1 + V_0 \tau_1 \\
 W &= K_2 + V_0 \tau_2 \\
 B_0 &= \frac{\alpha(1 - \lambda \tau)}{h}
 \end{aligned}$$

$$B_1 = \left(\frac{h}{P}\right) - \tau$$

$$\tau = \frac{1 - (1 + \lambda h)e^{-\lambda h}}{\lambda - \lambda e^{-\lambda h}}$$

Al minimizar  $L$  se obtienen los parámetros  $n$ ,  $h$ ,  $K_1$  y  $K_2$ . Sin embargo  $L$  también depende de  $\alpha$  y  $P$ . Por lo que el método utilizado para determinarlos queda como sigue:

**Para  $\alpha$**

$$\alpha = \alpha_x + \alpha_R - \alpha_x \cdot \alpha_R$$

$$\alpha_x = 1 - \Pr \left[ \mu_0 - \frac{K_1 \sigma_0}{\sqrt{n}} \leq \bar{x} \leq \mu_0 + \frac{K_1 \sigma_0}{\sqrt{n}} \mid x \sim N(\mu_0, \sigma_0^2) \right]$$

$$= 2[1 - \Phi(K_1)]$$

$$\alpha_R = P(W_0 \geq K_2) = 1 - F_n(K_2)$$

La forma acumulada de la función de distribución para el rango estandarizado ( $W_0 = (R / \sigma_0)$ ) puede expresarse como sigue:

$$F_n(W_0) = \left( \int_{-\frac{W_0}{2}}^{\frac{W_0}{2}} \varphi(x) dx \right)^n + 2n \int_{\frac{W_0}{2}}^{\tau} \Phi(u) \left( \int_{u-\frac{W_0}{n}}^u \varphi(x) dx \right)^{n-1} du$$

donde

$$\varphi(x) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

**Para  $P$**

$$P = P_x + P_R - P_x \cdot P_R$$

$$P_x = 1 - \Pr \left[ \mu_0 - \frac{K_1 \sigma_0}{\sqrt{n}} \leq \bar{x} \leq \mu_0 + \frac{K_1 \sigma_0}{\sqrt{n}} \mid x \sim N(\mu_0, \sigma_0^2) \right]$$

$$= \Phi \left( \frac{\delta \sqrt{n} \sigma_0}{\sigma_1} - \frac{K_1 \sigma_0}{\sigma_1} \right) + \Phi \left( \frac{-\delta \sqrt{n} \sigma_0}{\sigma_1} - \frac{K_1 \sigma_0}{\sigma_1} \right)$$

$$P_R = 1 - F_n \left( \frac{K_2 \sigma_0}{\sigma_1} \right)$$

**Optimización :**

El método utilizado para minimizar  $L$  es el desarrollado por Hooke y Jeeves<sup>29</sup>.

El procedimiento es un método sin restricciones para funciones multivariadas. No requiere de derivadas. Considera la función unimodal, aunque para el presente modelo puede utilizarse partiendo de valores iniciales.

<sup>29</sup> James Kuester. *Optimization Techniques with fortran*. pp. 309-319.

**Etapa 1 : Búsqueda de valores iniciales.**

*Paso 1 : Búsqueda del los valores de  $n$  y  $K_1$ .*

Asumiendo a  $P \approx 0.90$  ó  $P = 0.95$ , se pueden encontrar valores aproximados de  $n$  y  $K_1$  utilizando las siguientes ecuaciones :

$$\frac{Z + K_1}{\Phi(K_1)} = \frac{\delta^2 V'}{c} \quad \text{y} \quad \delta\sqrt{n} - K_1 = Z^{30}$$

donde  $Z = 1.2826$  si  $P = 0.90$  y  $Z = 1.6459$  si  $P = 0.95$ . El programa utiliza  $Z = 1.6459$  y encuentra los valores iniciales de  $n$  y  $K_1$ .

*Paso 2 : Búsqueda del intervalo de  $n$ .*

Utilizando la  $n$  resultante (llamada  $n^*$ ), se determinan los límites inferiores y superiores  $\min(n^* - 10, n \geq 2)$  y  $\max(n^* + 10)$ .

*Paso 3 : Búsqueda del valor de  $K_2$ .*

Se obtiene  $K_2$  utilizándola como  $K_1$  en el paso 1 con base en el valor de  $n$  obtenido.

*Paso 4 : Encontrar el valor de  $h$ .*

se obtiene, con base en los parámetros antes obtenidos, evaluando la siguiente función<sup>31</sup>:

$$h = \sqrt{\frac{2P(aV' + b - cn)}{\lambda U(2 - p)}}$$

**Etapa2 : Optimización a partir de los valores iniciales encontrados.**

*Paso 1.*

Se evalúa la función objetivo  $L$  para los valores iniciales dados.

*Paso 2.*

Se realizan búsquedas locales con un incremento inicial de 0.05

*Paso 3.*

Si la función no decrece se regresa a los valores iniciales y se disminuye el incremento a la mitad.

*Paso 4.*

Si la función decrece, se continúa la búsqueda hasta que ésta crezca. Se regresa al punto anterior y se disminuye el incremento a la mitad, se continua así hasta que se satisfacen los criterios de convergencia predeterminados.

Los criterios de convergencia son : incremento mínimo = 0.001, iteraciones máximas = 9999 ; lo que ocurra primero.

<sup>30</sup> Chiu, W.K., 1974, p 64-66.

<sup>31</sup> Idem.



Las variables en las que se realizan búsquedas locales son  $K_1$  y  $K_2$ , h se optimiza en función de las búsquedas anteriores.

**Supuestos:**

- La variable de control tiene una distribución normal
- Unica causa atribuible
- La distribución de probabilidad entre fallas es exponencial
- El proceso es detenido mientras se investiga la causa atribuible
- El proceso comienza bajo control estadístico

**Periodos de producción del proceso:**

- Bajo control
- Fuera de control debido a causa asignable
- Investigación de falsa alarma
- Investigación y reparación debido a una alarma cierta

**3.2 Programa de Cómputo**

Para la elaboración del programa se tomó como base el algoritmo de Rahim<sup>32</sup>.

El lenguaje utilizado fue Visual Basic Ver. 4 para Windows 95. Este lenguaje fue elegido por la presentación que da al usuario ya que se desarrolla dentro del ambiente Windows, siendo así, más amigable. Por otro lado, el ambiente Windows se ha convertido en un estándar para la presentación de software.

La Ilustración 3-1, muestra la pantalla inicial del programa.

---

<sup>32</sup> Rahim, 1989, p. 69-70.

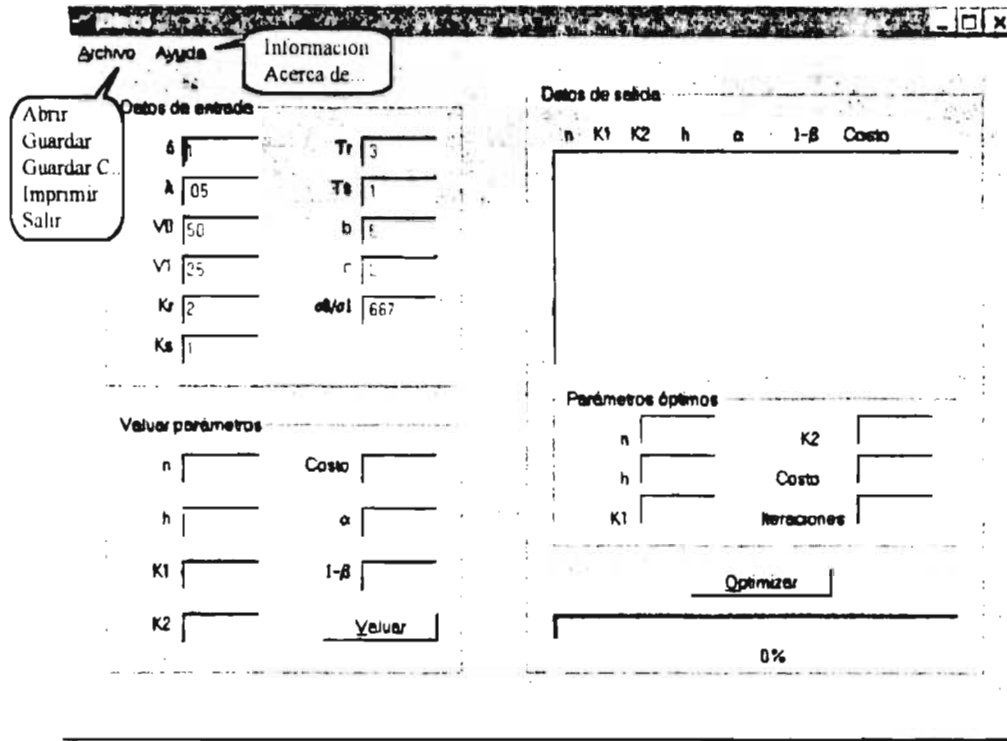


Ilustración 3-1

### 3.2.1 Menús

En la parte superior izquierda se observan los menús.

**Archivo** En el se encuentran las opciones: Abrir, Guardar, Guardar como..., Imprimir y Salir.

- Abrir. Abre un archivo generado por el programa (\*.ded).
- Guardar. Guarda todos los datos mostrados en la pantalla en un archivo con extensión ded.
- Guardar como... Igual que guardar, pero permite el cambio del nombre del archivo.
- Imprimir. Imprime la información presentada en la pantalla actualmente en la impresora por defecto.
- Salir. Abandona el programa. También se puede salir presionando el botón superior derecho.

#### Ayuda.

- Información. Presenta una breve descripción de los parámetros utilizados en el formulario.
- Acerca de... Muestra datos sobre la fecha, objetivo y autoría del programa.



### 3.2.4 Valuación de parámetros

En esta zona se valúan los parámetros para un diseño específico ( $n$ ,  $h$ ,  $K_1$  y  $K_2$ ), tomando como datos de entrada los que ya se encuentran registrados.

Esto nos permite comparar diseños económicos contra cualquier otro diseño mediante el costo correspondiente.

### 3.3 Pasos a seguir para la implantación de los diagramas de Shewhart

Los siguientes son los pasos propuestos para la implantación de Diagramas de Shewhart, que, tomando en cuenta consideraciones económicas para su diseño, fueron desarrollados con base en Eugene L. Grant y Richard S. Leavenworth "Control Estadístico de Calidad" como referencia.

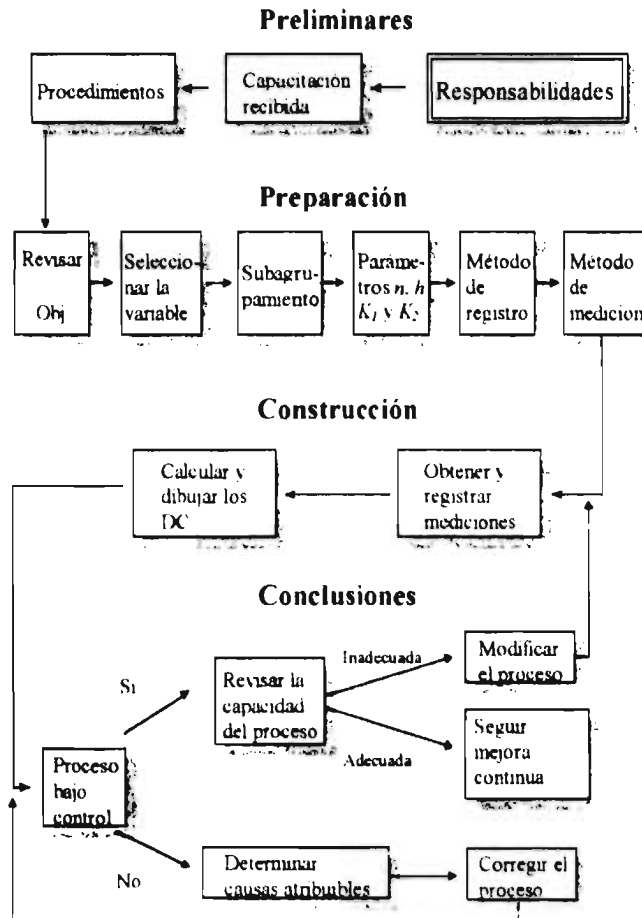


Ilustración 3-3

### 3.2.4 Valuación de parámetros

En esta zona se valúan los parámetros para un diseño específico ( $n$ ,  $h$ ,  $K_1$  y  $K_2$ ), tomando como datos de entrada los que ya se encuentran registrados.

Esto nos permite comparar diseños económicos contra cualquier otro diseño mediante el costo correspondiente.

### 3.3 Pasos a seguir para la implantación de los diagramas de Shewhart

Los siguientes son los pasos propuestos para la implantación de Diagramas de Shewhart, que, tomando en cuenta consideraciones económicas para su diseño, fueron desarrollados con base en Eugene L. Grant y Richard S. Leavenworth "Control Estadístico de Calidad" como referencia.

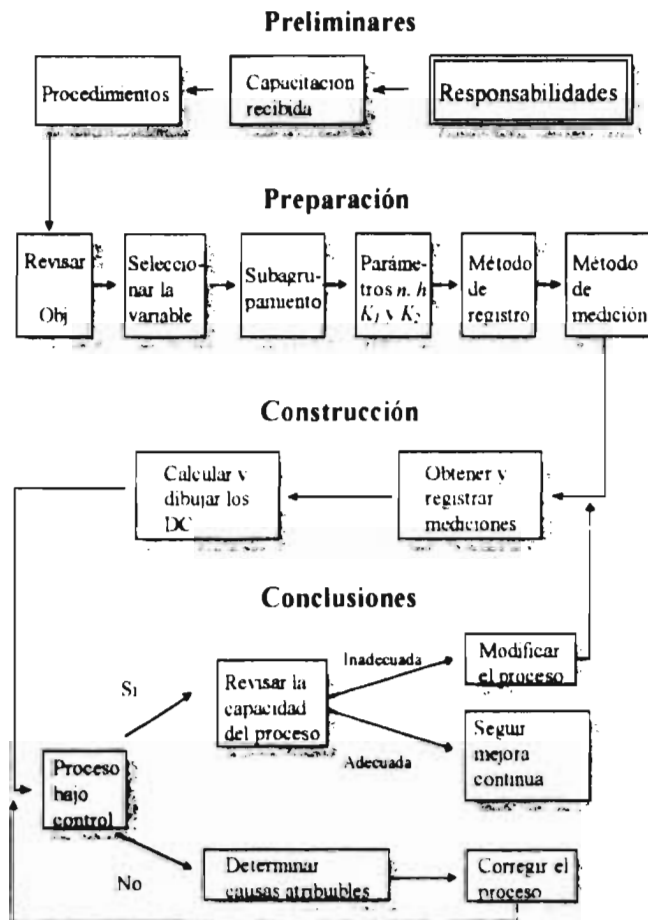


Ilustración 3-3

### 3.3.1 Preliminares

Antes de implantar el CEP es necesario considerar lo siguiente.

#### 3.3.1.1 Responsabilidades

El personal involucrado, incluyendo operarios, técnicos, profesionales y personal administrativo, deberá tener conocimiento de sus responsabilidades y del proceso en general.

##### **Administración**

*Proveer soporte.* El apoyo de la administración deberá ser total, constante y participativo. Además, deberá permearse a todos los niveles.

*Definir el programa general del CEP para la organización.* El proceso de implantación es más fácil cuando se establecen metas y objetivos en un documento disponible para todos los miembros de la organización.

*Proveer capacitación.* Cada grupo de empleados tiene diferentes necesidades de capacitación sobre el CEP. Deberán diseñarse e implantarse mecanismos para conocer dichas necesidades

##### **Personal**

*Entendimiento de actividades.* Los empleados deberán conocer que se espera de ellos y cuándo. Es importante que el personal participe definiendo el programa del CEP. Ello permitirá un mayor involucramiento de todos y aumentará la motivación.

*Entendimiento del papel por cada uno de los miembros.* Los empleados deberán conocer sus papeles a lo largo del proceso y cómo afecta su trabajo a éste. El corregir un error durante el proceso puede costar 100 veces menos que corregirlo al final<sup>33</sup>.

#### 3.3.1.2 Capacitación Recibida.

##### **Administración**

La administración deberá recibir la capacitación necesaria para implantar el CEP. Deberá documentarse la capacitación que cada gerente recibe.

##### **Personal**

La capacitación deberá dirigirse principalmente hacia el personal que utilice el CEP a diario, tales como operadores, técnicos e ingenieros. Deberá documentarse la capacitación que cada empleado recibe

#### 3.3.1.3 Procedimientos

##### **A lo largo del programa del CEP.**

---

<sup>33</sup> Boccacino (1993). octubre.

El sólo tener documentado el proceso no es suficiente. Los documentos deberán estar disponibles para que el CEP sea implantado, y el personal deberá conocer y estar dispuesto a aplicar dichos documentos.

#### **Casos de no conformidad.**

Deberán establecerse procedimientos paso a paso para el caso de como reaccionar ante una no conformidad. Los diagramas de flujo son útiles. De esta manera al presentarse el caso, el empleado podrá corregirlo lo más rápidamente posible

### **3.3.2 Preparación de los Diagramas de Control**

#### **3.3.2.1 Revisar los objetivos del Diagrama de Control.**

Es importante estar consciente que los diagramas de control permiten visualizar mejor la variabilidad de un proceso y mejorarlo. Los objetivos comúnmente buscados son :

##### **Analizar el proceso**

- Aportar información relevante sobre las especificaciones (establecerlas, cambiarlas o determinar si el proceso puede cambiarlas)
- Aportar información relevante sobre el establecimiento o cambio de procedimientos productivos : eliminación de causas especiales de variación, eliminación de causas comunes (cambios fundamentales en métodos o materiales de producción).
- Aportar información relevante sobre procedimientos de inspección o de aceptación.

##### **Obtener criterios para la toma de decisiones**

- Indican cuándo hay que buscar causas de variación y actuar para corregirlas
- Indican cuándo hay que dejar que el proceso continúe libremente.
- Proporcionan bases para la decisión de aceptación o rechazo de productos comprados o manufacturados.

##### **Familiarizar al personal con los DC**

Diagramas construidos con este propósito con frecuencia descubren posibilidades de reducción de costos.

#### **3.3.2.2 Seleccionar la variable**

La característica de calidad que se elija para los diagramas de control X - R, tiene que ser variable, es decir, que pueda medirse y expresarse con números.

Si hay más de una característica de calidad implicada en el proceso, se deberá evaluar cuál de ellas proporciona mayor contribución al conocimiento del proceso para alcanzar los objetivos planteados.

### 3.3.2.3 Seleccionar las bases para el subagrupamiento.

Deberán seleccionarse los subgrupos de manera que sean lo más homogéneos posibles, y que reflejen de uno a otro la máxima variación posible.

### 3.3.2.4 Determinar los Parámetros para el Diseño Económico $n$ , $h$ , $K_1$ y $K_2$ .

Aplicar el programa antes descrito.

Para ello, será necesario conocer lo siguiente:

Costo de investigar una falsa alarma( $K_s$ ).

Costo de investigar y corregir una alarma cierta( $K_r$ ).

Tiempo de investigación de una falsa alarma( $\tau_s$ ).

Tiempo de investigación de alarma cierta( $\tau_r$ ).

Pérdidas por proceso fuera de control( $L = I'_{00} - I'_1$ ).

Ocurrencia promedio de fallas por hora( $\lambda$ )

Número de desviaciones estándar que la media se mueve para que se considere fuera de control ( $\mu_1 = \mu_0 - \delta\sigma_0$ ).

Cambio de la desviación estándar para que se considere el proceso fuera de control( $\sigma_1/\sigma_0$ ).

Costo fijo y variable por muestreo( $b$  y  $c$ ).

### 3.3.2.5 Desarrollar el método de registro de datos

Es conveniente diseñar plantillas para el vaciado de los datos. En ellas se organizan los datos en subgrupos y los cálculos se realizan fácilmente. Tales plantillas deberán contener toda la información necesaria para la elaboración del diagrama.

Las plantillas deberán contener la descripción de :

- Producto por medir
- Unidad de medición
- Cualquier información relevante

### 3.3.2.6 Determinar Método de medición

Para ello es necesario hacer las siguientes consideraciones :

- Seleccionar los instrumentos necesarios para el análisis del proceso
- Determinar el procedimiento para la toma de lecturas
- Documentar todo el proceso de medición así como la calibración de los instrumentos





- Es necesario realizar un balance entre la urgencia y la confiabilidad para determinar la cantidad de subgrupos.
- El número recomendado de subgrupos o muestras es de 25<sup>34</sup>.

### 3.3.4 Interpretación de los Diagramas

Analizar la estabilidad del proceso (detectar puntos fuera de control y presencia de patrones sistematicos o cambios en el proceso, a través del uso de reglas para corridas). Para información sobre patrones, ver el apéndice B.

#### 3.3.4.1 Proceso bajo control

Verificar si el número de datos obtenidos son suficientes para poder analizar el diagrama

#### Revisar la Capacidad del Proceso

Calcular  $C_p$  y  $C_{pk}$ .

*Modificar el proceso.* Si la capacidad es inadecuada es necesario realizar modificaciones en el proceso.

*Continuar mejora continua.* La mejora continua es una importante herramienta de la calidad, siendo conveniente aplicarla a lo largo del proceso. En este punto, cuando se tienen los índices  $C_p$  y  $C_{pk}$  dentro de los objetivos, no es la excepción.

#### 3.3.4.2 Proceso Fuera de Control

#### Determinación y corrección de causas atribuibles

Hay que discernir a través del diagrama y de cualquier otra información pertinente, cuáles son las causas atribuibles y su eliminación.

#### Corregir el Diagrama

- Analizar en ambos diagramas ( $\bar{x}$  y  $R$ ) y decidir si los datos de subgrupos que estuvieron fuera de control (en cualquiera de los diagramas) se eliminarán.
- Recalcular las líneas centrales y límites de control en ambos diagramas
- Analizar nuevamente la estabilidad del proceso hasta que éste sea estable.

---

<sup>34</sup> J.M. Juran, ob. cit., p. 23-9.

## Conclusiones

El estudio del presente trabajo ha terminado. Ahora se acotará el estudio del tema con el fin de mostrar los resultados obtenidos.

El control de calidad es una herramienta fundamental para asegurar la calidad de un bien o servicio. Para ello es necesario el fijar y cumplir estándares. Estos son cada vez más estrictos con el fin de satisfacer al cliente.

El sólo hecho de satisfacer al cliente, es necesario, más no suficiente. Hoy en día, para mantener el liderazgo o mantenerse en la competencia, es necesario convertir al cliente en adicto al bien o servicio.

Como parte de este objetivo, es necesario contar con herramientas que proporcionen un mejor punto de vista.

El control estadístico de procesos permite inferir sobre los procesos y dejar de suponer lo que está ocurriendo en ellos. Por esto, es importante contar con índices como el  $C_p$  y el  $C_{pk}$ .

El índice  $C_{pk}$  da una mayor certidumbre que el  $C_p$ , ya que toma en cuenta si el proceso se acerca a la meta además de indicar la capacidad del proceso. Un índice con valor de 1 podría interpretarse como el cumplimiento de los estándares, sin embargo tiene un 0.3% de productos fuera de los límites de especificación y esto no es suficiente para la mayoría de los procesos hoy en día. Un índice  $C_{pk}$  de 1.33 asegura tan sólo un defectuoso por cada millón producido, por lo que se convierte en un mínimo recomendado.

Los diagramas de control estadístico más utilizados actualmente son los de Shewhart, concretamente los  $\bar{x}$ -R. Esto se debe a su sencillez de cálculo ya que el diagrama  $\bar{x}$  consiste de promedios y el R son rangos que se obtienen restando al valor mayor de cada muestra el menor de la misma. En el diagrama  $\bar{x}$ -S, es necesario calcular la desviación estándar para cada muestra. Por otro lado, el diagrama de rangos permite detectar cambios súbitos, que son los más comunes, en contraste con el de desviaciones que identifica mejor cambios graduales.

La principal deficiencia que presentan los diagramas de control, es el que no toman en cuenta consideraciones de costos para su diseño.

Los costos que afectan al diseño son los de muestreo y pruebas, investigación de alarmas, tanto falsas como verdaderas, corrección del proceso en caso de ser cierta la alarma, y las pérdidas originadas de producir artículos disconformes.

Para el diseño de un diagrama de control  $\bar{x}$ -R, es necesario el determinar los parámetros  $n$ ,  $h$ ,  $K_1$  y  $K_2$ , que indican el tamaño de la muestra, frecuencia de muestreo y los límites de control para los dos diagramas, respectivamente.

Tradicionalmente se utilizan diseños heurísticos y estadísticos en los que usualmente  $n=5$ ,  $h=1$  hr,  $K_1 = 3$  y  $K_2 = 5.4$ . Estos valores proporcionan una buena referencia cuando no se tiene alguna otra.

Si se hacen variar los valores de estos parámetros se producen cambios significativos en costos y en confiabilidad de la información. Al aumentar el tamaño de la muestra se incrementa la confiabilidad de la información, pero aumenta el costo de muestreo y pruebas; si se eleva la frecuencia de muestreo sucede lo mismo que con el tamaño de la muestra. El reducir la banda de control aumenta la detección de fallas, previniendo con ello el producir artículos disconformes, sin embargo crece el número de falsas alarmas que tan sólo su investigación tiene costos considerables.

Por lo anterior, es necesario encontrar un punto óptimo que maximice la confiabilidad y minimice los costos al mismo tiempo.

Para alcanzar esta meta, se han desarrollado varios modelos matemáticos que encuentran valores óptimos para el diseño de diagramas de control, sin embargo, y a pesar de su importancia, son escasos y restringidos.

Por otro lado, la accesibilidad a estos modelos es difícil, ya que los investigadores que los han desarrollado no han orientado sus investigaciones hacia la implantación de ellos.

Para lograrla, es importante contar con interfaces que sean amistosas con el usuario. Para conseguirlo, se desarrolló un programa que funciona bajo el ambiente Windows 95. Así se logra un mayor acercamiento de las investigaciones al lugar donde se les necesita, en la producción.

En la ilustración 3-2 se muestra el diseño heurístico de Shewhart con un costo de 4 7688; para el mismo proceso, en el diseño económico el costo es de 3.6117. Esto resulta en un decremento del 31.82% en el costo con el diseño económico. El cambio de los parámetros a cualquier otro valor diferente al óptimo incrementará los costos.

Además, se elaboró una serie de pasos para su implantación, así como un formato en el cual, siguiendo una secuencia y contando con la información necesaria, se puede construir fácilmente un diagrama de control diseñado económicamente.

La utilización de diagramas  $\bar{x}$ - $R$ , es lo más común, y aunque el diseño económico de diagramas se ha ido incrementando, no se han desarrollado modelos y programas suficientes en otros tipos como lo son el Q-Sum y por atributos.

Al programa presentado pueden hacerse varias mejoras. Una de ellas es que el mismo, generara los diagramas de control, otra mejora podría ser el que realizara análisis de sensibilidad para entender mejor como afecta cada parámetro en los costos.

Una carencia con la que cuenta el diseño económico de diagramas de control, es que existen muy pocos estudios realizados directamente en los procesos de producción así como su seguimiento para comparar su efectividad a largo plazo.

## Referencias

### Bibliografía

- Duncan Acheson J., **Control de Calidad y Estadística Industrial**, México, Alfaomega, 1989.
- Grant, Eugene L./Leavenworth, Richard S., **Control Estadístico de Calidad**, México, C E C.S.A., 1987
- Ishikawa, Kaoru, **Introduction to Quality Control**, Japón, Mc Graw Hill, 1989
- Juran, J.M., **Juran's Quality Control Hand Book**, USA, Mc Graw Hill, 1988.
- Juran, J.M./Gryna, Frank M., **Análisis y Planeación de la Calidad**, México, Mc Graw Hill, 1995.
- Kuester, James L., **Optimization Techniques with fortran**, USA, Mc Graw Hill, 1973.
- Moen, Ronald D., **Improving quality through planned experimentation**, USA, Mc Graw Hill, 1991.
- Montgomery, Douglas, **Introducción al Control Estadístico de la Calidad**, México, Grupo Editorial Iberoamérica, 1991.
- Ott, Ellis R./Schilling, Edward G., **Process Quality Control**, USA, Mc Graw Hill, 1990.
- Scheaffer / McClave, **Probabilidad y Estadística para Ingeniería**, Mexico, Grupo Editorial Iberoamérica, 1993.

### Hemerografía

- Boccacino, Michael J. (1993), *Get Control of your Control Charts*, **Quality Progress**, octubre
- Chiu, W.K. y Wetherill, G.B. (1974) *A simplified Scheme for the Economic Design of  $\bar{x}$  Charts*, **Journal of Quality Technology**, Vol. 6, pp. 63-69.
- Ho, Chuanching/ Case, K.E. (1994), *Economic Design of Control Charts: A Literature Review for 1981-1991*, **Journal of Quality Technology**, Vol. 26, pp. 39-52
- Jones, L.J. y Case, K.E. (1981), *Economic Design of a Joint  $\bar{x}$  and R Control Charts*, **AIIE Transactions**, Vol. 13, pp 182-195.
- Rahim, M.A. (1989) *Determination of Optimal Design Parameters of Joint  $\bar{x}$  and R Charts*, **Journal of Quality Technology**, Vol. 21, pp. 65-70.
- Saniga, E.M. (1977), *Joint Economically Optimal Design of  $\bar{x}$  and R Control Charts*, **Management Science**, Vol. 24, pp 420-431.
- Saniga, E.M. (1979), *Joint Economic Design of  $\bar{x}$  and R Control Charts with Alternative Process Models*, **AIIE Transactions**, Vol. 11, pp 254-260
- Saniga, E.M. (1989), *Economic Statistical Control-Chart Designs With an Application to  $\bar{x}$  and R Charts*, **Technometrics**, Vol. 31, pp 313-320.

## Apéndice A <sup>35</sup>

### Coeficientes para la construcción de diagramas $\bar{x}$ -R

Tamaño de la muestra	Diagrama de control $\bar{x}$		Diagrama de control R				Relación entre $\hat{\sigma}$ y $\bar{R}$		
	A	A <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>	1/d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>
2	2.121	1.880	-	3.686	-	3.267	1.128	0.886	0.853
3	1.732	1.023	-	4.358	-	2.575	1.693	0.591	0.888
4	1.500	0.729	-	4.698	-	2.282	2.059	0.486	0.880
5	1.342	0.577	-	4.918	-	2.115	2.326	0.430	0.864
6	1.225	0.483	-	5.078	-	2.004	2.534	0.395	0.848
7	1.134	0.419	0.205	5.203	0.076	1.924	2.704	0.270	0.833
8	1.061	0.373	0.387	5.307	0.136	1.864	2.847	0.351	0.820
9	1.000	0.337	0.546	5.394	0.184	1.816	2.970	0.337	0.808
10	0.949	0.308	0.687	5.469	0.223	1.777	3.078	0.325	0.797

donde:

$$A = \text{factor} \frac{3}{\sqrt{n}}$$

$$A_2 = \text{factor} \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$D_1 = \text{factor}(d_2 - 3\sigma_w)$$

$$D_2 = \text{factor}(d_2 - 3\sigma_w)$$

$$D_3 = \text{factor}\left(1 - \frac{3\sigma_w}{d_2}\right)$$

$$D_4 = \text{factor}\left(1 + \frac{3\sigma_w}{d_2}\right)$$

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

$$d_3 = \frac{1}{\sigma_w}$$

$$w = \frac{R}{\sigma}$$

$\sigma$  : Desviación estándar de la población.

$\hat{\sigma}$  : Estimador de  $\sigma$ .

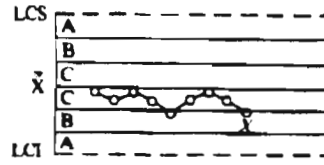
<sup>35</sup> La información aquí presentada fue tomada de Ishikawa 1989 p. 155 y de Duncan 1989 pp. 10013-1018

## Apéndice B <sup>36</sup>

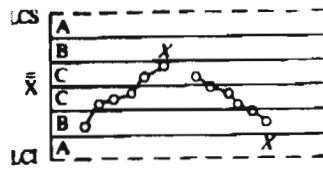
### Patrones de comportamientos no aleatorios en Diagramas de Control



Prueba 1. Un punto fuera de la zona A



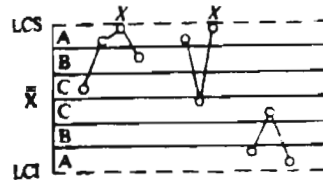
Prueba 2. Nueve puntos seguidos en la zona C o más allá



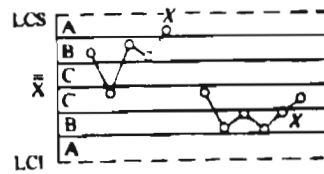
Prueba 3. Seis puntos seguidos con aumento o disminución estables



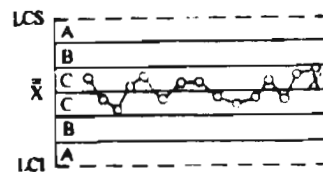
Prueba 4. Catorce puntos seguidos alternando arriba y abajo



Prueba 5. Dos de cada tres puntos seguidos en la zona A o más allá



Prueba 6. Cuatro de cada cinco puntos seguidos en la zona B o más allá



Prueba 7. Quince puntos seguidos en la Zona C (arriba y abajo de la recta central)



Prueba 8. Ocho puntos seguidos a ambos lados de la recta central

<sup>36</sup> Tomado de J. M. Juran y F. M. Gryna. ob. cit., p. 388.



## Apéndice C

Modelos de funciones de costo <sup>37</sup>			
Autor	Año	Observaciones	Diagrama
Duncan	1956	Única causa atribuible	$\bar{x}$
Gibra	1967	Media con tendencia lineal en el tiempo	$\bar{x}$
Knappenber y Grandage	1969	Varias causas atribuibles	$\bar{x}$
Duncan	1971	Múltiples causas atribuibles	$\bar{x}$
Baker	1971	Única causa atribuible. Distribución geométrica	$\bar{x}$
Gibra	1971	Única causa atribuible.	$\bar{x}$
Ladany	1973	Única causa atribuible	$\sqrt{p}$
Ladany y Alperovitch	1975	Única causa atribuible	$\sqrt{p}$
Chiu	1975	Única causa atribuible	$\sqrt{p}$
Montgomery, Heikes y Mance	1975	Búsqueda de rejilla y patrones.	
Chiu	1976	Única causa atribuible y rejilla.	Np.
Samiga	1978	3 estados bajo control. media del proceso y desviación estándar	$\bar{x} - R$
Gibra	1978	Única causa atribuible	Np.
Duncan	1978	Análisis de sensibilidad. Única causa atribuible	$\bar{x}$
Samiga y Montgomery	1981	Única causa atribuible	$\bar{x} - R$
Lorenzen y Vance	1986	Única causa atribuible.	Todos los diagramas de control.
Collani	1988	Simplicidad y generalidad.	Todos los diagramas de control
Samiga	1989	Diseño económico-estadístico	$\bar{x} - R$
Kun-Jen Chung	1990	Simplicidad en el modelo	$\bar{x}$
Tong-Yuan Koo y Kenneth E. Case	1990	Monitoreo de flujo continuo	$\bar{x}$
Herbert Moskowitz, Robert Plante y Young Hak Chun.	1994	Investigación sobre diversos modelos.	$\bar{x}$
Su-Fen Yang	1996	Se considera la función de pérdida de Taguchi	$\bar{x}$

<sup>37</sup> Tomado de Montgomery 1991 pp. 271-290 y de las Memorias del 49º Congreso Anual de Calidad (ASQC).

## Apéndice D

<b>Programas de Cómputo para el Diseño Económico</b> <sup>18</sup>						
Autor	Año	Modelo	Año	Lenguaje	Observaciones	Disponibilidad
Montgomery	1982	Duncan	1956	FORTRAN		
Rahim	1989	Santiga y Montgomery	1981	FORTRAN		
Jaraiedi y Zhuang	1991	Duncan	1977	RAPR		
Rahim	1993			FORTRAN	Enfoque para desarrollo del Método	
McWilliams, Erwin M., Santiga, Darwin J., Davis y Thomas P.	1994	Lorenzen y Vance	1990	FORTRAN	Enfoque para desarrollo del Método	
Montgomery y Lawrence	1995	Lorenzen y Vance	1990	FORTRAN		
Erwin M., Santiga, Darwin J., Davis y Thomas P. McWilliams	1995			FORTRAN		

<sup>18</sup> Fuente: Elaboración propia a partir de la información recopilada en el texto principal.

## Apéndice D

<b>Programas de Cómputo para el Diseño Económico<sup>38</sup></b>						
Autor	Año	Modelo	Año	Lenguaje	Observaciones	Diagrama
Montgomery	1982	Duncan	1956	FORTRAN		$\bar{x}$
Rahim	1989	Saniga y Montgomery	1981	FORTRAN		$\bar{x} - R$
Jararedi y Zhuang	1991	Duncan	1971	BASIC		$\bar{x}$
Rahim	1993			FORTRAN	Diseño para distribución Weibul	$\bar{x}$
McWilliams, Erwin M., Saniga, Darwin J. Davis y Thomas P.	1994	Lorenzen y Vance	1986	FORTRAN	Diseño económico-estadístico	$\bar{x}$
Montgomery y Lawrence	1995	Lorenzen y Vance	1986	FORTRAN		$\bar{x}$
Erwin M., Saniga, Darwin J. Davis y Thomas P. McWilliams	1995			FORTRAN		p y c

<sup>38</sup> Información obtenida del servidor Statlib <statlib@stat.cmu.edu> y Montgomery 1991 pp. 295-296.



## Apéndice E

El siguiente, es el listado de las principales secuencias que componen al programa.

```
Public Sub Command1_Click()
.....
'El presente programa esta basado en el algoritmo presentado por
M. A. Rahim en el Journal of Quality Technology, vol 21, No 1, 1989
.....
Form1.Command1.MousePointer = 11
Form1.Command1.Enabled = False
Form2.Command2.Enabled = False
Form1.Enabled = False
On Error GoTo 51
Form4.Show
Form4.Refresh
Dim I As Integer, J As Integer, N As Integer, K As Integer
Dim NMAX As Integer, NMIN As Integer, H As Integer, H As Integer
Dim NOPT As Integer, ICOUNT As Integer
Dim FXBOPT, SPOE, XK1OPT, XK2OPT, SOPT As Variant
Dim AA, ALPHA, ALPHA1, ALPHA2, ALPHAS As Variant
Dim B, B0, B1, H, C, DELT, FAX, KR, KS, ORDN As Variant
Dim P, PART1, PART2, PS, PS2, PNBAR As Variant
Dim R0, R1, RHIS, F, STEP As Variant
Dim TAU, TR, TS, L, V, V0, V1 As Variant
Dim FNT, W, WW, NK, NK1, NK2, NLAMBDA, XN, Y1, Y2 As Variant
Dim XK2, NM2, XN2, NT2, INTERCAMBIO As Variant
Dim LISTA As String, ESP As String, SALD As String, INC As String
Dim SIGMA, VARS As Variant
Static AV As Integer
FXBOPT = 1000
INT = ""
DELT = Val(TDELT0) Text
If DELT = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada1 = DELT
NLAMBDA = Val(TNLAMBDA(1)) Text
If NLAMBDA = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada2 = NLAMBDA
S = Val(TV0(2)) Text
If V0 = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada3 = V0
V1 = Val(TV1(3)) Text
If V1 = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada4 = V1
KR = Val(TKR(4)) Text
If KR = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada5 = KR
KS = Val(TKS(5)) Text
If KS = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada6 = KS
TR = Val(TTR(6)) Text
If TR = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada7 = TR
TS = Val(TTS(7)) Text
If TS = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada8 = TS
P = Val(TPB(8)) Text
If P = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada9 = P
C = Val(TC(9)) Text
If C = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada10 = C
SIGMA = Val(TextVar) Text
If SIGMA = 0 Then GoTo Cero
DatEntrada11 = SIGMA
L = XN - V1
V = KR + V0 * TS
WW = KR + V0 * TR
VARS = SIGMA / 2
.....
'Busqueda de valores iniciales para el tamaño de la muestra y
coeficiente para los límites del diagrama de medias
.....
NK = 0
AA = DELT / 2 * V * C
For I = 1 To 10
RHIS = (1.645 + NK) * (1.9891228 * Exp(-0.5 * NK * NK))
If RHIS < AA Then Exit For
NK = NK + 0.5
Next I
NK = NK + 0.5
If NK = 0 Then NK = 0
N = (1.645 + NK) * DELT / 2 + 0.5
NMIN = N - 10
If NMIN < 0 Then NMIN = 2
NMAX = N + 10
IF NMAX < 29 Then
NMAX = 29
MsgBox "Puede que no se encuentren los parametros optimos (n max = 29) " & 48
End If
CUENTA = NMAX
NN = 2
Last Clear
Form4.ProgressBar1.Value = NMIN
Form4.ProgressBar1.Max = NMAX
Form4.ProgressBar1.Min = NMIN
Form4.AVANCE.Caption = Str(1)
Form4.Refresh
TNOPT(0) Text = ""
TKX1OPT(2) Text = ""
TKX2OPT(3) Text = ""
TSOPT(1) Text = ""
TXBOPT(4) Text = ""
TKCOUNT(5) Text = ""
For I = NMIN To NMAX
XN = I
N = I
If NK = 0 Then NK = 0
NK1 = NK
NK2 = 0
.....
'Encuentra valores iniciales para el límite del diagrama R
.....
Do
W0 = NK2
W1 = 0.5 * W0
W2 = 4.5 * W0
FIRST0 = (PHI(W1) - PHI(W2)) / S
NL = W0 / 2
NL = 18 * NL
W = W0
Call G010(NL, NU, N, W, FNT, Y)
PS = FIRST0 - 2 * S * Y
If PS <= 0.05 Then Exit Do
XN2 = NK2 + 0.5
Loop
XN2 = NK2
If ORDNT = 0
.....
'Continuiza la función usando métodos de búsqueda
de "Golden Section"
.....
NM(0) = NM(1)
NM(2) = NM(2)
N0 = NM(1)
NK1 = NM(2)
STEP = 0.05
If COUNT = 0 Then NT = 1
Call G010(N0, NK1, NK2, NN, S, SIGMA, DELT, NLAMBDA, L, C, B, V,
ALPHA, P, FAX, TR, WW, TS)
If COUNT = 0 Then NT = 1
Form4.Show
Do Events
' KK = 0
For N = 1 To NN
TEMP = NM(0)
NM(0) = NM(1) + STEP
NK1 = NM(0)
NK2 = NM(2)
Call G010(N, NK1, NK2, NN, S, SIGMA, DELT, NLAMBDA, L, C, B, V,
ALPHA, P, FAX, TR, WW, TS)
Form4.Show
Do Events
If N = FAX Then GoTo 10
NM(0) = TEMP
NM(0) = NM(0) + STEP
NK1 = NM(0)
NK2 = NM(2)
Call G010(N, NK1, NK2, NN, S, SIGMA, DELT, NLAMBDA, L, C, B, V,
ALPHA, P, FAX, TR, WW, TS)
Form4.Show
Do Events
If N = FAX Then GoTo 10
NM(0) = TEMP
GoTo 20

```

```

10 FXB = FXB
   KK = 1
20 Next J
   IF KK = 0 Then GoTo 30
   For J = 1 To NN
     XX(J) = XM(J)
   Next J
   For J = 1 To NN
     XT(J) = 2 * XX(J) - XX(J)
   Next J
   XK1 = XT(1)
   XK2 = XT(2)
   Call OBJFN(N, XK1, XK2, XN, S, SIGMA, DELT, XLAMBDA, U, C, B, V,
ALPHA, P, FNT, TR, WW, TS)
   ICOUNT = ICOUNT + 1
   For MM = 1 To NN
     X(MM) = XX(MM)
   Next MM
   IF FXI = FXB Then GoTo 5
   FXB = FNT
   For J = 1 To NN
     XM(J) = XT(J)
   Next J
   GoTo 5

```

.....  
 La búsqueda es terminada cuando el valor del incremento  
 alcanza un valor específico o cuando el número de  
 iteraciones alcanza el valor predeterminado.  
 .....

```

30 If (STEP < .001 Or ICOUNT > .999) Then GoTo 40
   STEP = STEP / 2
   GoTo 5
40 If (XK1 = 0 Or XK2 = 0) Then GoTo 50
   IF FXB = FXBOPT Then

```

.....  
 \*Asignaciones de variables para la salida de la información.  
 .....

```

TNSOP(1) Text = Str(N)
DatSalOp(1) = N
TNK1OPT(2) Text = Format(NK1, "###0.00")
DatSalOp(3) = NK1
TNK2OPT(3) Text = Format(NK2, "###0.00")
DatSalOp(4) = NK2
TSOPT(1) Text = Format(S, "###0.00")
DatSalOp(2) = S
IFNBOPT(4) Text = Format(FXB, "###0.0000")
DatSalOp(5) = FXB
HICOUNT(5) Text = Str(ICOUNT)
DatSalOp(6) = ICOUNT
RRN = ALPHA
End If
SAL(1) = Str(N)
SAL(2) = Format(NK1, "###0.00")
SAL(3) = Format(NK2, "###0.00")
SAL(4) = Format(S, "###0.00")
SAL(5) = Format(ALPHA, "00.00%")
SAL(6) = Format(F, "00.00%")
SAL(7) = Format(FXB, "###0.0000")
INTERCAMBIO(1) = N
INTERCAMBIO(2) = XK1
INTERCAMBIO(3) = XK2
INTERCAMBIO(4) = S
INTERCAMBIO(5) = ALPHA
INTERCAMBIO(6) = P
INTERCAMBIO(7) = FXB
ESP = ""
INC = ""
If N > 10 Then INC = " "
LISTA = IN
For k = 1 To 7
  LISTA = LISTA + SAL(k) + ESP
  DatSalOp(1, k) = INTERCAMBIO(k)
Next k
Last AddItem LISTA
Last Refresh
Form4 ProgressBar Value = 1
AV = CInt( NMAX * 100)
Form4 AVANCE Caption = Str(AV)
Form4 Refresh
FXBOPT = FXB
Next J
Form4 Hide
Form1 Command1 MousePointer = 0
Form1 Command1 Enabled = True
Form1 Command2 Enabled = True
Form1 Enabled = True
Exit Sub

```

```

5) Mensaje "Ocurrió un error inesperado, revise la congruencia en los parámetros."
48 MsgBox Error
Form4 Hide
Form1 Command1 MousePointer = 0
Form1 Command1 Enabled = True
Form1 Command2 Enabled = True
Form1 Enabled = True
Exit Sub

```

```

Cero
MsgBox "Faltan datos o alguno de ellos es cero", 48, "Dato Error"
Form4 Hide
Form1 Command1 MousePointer = 0
Form1 Command1 Enabled = True
Form1 Command2 Enabled = True
Form1 Enabled = True
Exit Sub

```

```

Public Function FCT(X, N, W)
  If Abs(X) < 18.7 Then GoTo 300
  If X = 0 Then ZX = 0.39894228
  If X < 0 Then ZX = 0.39894228 * Exp(-X * N / 2)
  FIN1 = PHI(X)
  N1 = X - W
  If Abs(N1) < 18.7 Then GoTo 300
  FIN2 = PHI(N1)
  F1 = FIN1 - FIN2

```

```

Si el valor de FCT es < 19.77 entonces se devuelve 0
If (FIN1 - FIN2) < 0 Then
  If (FIN1 - FIN2) = 0 Then
    CHECK = (N / 2) * Log(FIN1 - FIN2) / Log(10) + (X * N) / Log(10)
    If CHECK < -70 Then
      FCT = 0
    Else
      FCT = ZX * (FIN1 - FIN2) * (N - 1)
    End If
  Else
    FCT = 0
  End If
Else
  FCT = 0
End If
300 Fin de la función
End Function

```

```

Public Sub OBJFN(N, XK1, XK2, XN, S, SIGMA, DELT, XLAMBDA, U, C, B, V,
ALPHA, P, FX, TR, WW, TS)
  'Evaluación de la función de costo
  FAX = PHI(XK1)
  ALPHA1 = 2 * FAX
  W0 = XK2
  W1 = 0.5 * W0
  W2 = 0.5 * W0
  FIRST1 = (PHI(W1) - PHI(W2)) / N
  N1 = W0 / 2
  N2 = 18.7
  W = W0
  Call OBJFN(XL, N1, N, W, FNT, Y)
  FNK2 = FIRST1 * 2 * N * Y
  ALPHA2 = 1 - FNK2
  ALPHA = ALPHA1 + ALPHA2 + ALPHA1 * ALPHA2
  Y1 = DELT * Sqr(X2) * SIGMA * X1 * SIGMA
  Y2 = DELT * Sqr(XN) * SIGMA * XK1 * SIGMA
  PART1 = PHI(Y1)
  PART2 = PHI(Y2)
  PART3 = PART1 + PART2
  W0 = XK2 * SIGMA
  W1 = 0.5 * W0
  W2 = 0.5 * W0
  FIRST1 = (PHI(W1) - PHI(W2)) / N
  N1 = W0 / 2
  N2 = 18.7
  W = W0
  Call OBJFN(XL, N1, N, W, FNT, Y)
  PS2 = FIRST1 * 2 * N * Y
  PS = 1 - PS2
  P = PNBAR + PS
  PNBAR = PS
  K0 = ALPHA
  k1 = 1 - P

```

```

Cálculo del intervalo de muestreo
S = Sqr(V * ALPHA + B * C * N) / XLAMBDA * (1 + (R1 - 0.5) /
TAU)
C1 = (1 - XLAMBDA * S) * Exp(-XLAMBDA * S) / (XLAMBDA *
XLAMBDA * Exp(-XLAMBDA * S))
B0 = ALPHA * (1 - XLAMBDA * TAU) / S
B1 = S * K1 - U
FX = (1 - XLAMBDA * B1 + V * B0 - XLAMBDA * WW * (B1 - U) * N) * (1 -
XLAMBDA * B1) / S1 + (1 - XLAMBDA * B1 - TS * B0 - XLAMBDA * (R1)
End Sub

```

```

10 FXB = FX
KK = 1
20 Next J
IF KK = 0 Then GoTo 30
For J = 1 To NN
XX(J) = XM(J)
Next J
For J = 1 To NN
NT(J) = 2 * XX(J) - XX(J)
Next J
XK1 = NT(1)
XK2 = NT(2)
Call OBJFN(N, XK1, XK2, XN, S, SIGMA, DELT, XLAMBDA, U, C, B, V,
ALPHA, P, FNT, TR, WW, TS)
R'COUNT = COUNT + 1
For MM = 1 To NN
X(MM) = XX(MM)
Next MM
IF FXB = FNB Then GoTo 5
FNB = FNT
For J = 1 To NN
XM(J) = XH(J)
Next J
GoTo 5

```

.....  
La búsqueda es terminada cuando el valor de incremento  
alcanza un valor específico o cuando el número de  
iteraciones alcanza el valor predeterminado.  
.....

```

30 If (STEP < 0.001 Or COUNT > 999) Then GoTo 40
STEP = STEP / 2
GoTo 5
40 If (XK1 < 0 Or XK2 < 0) Then GoTo 50
IF FXB = FNB OPT Then

```

.....  
\*Asumaciones de variables para la salida de la información.  
.....

```

TNOP(0) Text = Str(N)
DatSalOp(1) = N
TNK1(OP(1)) Text = Format(XK1, "###0.00")
DatSalOp(3) = XK1
TNK2(OP(3)) Text = Format(XK2, "###0.00")
DatSalOp(4) = XK2
TSOP(1) Text = Format(S, "###0.00")
DatSalOp(2) = S
TFNBOPT(4) Text = Format(FNB, "###0.0000")
DatSalOp(5) = FNB
TRCOUNT(5) Text = Str(RCOUNT)
DatSalOp(6) = RCOUNT
RRS = ALPHA
End If
SAL(1) = Str(N)
SAL(2) = Format(XK1, "###0.00")
SAL(3) = Format(XK2, "###0.00")
SAL(4) = Format(S, "###0.00")
SAL(5) = Format(ALPHA, "00.00%")
SAL(6) = Format(P, "00.00%")
SAL(7) = Format(FNB, "###0.0000")
INTERCAMBIO(1) = N
INTERCAMBIO(2) = XK1
INTERCAMBIO(3) = XK2
INTERCAMBIO(4) = S
INTERCAMBIO(5) = ALPHA
INTERCAMBIO(6) = P
INTERCAMBIO(7) = FNB
ESP = " "
INC = ""
If N > 10 Then INC = " "
LIST = IN
For k = 1 To 7
LISTA = LISTA + SAL(k) + ESP
DatSubdat(k) = INTERCAMBIO(k)
Next k
Last Additem LISTA
Last Refresh
Form4 ProgressBar1.Value = 1
AV = (Ini1 / NMAX) * 100
Form4 AVANCE.Caption = Str(AV)
Form4 Refresh
FXBOPT = FNB
Next J
Form4 Hide
Form1 Command1.MousePointer = 0
Form1 Command1.Enabled = True
Form1 Command2.Enabled = True
Form1 Enabled = True
Exit Sub

```

```

51 MsgBox "Ocurrió un error inesperado, revise la congruencia en los parámetros."
48 "Deco Error"
Form4 Hide
Form1 Command1.MousePointer = 0
Form1 Command1.Enabled = True
Form1 Command2.Enabled = True
Form1 Enabled = True
Exit Sub

```

```

Cero
MsgBox "Faltan datos o alguno de ellos es cero". 48, "Deco Error"
Form4 Hide
Form1 Command1.MousePointer = 0
Form1 Command1.Enabled = True
Form1 Command2.Enabled = True
Form1 Enabled = True
Exit Sub

```

```

Public Function FCT(X, N, W)
If Abs(X) > 18.7 Then GoTo 300
If N = 0 Then ZX = 0.39894228
If N > 0 Then ZX = 0.39894228 * Exp(-X * X / 2)
FIN1 = PHI(X)
N1 = N - W
If Abs(X1) > 18.7 Then GoTo 300
FIN2 = PHI(X1)
F1 = FIN1 - FIN2

```

```

30 If EL VALOR DE FCT ES < 10 ^ -77 ENTONCES DEFN FCT = 0
If (FIN1 - FIN2) < 0 Then
If (FIN1 - FIN2) < 0 Then
CHECK = (N - 1) * Log(FIN1 - FIN2) / Log(10) + Log(N) / Log(10)
IF CHECK > -70 Then
FCT = 0
Else
FCT = ZX * (FIN1 - FIN2) / (N - 1)
End If
Else
FCT = 0
End If
Else
FCT = 0
End If

```

300 Fin de la función  
End Function

```

Public Sub OBJFN(N, XK1, XK2, XN, S, SIGMA, DELT, XLAMBDA, U, C, B, V,
ALPHA, P, FNT, TR, WW, TS)
'valoracion de la función de costo
FAN = PHI(XK1)
ALPHA1 = 2 * FAN
W0 = XK2
W1 = 0.5 * W0
W2 = 0.5 * W0
FIRST1 = (PHI(W1) - PHI(W2)) / N
XZ = W0 / 2
NU = 18.7
W = W0
Call OBJOX(NL, XU, N, W, FNT, Y)
FNSK2 = FIRST1 / 2 * N * Y
ALPHA2 = 1 - FNSK2
ALPHA = ALPHA1 + ALPHA2 - ALPHA1 * ALPHA2
Y1 = 13.12 * Sqr(X2) * SIGMA + NE1 * SIGMA
Y2 = DELT1 * Sqr(XN) * SIGMA + XK1 * SIGMA
PART1 = PHI(Y1)
PART2 = PHI(Y2)
PXBAR = (PART1 + PART2)
W0 = XK2 * SIGMA
W1 = 0.5 * W0
W2 = 0.5 * W0
FIRST1 = (PHI(W1) - PHI(W2)) / N
XZ = W0 / 2
NU = 18.7
W = W0
Call OBJOX(NL, XU, N, W, FNT, Y)
PS2 = FIRST1 / 2 * N * Y
PS = 1 - PS2
P = PXBAR + PS - PXBAR * PS
K0 = 1 - ALPHA
k1 = 1 - P

```

```

'Calculo del intervalo de muestras
S = Sqr(V * ALPHA + B * C * NN) / XLAMBDA * U * (R1 - 0.5)
TAU = (1 - C) / XLAMBDA * S * Exp(-XLAMBDA * S) / (S * XLAMBDA)
XLAMBDA = Exp(-XLAMBDA * S) / S
B = ALPHA * U + XLAMBDA * TAU / S
B1 = S * R1 - TAU
FX = (1 - XLAMBDA * B) * V * B0 + XLAMBDA * WW * (B - C * NN) * (1 -
XLAMBDA * B) / S) / (1 - XLAMBDA * B1 + TS * B0 + XLAMBDA * TR)
End Sub

```

**Public Function PHI(X As Variant)**

Calcula la distribución de probabilidad de la función Phi: f de variable autónoma con distribución normal, usando la versión de simple precisión de la función de Craig (1984). Journal of Quality Technology, p. 234

Dim Y, S, RN, ZERO, ONE, ERF, SQRT2, PI As Variant

```
SQRT2 = 1.41421356
ONE = 1
PI = 3.14159265
ZERO = 0
Y = X / SQRT2
IF X <= ZERO Then Y = -Y
S = ZERO
For N = 1 To 7
  RN = N
  S = S + Exp(-R^2) * RN / 25 / N * Sin(2 * N * PI / 5)
Next N
S = S / Y / S
ERF = 2 * S / PI
PHI = (ONE + ERF) / 2
IF X = 0 Then PHI = (ONE + ERF) / 2
IF X = -8.3 Then PHI = ZERO
IF X = 8.3 Then PHI = ONE
End Function
```

**Public Sub QGT(NL, XL, N, W, FNT, Y)**

Integración numérica para evaluar la probabilidad integral del rango. Referencia: IBM System 360 scientific subroutines package, version III, p. 302

```
A = 0.4 * (NL + XL)
B = NL - XL
C = 0.4869533 * B
Y = 0.0133356 * (FCT(A + C, N, W) - FCT(A - C, N, W))
C = 0.4325317 * B
Y = Y + 0.07472567 * (FCT(A + C, N, W) - FCT(A - C, N, W))
C = 0.3397048 * B
Y = Y + 0.1095432 * (FCT(A + C, N, W) - FCT(A - C, N, W))
C = 0.2166977 * B
Y = Y + 0.1346334 * (FCT(A + C, N, W) - FCT(A - C, N, W))
C = 0.0744371 * B
Y = B * (Y + 0.1477621 * (FCT(A + C, N, W) - FCT(A - C, N, W)))
End Sub
```

**Private Sub mainAbriv. Click()**

```
Dim I As Integer, K As Integer
Dim TMP As String
On Error GoTo Trampartor ' Si hay un error, muestra abajo un mensaje de error
CUENTA = 0
CommonDialog1.ShowOpen
```

ARCHIVO = CommonDialog1.FileName

Open ARCHIVO For Input As #1

Lane Input #1, TMP

IF TMP = "DELTA,ALAMBDA,OV1,K,R,K5,TR,TS,B,C,Rd,Sigma" Then Go To MaArriba

MaArriba

```
For I = 1 To 11
  Input #1, DatEntrada(I)
Next I
Input #1, TMP
Lane Input #1, TMP
For I = 1 To 6
  Input #1, DatSalOpt(I)
Next I
Input #1, TMP
Lane Input #1, TMP
For I = 1 To 7
  Input #1, DatSalVal(I)
Next I
Input #1, TMP
Lane Input #1, TMP
I = 1
Do
  I = I + 1
  CUENTA = I - 1
  For K = 1 To 7
    Input #1, DatSalida(I, K)
  Next K
  Input #1, TMP
  Loop Until DatSalida(I, 7) = ""
  K = 1
  Cierre el archivo
```

```
TDEL70(I) Text = DatEntrada(1)
TNLAMBDA(I) Text = DatEntrada(2)
TRK2(I) Text = DatEntrada(3)
TRK3(I) Text = DatEntrada(4)
TRK4(I) Text = DatEntrada(5)
TRK5(I) Text = DatEntrada(6)
TRK6(I) Text = DatEntrada(7)
TRK7(I) Text = DatEntrada(8)
TRK8(I) Text = DatEntrada(9)
TRK9(I) Text = DatEntrada(10)
textVar Text = DatEntrada(11)
```

```
.....
If DatSalOpt(1) = "" Then
  TNOPT(0) Text = DatSalOpt(1)
  TNK1OPT(2) Text = DatSalOpt(2)
  TNK2OPT(3) Text = DatSalOpt(3)
  TSOPT(4) Text = DatSalOpt(4)
  TFNOOPT(4) Text = DatSalOpt(5)
  TICOUNT(5) Text = DatSalOpt(6)
Else
  TNOPT(0) Text = Str(DatSalOpt(1))
  TNK1OPT(2) Text = Format(DatSalOpt(2), "###0.00")
  TNK2OPT(3) Text = Format(DatSalOpt(3), "###0.00")
  TSOPT(4) Text = Format(DatSalOpt(4), "###0.00")
  TFNOOPT(4) Text = Format(DatSalOpt(5), "###0.0000")
  TICOUNT(5) Text = Str(DatSalOpt(6))
End If
.....
```

```
.....
If DatSalVal(1) = "" Then
  VN Text = DatSalVal(1)
Else
  VN Text = Str(DatSalVal(1))
End If
If DatSalVal(2) = "" Then
  VH Text = DatSalVal(2)
Else
  VH Text = Str(DatSalVal(2))
End If
If DatSalVal(3) = "" Then
  VK1 Text = DatSalVal(3)
Else
  VK1 Text = Str(DatSalVal(3))
End If
If DatSalVal(4) = "" Then
  VK2 Text = DatSalVal(4)
Else
  VK2 Text = Str(DatSalVal(4))
End If
If DatSalVal(5) = "" Then
  VFNB Text = DatSalVal(5)
Else
  VFNB Text = Str(Format(DatSalVal(5), "###0.0000"))
End If
If DatSalVal(6) = "" Then
  ALF Text = DatSalVal(6)
Else
  ALF Text = Format(DatSalVal(6), "0.00%")
End If
If DatSalVal(7) = "" Then
  BIF Text = DatSalVal(7)
Else
  BIF Text = Format(DatSalVal(7), "0.00%")
End If
.....
```

```
.....
If DatSalida(1, 1) = "" Then
  For I = 2 To CUENTA
    DatSal(adr1, 1) = Str(DatSalida(I, 1))
    DatSal(adr1, 2) = Format(DatSalida(I, 2), "###0.00")
    DatSal(adr1, 3) = Format(DatSalida(I, 3), "###0.00")
    DatSal(adr1, 4) = Format(DatSalida(I, 4), "###0.00")
    DatSal(adr1, 5) = Format(DatSalida(I, 5), "00.00%")
    DatSal(adr1, 6) = Format(DatSalida(I, 6), "00.00%")
    DatSal(adr1, 7) = Format(DatSalida(I, 7), "###0.0000")
  Next I
.....
```

```
.....
ESP = ""
For I = 2 To CUENTA
  INC = ""
  If DatSalida(I, 1) = 10 Then INC = ""
  LISTA = INC
  For K = 1 To 7
    LISTA = LISTA + DatSal(adr1, K) + ESP
  Next K
  List.AddItem LISTA
Next I
End If
.....
```

Form1.Caption = "Ejecución de CommonDialog1 File.Txt - 1"

Exit Sub

```
Trampartor
If Err.Number <= 0 Then
  No hacer nada
Else
  MaArriba
```

MsgBox "El archivo no tiene el formato de esta aplicación, oriente con otro archivo" \* dial \* & " & "Ejecución Error"

K = 1

End If

End Sub



```

Private Sub menuGuardar_Click()
Dim I As Integer, K As Integer

On Error GoTo 10 ' Si hay un error, muestra abajo un mensaje de error
CommonDialog1.ShowSave
.....
ARCHIVO = CommonDialog1.FileName
If Dir(ARCHIVO) <> "" Then ' El archivo ya existe, así que pregunta si el
usuario desea
' sobrescribir el archivo
response = MsgBox("¿Desea sobrescribir el archivo?", vbYesNo + vbQuestion
+ vbDefaultButton2, "Deseo Información")
If response = vbNo Then Exit Sub
End If
Open ARCHIVO For Output As #3 ' Si no es así, abre el de archivo para la
salida
If DELT = 0 And VO = 0 And SIGMA = 0 Then
DatEntrada(1) = Val(TDELT(0) Text)
DatEntrada(2) = Val(TXLAMBDA(0) Text)
DatEntrada(3) = Val(TVQ(2) Text)
DatEntrada(4) = Val(TV(3) Text)
DatEntrada(5) = Val(TKR(4) Text)
DatEntrada(6) = Val(TKS(5) Text)
DatEntrada(7) = Val(TTS(7) Text)
DatEntrada(8) = Val(TTS(7) Text)
DatEntrada(9) = Val(TB(8) Text)
DatEntrada(10) = Val(TC(9) Text)
DatEntrada(11) = Val(textVar Text)
End If
.....
Print #3, "DELTA, LAMBDA, VO, VI, KR, KS, TR, TS, BC, RedSigma"
For I = 1 To 11
Write #3, DatEntrada(I)
Next I
Write #3
Print #3, "NOPT, SOPT, K1OPT, K2OPT, FNBOPT, JCOUNT"
For I = 1 To n
Write #3, DatSalOpt(I)
Next I
Write #3
Print #3, "VN, VH, VK1, VK2, VFNB, ALF, BET"
For I = 1 To 7
I = K = 1 To 7
Write #3, DatSalida(I), K1
Next K
Write #3
Next I
Reset ' Cierra el archivo
Form1.Caption = "Deseo" + CommonDialog1.FileTitle + ".txt"
Exit Sub
10 If Len NumVar = 0 Then
' No hacer nada
Else
MsgBox "Ha ocurrido un error al intentar cerrar el archivo o intentarlo otra vez."
48 "Deseo Error"
Reset
End If
End Sub

```

```

Private Sub menuImprimir_Click()
Printer.FontBold = True
Printer.Print "Determinación de Parámetros Óptimos para el Diseño de Diagramas x-
R"
Printer.FontBold = False
Dim I As Integer, K As Integer

On Error GoTo 10 ' Si hay un error, muestra abajo un mensaje de error
.....
If DELT = 0 And VO = 0 And SIGMA = 0 Then
DatEntrada(1) = Val(TDELT(0) Text)
DatEntrada(2) = Val(TXLAMBDA(0) Text)
DatEntrada(3) = Val(TVQ(2) Text)
DatEntrada(4) = Val(TV(3) Text)
DatEntrada(5) = Val(TKR(4) Text)
DatEntrada(6) = Val(TKS(5) Text)
DatEntrada(7) = Val(TTS(7) Text)
DatEntrada(8) = Val(TTS(7) Text)
DatEntrada(9) = Val(TB(8) Text)
DatEntrada(10) = Val(TC(9) Text)
DatEntrada(11) = Val(textVar Text)
End If
.....
Printer.FontBold = True

```

```

Printer.Print "Parámetros de entrada"
Printer.Print "Lambda: " & Val("K1", "K2")
Printer.FontBold = False
For I = 1 To n
Printer.Print DatEntrada(I)
Next I
Printer.Print
Printer.Print
Printer.FontBold = True
Printer.Print "TR", "TS", "C", "RedVar"
Printer.FontBold = False
For I = 1 To 11
Printer.Print DatEntrada(I)
Next I
Printer.Print
Printer.Print
.....
Printer.FontBold = True
Printer.Print "Valoración de parámetros"
Printer.Print Tab(1), "n",
Printer.Print Tab(10), "h",
Printer.Print Tab(20), "K1",
Printer.Print Tab(30), "K2",
Printer.Print Tab(40), "alfa",
Printer.Print Tab(50), "beta",
Printer.Print Tab(60), "Costo"
Printer.FontBold = False
If DatSalVal(1) <> "" Then Printer.Print Tab(1), Str(DatSalVal(1))
If DatSalVal(2) <> "" Then Printer.Print Tab(10), Format(DatSalVal(2),
"##0.00")
If DatSalVal(3) <> "" Then Printer.Print Tab(20), Format(DatSalVal(3),
"##0.00")
If DatSalVal(4) <> "" Then Printer.Print Tab(30), Format(DatSalVal(4),
"##0.00")
If DatSalVal(5) <> "" Then Printer.Print Tab(40), Format(DatSalVal(5),
"00.00%")
If DatSalVal(6) <> "" Then Printer.Print Tab(50), Format(DatSalVal(6),
"00.00%")
If DatSalVal(7) <> "" Then Printer.Print Tab(60), Format(DatSalVal(7),
"##0.0000")
Printer.Print
Printer.Print
.....
If LastLst.Count = 1 Then
Printer.Print "Optimización de parámetros"
Printer.FontBold = True
Printer.Print Tab(1), "n",
Printer.Print Tab(10), "K1",
Printer.Print Tab(20), "K2",
Printer.Print Tab(30), "h",
Printer.Print Tab(40), "Alfa",
Printer.Print Tab(50), "beta",
Printer.Print Tab(60), "Costo"
Printer.FontBold = False
For I = 2 To 11 Str V
Printer.Print Tab(1), Str(DatSalida(I), 15)
Printer.Print Tab(10), Format(DatSalida(I, 2), "##0.999")
Printer.Print Tab(20), Format(DatSalida(I, 3), "##0.00")
Printer.Print Tab(30), Format(DatSalida(I, 4), "##0.00")
Printer.Print Tab(40), Format(DatSalida(I, 5), "00.00%")
Printer.Print Tab(50), Format(DatSalida(I, 6), "00.00%")
Printer.Print Tab(60), Format(DatSalida(I, 7), "##0.0000")
Printer.Print
Next I
Printer.Print
Printer.Print
.....
Printer.FontBold = True
Printer.Print "Parámetros óptimos"
Printer.Print Tab(1), "h", "K1", "K2", "Costo", "Iteraciones"
Printer.FontBold = False
For I = 1 To n
Printer.Print DatSalOpt(I)
Next I
End If
.....
Printer.EndDoc ' Termina la cola de impresión
Exit Sub

```

```

10 MsgBox "Ha ocurrido un error al intentar imprimir el archivo, intentalo otra
vez.", 48, "Deseo Error"
Printer.EndDoc ' Termina la cola de impresión
End Sub

```