



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

"DISEÑO DE DIAGRAMAS DE CONTROL POR COMPUTADORA"

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A

RICARDO HERREJON SANSON

276214
1512972



DIRECTOR: DR. ALEJANDRO TERAN C.
CO-DIRECTOR: ING. GUADALUPE DURAN R.

México, D.F.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

DEDICATORIAS

Gracias a todos los que me apoyaron en las buenas y en las malas

Gracias a mi Padre Javier Herrejón C. y a mi Madre Lupita Sansón T.,

A mis hermanas Liliana y Judith

A mi abuelito Rafael Sansón B

A mi tío V. Manuel Sansón T

En especial al Dr. Alejandro Terán C, y Lupita Durán

ÍNDICE

NOMENCLATURA
SIMBOLOS GRIEGOS
ÍNDICE DE FIGURAS
ÍNDICE DE ECUACIONES

	Página
OBJETIVO	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. DIAGRAMAS DE CONTROL	3
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS	3
2.2 ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE CONTROL	7
2.3 CRITERIOS	12
3. MODELOS	14
3.1 MODELO DE DUNCAN	14
3.2 MODELOS DE KEATS, MISCULIN Y RUNGER	16
3.3 MODELO DE ARTILES LEON	18
3.4 MODELO DE ELART VON COLLANI	23
4. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA	25
4.1 MENÚ PRINCIPAL	25
4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISEÑOS DE DIAGRAMAS DE CONTROL PROPUESTOS	29
4.3 PRESENTACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PROGRAMA Y PRESENTACIÓN DE SUBMENÚS	31
4.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROGRAMA PROPUESTO	39

5. EJEMPLOS	40
5.1 EJEMPLO 1	40
5.2 EJEMPLO 2	43
5.3 EJEMPLO 3	44
5.4 EJEMPLO 4	45
ANEXO 1 TABLAS (APL vs n)	46
ANEXO 2 GRÁFICAS (APL vs n)	50
ANEXO 3 DIAGRAMAS DE FLUJO	53
ANEXO 4 LISTADO DEL PROGRAMA	57
ANEXO 5 DIAGRAMA DE ARBOL	85
CONCLUSIÓN	86
BIBLIOGRAFÍA	87

NOMENCLATURA

APL	Cantidad promedio de artículos producidos entre la ocurrencia de un cambio y su detección
APL₀	Cantidad de artículos producidos desde el comienzo del esquema hasta que el esquema de la señal de cambio en la media, cuando en realidad este no se ha producido
ARL₀	Número esperado de muestras tomadas antes de que se de una señal de cambio en la media cuando el proceso está bajo control
ARL_{out}	ARL cuando un cambio de $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ unidades ha ocurrido en la media del proceso
b	Costo por muestra de muestrear y graficar
c	Costo por unidad de muestrear, probar y anotar el resultado que está relacionado con el tamaño de la muestra
c₄	Constante que relaciona la desviación estándar de un conjunto de muestras provenientes de una distribución normal con la desviación estándar de la población de la cual provienen, está relacionado con el tamaño de la muestra
D	Tiempo promedio que se requiere para encontrar la causa asignable después de que se ha dado la alarma
d	Tamaño del cambio en la media, en términos de la desviación estándar
d₂	Constante que relaciona el rango de un conjunto de muestras provenientes de una distribución normal con la desviación estándar de la población de la cual provienen
e	Proporción en la cual el tiempo entre la toma de la muestra y graficación de un punto en el diagrama de control \bar{X} , se incrementa con el tamaño de la muestra
EAST	Costo de investigar una falsa alarma
G1	Ganancia por unidad conformante
G2	Pérdida por unidad no conformante
h₋	Intervalo de muestreo
h_t	Intervalo de tiempo, expresado en horas
h_s	Número de artículos producidos entre subgrupos

k	Distancia de los límites de control a la línea central, expresada en términos de la desviación estándar
L	Producción promedio o número total de artículos producidos entre un cambio y una señal
L_p	Costo de pérdida por hora de operación
LP	Posición del límite de precaución
LC	Línea central
LSC	Límite superior de control
LIC	Límite inferior de control
M	Reducción del ingreso por hora que se atribuye a la ocurrencia de la causa asignable
n	Tamaño del subgrupo
P	Probabilidad de que un punto muestreado caiga fuera de los límites de control
P_o	Fracción no conformante durante el periodo bajo control
P_1	Fracción no conformante durante el periodo fuera de control
PRO	Promedio de ocurrencia de una causa asignable
r	Proporción máxima de muestreo
R	Rango del subgrupo
RAST	Costo de eliminar una causa asignable
s	Desviación estándar del subgrupo
S	Número de subgrupos de tamaño n muestreados entre la ocurrencia de un cambio y la señal de que hubo dicho cambio
T	Costo promedio de buscar una causa asignable cuando ésta no existe
V	Rapidez de producción promedio
W	Costo promedio de buscar una causa asignable cuando ésta existe
Z	Número de artículos producidos entre un cambio y el primer subgrupo muestreado después del cambio

SIMBOLOS GRIEGOS

- α complemento a uno del coeficiente estadístico de confianza
- δ tamaño del cambio en la media de una variable de calidad
- Φ probabilidad acumulada bajo la curva normal
- λ parámetro de la distribución exponencial
- μ media poblacional del proceso
- σ desviación estándar poblacional del proceso

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
FIGURA 2.1	ESQUEMA DE MUESTREO	4
FIGURA 2.2	DIAGRAMA DE CONTROL	8
FIGURA 4.1.1	MENÚ PRINCIPAL	25
FIGURA 4.1.2	PANTALLA 1	26
FIGURA 4.1.3	PANTALLA 2	27
FIGURA 4.1.4	PANTALLA 3	27
FIGURA 4.1.5	PANTALLA 4	28
FIGURA 4.1.6	PANTALLA 5	28
FIGURA 4.3.1	PANTALLA 6	31
FIGURA 4.3.2	PANTALLA 7 (SUBMENÚ 1)	32
FIGURA 4.3.3	PANTALLA 8	33
FIGURA 4.3.4	PANTALLA 9	34
FIGURA 4.3.5	PANTALLA 10 (SUBMENÚ 2)	34
FIGURA 4.3.6	PANTALLA 11	35
FIGURA 4.3.7	PANTALLA 12 (SUBMENÚ 3)	36
FIGURA 4.3.8	PANTALLA 13	37
FIGURA 4.3.9	PANTALLA 14 (SUBMENÚ 4)	38

ÍNDICE DE ECUACIONES

		Página
ECUACIÓN 2.1	Cálculo de la media de las medias $\bar{\bar{X}}$	5
ECUACIÓN 2.2	Cálculo de la media de los rangos \bar{R}	5
ECUACIÓN 2.3	Cálculo de la media de las desviaciones estándar, \bar{s}	6
ECUACIÓN 2.4	Cálculo de la media estimada del proceso	6
ECUACIÓN 2.5	Cálculo de la desviación estándar estimada del proceso $\hat{\sigma}$ por medio de \bar{R}	6
ECUACIÓN 2.6	Cálculo de la desviación estándar estimada del proceso $\hat{\sigma}$ por medio de \bar{s}	7
ECUACIÓN 2.7	Forma general de construcción de un diagrama de control	9
ECUACIÓN 2.8	Cálculo de la línea central para un diagrama \bar{X} , por medio de $\bar{\bar{X}}$	9
ECUACIÓN 2.9	Cálculo de la desviación estándar estimada de \bar{X} , por medio de $\hat{\sigma}$	10
ECUACIÓN 2.10	Cálculo de los límites de control superior e inferior para un diagrama \bar{X}	10
ECUACIÓN 3.1	Cálculo de la probabilidad de que un punto muestreado caiga fuera de los límites de control, cuando el proceso esta bajo control	14
ECUACIÓN 3.2	Cálculo de la probabilidad de que un punto muestreado caiga fuera de los límites de control, cuando una causa asignable ha ocurrido	15
ECUACIÓN 3.3	Cálculo del costo de pérdida por hora de operación	16
ECUACIÓN 3.4	Cálculo de la variable B	16
ECUACIÓN 3.5	Cálculo de la variable a	16
ECUACIÓN 3.6	Cálculo de la proporción de muestreo r	17
ECUACIÓN 3.7	Cálculo de la cantidad promedio de artículos producidos entre la ocurrencia de un cambio y su detección	17
ECUACIÓN 3.8	Restricción del número de unidades muestreadas	17
ECUACIÓN 3.9	Cálculo de la distancia de los límites de control a la línea central	18

ECUACIÓN 3.10	Cálculo de la posición del límite de control LC , límite de precaución LP , y ARL_{out} para el esquema 1	19
ECUACIÓN 3.11	Cálculo de la posición del límite de control LC , límite de precaución LP , y ARL_{out} para el esquema 2	20
ECUACIÓN 3.12	Cálculo de la posición del límite de control LC , límite de precaución LP , y ARL_{out} para el esquema 3	20
ECUACIÓN 3.13	Cálculo de la posición del límite de control LC , límite de precaución LP , y ARL_{out} para el esquema 4	21
ECUACIÓN 3.14	Cálculo de la posición del límite de control LC , límite de precaución LP , y ARL_{out} para el esquema 5	21
ECUACIÓN 3.15	Cálculo de la posición del límite de control LC , límite de precaución LP , y ARL_{out} para el esquema 6	22
ECUACIÓN 3.16	Cálculo de la posición del límite de control LC , límite de precaución LP , y ARL_{out} para el esquema 7	22
ECUACIÓN 3.17	Cálculo de la función beneficio	24
ECUACIÓN 3.18	Cálculo de α	24
ECUACIÓN 3.19	Cálculo de β	24
ECUACIÓN 3.20	Cálculo de la ecuación (.)	24

OBJETIVO

Desarrollar un programa de computación que sea auxiliar en el diseño de diagramas de control.

1. INTRODUCCIÓN

El control estadístico de procesos aplica principios de estadística al control de la variación de los procesos. Un proceso es la interacción de gente, material, métodos, equipo, mediciones y medio ambiente que produce cierta salida, ya sea un producto o un servicio. En el caso de un producto, existen características que definen la calidad del producto llamadas variables de calidad, estas variables pueden ser longitud, peso, viscosidad, comodidad, etc. Estas variables se traducen en especificaciones que reflejan los requerimientos del cliente, por ejemplo un cliente requiere que la altura de un tornillo sea de una pulgada con un rango de tolerancia de ± 0.01 pulgadas. El porqué de estas tolerancias es debido a que siempre va a existir variabilidad en un proceso, es decir, a pesar de que dos tornillos se hayan hecho con el mismo proceso, son diferentes. Por eso se necesitan técnicas que permitan reducir esta variabilidad y así poder hacer productos que cumplan en la medida de lo posible estas especificaciones. La técnica más utilizada para reducir la variabilidad es la introducida por Shewhart llamada diagrama de control, este diagrama es una herramienta gráfica que se explica con detalle en la sección 2.2 del capítulo 2. Existen tres formas para diseñar un diagrama de control, una se basa en criterios estadísticos, otra en criterios económicos, y la última en criterios semieconómicos, estos se comentan en la sección 2.3 del capítulo 2. Aunque generalmente se utilizan más los criterios estadísticos, hay una razón lógica de considerar los criterios económicos, y esta es la de que estos involucran todos los costos asociados al uso del esquema de control, y minimizan el costo total. Por otro lado, los criterios semieconómicos se han establecido últimamente como una buena opción para el diseño de diagramas de control por las ventajas que ofrece. Los modelos que se utilizan para el desarrollo del trabajo se presentan en las secciones 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 del capítulo 3. En la sección 4 se introduce la presentación del programa de computación con pantallas y la explicación de lo que realiza cada opción que aparece en dichas pantallas. La sección 4.1 presenta las opciones del menú principal, la sección 4.2 las ventajas y desventajas de utilizar los diseños de diagramas de control presentados, la 4.3 entradas y salidas del programa y la sección 4.4 presenta las ventajas y desventajas del programa.

Ante la necesidad de contar no sólo con técnicas que permitan solucionar problemas, sino a la facilidad de uso de estas técnicas, es importante considerar una herramienta como es la computación. En este caso, el programa de computación que se presenta tiene como finalidad ser auxiliar en el diseño de los diagramas de control y facilitar su uso.

2. DIAGRAMAS DE CONTROL (DC)

En cualquier proceso de producción, sin importar qué tan bien diseñado o mantenido esté, hay una variación inherente o natural del proceso, también ocasionalmente se presenta otro tipo de variación que no es natural y que puede ser encontrada y corregida llamada variación especial o asignable. Uno de los objetivos de los diagramas de control es detectar rápidamente la ocurrencia de causas especiales de variación para que así se pueda hacer una investigación del proceso y realizar medidas correctivas antes de que se produzcan más productos defectuosos. El objetivo de este capítulo es presentar las bases del diseño de un diagrama de control y sus aplicaciones. Para ello en la sección 2.1 se presentan conceptos básicos asociados a la necesidad de diseñar un diagrama de control. En la sección 2.2 se presenta la elaboración de un diagrama de control y su clasificación. Por último en la sección 2.3 se presentan los tres criterios para diseñar un diagrama de control.

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

El control estadístico de procesos incluye una serie de técnicas que tienen por objeto la reducción de la variabilidad en las características de calidad clave del producto [3].

Todos los procesos están sujetos a variación, y aún que, por ejemplo, dos o más tuercas hayan sido hechas por la misma máquina, todas son diferentes. Sin embargo, se pueden distinguir dos tipos de causas de variación. Las primeras se conocen como causas comunes de variación y son todas aquellas causas que son inherentes al proceso y que son esencialmente inevitables, como por ejemplo la vibración, el calor, la humedad, etc. Las segundas se llaman causas especiales de variación, que son aquellas que no son inherentes al proceso y que sí pueden evitarse, como por ejemplo, errores del operador, una herramienta desgastada, materia prima defectuosa, etc. Estas causas especiales de variación pueden ser encontradas y corregidas, particularmente si se sabe cuando están ocurriendo [2].

Cuando las causas especiales de variación han sido eliminadas y solo las causas comunes existen, se dice que el proceso está bajo control estadístico.

Para saber si un proceso está bajo control estadístico se utilizan los diagramas de control, por lo que es importante saber diseñar estos diagramas.

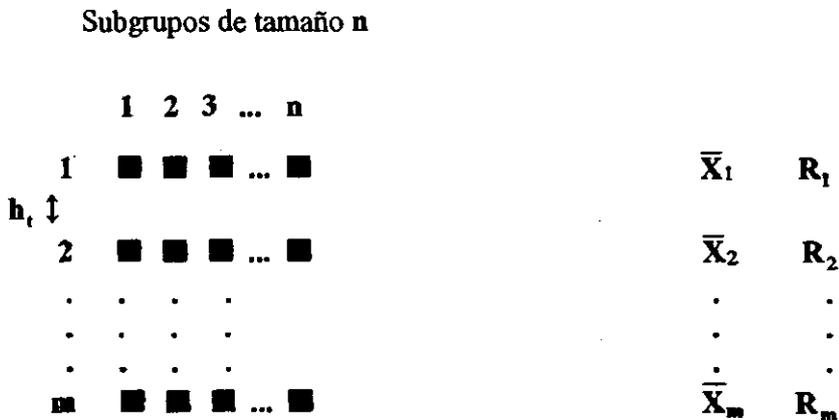
Antes de definir lo que es un diagrama de control, es necesario introducir ciertos conceptos como el de un esquema de muestreo y algunos estadísticos.

El esquema de muestreo es la observación de una serie de m muestras llamadas subgrupos, de tamaño n , en intervalos de tiempo definidos h_t . Se toman las mediciones de una característica de calidad a las n unidades de que consta ese subgrupo y se obtienen dos estadísticos, que son el rango R y la media \bar{X} y así sucesivamente para los m subgrupos (fig. 2-1).

FIGURA 2-1 ESQUEMA DE MUESTREO

Observación de m subgrupos de tamaño n

Registro de medias y rangos en periodos de tiempo h_t .



■ Medición de una característica de calidad a un artículo determina

Dentro de este esquema se pueden obtener estadísticos asociados a la localización y dispersión del proceso.

El estadístico asociado a la localización de un proceso se puede expresar en términos del promedio de los promedios observados durante los diferentes subgrupos, es decir $\bar{\bar{X}}$, que se define como:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_j}{m} \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Cálculo de la media de las medias $\bar{\bar{X}}$

En donde \bar{X}_j corresponde a la media del subgrupo j .

El estadístico asociado a la dispersión de un proceso se expresa en términos del promedio de los rangos, o en términos del promedio de las desviaciones estándar de los diferentes subgrupos, según sea el caso.

Si se utilizan los rangos de las muestras:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^m R_j}{m} \quad (\text{ecuación 2.2})$$

Cálculo de la media de los rangos \bar{R}

Si se utilizan las desviaciones estándar de las muestras :

$$\bar{s} = \frac{\sum_{j=1}^m s_j}{m} \quad (\text{ecuación 2.3})$$

Cálculo de la media de las desviaciones estándar \bar{s}

En donde:

R_j y s_j denotan los valores del rango y la desviación estándar del subgrupo j respectivamente, y el número de subgrupos se denota por m .

Una vez que se tienen estos estadísticos, es posible estimar la media y la desviación estándar del proceso de la siguiente manera:

Para estimar la media del proceso:

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}} \quad (\text{ecuación 2.4})$$

Cálculo de la media estimada del proceso

Para estimar la desviación estándar del proceso por medio del rango de los subgrupos:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (\text{ecuación 2.5})$$

Cálculo de la desviación estándar estimada del proceso $\hat{\sigma}$ por medio de \bar{R}

Para estimar la desviación estándar del proceso por medio de las desviaciones estándar de los subgrupos :

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (\text{ecuación 2.6})$$

Cálculo de la desviación estándar
estimada del proceso $\hat{\sigma}$, por medio de \bar{s}

donde \bar{R} es el promedio de los rangos de la muestra, y \bar{s} es el promedio de las desviaciones estándar de la muestra, d_2 y c_4 son constantes que dependen del tamaño del subgrupo n y relacionan al rango y a la desviación estándar de un conjunto de muestras con la desviación estándar de la población de las que aquellas provienen. Éstas constantes se encuentran en libros de control estadístico de procesos [1,3].

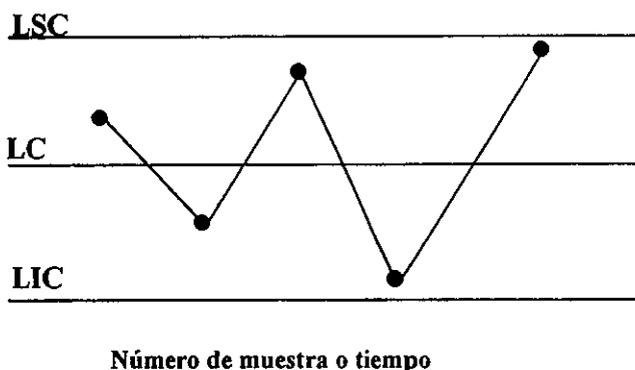
Una vez que se tienen estas estimaciones, es posible mediante los diagramas de control, monitorear y detectar cambios tanto en la dispersión, como en la localización de un proceso. En el siguiente capítulo se describen los diagramas de control y el uso de estas estimaciones.

2.2 ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE CONTROL

Un diagrama de control es una herramienta gráfica que permite visualizar una característica de calidad, en el tiempo. Un diagrama de control se muestra en la figura (fig 2-2). El diagrama contiene una línea central (LC) que representa el valor promedio de la característica de calidad correspondiente a un estado de control estadístico. Dos líneas horizontales más llamadas límite superior de control (LSC) y límite inferior de control (LIC) se muestran en el diagrama. Estos límites se establecen para que si el proceso está bajo control estadístico casi todos los puntos caigan dentro de estos límites.

FIGURA 2-2 DIAGRAMA DE CONTROL

**Muestra
de una
característica
de calidad**



Se considera que mientras los puntos graficados caigan dentro de los límites de control, el proceso está bajo control y no se requiere intervenir en el proceso. Sin embargo, un punto que cae fuera de los límites de control se interpreta como evidencia de que el proceso está fuera de control, y se requiere de investigación y acciones correctivas para eliminar las causas especiales que se hayan presentado. Se acostumbra conectar los puntos graficados mediante líneas rectas para visualizar más fácilmente la secuencia de los puntos a través del tiempo. Aún si todos los puntos graficados en un diagrama de control caen dentro de los límites de control, si no se comportan de una manera aleatoria, también puede ser indicación de que el proceso está fuera de control.

La forma general de construir un diagrama de control es la siguiente. Sea w un estadístico de la muestra que mide alguna característica de calidad de interés y supóngase que la media de w es μ_w y la desviación estándar de w es σ_w . La línea central y los límites de control serían:

$$LSC = \mu_w + k\sigma_w$$

$$LC = \mu_w$$

$$LIC = \mu_w - k\sigma_w$$

(ecuación 2.7)

Forma general de construcción de un diagrama de control

donde k es la distancia de los límites de control a la línea central, expresada en términos de la desviación estándar.

Por ejemplo la construcción de un diagrama de control para \bar{X} sería:

La estimación de la línea central se hace con base en la media de las medias de

las muestra $\bar{\bar{X}}$, esto es:

$$LC = \hat{\mu}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

(ecuación 2.8)

Cálculo de la línea central para un diagrama \bar{X} , por medio de $\bar{\bar{X}}$

donde $\bar{\bar{X}}$ es la estimación de la media de la característica de calidad presentado en la sección 2.1.

La estimación de los límites de control se hacen dependiendo del estadístico de la muestra que se esté usando para estimar $\hat{\sigma}$, es decir el rango de la muestra R , o la desviación estándar de la muestra s vistos en las ecuaciones 2.5 y 2.6 respectivamente.

La relación entre $\hat{\sigma}_{\bar{X}}$ y $\hat{\sigma}$ está dada por el teorema del límite central:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (\text{ecuación 2.9})$$

Cálculo de la desviación estándar estimada de \bar{X} , por medio de $\hat{\sigma}$

donde : $\hat{\sigma}$ es la desviación estándar del proceso

$\hat{\sigma}_{\bar{X}}$ es la desviación estándar estimada de \bar{X}

y n es el tamaño del subgrupo

Por lo tanto los límites de control quedarían como sigue:

$$\text{LSC} = \hat{\mu}_{\bar{X}} + 3\hat{\sigma}_{\bar{X}} \quad (\text{ecuación 2.10})$$

$$\text{LIC} = \hat{\mu}_{\bar{X}} - 3\hat{\sigma}_{\bar{X}} \quad \text{Cálculo de los límites de control superior e inferior para un diagrama } \bar{X}$$

Donde el 3 es el número que se considera para los límites de control siguiendo la convención de 3 veces sigma.

Los diagramas de control se utilizan generalmente para:

1) Reducir la variabilidad del proceso. Cuando se identifican las causas asignables de variación y se pueden eliminar del proceso, la variabilidad se reduce y el proceso se mejora.

2) Monitorear y vigilar al proceso. Cuando los puntos de muestras de una característica de calidad caen dentro de los límites de control y no existe un patrón sistemático, o sea es un patrón aleatorio, se dice que el proceso está bajo control estadístico al nivel indicado por el diagrama.

3) Estimar los parámetros del proceso. Cuando el proceso está bajo control se pueden estimar los parámetros del proceso como la media, la desviación estándar. Estas estimaciones se pueden utilizar en los estudios de la capacidad del proceso (habilidad del proceso para producir unidades dentro de las especificaciones).

Un punto muy importante de subrayar es de que los diagramas de control sólo detectan donde ocurrió la causa asignable, y el eliminarla depende de la habilidad de los ingenieros y operadores.

Los diagramas de control (DC) se clasifican en dos tipos:

1) DC para variables. Estos se utilizan para productos cuya calidad se refleja en características de calidad que se pueden medir. Los más usados son los diagramas \bar{X} , R, Individual y Rango movable.

2) DC para atributos. Estos se utilizan para productos cuya calidad se basa en una clasificación del producto en conformante según las especificaciones o no conformante. Los más usados son para proporciones defectuosas p , para número de no conformantes np , para número de defectos c y para número de defectos por unidad u .

En el desarrollo del presente trabajo se considera el uso de diagramas de control \bar{X} para variables, ya que es de los más utilizados y más fáciles de entender.

En la siguiente sección se presentan los tres criterios que existen para el diseño de un DC.

2.3 CRITERIOS

El uso de un DC requiere de la selección de tres parámetros, tamaño del subgrupo n , distancia de los límites de control a la línea central k , expresada en términos de la desviación estándar, e intervalo o frecuencia de muestreo h_m . A esta selección de parámetros se le llama diseño de un DC.

Existen en la práctica tres formas de determinar estos diseños, la primera se basa en criterios estadísticos, la segunda en criterios económicos y la tercera en criterios semieconómicos.

Los diseños de DC con criterios estadísticos generalmente sugieren un tamaño de subgrupo de cuatro o cinco y límites de control de tres veces sigma. [1]. Estos valores de tamaño de subgrupo y límites de control se pueden considerar como estándares. El concepto de subgrupos racionales generalmente se recomienda como un factor a considerar en el diseño de un esquema de control. Un subgrupo racional es un subgrupo que está hecho de mediciones individuales y consecutivas que son tomadas del proceso, que se espera tengan poca variación o sólo exista variación común dentro del subgrupo, y que entre subgrupo y subgrupo haya una variación notable. El tamaño del subgrupo y la frecuencia de muestreo se seleccionan para minimizar la posibilidad de que ocurra una causa asignable dentro del subgrupo mientras se maximiza la posibilidad de que ocurra una causa asignable entre subgrupos. También se utilizan conceptos como falsa alarma, o error tipo I, que es cuando se detecta que hay un cambio por ejemplo en la media de una variable de calidad, cuando en realidad no hubo dicho cambio, y cambio no detectado, o error tipo II, que es cuando hay un cambio y no se detecta dicho cambio. También se utiliza el concepto de ARL (average run length), que es el número de subgrupos promedio que se espera que haya antes de que se detecte un cambio. Sin embargo estos métodos ignoran generalmente la frecuencia de muestreo, es decir no se cuantifica de una manera metódica este parámetro, y utilizan factores como el costo de tomar una muestra, el beneficio de detectar un cambio rápidamente y la naturaleza del proceso para determinar la frecuencia de muestreo h_m .

Los diseños de DC con criterios económicos, incorporan cuantitativamente todos los factores de costo que implica el esquema de control, como el costo de tomar una muestra e inspeccionarla, el costo de investigar una causa asignable y eliminarla, etc; para determinar los parámetros que minimizan el costo total. Existen varios modelos que hacen varios supuestos en el esquema

de control, siendo el modelo de Duncan la base de casi todas las posteriores investigaciones acerca del tema, ya que fué el primero en tratar con un modelo totalmente económico en el diseño de un diagrama de control y también incorporó una metodología formal de optimización de los parámetros del diagrama de control.

Los diseños de un diagrama de control con criterios semieconómicos considera los costos de una forma implícita, lo cual implica que no se tienen que calcular todos los costos que considera un criterio económico, facilitando así su comprensión.

3. MODELOS

Este capítulo presenta las generalidades de los modelos que se han elegido para desarrollar el software con el que se pueden diseñar diagramas de control bajo diferentes esquemas o situaciones dadas.

3.1 MODELO DE DUNCAN

Se parte de un estado de control estadístico con media μ_0 y desviación estándar σ . Hay una sola causa asignable que resulta en un cambio en la media de $\mu_0 \pm \delta_0$, donde el tamaño del cambio δ_0 , es conocida. El tiempo antes de que una causa asignable ocurra tiene una distribución exponencial con parámetro λ . Muestras de tamaño n se toman cada h_i horas y la media muestreada es graficada en un diagrama de control \bar{X} con línea central μ_0 , y límites de control $\mu_0 \pm k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Si un punto cae fuera de los límites de control, se hace una búsqueda de la causa asignable. El proceso, sin embargo, continua operando durante la búsqueda hasta que la causa asignable sea descubierta. También se asume que el costo de reparación no se cargará al ingreso neto del proceso.

Cuando el proceso está bajo control, la probabilidad de que un punto muestreado caiga fuera de los límites control es de:

$$\alpha = 2 \int_k^{\infty} \frac{e^{-\frac{z^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} dz \quad (\text{ecuación 3.1})$$

Cálculo de la probabilidad de que un punto muestreado caiga fuera de los límites de control, cuando el proceso esta bajo control

Cuando la causa asignable ha ocurrido, la probabilidad de que un punto muestreado caiga fuera de los límites de control es:

$$P = \int_{-\infty}^{-k-\delta\sqrt{n}} \frac{e^{-\frac{z^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} dz + \int_{k-\delta\sqrt{n}}^{\infty} \frac{e^{-\frac{z^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} dz$$

(ecuación 3.2)

Cálculo de la probabilidad de que un punto muestreado caiga fuera de los límites de control, cuando una causa asignable ha ocurrido

Por simplicidad se supone que solo el cambio positivo ocurre, es decir con $\delta > 0$.

Si la causa asignable ocurre, se asume que esto produce una pérdida neta de M por hora, debida a un porcentaje creciente de artículos defectuosos. También se asume que los costos consisten en tres partes:

- a) T , el costo promedio de buscar una causa asignable cuando esta no existe.
- b) W , el costo promedio de buscar una causa asignable cuando si existe.
- c) b y cn , el costo de tomar e inspeccionar una muestra y de mantener el diagrama de control.

Hay otros 2 parámetros de tiempo:

- d) en , el tiempo requerido para tomar e inspeccionar una muestra y anotar los resultados.
- e) D , El tiempo promedio que requiere encontrar la causa asignable después de que se ha dado la alarma.

Basado en el modelo descrito anteriormente y los parámetros que se acaban de definir, Duncan (1956) mostró que el costo de pérdida por hora de operación es:

$$L_p = \frac{\lambda MB + \frac{\alpha T}{h_t} + \lambda W}{1 + \lambda B} + \frac{b}{h_t} + \frac{cn}{h_t} \quad (\text{ecuación 3.3})$$

Cálculo del costo de pérdida por hora de operación

Donde:

$$B = (ah + ec + D) \quad (\text{ecuación 3.4})$$

Cálculo de la variable B

$$a = \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12} \right) \quad (\text{ecuación 3.5})$$

Cálculo de la variable a

3.2 MODELO DE KEATS, MISCULIN Y RUNGER

Muestras de tamaño n se toman cada x horas, la media muestreada se grafica en un diagrama de control \bar{X} . Se supone que las observaciones son independientes y distribuidas normalmente. El modelo permite la ocurrencia de un cambio en la media durante el muestreo de un subgrupo, sin embargo el cambio que ocurre dentro de un subgrupo se considera que no tiene efecto en ese subgrupo y que el cambio va a ser detectado hasta que un subgrupo subsecuente sea muestreado.

Se introducen tres variables aleatorias: S , que es el número de subgrupos de tamaño n muestreados entre la ocurrencia de un cambio y la señal de que hubo dicho cambio, Z , que es el número de artículos producidos entre un cambio y el primer subgrupo muestreado después del cambio, y L , que es la producción promedio o número total de artículos producidos entre un cambio y una señal. La constante h_a es el número de artículos producidos entre subgrupos y se

supone que el primer subgrupo es muestreado h_1 artículos después del inicio o reinicio del esquema.

Se incorpora la proporción de muestreo r , que es el número de unidades que pueden ser muestreadas en un intervalo de tiempo dividido por la cantidad de producción durante ese mismo intervalo,

$$r = \frac{n}{n + h_1} \quad (\text{ecuación 3.6})$$

Cálculo de la proporción de muestreo r

Se supone que el tiempo entre ocurrencia de causas especiales es distribuida exponencialmente.

El modelo al que se llega es el siguiente:

Minimizar:

$$APL_d = \frac{n}{r \left[1 - \phi \left(k - d \sqrt{n} \right) + \phi \left(-k - d \sqrt{n} \right) \right]} - \frac{n}{2r} + n$$

(ecuación 3.7)

Cálculo de la cantidad promedio de artículos producidos entre la ocurrencia de un cambio y su detección

Sujeto a:

$$n = 1, 2, 3, \dots, \text{Int} \left[\frac{2r(APL_0)}{2r + 1} \right]$$

(ecuación 3.8)

Restricción del número de unidades muestreadas

Donde:

$$k = -\phi^{-1} \left[\frac{n}{2r} \left(APL_0 + \frac{n}{2r} \right)^{-1} \right] \quad (\text{ecuación 3.9})$$

Cálculo de la distancia de los límites de control a la línea central

El APL_0 se define como una medida de falsas alarmas del esquema de control en términos de cantidad de producción. Por simplicidad se asume que el primer subgrupo seleccionado después del comienzo del esquema de control es después de $r = \frac{n}{n + h_a}$ artículos producidos. Entonces el APL_0 puede ser interpretado como el tiempo desde el comienzo del esquema de control hasta que el esquema de control da la señal de cambio cuando no ha habido cambio en la media del proceso.

Este modelo se puede considerar como semieconómico ya que no considera todos los costos que Duncan considera, pero lo hace de una forma implícita y más fácil de entender y aplicar.

3.3 ESQUEMA DE NOEL ARTILES-LEON

El esquema utilizado por el Dr. Artiles es el resultado de análisis de regresión a estudios previos realizados por él, sobre las propiedades del ARL. Los resultados que obtuvo los reflejó en formulas que proveen de una manera fácil los límites de control y de precaución para un ARL bajo control deseado, cuando la media del proceso cambia a $\pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Los límites de control como de precaución son simétricos con respecto a la línea central.

Se utiliza la siguiente nomenclatura:

ARL_0 = ARL bajo control deseado, $100 \leq ARL_0 \leq 1000$

LC=Posición del límite de control en unidades de $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

LP=Posición del límite de precaución en unidades de $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

ARL_{out} = ARL cuando un cambio de $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ unidades ha ocurrido en la media del proceso.

Los esquemas con las respectivas fórmulas que obtuvo el Dr. Artilles son las siguientes:

Esquema 1

Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae mas allá de los límites de control, ii) dos puntos consecutivos caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) dos puntos consecutivos caen abajo del límite inferior de precaución.

$$LC=2.300-0.001244 ARL_0+0.093511 \sqrt{ARL_0}$$

$$LP=1.0709-0.000673 ARL_0+0.050882 \sqrt{ARL_0}$$

$$ARL_{out}=-0.4085+0.010296 ARL_0+1.1398 \sqrt{ARL_0} \quad (\text{ecuación 3.10})$$

Cálculo de la posición del límite de control LC, límite de precaución LP, y ARL_{out} para el esquema 1

Esquema 2

Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae fuera de los límites de control, ii) dos de los últimos tres puntos caen arriba del límite

superior de precaución, ó iii) dos de los últimos tres puntos caen abajo del límite inferior de precaución.

$$LC=2.3615-0.001418 ARL_0+0.103098 \sqrt{ARL_0}$$

$$LP=1.2124-0.000671 ARL_0+0.050524 \sqrt{ARL_0}$$

$$ARL_{out}=0.2678+0.007843 ARL_0+1.037433 \sqrt{ARL_0} \quad (\text{ecuación 3.11})$$

Cálculo de la posición del límite de control LC, límite de precaución LP, y ARL_{out} para el esquema 2

Esquema 3

Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae fuera de los límites de control, ii) tres de los últimos cuatro puntos caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) tres de los últimos cuatro puntos caen abajo del límite inferior de precaución.

$$LC=2.0837-0.001573 ARL_0+0.120191 \sqrt{ARL_0}$$

$$LP=0.8087-0.000527 ARL_0+0.040784 \sqrt{ARL_0}$$

$$ARL_{out}=1.6888+0.000682 ARL_0+0.857117 \sqrt{ARL_0} \quad (\text{ecuación 3.12})$$

Cálculo de la posición del límite de control LC, límite de precaución LP, y ARL_{out} para el esquema 3

Esquema 4

Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae fuera de los límites de control, ii) tres de los últimos cinco puntos caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) tres de los últimos cinco puntos caen abajo del límite inferior de precaución.

$$LC=2.0487-0.0011731 ARL_0 +0.129535 \sqrt{ARL_0}$$

$$LP=0.9270-0.000525 ARL_0 +0.040365 \sqrt{ARL_0}$$

$$ARL_{out}=2.1122-0.0001158 ARL_0 +0.803781 \sqrt{ARL_0} \quad (\text{ecuación 3.13})$$

Cálculo de la posición del límite de control LC, límite de precaución LP, y ARL_{out} para el esquema 4

Esquema 5

Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae fuera de los límites de control, ii) cinco puntos consecutivos caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) cinco puntos consecutivos caen abajo del límite inferior de precaución.

$$LC=1.8742-0.00131 ARL_0 +0.1111 \sqrt{ARL_0}$$

$$LP=0.1896-0.000292 ARL_0 +0.026736 \sqrt{ARL_0}$$

$$ARL_{out}=1.9427+0.004158 ARL_0 +0.980098 \sqrt{ARL_0} \quad (\text{ecuación 3.14})$$

Cálculo de la posición del límite de control LC, límite de precaución LP, y ARL_{out} para el esquema 5

Esquema 6

Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae fuera de los límites de control, ii) ocho puntos consecutivos caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) ocho puntos consecutivos caen abajo del límite inferior de precaución.

$$LP = -0.1168 - 0.000098 ARL_0 + 0.014101 \sqrt{ARL_0}$$

$$LC = 1.8672 - 0.000892 ARL_0 + 0.096343 \sqrt{ARL_0}$$

$$ARL_{out} = 2.2614 - 0.00923 ARL_0 + 1.098525 \sqrt{ARL_0} \quad (\text{ecuación 3.15})$$

Cálculo de la posición del límite de control LC, límite de precaución LP, y ARL_{out} para el esquema 6

Esquema 7

Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae fuera de los límites de control, ii) dos de los últimos tres puntos caen LP1 unidades estándar arriba de la línea central, iii) dos de los últimos tres puntos caen LP1 unidades estándar abajo de la línea central, iv) tres de los últimos cuatro puntos caen LP2 unidades estándar arriba de la línea central, ó v) tres de los últimos cuatro puntos caen LP2 unidades estándar abajo de la línea central.

$$LC = 2.1791 - 0.0021678 ARL_0 + 0.1379453 \sqrt{ARL_0}$$

$$LP1 = 1.45737 - 0.000987 ARL_0 + 0.062856 \sqrt{ARL_0}$$

$$LP2 = 0.7952 - 0.0007519 ARL_0 + 0.0479763 \sqrt{ARL_0}$$

$$ARL_{out} = -5.7207 + 0.0138419 ARL_0 + 3.079009 \sqrt{ARL_0} \quad (\text{ecuación 3.16})$$

Cálculo de la posición del límite de control LC, límite de precaución LP, y ARL_{out} para el esquema 7

Estas fórmulas para el esquema siete son válidas sólo para $100 \leq ARL_0 \leq 500$.

3.4 MODELO DE ELART VON COLLANI.

El modelo supone que sólo hay una dimensión a controlar en el proceso de producción, y esta dimensión x , tiene una distribución normal. El proceso comienza con media μ_0 y varianza σ^2 y cada cambio es debido a una causa asignable, resultando en un cambio en la media del proceso de $\mu_0 + \delta\sigma$ con probabilidad w , ó a $\mu_0 - \delta\sigma$ con probabilidad $1-w$, la varianza permanece constante. El tiempo de producción en el cual un cambio ocurre, tiene una distribución exponencial con parámetro λ . Se asume que δ y λ son constantes cuyos valores son conocidos, y que las variables aleatorias X_i (la dimensión del i -ésimo artículo producido) son independientes.

El estado "bajo control" y el estado "fuera de control", referidos como estado I y estado II respectivamente, se definen a continuación.

Se dice que el i -ésimo artículo producido es producido en el ESTADO I, si el valor esperado de X_i es igual a μ_0 :

$$\text{ESTADO I: } E(X_i) = \mu_0$$

El artículo i -ésimo se dice que se produce en el ESTADO II, si el valor esperado de X_i , es igual a $\mu_0 - \delta\sigma$ ó $\mu_0 + \delta\sigma$:

$$\text{ESTADO II: } E(X_i) = \mu_0 \pm \delta\sigma$$

También se supone que el estado presente del proceso puede ser sólo reconocido por una investigación, y que una transición del ESTADO II al ESTADO I, sólo es posible por medio de renovar el sistema. Después de una transición del ESTADO II al ESTADO I, el proceso se inicia nuevamente.

El modelo al que se llega es el siguiente:

$$\Pi(y, z) = \frac{b(e^{\lambda y^2} - 1) - \alpha}{(e^{\lambda y^2} - \beta)(.)y^2} - (1 - \beta) \quad (\text{ecuación 3.17})$$

Donde:

Cálculo de la función beneficio

$$\alpha = 2\phi(-z) \quad (\text{ecuación 3.18}) \text{ Cálculo de alfa}$$

$$\beta = \phi(z - y) - \phi(-z - y) \quad (\text{ecuación 3.19}) \text{ Cálculo de beta}$$

$$(.) = \frac{\lambda}{v} \frac{1}{\delta^2} \quad (\text{ecuación 3.20}) \text{ Cálculo de } (.)$$

y

b = ganancia de pasar al estado I.

4. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA.

En este capítulo se describe la presentación del programa, se introducen las pantallas de menú principal, submenús, y la acción que realiza cada opción con su respectiva información. El programa está hecho en lenguaje basic, y corre mediante Qbasic.

4.1 MENÚ PRINCIPAL.

La presentación de los diferentes subprogramas del programa principal, se hace por medio de un menú, en el cual se muestran las 4 opciones de esquemas a elegir. En la figura 4.1.1 se observa la pantalla del menú tal como se presenta en el programa.

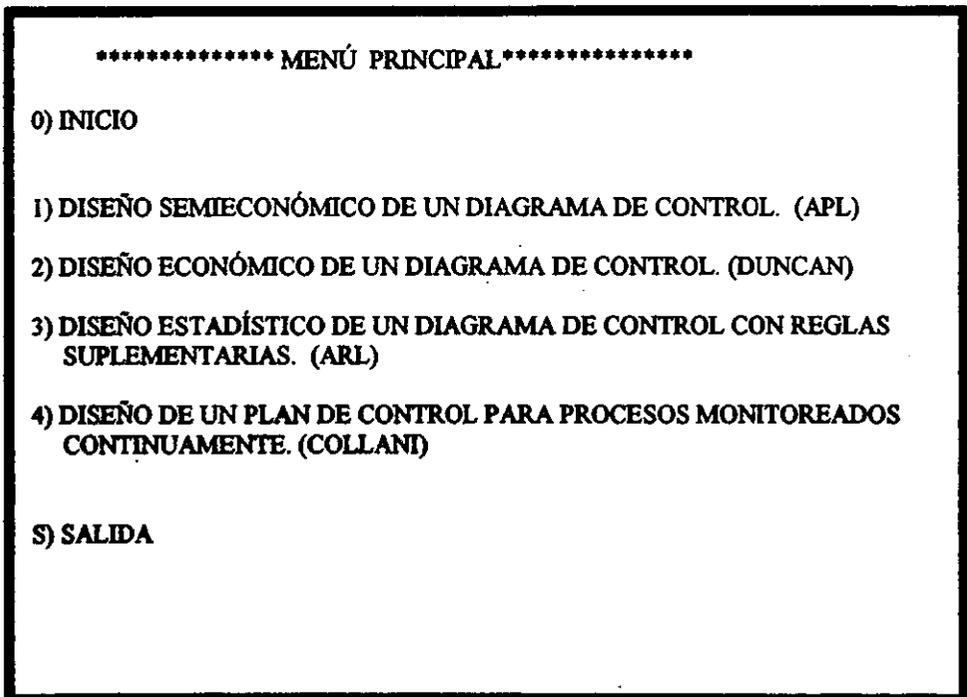


FIGURA 4.1.1 MENÚ PRINCIPAL

A continuación se describe brevemente lo que realiza cada opción del menú, y la información que contiene cada caso.

OPCIÓN 0) INICIO

Esta opción presenta el objetivo, una guía en la que se puede basar el usuario para saber en que caso puede utilizar alguno de los esquemas y por último las ventajas y desventajas de cada uno de los esquemas. A continuación se presentan las pantallas de esta opción, y la información que contienen, tal y como se presenta en el programa.

OBJETIVO

DESARROLLAR UN PROGRAMA DE COMPUTACIÓN QUE SEA AUXILIAR EN EL DISEÑO DE DIAGRAMAS DE CONTROL.

CONTENIDO

EL MENÚ CONSTA DE 4 OPCIONES DE ESQUEMAS (1),(2),(3),(4), UNA OPCIÓN DE INICIO (0), Y LA OPCIÓN DE SALIDA (S).

RECOMENDACIÓN DE USO

CADA ESQUEMA SE ASOCIA A UNA SITUACIÓN ESPECÍFICA SOBRE EL DISEÑO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL, SE DEBE ELEGIR EL ESQUEMA QUE MÁS SE ADAPTE A SU CASO. A CONTINUACIÓN SE DAN LAS CARACTERÍSTICAS DE USO GENERALES DE LOS ESQUEMAS:

FIGURA 4.1.2 PANTALLA 1

1) DISEÑO SEMIECONÓMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL. (APL)

SE UTILIZA GENERALMENTE CUANDO:

- SE REQUIERE DISEÑAR UN DIAGRAMA DE CONTROL.
- NO SE DISPONE DE TODOS LOS COSTOS ASOCIADOS AL ESQUEMA DE CONTROL.
- SE DESEA MEDIR CUANTITATIVAMENTE EL EFECTO DE AUMENTAR O QUITAR RECURSOS.
- SE DESEA CONTAR CON UNA MEDIDA CUANTITATIVA DE LA EFECTIVIDAD DEL ESQUEMA DE CONTROL.

FIGURA 4.1.3 PANTALLA 2

2) DISEÑO ECONÓMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL. (DUNCAN)

SE UTILIZA GENERALMENTE CUANDO:

- SE REQUIERE DISEÑAR UN DIAGRAMA DE CONTROL.
- SE CUENTA CON INFORMACIÓN DE TODOS LOS COSTOS, ASOCIADOS AL ESQUEMA DE CONTROL.
- SE DESEA ANALIZAR EL EFECTO DE LOS PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN EL ESQUEMA, EN EL COSTO TOTAL.

FIGURA 4.1.4 PANTALLA 3

3) DISEÑO ESTADÍSTICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL CON REGLAS SUPLEMENTARIAS. (ARL)

SE UTILIZA GENERALMENTE CUANDO:

- SE REQUIERE DISEÑAR UN DIAGRAMA DE CONTROL.
- SE DESEAN UTILIZAR REGLAS SUPLEMENTARIAS Y LÍMITES DE PRECAUCIÓN EN LOS DIAGRAMAS DE CONTROL.
- SE DESEAN DETECTAR CAMBIOS PEQUEÑOS EN LA MEDIA DEL PROCESO.
- EL ANÁLISIS DE COSTOS NO SE ENCUENTRA IMPLÍCITO EN EL ESQUEMA.

FIGURA 4.15 PANTALLA 4

4) DISEÑO DE UN PLAN DE CONTROL PARA PROCESOS MONITOREADOS CONTINUAMENTE. (COLLANI)

SE UTILIZA GENERALMENTE CUANDO:

- SE REQUIERE DISEÑAR UN DIAGRAMA DE CONTROL.
- SE DESEA MONITOREAR CONTINUAMENTE.
- SE DISPONE DE INFORMACIÓN DE COSTOS.
- SE PRESENTAN CASOS EN LOS CUALES LOS COSTOS DE INSPECCIÓN POR ARTÍCULO SON PEQUEÑOS, O CUANDO LOS ARTÍCULOS DEFECTUOSOS QUE SE PASAN PROVOCAN PÉRDIDAS MUY GRANDES.

FIGURA 4.1.6 PANTALLA 5

4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISEÑOS DE DIAGRAMAS DE CONTROL PROPUESTOS.

ESQUEMA 1) DISEÑO SEMIECONÓMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL

VENTAJAS

- Se optimiza el uso de recursos disponibles.
- Se puede medir cuantitativamente el efecto de quitar o aumentar recursos.
- La frecuencia de muestreo se incluye cuantitativamente en el diseño
- El método es más simple que un diseño económico, y se puede implementar más fácilmente en la práctica.

DESVENTAJAS

- El diseño no es bueno para detectar pequeños cambios en la media del proceso, por lo que se tiene que utilizar un método alternativo para este fin.

ESQUEMA 2) DISEÑO ECONÓMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL

VENTAJAS

- Incorpora cuantitativamente todos los factores de costo en el esquema de control.
- Provee de una medida de efectividad importante y objetiva del diseño, que es el costo total.

DESVENTAJAS

- Los costos junto con otros parámetros del modelo son difíciles de estimar.
- El diseño no es bueno para detectar pequeños cambios en la media del proceso.
- Es difícil implementarlo en la práctica.

ESQUEMA 3) DISEÑO ESTADÍSTICO DE DIAGRAMAS DE CONTROL CON REGLAS SUPLEMENTARIAS.

VENTAJAS

- El uso de reglas suplementarias y límites de precaución permite que el diseño detecte pequeños cambios en la media del proceso.
- Es fácil de implementarlo en la práctica.
- Proporciona las reglas del esquema de control más efectivo en base al ARL.

DESVENTAJAS

- No involucra directamente la frecuencia de muestreo.
- No involucra costos asociados al esquema de control.

ESQUEMA 4) DISEÑO DE UN PLAN DE CONTROL PARA PROCESOS MONITOREADOS CONTINUAMENTE.

VENTAJAS

- Permite encontrar un diseño óptimo de control en donde la producción es continuamente monitoreada.
- Es fácilmente aplicable en la práctica.

DESVENTAJAS

- Se debe contar con información precisa de costos involucrados en el control del proceso.

4.3 PRESENTACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS PROGRAMAS Y PRESENTACIÓN DE SUBMENÚS.

A continuación se presenta la información asociada a cada opción del menú.

OPCIÓN 1) DISEÑO SEMIECONÓMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL.

Esta opción presenta primero los parámetros de entrada que se necesitan ingresar al subprograma, y los parámetros de salida que se obtienen del subprograma, como se muestra a continuación en las siguientes pantallas.

EL USO DE ESTE SUBPROGRAMA REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PARÁMETROS DE ENTRADA:

- r** : PROPORCIÓN MÁXIMA DE MUESTREO.
- APL₀** : CANTIDAD DE ARTÍCULOS PRODUCIDOS DESDE EL COMIENZO DEL ESQUEMA HASTA QUE EL ESQUEMA DE LA SEÑAL DE CAMBIO EN LA MEDIA CUANDO EN REALIDAD ESTE NO SE HA PRODUCIDO.
- d** : TAMAÑO DEL CAMBIO EN LA MEDIA EN TERMINOS DE SIGMA.

LOS PARÁMETROS DE SALIDA SON LOS SIGUIENTES:

- n** : TAMAÑO DEL SUBGRUPO.
- k** : DISTANCIA DE LOS LÍMITES DE CONTROL A LA LÍNEA CENTRAL.
- h_m** : INTERVALO DE MUESTREO

APL : CANTIDAD PROMEDIO DE ARTÍCULOS PRODUCIDOS ENTRE LA OCURRENCIA DE UN CAMBIO Y SU DETECCIÓN.

FIGURA 4.3.1 PANTALLA 6

Se presenta también un submenú con cuatro opciones:

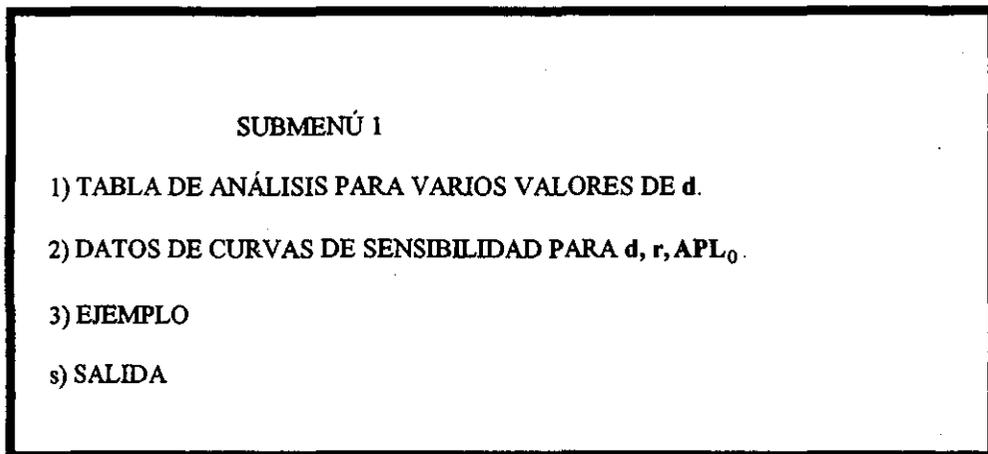


FIGURA 4. 3.2 PANTALLA 7 (SUBMENÚ 1)

La opción 1 ejecuta el subprograma 1 y presenta una tabla que contiene los valores de salida para varios tamaños de cambio en la media del proceso d .

La opción 2 presenta los datos para tabular o graficar curvas para diferentes valores de d , r y APL_0 , con lo que se pueden hacer análisis de sensibilidad.

La opción 3 presenta un caso práctico en el cual se analizan los resultados de un ejemplo, obtenidos por el programa. (Ver capítulo 5)

La opción s regresa al menú principal.

OPCIÓN 2) DISEÑO ECONÓMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL.

Esta opción presenta los parámetros de entrada que se necesitan ingresar al subprograma, y los parámetros que se obtienen de dicho subprograma. A continuación se muestra dicha información por medio de pantallas.

ESTE PROGRAMA REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PARÁMETROS DE ENTRADA:

δ : TAMAÑO DEL CAMBIO EN LA MEDIA DEL PROCESO.

λ : PARÁMETRO RELACIONADO CON LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UNA CAUSA ASIGNABLE.

M: REDUCCIÓN DEL INGRESO POR HORA QUE SE ATRIBUYE A LA OCURRENCIA DE LA CAUSA ASIGNABLE.

e: PROPORCIÓN A LA CUAL EL TIEMPO ENTRE LA TOMA DE LA MUESTRA Y GRAFICACIÓN DE UN PUNTO EN EL DIAGRAMA DE CONTROL \bar{X} , SE INCREMENTA CON EL TAMAÑO DE LA MUESTRA n .

D: TIEMPO PROMEDIO PARA BUSCAR UNA CAUSA ASIGNABLE DESPUÉS DE QUE UN PUNTO GRAFICADO CAE FUERA DE LOS LÍMITES DE CONTROL.

T: EL COSTO POR OCASIÓN DE BUSCAR UNA CAUSA ASIGNABLE CUANDO ESTA NO EXISTE.

W: EL COSTO PROMEDIO POR OCASIÓN DE ENCONTRAR LA CAUSA ASIGNABLE CUANDO ESTA EXISTE.

b: EL COSTO POR MUESTRA DE MUESTREAR Y GRAFICAR.

c: EL COSTO POR UNIDAD DE MUESTREAR, PROBAR Y ANOTAR EL RESULTADO, QUE ESTA RELACIONADO CON EL TAMAÑO DE LA MUESTRA.

FIGURA 4.3.3 PANTALLA 8

LOS PARÁMETROS DE SALIDA SON LOS SIGUIENTES:

- n: TAMAÑO DEL SUBGRUPO.
- k: DISTANCIA DE LOS LÍMITES DE CONTROL A LA LÍNEA CENTRAL.
- h_m : INTERVALO DE MUESTREO.
- L_p : COSTO DE PÉRDIDA POR 100 HORAS DE OPERACIÓN.

FIGURA 4.3.4 PANTALLA 9

Se presenta el submenú que contiene las siguientes opciones:

SUBMENÚ 2

- 1) OBTENER PARÁMETROS DE SALIDA
- 2) EJEMPLO
- s) SALIDA

FIGURA 4.3.5 PANTALLA 10 (SUBMENÚ 2)

La opción 1) ejecuta el subprograma 2 para obtener parámetros de salida.

La opción 2) presenta un ejemplo de un caso práctico.

La opción 3) presenta el análisis de un caso práctico por medio de un ejemplo.
(Ver capítulo 5)

La opción s) regresa al menú principal.

OPCIÓN 3) DISEÑO ESTADÍSTICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL CON REGLAS ADICIONALES.

Esta opción presenta los parámetros de entrada y de salida del programa que se obtienen de éste. A continuación se presenta dicha información, por medio de pantallas.

EL USO DE ESTE PROGRAMA REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PARÁMETROS DE ENTRADA:

ARL₀: NÚMERO ESPERADO DE MUESTRAS TOMADAS ANTES DE QUE SE DE UNA SEÑAL DE CAMBIO EN LA MEDIA CUANDO SE ESTA BAJO CONTROL.

n: TAMAÑO DEL SUBGRUPO.

μ: MEDIA DEL PROCESO.

σ: DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL PROCESO.

LOS PARÁMETROS DE SALIDA SON :

ARL_{out}: ARL CUANDO UN CAMBIO DE $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ UNIDADES HA OCURRIDO EN

LA MEDIA DEL PROCESO.

LÍMITES DE CONTROL Y LÍMITES DE PRECAUCIÓN.

ESQUEMA: REGLAS DEL ESQUEMA MÁS EFECTIVO.

FIGURA 4.3.6 PANTALLA 11

Se presenta el siguiente submenú, con las siguientes opciones:

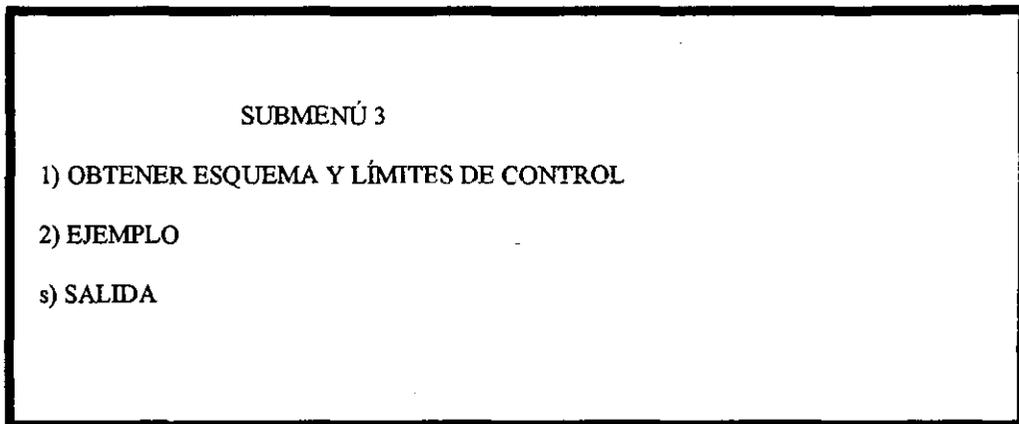


FIGURA 4.3.7 PANTALLA 12 (SUBMENÚ 3)

La opción 1) ejecuta el subprograma 3, obteniendo como resultado el esquema y los límites de control óptimos.

La opción 2) presenta un ejemplo de un caso práctico.

La opción s) regresa al menú principal.

OPCIÓN 4) DISEÑO DE UN PLAN DE CONTROL PARA PROCESOS MONITOREADOS CONTINUAMENTE.

Esta opción presenta los parámetros de entrada y salida del subprograma que se obtienen de dicho subprograma. A continuación se presenta dicha información:

EL USO DE ESTE PROGRAMA REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PARÁMETROS DE ENTRADA

P0: FRACCIÓN NO CONFORMANTE DURANTE EL PERIODO BAJO CONTROL.

P1: FRACCIÓN NO CONFORMANTE DURANTE EL PERIODO FUERA DE CONTROL.

G1: GANANCIA POR UNIDAD CONFORMANTE.

G2: PÉRDIDA POR UNIDAD NO CONFORMANTE.

RAST: COSTO DE ELIMINAR UNA CAUSA ASIGNABLE.

PRO: PROMEDIO DE OCURRENCIA DE UNA CAUSA ASIGNABLE.

V: RAPIDEZ DE PRODUCCIÓN PROMEDIO.

EAST: COSTO DE INVESTIGAR UNA FALSA ALARMA.

LOS PARÁMETROS DE SALIDA SON LOS SIGUIENTES:

n: TAMAÑO DEL GRUPO DE ARTÍCULOS PRODUCIDOS CONSECUTIVAMENTE PARA QUE SE TOMA LA DECISIÓN SI ESTA FUERA DE CONTROL O NO.

k: DISTANCIA DE LOS LÍMITES DE CONTROL A LA LÍNEA CENTRAL.

FIGURA 4.3.8 PANTALLA 13

Se presenta el siguiente submenú, con las siguientes opciones:

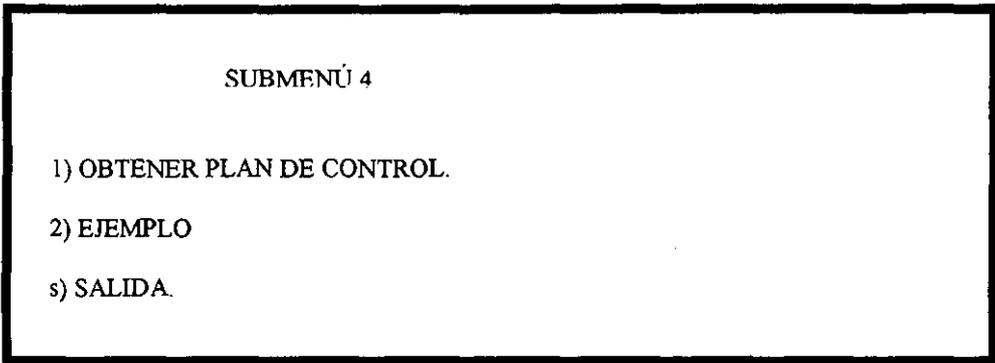


FIGURA 4.3.9 PANTALLA 14 (SUBMENÚ 4)

La opción 1) ejecuta el subprograma 4 y se obtiene el plan de control.
La opción 2) presenta un ejemplo de un caso práctico.
La opción s) regresa al menú principal.

4.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROGRAMA PROPUESTO

VENTAJAS

- 1) Disponibilidad. Ninguno de los 4 subprogramas de que consta el programa principal, están disponibles en ningún paquete comercial o red de información.
- 2) Funcionalidad. El programa está estructurado en forma de menús y cuenta con información útil para el usuario, lo que facilita su uso.
- 3) Facilidad de análisis de sensibilidad. El programa da la facilidad de poder variar los parámetros de entrada y analizar el comportamiento de los parámetros de salida.
- 4) El programa realiza una serie de cálculos para obtener los parámetros de un diagrama de control, que independientemente de la PC que se utilice, se efectúan con gran rapidez.

DESVENTAJAS

- 1) Combinaciones sin resultado. Hay ciertas combinaciones de parámetros de entrada en los que no es posible obtener un resultado debido al funcionamiento del método, aunque frecuentemente estas combinaciones no son realistas o lógicas.
- 2) Tiempo. Con ciertas combinaciones de parámetros de entrada a pesar de que se obtiene un resultado, se tarda el programa más tiempo en llegar a éste, en particular en los subprogramas 2 y 4.

5. EJEMPLOS

En esta sección se presentan los ejemplos que se introdujeron en la opción de ejemplos de los submenús del programa. Se presenta la información tal y como aparece en el programa.

5.1 EJEMPLO 1

Se tiene un proceso de moldeo. Supóngase que los armazones de plástico se moldean con una máquina de moldeo por inyección, en una proporción de 15 por minuto, y que la media de una dimensión va a ser controlada por un diagrama \bar{X} . La dimensión objetivo es de 10.0 mm y la desviación estándar del proceso es de $\sigma=0.02$ mm. El operador de la máquina se toma un minuto para obtener un armazón y medirlo en un comparador óptico, este tiempo en el que tarda en medir, la máquina no esta operando. Debido a otras demandas para sus uso, el comparador sólo esta disponible para este propósito 40 minutos por cada 8 horas, o un promedio de 5 minutos cada hora. Esto da como resultado en una capacidad de muestreo de 5 artículos por 825 armazones producidos (dado que 75 armazones no se producen durante el tiempo en el que se toma la muestra e inspecciona). Se desea detectar un cambio en la media del proceso con respecto al objetivo de mayor de 0.025 mm y tener una proporción máxima de falsas alarmas de 0.0002 o un promedio de 1 cada 5000 armazones producidos.

ANÁLISIS 1

El primer análisis que se puede hacer con este método es el de búsqueda de los parámetros óptimos, este consiste en encontrar r , APL_0 y d óptimos y variar estos parámetros para encontrar el esquema más conveniente.

Las entradas para el programa en el ejemplo serian:

$$r=5/825=0.0061 \quad APL_0 = 5000 \quad d \geq 0.025/0.02=1.25$$

Una vez que se tienen estos datos, se puede elegir la opción 1 del submenú 1, e introducir estos datos, con lo que se ejecuta el programa y se obtienen los siguientes parámetros óptimos de salida:

$$n=4 \quad k=1.54 \quad APL_d = 465$$

Estos parámetros quieren decir que los límites correspondientes son $\pm 1.54 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ con un APL de 465 para que un cambio en la media del proceso de 10.0 mm a 10.025 mm (ó 9.975) sea detectado. El intervalo de muestreo es de 651 armazones entre subgrupos, ya que $h_m = \frac{n}{r} \quad n = (4/0.0061) \cdot 4 = 651$.

En una base de tiempo el esquema óptimo es medir y graficar una muestra de 4 armazones cada 43 minutos. Un cambio en la media de 1.25σ será detectado aproximadamente en promedio cada 34 minutos y una falsa alarma ocurrirá en promedio cada 6 hrs.

Si se considera que la pérdida de producción debida al tiempo que pasa en tomarse una muestra e inspeccionarla, de 75 unidades por hora en promedio, es muy grande, entonces habría que pensar en que por ejemplo se permitieran sólo 3 min. para inspección, con lo que la capacidad de muestreo sería de $r=3/825=0.0036$. En este caso el diseño óptimo determinado por el programa para un $r=0.0036$, $APL_0=5000$ y $d=1.25$ es:

$$n=3 \quad k=1.42 \quad APL=668$$

Con lo que se redujo un 33 % en tiempo de inspección y se incremento la producción en un 3.5 %. Por otro lado se incremento el APL para que se detecte un cambio de 0.025 en un 43 %.

Si se considera que se puede aumentar el APL_0 a 10000, con $r=0.0061$, y $d=1.25$, entonces el esquema óptimo sería el siguiente:

$$n=5 \quad k=1.75 \quad APL=559$$

Con este cambio, también aumento el APL para detectar un cambio de 0.025 en 20 % y el tamaño del subgrupo aumento de 4 a 5.

Esta información se puede utilizar para evaluar el "trueque" entre la producción y el control del proceso.

ANÁLISIS 2

El segundo análisis que se puede hacer es el de obtener parámetros que aunque no son óptimos si dan un APL aceptable (pequeño). Por ejemplo, tal vez para los parámetros óptimos que se obtuvieron en el análisis 1 de $n=4$, $k=1.54$ y $APL=465$, se podría cambiar n en un rango de 3 a 5 ya que el APL de dichas cantidades no se podrían considerar aceptables en términos de APL (472,465,492) ya que no se alejan mucho del valor óptimo de 465. Este método de análisis se hace cuando por razones del proceso o de subgrupamientos racionales se necesita cambiar el tamaño de la muestra a un valor que no sea el óptimo.

Para hacer este tipo de análisis se cuenta con la opción 2 del menú 1 del programa, ya que este proporciona los valores APL vs. n para los diferentes parámetros d , r , APL_0 , con lo que aparte de poder obtener un n no óptimo pero si aceptable, se puede utilizar como guía para observar el comportamiento de los valores APL vs. n , para diferentes d , r y APL_0 . El programa presenta la lista de los valores, sin embargo el comportamiento de los parámetros se visualiza mejor por medio de curvas de estos datos, por lo que se aconseja que se introduzcan estos datos en una hoja de cálculo y se obtengan las gráficas correspondientes (ver anexo 2).

Estos datos se pueden graficar, en el anexo 2 se pueden observar las gráficas correspondientes al ejemplo 1.

De la gráfica 1 se observa que el esquema tiene un rendimiento aceptable para detectar cambios grandes (mayores que 1), sin embargo disminuye mucho su rendimiento para detectar cambios pequeños (menores o iguales a 1), es decir el n óptimo para las curvas de d mayores o igual a 1 proporciona un APL aceptable (pequeño), pero el n óptimo para las curvas de d menor que 1 proporciona un APL demasiado grande lo cual puede no ser muy conveniente.

También se observa que subgrupos de tamaño de 3 a 5 pueden proveer de buenos resultados. Aunque estos tamaños de subgrupo n son similares a aquellos generalmente sugeridos, los límites de control correspondientes son más estrechos que los valores típicos de $\pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

De la figura 4-2 se observa que mientras se incrementa r , el tamaño del subgrupo óptimo se incrementa y el APL óptimo disminuye.

De la figura 4-3 se observa que en tanto el APL se incrementa, el tamaño del subgrupo óptimo se incrementa y también lo hace el APL_0 .

5.2 EJEMPLO 2

Se tiene un proceso de producción de tornillos, en el cual se han estimado los siguientes costos de control del proceso: $M=50$, $e=0.05$, $D=2$, $T=50$, $W=25$, $b=0.50$, $c=0.10$, con un parámetro $\lambda=0.02$, para detectar un cambio de $\delta=2$. Una vez que se cuenta con dichos parámetros, se introducen al programa en la opción 1, con la que se van a obtener los siguientes parámetros de salida:

$$n=5 \quad h=1.3 \quad k=3.2 \quad L=417$$

Si cambiáramos solamente el parámetro delta a un tamaño más pequeño $\delta=1$, se obtendrían los siguientes parámetros:

$$n=17$$

$$h=2$$

$$k=2.8$$

$$L=543.5$$

con lo que se puede observar de estos valores, que aumenta el costo, por lo que se puede deducir que el método no da tan buenos resultados para detectar pequeños cambios, o sea cambios menores o iguales a $\delta=1$.

5.3 EJEMPLO 3

Se tiene un proceso químico, en el cual se mide en una muestra de tamaño 4 el contenido de sólidos de cierta sustancia cada 22 muestras. Se sabe que la media del proceso μ es igual a 14.9 %, con una desviación estándar σ de 1.6%. Se desea que el ARL_0 sea de 50 muestras, para detectar un cambio de

$$\mu_0 + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 14.9 + \frac{1.6}{\sqrt{4}} = 15.7 \quad (\text{ó} \quad \mu_0 - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 14.9 - \frac{1.6}{\sqrt{4}} = 14.1).$$

El esquema debe ser el que tenga el menor ARL , por lo que utilizando la opción 1 del menú 3 del programa, se obtiene el esquema más adecuado con sus respectivos límites de control y límites de precaución. Para el ejemplo se obtienen los siguientes resultados:

ESQUEMA ÓPTIMO= ESQUEMA 3 , CL=2.854929 , WL=1.071086

Los límites de control serían :

$$\mathbf{LSC = 17.18394}$$

$$\mathbf{LIC = 12.616}$$

$$\mathbf{LSP = 15.75687}$$

$$\mathbf{LIP = 14.04313}$$

En resumen el esquema quedaría de la siguiente forma:

Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae más allá de los límites de control ii) tres de los últimos cuatro puntos caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) tres de los últimos cuatro puntos caen abajo del límite inferior de precaución.

5.4 EJEMPLO 4

Se sabe del monitoreo de un proceso de producción que durante el periodo bajo control hay una fracción no conformante de $P_0=2\%$. Una causa asignable ocurre en promedio cada 120 horas de producción, cambiando la fracción no conformante a $P_1=6\%$. El costo total de eliminar una causa asignable es aproximadamente de 500 pesos y una falsa alarma cuesta en promedio 200 pesos. La velocidad de producción $v=800$ artículos/hora. Cada artículo no conformante encontrado por el proceso de monitoreo es reparado. En promedio cada reparación cuesta 20 pesos. La ganancia de vender un producto conformante es de 30 pesos.

Utilizando la opción 1 del submenú, se encuentran los valores óptimos del plan de control:

$$n=61 \quad k=4.9$$

ANEXO 1 TABLAS (APL v.s. n)

Las siguientes tablas muestran los valores APL vs n para diferentes valores de d, r, y APL₀, que surgen del análisis de sensibilidad del ejemplo 1.

TABLA (APL v.s. n) PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE CAMBIO d, CON $r=0.0061$ Y $APL_0=5000$

n	APL					
	0.25	0.5	1	1.25	1.5	2
1	4271.679	2928.856	1203.199	797.2774	547.8221	288.4788
2	3933.174	2350.604	832.0018	543.1559	380.2986	230.9182
3	3710.494	2050.126	698.0556	472.2916	355.5768	267.7352
4	3549.286	1865.954	645.082	485.2122	383.0549	336.4808
5	3426.664	1744.401	634.2078	492.675	437.9453	415.8127
6	3330.668	1661.816	650.2769	541.8119	507.6119	497.9887
7	3254.235	1606.002	685.3763	604.8292	584.7122	580.803
8	3192.863	1569.926	734.4005	676.4789	665.2508	663.7432
9	3143.504	1549.219	793.7215	753.2631	747.2644	746.7058
10	3104.004	1540.979	860.4725	832.9651	829.8729	829.6724
11	3072.796	1543.168	932.5292	914.5279	912.7097	912.6393
12	3048.697	1554.291	1006.283	996.3878	995.6307	995.6066
13	3030.801	1573.196	1086.537	1078.945	1078.582	1078.574
14	3018.387	1598.968	1166.515	1161.715	1161.544	1161.541
15	3010.887	1630.852	1247.578	1244.589	1244.509	1244.508
16	3007.829	1668.211	1329.354	1327.513	1327.476	1327.475
17	3006.828	1710.49	1411.583	1410.46	1410.443	1410.443
18	3013.568	1757.201	1494.098	1493.418	1493.41	1493.41
19	3021.773	1807.908	1576.79	1576.38	1576.377	1576.377
20	3033.205	1862.216	1659.591	1659.346	1659.344	1659.344
21	3047.66	1919.769	1742.458	1742.312	1742.312	1742.312
22	3064.967	1980.239	1825.365	1825.279	1825.279	1825.279
23	3084.962	2043.331	1908.297	1908.246	1908.246	1908.246
24	3107.511	2108.771	1991.243	1991.213	1991.213	1991.213
25	3132.48	2176.311	2074.198	2074.18	2074.18	2074.18
26	3159.761	2245.726	2157.158	2157.147	2157.147	2157.147
27	3189.246	2316.811	2240.21	2240.115	2240.115	2240.115
28	3220.841	2389.378	2323.085	2323.082	2323.082	2323.082
29	3254.457	2463.259	2406.052	2406.049	2406.049	2406.049
30	3290.01	2538.303	2489.018	2489.016	2489.016	2489.016
31	3327.43	2614.372	2571.984	2571.984	2571.984	2571.984
32	3366.636	2691.343	2654.951	2654.951	2654.951	2654.951
33	3407.562	2769.111	2737.918	2737.918	2737.918	2737.918
34	3450.146	2847.572	2820.885	2820.885	2820.885	2820.885
35	3494.327	2926.643	2903.853	2903.853	2903.853	2903.853
36	3540.046	3006.246	2986.82	2986.82	2986.82	2986.82

37	3587.246	3086.312	3069.787	3069.787	3069.787	3069.787
38	3635.875	3166.783	3152.754	3152.754	3152.754	3152.754
39	3685.684	3247.604	3235.721	3235.721	3235.721	3235.721
40	3737.221	3328.73	3318.688	3318.688	3318.688	3318.688
41	3789.84	3410.12	3401.656	3401.656	3401.656	3401.656
42	3843.696	3491.738	3484.623	3484.623	3484.623	3484.623
43	3898.749	3573.552	3567.59	3567.59	3567.59	3567.59
44	3954.951	3655.537	3650.557	3650.557	3650.557	3650.557
45	4012.264	3737.868	3733.525	3733.525	3733.525	3733.525
46	4070.648	3819.925	3816.492	3816.492	3816.492	3816.492
47	4130.066	3902.291	3899.459	3899.459	3899.459	3899.459
48	4190.482	3984.748	3982.426	3982.426	3982.426	3982.426
49	4251.859	4067.265	4065.394	4065.394	4065.394	4065.394
50	4314.163	4149.89	4148.361	4148.361	4148.361	4148.361

**TABLA (APL v.s. n) PARA DIFERENTES VALORES DE r, CON
d=1.25 Y APL₀=5000**

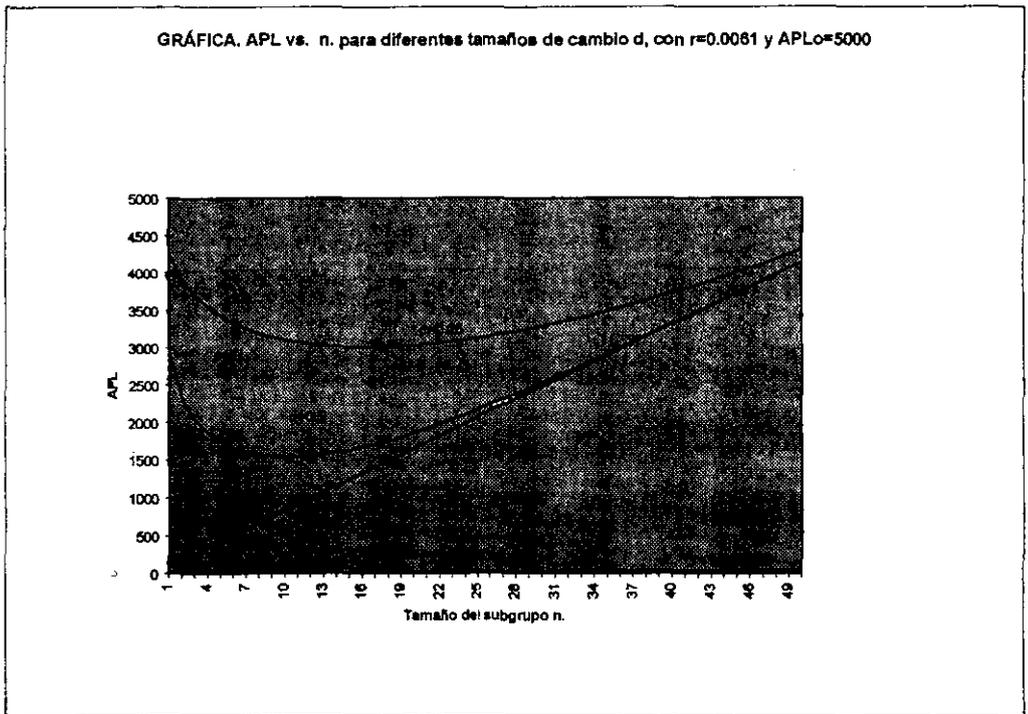
APL					
n	r				
	0.001	0.0061	0.01	0.05	0.2
1	1624.676	797.2774	664.5502	378.0939	240.7935
2	1529.021	543.1559	422.4544	194.9491	104.6088
3	1744.809	472.2916	347.3404	138.1086	66.62084
4	2108.303	485.2122	325.0832	113.5112	50.75586
5	2547.227	492.675	329.6549	102.2725	43.01556
6	3022.048	541.8119	350.9406	98.24695	39.1615
7	3512.657	604.8292	383.2811	98.78928	37.52252
8	4009.768	676.4789	422.9223	102.4878	38.09649
9	4509.414	753.2631	467.2397	108.448	39.61356
10	5009.996	832.9651	514.4357	116.0353	41.67833
11	5510.899	914.2579	563.3347	124.7762	44.15442
12	6011.902	996.3878	613.2047	134.3161	46.93644
13	6512.927	1078.945	663.6111	144.3941	49.94223
14	7013.95	1161.715	714.3052	154.8246	53.10839
15	7514.968	1244.589	765.1506	165.48	56.38698
16	8015.979	1327.513	816.0734	176.2754	59.7427
17	8516.987	1410.46	867.0355	187.1559	63.15022
18	9017.992	1493.418	918.017	198.0872	66.59184
19	9518.995	1576.38	969.0082	209.0483	70.05551
20	10020	1659.346	1020.004	220.0265	73.5332
21	10521	1742.312	1071.002	231.0144	77.01967
22	11022	1825.279	1122.001	242.0078	80.51154
23	11523	1908.246	1173	253.0042	84.00672
24	12024	1991.213	1224	264.0022	87.50389
25	12525	2074.18	1275	275.0012	91.00223

**TABLA (APL v.s. n) PARA DIFERENTES VALORES DE APLo, CON
d=1.25 Y r=0.0061**

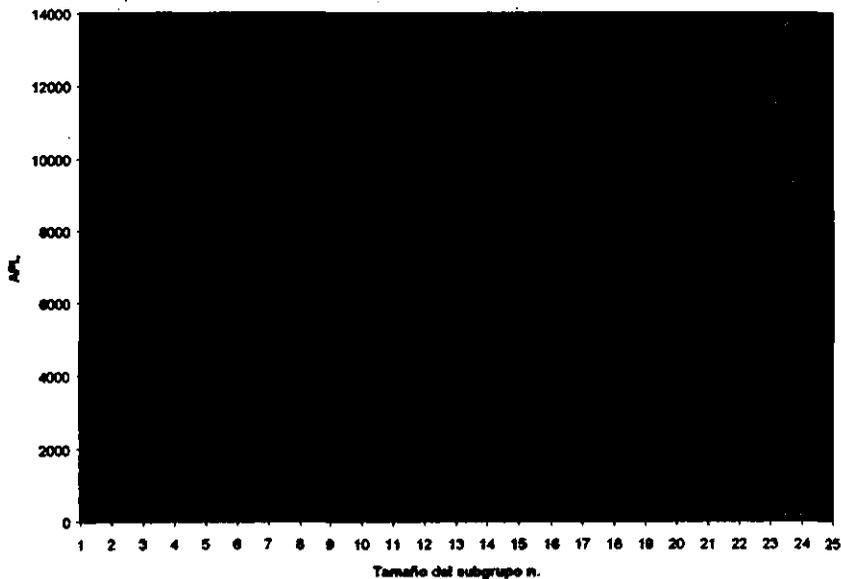
APL				
n	APLo			
	100000	25000	5000	1000
1	5617.875	2233.824	797.2774	299.6965
2	2563.008	1220.706	543.1559	270.6928
3	1660.703	895.7812	472.2916	299.2213
4	1264.082	756.2491	464.2122	354.7853
5	1060.416	697.925	492.675	424.7086
6	952.7181	685.6739	541.8119	501.8492
7	901.8101	703.5137	604.8292	582.3538
8	888.5949	742.29	676.4789	664.3278
9	902.1881	795.8504	753.2631	746.9111
10	935.4977	859.7254	832.9651	829.7368
11	983.431	930.618	914.2579	912.6548
12	1042.128	1006.143	996.3878	995.6071
13	1108.612	1084.633	1078.945	1078.571
14	1180.612	1164.967	1161.715	1161.538
15	1256.422	1246.415	1244.589	1244.506
16	1334.807	1328.522	1327.513	1327.474
17	1414.892	1411.01	1410.46	1410.442
18	1496.076	1493.714	1493.418	1493.409
19	1577.956	1576.539	1576.38	1576.377
20	1660.269	1659.429	1659.346	1659.344
21	1742.848	1742.356	1742.312	1742.311
22	1825.587	1825.302	1825.279	1825.279
23	1908.421	1908.258	1908.246	1908.246
24	1991.312	1991.219	1991.213	1991.213
25	2074.236	2074.183	2074.18	2074.18

ANEXO 2 GRAFICAS APL vs n

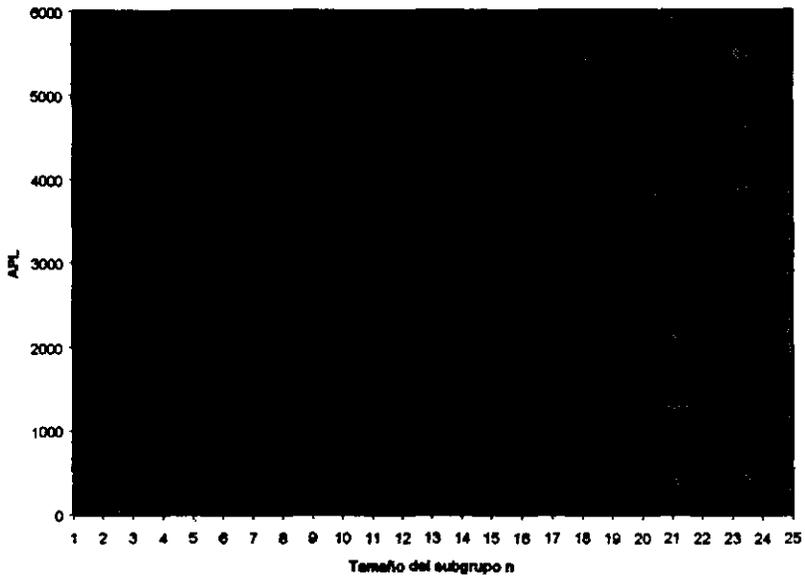
En este anexo se muestran las gráficas que se obtienen de las tablas del anexo 1, referidas al ejemplo 1.



GRÁFICA. APL vs. n para diferentes proporciones de muestreo r, con $d=1.25$, $APL_0=5000$



GRAFICA. APL vs. n para diferentes APLo, con $r=0.061$ y $d=1.25$



ANEXO 3 DIAGRAMAS DE FLUJO

En este anexo se presentan los diagramas de flujo de los 4 subprogramas .

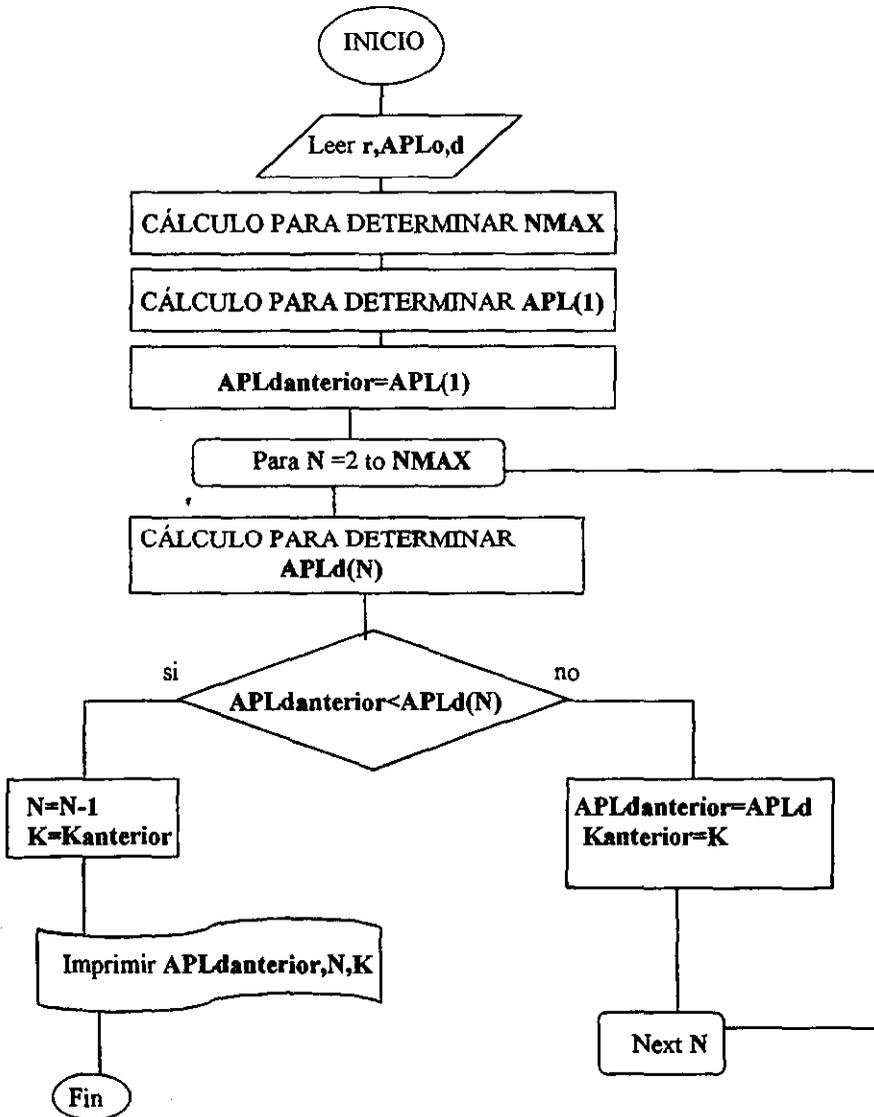


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA 1

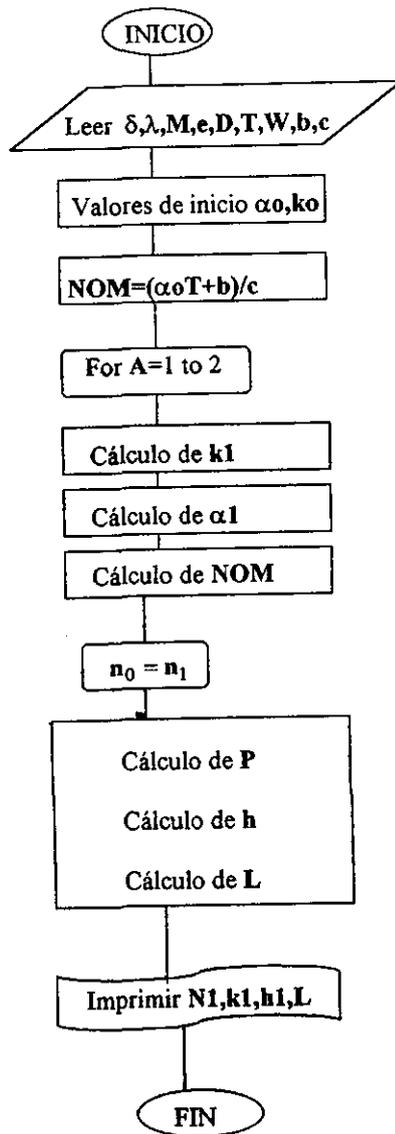


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA 2

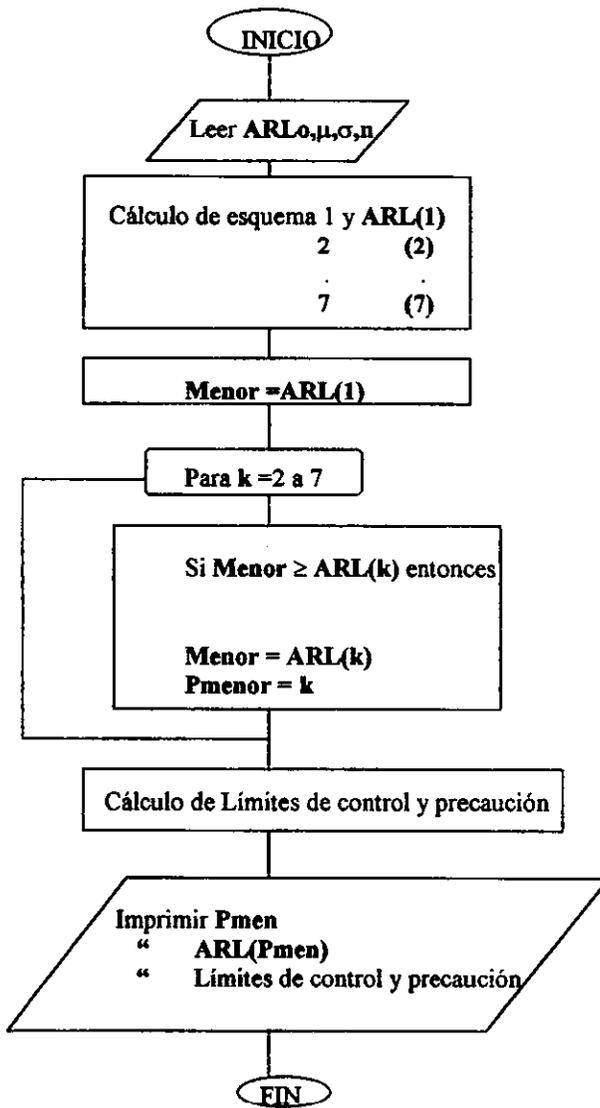


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA 3

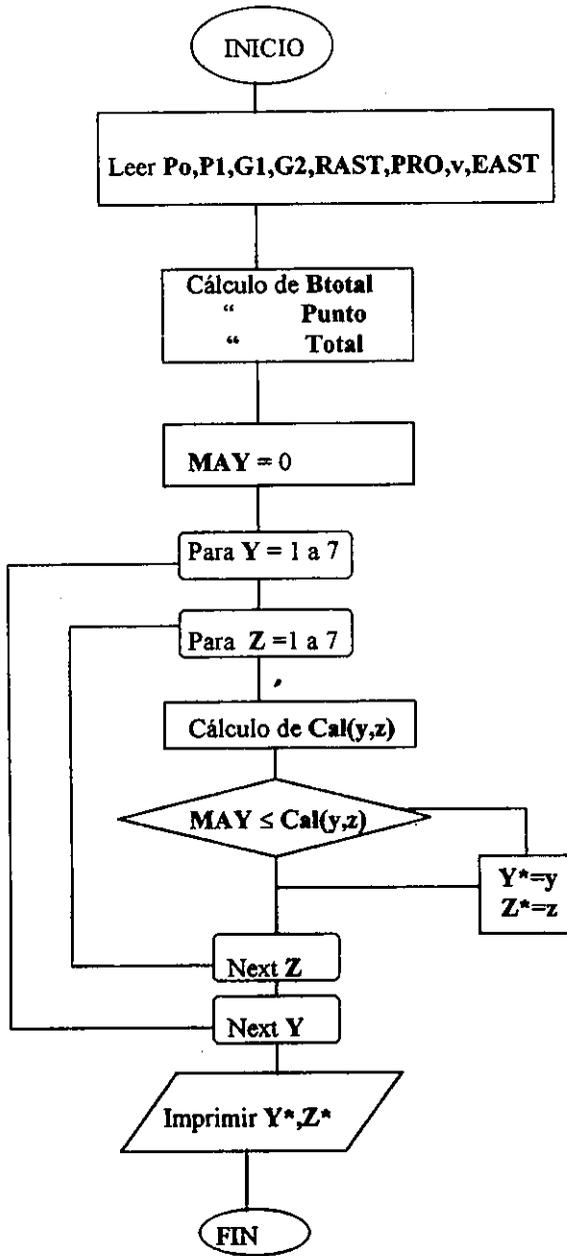


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA 4

```

DECLARE SUB SUB0 ()
DECLARE SUB SUB1 ()
DECLARE SUB SUB2 ()
DECLARE SUB SUB3 ()
DECLARE SUB SUB4 ()

```

```

CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " ***** DISEÑO DE DIAGRAMAS DE CONTROL *****"
PRINT ""
PRINT "
AUTOR : RICARDO HERREJON SANSON "
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "
DIRECTOR:DR.ALEJANDRO TERAN."
CODIRECTOR:ING.GUADALUPE DURAN."
PRINT "
LOCATE 25, 42
PRINT "
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
DO
CLS
PRINT "
PRINT "
PRINT " ***** MENU PRINCIPAL *****"
PRINT " 0) INICIO
PRINT "
PRINT " 1) DISEÑO SEMIECONOMICO DE UN ESQUEMA DE CONTROL. (APL)
PRINT "
PRINT " 2) DISEÑO ECONOMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL. (DUNCAN)
PRINT "
PRINT " 3) DISEÑO ESTADISTICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL
CON REGLAS SUPLEMENTARIAS. (ARL)
PRINT "
PRINT " 4) DISEÑO DE UN PLAN DE CONTROL PARA PROCESOS MONITOREADOS
CONTINUAMENTE. (COLLANI)
PRINT "
PRINT " S) SALIDA
PRINT "
IF (I MOD 21) = 0 THEN

```

```

COLOR 16, 7
PRINT : PRINT "
COLOR 3, 0
END IF
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
IF A$ = "0" THEN
CALL SUB0
END IF
IF A$ = "1" THEN
CALL SUB1
END IF
IF A$ = "2" THEN
CALL SUB2
END IF
IF A$ = "3" THEN
CALL SUB3
END IF
IF A$ = "4" THEN
CALL SUB4
END IF
LOOP UNTIL A$ = "S" OR A$ = "s"

```

ESQUEMA1:

```

DATA "Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae mas"
DATA "allá de los límites de control, ii) dos puntos consecutivos caen "
DATA "arriba del límite superior de precaución, o iii) dos puntos "
DATA "consecutivos caen abajo del límite inferior de control."
DATA ""
DATA ""
DATA ""

```

ESQUEMA2:

```

DATA "Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae mas"
DATA "allá de los límites de control, ii) dos de los últimos tres "
DATA "puntos caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) dos "
DATA "de los últimos tres puntos caen abajo del límite inferior de "
DATA "precaución. "
DATA ""
DATA ""
DATA ""

```

ESQUEMA3:

```

DATA "Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae más "
DATA "allá de los límites de control, ii) tres de los últimos cuatro "
DATA "puntos caen arriba del límite superior de control, ó iii) tres "
DATA "de los últimos cuatro puntos caen abajo del límite inferior de "
DATA "precaución."
DATA ""
DATA ""
DATA ""

```

ESQUEMA4:

DATA "Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae mas "
 DATA "allá de los límites de control, ii) tres de los últimos cinco puntos "
 DATA "caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) tres de los "
 DATA "últimos cinco puntos caen abajo del límite inferior de precaución."
 DATA ""
 DATA ""
 DATA ""

ESQUEMA5:

DATA "Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae mas allá"
 DATA "de los límites de control, ii) cinco puntos consecutivos caen arriba"
 DATA "del límite superior de precaución, ó iii) cinco puntos caen abajo del"
 DATA "límite inferior de precaución."
 DATA ""
 DATA ""
 DATA ""

ESQUEMA6:

DATA "Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae mas allá"
 DATA "de los límites de control, ii) ocho puntos consecutivos caen arriba del"
 DATA "límite superior de precaución, ó iii) ocho puntos consecutivos caen"
 DATA "abajo del límite inferior de precaución."
 DATA ""
 DATA ""
 DATA ""

ESQUEMA7:

DATA "Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae mas allá"
 DATA "de los límites de control, ii) dos de los últimos tres puntos caen LP1"
 DATA "unidades estandar arriba de la línea central, ii) dos de los últimos"
 DATA "tres puntos caen LP1 unidades estandar abajo de la línea central, iv)"
 DATA "tres de los últimos cuatro puntos caen LP2 unidades estándar arriba de"
 DATA "la línea central, o v) tres de los últimos cuatro puntos caen LP2"
 DATA "unidades estándar abajo de la línea central"

SUB SUBO

CLS

PRINT ""

PRINT ""

PRINT " OBJETIVO"

PRINT ""

PRINT " DESARROLLAR UN PROGRAMA DE COMPUTACION QUE SEA AUXILIAR EN EL "

PRINT " DISEÑO DE DIAGRAMAS DE CONTROL"

PRINT ""

PRINT " CONTENIDO"

PRINT ""

PRINT " EL MENU CONSTA DE 4 OPCIONES DE ESQUEMAS (1), (2), (3), (4), UNA OPCION"

PRINT " DE INICIO (0), Y LA OPCION DE SALIDA (S)"

PRINT ""

PRINT ""

PRINT " RECOMENDACION DE USO"

PRINT ""

PRINT " CADA ESQUEMA SE ASOCIA A UNA SITUACION ESPECIFICA SOBRE EL"

PRINT " DISEÑO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL, SE DEBE ELEGIR EL"

PRINT " ESQUEMA QUE MAS SE ADAPTE A SU CASO. A CONTINUACION SE DAN"

PRINT " LAS CARACTERISTICAS DE USO GENERALES DE LOS ESQUEMAS:"

```

LOCATE 25, 42
PRINT "
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " OPCION 1) DISEÑO SEMIECONOMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL (APL) "
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " SE UTILIZA CUANDO :"
PRINT ""
PRINT " - SE REQUIERE DISEÑAR UN DIAGRAMA DE CONTROL. "
PRINT ""
PRINT " - NO SE DISPONE DE TODOS LOS COSTOS ASOCIADOS AL ESQUEMA DE"
PRINT " CONTROL. "
PRINT ""
PRINT " - SE DESEA MEDIR CUANTITATIVAMENTE EL EFECTO DE AUMENTAR O QUITAR"
PRINT " RECURSOS. "
PRINT ""
PRINT " - SE DESEA CONTAR CON UNA MEDIDA CUANTITATIVA DE LA EFECTIVIDAD"
PRINT " DEL ESQUEMA DE CONTROL. "
LOCATE 25, 42
PRINT "
Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " OPCION 2) DISEÑO ECONOMICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL (DUNCAN) "
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " SE UTILIZA CUANDO :"
PRINT ""
PRINT " - SE REQUIERE DISEÑAR UN DIAGRAMA DE CONTROL. "
PRINT ""
PRINT " - SE CUENTA CON INFORMACION DE TODOS LOS COSTOS ASOCIADOS AL ESQUEMA "
PRINT " DE CONTROL. "
PRINT ""
PRINT " - SE DESEA ANALIZAR EL EFECTO DE LOS PARAMETROS INVOLUCRADOS EN EL "
PRINT " ESQUEMA, EN EL COSTO TOTAL. "
LOCATE 25, 42
PRINT "
Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS

```

```

PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " OPCION 3) DISEÑO ESTADISTICO DE UN DIAGRAMA DE CONTROL"
PRINT "      CON REGLAS SUPLEMENTARIAS."
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " SE UTILIZA CUANDO:"
PRINT ""
PRINT " - SE REQUIERE DISEÑAR UN DIAGRAMA DE CONTROL"
PRINT ""
PRINT " - SE DESEAN UTILIZAR REGLAS SUPLEMENTARIAS Y LIMITES DE PRECAUCION "
PRINT "   EN LOS DIAGRAMAS DE CONTROL."
PRINT ""
PRINT " - SE DESEAN DETECTAR CAMBIOS PEQUEÑOS EN LA MEDIA DEL PROCESO."
PRINT ""
PRINT " - EL ANALISIS DE COSTOS NO SE ENCUENTRA IMPLICITO EN EL ESQUEMA."
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "                                     Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "OPCION 4) DISEÑO DE UN PLAN DE CONTROL PARA PROCESOS MONITOREADOS"
PRINT "CONTINUAMENTE. "
PRINT ""
PRINT " SE UTILIZA CUANDO :"
PRINT ""
PRINT " - SE REQUIERE DISEÑAR UN DIAGRAMA DE CONTROL."
PRINT ""
PRINT " - SE DESEA MONITOREAR CONTINUAMENTE."
PRINT ""
PRINT " - SE DISPONE DE INFORMACION DE COSTOS."
PRINT ""
PRINT " - SE PRESENTAN CASOS EN LOS CUALES LOS COSTOS DE INSPECCION"
PRINT "   POR ARTICULO SON PEQUEÑOS, O CUANDO LOS ARTICULOS DEFECTUOSOS QUE"
PRINT "   PASAN PROVOCAN PERDIDAS MUY GRANDES."
LOCATE 25, 42
PRINT "                                     Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
END SUB
SUB SUB1

CLS
PRINT ""

```

```

PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " EL USO DE ESTE SUBPROGRAMA REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PARAMETROS"
PRINT " DE ENTRADA:"
PRINT ""
PRINT " - r : PROPORCION MAXIMA DE MUESTREO."
PRINT " - APL(0) : CANTIDAD DE ARTICULOS PRODUCIDOS DESDE EL COMIENZO"
PRINT " DEL ESQUEMA HASTA QUE EL ESQUEMA DA LA SEÑAL DE "
PRINT " CAMBIO EN LA MEDIA CUANDO EN REALIDAD ESTE NO SE "
PRINT " HA PRODUCIDO."
PRINT " - d : TAMAÑO DEL CAMBIO EN LA MEDIA EN TERMINOS DE SIGMA."
PRINT ""
PRINT " LOS PARAMETROS DE SALIDA SON LOS SIGUIENTES:"
PRINT ""
PRINT " - n : TAMAÑO DEL SUBGRUPO."
PRINT " - K : DISTANCIA DE LOS LIMITES DE CONTROL A LA LINEA CENTRAL."
PRINT " - hm: INTERVALO DE MUESTREO"
PRINT " - APL : CANTIDAD PROMEDIO DE ARTICULOS PRODUCIDOS ENTRE LA"
PRINT " OCURRENCIA DE UN CAMBIO Y SU DETECCION."
LOCATE 25, 42
PRINT " Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
100 CLS
DO
LOCATE 5, 5
PRINT " SELECCIONE LA OPCION QUE REQUIERA"
PRINT ""
LOCATE 7, 5
PRINT "1) TABLA DE ANALISIS PARA VARIOS VALORES DE d"
LOCATE 9, 5
PRINT "2) ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA CURVAS d,r,APLO"
LOCATE 11, 5
PRINT "3) EJEMPLO"
LOCATE 13, 5
PRINT "s) SALIDA"
LOCATE 17, 5
INPUT "OPCION "; R$
LOOP UNTIL R$ = "1" OR R$ = "2" OR R$ = "3" OR R$ = "S" OR R$ = "s"

IF R$ = "1" THEN
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE r <.0001-.5> ----->"; R
DO UNTIL R >= .0001 AND R <= .5
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE r <.0001-.5>----->"; R
LOOP
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE APL(o) <1000-100000> ----->"; APLO
DO UNTIL APLO >= 1000 AND APLO <= 100000
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE APL(o) <1000-100000> ----->"; APLO
LOOP
INPUT "CUANTOS VALORES DE d DESEA ANALIZAR <1-10>"; V
DO UNTIL V >= 1 AND V <= 10
INPUT "CUANTOS VALORES DE d DESEA ANALIZAR <1-10>"; V
LOOP

```

```

DIM B(V)
DIM N(V)
DIM K(V)
DIM APLdANT(V)

FOR I = 1 TO V
  PRINT "VALOR No"; I; "DE d <.25-2.5>"
  INPUT "-->"; B(I)
  DO UNTIL B(I) >= .25 AND B(I) <= 2.5
    PRINT "VALOR No"; I; "DE d"
    INPUT "-->"; B(I)
  LOOP
NEXT I
CLS
PRINT "  d                n                K                APL"
PRINT "  _____"
FOR U = 1 TO V
  d = B(U)

  NMAX = ((2 * R) * (APL0) / (2 * R + 1))

  'CALCULO PARA DETERMINAR APLd(1)

  'CALCULO PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE LOS LIMITES DE CONTROL A LA LINEA
  'CENTRAL, K
  P = (1 / (2 * R)) * (1 / (APL0 + (1 / (2 * R)) - 1))
  GOSUB REVERSA
  K = -Z

  'CALCULO DE VARIABLES X'S Y SUS AREAS BAJO LA CURVA NORMAL
  'PARA ENCONTRAR ARL Y APL(d)

  X = K - d * (SQR(1))
  GOSUB CALCULO
  AREA1 = AREA

  Y = -K - d * (SQR(1))
  X = Y
  GOSUB CALCULO
  AREA2 = AREA

  'CALCULO DE ARL Y APL(d)

  ARL = 1 / (1 - AREA1 + AREA2)
  APLd1 = ((1 / R) * ARL) - (1 / (2 * R)) + 1
  APLdANT = APLd1

  FOR N = 2 TO NMAX

  '** CALCULO PARA DETERMINAR APLd'S **

  'CALCULO PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE LOS LIMITES DE CONTROL A LA
  ' LINEA CENTRAL, K
  P = (N / (2 * R)) * (1 / (APL0 + (N / (2 * R)) - N))
  GOSUB REVERSA
  K = -Z

  'CALCULO DE VARIABLES X'S Y SUS AREAS BAJO LA CURVA NORMAL
  'PARA ENCONTRAR ARL Y APL(d)

```

```

X = K - d * (SQR(N))
  GOSUB CALCULO
AREA1 = AREA

y = -K - d * (SQR(N))
X = y
  GOSUB CALCULO
AREA2 = AREA

'CALCULO DE ARL Y APL(d)

ARL = 1 / (1 - AREA1 + AREA2)

APLd = ((N / R) * ARL) - (N / (2 * R)) + N

'*** CALCULO DE LOS VALORES OPTIMOS DE APLd, n, K **

  IF APLdANT < APLd THEN
    N = N - 1
    K = KANT

' SALIDA DE OPTIMOS      N, K APLdANT

N(U) = N
K(U) = K
APLdANT(U) = APLdANT
EXIT FOR

ELSE
  APLdANT = APLd
  KANT = K
END IF
NEXT N

PRINT B(U), N(U), K(U), APLdANT(U)

IF B(U) = 0 OR N(U) = 0 OR K(U) = 0 OR APLdANT(U) = 0 THEN
CLS
  LOCATE 5, 1
  PRINT "ESTA COMBINACION DE VALORES NO ES POSIBLE RESOLVERSE POR ESTE METODO"
  PRINT "INTENTE CON OTROS VALORES"
END IF

NEXT U

END IF

LOCATE 20, 42
PRINT "
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND

IF R$ = "2" THEN

'EL PROGRAMA CALCULA CURVAS PARA UN d,r,APL0, ESPECIFICO

```

Oprima cualquier tecla para continuar"

```

300 CLS
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE r <.0001-.5> ----->"; R
DO UNTIL R >= .0001 AND R <= .5
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE r <.0001-.5>----->"; R
LOOP
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE APL(o) <1000-100000> ----->"; APLO
DO UNTIL APLO >= 1000 AND APLO <= 100000
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE APL(o) <1000-100000> ----->"; APLO
LOOP
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE d <1-10>"; d
DO UNTIL d >= 1 AND d <= 10
INPUT "CUANTOS VALORES DE d DESEA ANALIZAR <1-10>"; d
LOOP

FOR N = 1 TO 25
  '** CALCULO PARA DETERMINAR APLd'S **
  'CALCULO PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE LOS LIMITES DE CONTROL A LA LINEA
  'LINEA CENTRAL
    P = (N / (2 * R)) * (1 / (APLO + (N / (2 * R)) - N))
    GOSUB REVERSA
    K = -Z
  'CALCULO DE VARIABLES X'S Y SUS AREAS BAJO LA CURVA NORMAL
  'PARA ENCONTRAR ARL Y APL(d)
  X = K - d * (SQR(N))
  GOSUB CALCULO
  AREA1 = AREA
  y = -K - d * (SQR(N))
  X = y
  GOSUB CALCULO
  AREA2 = AREA
  'CALCULO DE ARL Y APL(d)
  ARL = 1 / (1 - AREA1 + AREA2)
  APLd = ((N / R) * ARL) - (N / (2 * R)) + N
  PRINT " N="; N; " APLd="; APLd
NEXT N
INPUT "DESEA ANALIZAR OTROS VALORES (S/N)"; O$
DO UNTIL O$ = "S" OR O$ = "s" OR O$ = "N" OR O$ = "n"
INPUT "DESEA ANALIZAR OTROS VALORES (S/N)"; O$
LOOP
IF O$ = "S" OR O$ = "s" THEN GOTO 300
LOCATE 25, 42
PRINT "
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
EXIT SUB

'SUBROUTINA QUE CALCULA AREAS BAJO LA CURVA NORMAL DE VARIABLES X'S

```

CALCULO:

```

D1 = .049867347#
D2 = .0211410061#
D3 = .0032776263#
d4 = .0000380036#
d5 = .0000488906#

```

d6 = .000005383#

66

```
IF X >= 0 THEN
  A = (1 + D1 * X + D2 * X ^ 2 + D3 * X ^ 3 + d4 * X ^ 4 + d5 * X ^ 5 + d6 *
  AREA = 1 - ((1 / 2) * A ^ (-16))
ELSE
  X = -X
  A = (1 + D1 * X + D2 * X ^ 2 + D3 * X ^ 3 + d4 * X ^ 4 + d5 * X ^ 5 + d6 *
  AREA = ((1 / 2) * A ^ (-16))
END IF
RETURN
```

'SUBROUTINA QUE CALCULA VARIABLES Z'S APARTIR DE AREAS BAJO LA CURVA NORMAL REVERSA.

'**CONSTANTES**

C0 = 2.515517

C1 = .802853

C2 = .010328

D1 = 1.432788

D2 = .189269

D3 = .001308

A = 1 / P ^ 2

B = LOG(A)

t = SQR(B)

IF 0 < P <= .5 THEN

Y = (C0 + C1 * t + C2 * t ^ 2) / (1 + (D1 * t) + (D2 * t ^ 2) + (D3 * t ^ 3))

Z = -(t - y)

ELSE

A = 1 / (1 - P) ^ 2

B = LOG(A)

t = SQR(B)

Y = (C0 + C1 * t + C2 * t ^ 2) / (1 + (D1 * t) + (D2 * t ^ 2) + (D3 * t ^ 3))

Z = -(t - y)

END IF

RETURN

END IF

IF R\$ = "3" THEN

CLS

PRINT ""

PRINT ""

EJEMPLO 1"

PRINT ""

PRINT "Se tiene un proceso de moldeo. Supóngase que los armazones de"

PRINT "plástico se moldean con una máquina de moldeo por inyección en una"

PRINT "proporción de 15 por minuto, y que la media de una dimensión objetivo"

PRINT "va a ser controlada por un diagrama x barra . La dimensión objetivo es"

PRINT "de 10.0 mm y la desviación estándar del proceso es de sigma= 0.02 mm."

PRINT "El operador de la máquina se toma un minuto para obtener un armazón y"

PRINT "medirlo en un comparador óptico, este tiempo que tarda en medir, la"

PRINT "máquina no esta operando. Debido a otras demandas para su uso, el"

PRINT "comparador sólo esta disponible para este proposito 40 minutos por"

PRINT "cada 8 horas, o un promedio de 5 minutos cada hora. Esto da como"

PRINT "resultado una capacidad de muestreo de 5 articulos por 825 producidas"

PRINT "(dado que 75 articulos no se producen durante el tiempo en el"

PRINT "que se toma la muestra e inspecciona). Se desea detectar un cambio en"

PRINT "la media con respecto al objetivo de mayor de 0.025 mm y tener una"

PRINT "proporción máxima de falsas alarmas de 0.0002 o un promedio de 1 cada"

PRINT "5000 armazones producidos."

PRINT ""

PRINT ""

LOCATE 25, 42

```

PRINT "
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "
ANALISIS 1"
PRINT ""
PRINT "El primer análisis que se puede hacer con este método es el de búsqueda"
PRINT "de los parámetros óptimos, este consiste en encontrar r, APLo y d"
PRINT "óptimos, y variar estos parámetros para encontrar el esquema más "
PRINT "conveniente."
PRINT ""
PRINT "Las entradas para el diseño del esquema de control son la proporción"
PRINT "de muestreo  $r = 5/825 = 0.0061$  y un  $APL(0) = 5000$  y un cambio"
PRINT " $d = 0.025 \text{ mm} / 0.02 \text{ mm} = 1.25$ ."
PRINT ""
PRINT "Una vez que se tienen estos datos, se puede elegir la opción 1 del"
PRINT "submenú 1, e introducir estos datos, con lo que se ejecuta el programa"
PRINT "y se obtienen los siguientes parámetros óptimos de salida:"
PRINT ""
PRINT "n=4 k=1.54 APLd=465"
PRINT ""
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "
Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "Estos parámetros quieren decir que los límites correspondientes son"
PRINT "+- 1.54 sigma entre raíz de n, con un APL de 465 para que un cambio en"
PRINT "la media del proceso de 10.0 mm a 10.025 mm (o 9.975) sea detectado."
PRINT "El intervalo de muestreo es de 651 armazones entre subgrupos, ya que"
PRINT " $h = (n/r) - n = (4/0.0061) - 4 = 651$ ."
PRINT ""
PRINT "En una base de tiempo el esquema óptimo es medir y graficar una"
PRINT "muestra de 4 armazones cada 43 minutos. Un cambio en la media de"
PRINT "1.25 veces sigma será detectado aproximadamente en promedio cada 34"
PRINT "minutos y una falsa alarma ocurrirá en promedio cada 6 hrs."
PRINT ""
PRINT "Si se considera que la pérdida de producción debida al tiempo que pasa"
PRINT "en tomarse una muestra e inspeccionarla, de 75 unidades por hora en"
PRINT "promedio, es muy grande, entonces habria que pensar en que por ejemplo"
PRINT "se permitieran solo 3 min. para inspección, con lo que la capacidad de"
PRINT "muestreo sería de  $r = 3/825 = 0.0036$ . En este caso el diseño óptimo"
PRINT "determinado por el programa para un  $r = 0.0036$ ,  $APLo = 5000$  y  $d = 1.25$  es:"
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "
Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND

```

```

CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "      n=3              k=1.42              APL=668  "
PRINT ""
PRINT "Con lo que se redujo un 33% en tiempo de inspección y se incremento la"
PRINT "producción en un 3.5 %. Por otro lado se incremento el APL para que se"
PRINT "detecte un cambio de 0.025 en un 43 %."
PRINT ""
PRINT "Si se considera que se puede aumentar el APLo a 10000, con r=0.0061, y"
PRINT "d=0.025, entonces el esquema óptimo sería el siguiente:"
PRINT ""
PRINT "      n=5              k=1.75              APL=559  "
PRINT ""
PRINT "Con este cambio, también aumento el APL para detectar un cambio de"
PRINT "0.025 en 20 % y el tamaño del subgrupo aumento de 4 a 5."
PRINT ""
PRINT "Esta información se puede utilizar para evaluar el trueque entre la"
PRINT "producción y el control del proceso."
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "                                Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "                                ANALISIS 2"
PRINT ""
PRINT "El segundo análisis que se puede hacer es el de obtener parámetros"
PRINT "que aunque no son óptimos si dan un APL aceptable (pequeño). Por "
PRINT "ejemplo, tal vez para los parámetros óptimos que se obtuvieron en "
PRINT "el análisis 1, de n=4, k=1.54 y APL=465, se podría cambiar n en un"
PRINT "rango de 3 a 5 ya que el APL de dicha cantidades se podrían considerar"
PRINT "aceptables en términos del APL (472,465,492) porque no se alejan mucho"
PRINT "del valor óptimo de 465. Este método de análisis se hace cuando por"
PRINT "razones del proceso o de subagrupamientos racionales se necesita"
PRINT "cambiar el tamaño de la muestra a un valor que no sea el óptimo."
PRINT ""
PRINT "Para hacer este tipo de análisis se cuenta con la opción 2 del menú 1"
PRINT "del programa, ya que este proporciona los valores APL vs. n para los"
PRINT "diferentes parámetros d,r, APLo, con lo que aparte de poder obtener"
PRINT "un tamaño de subgrupo n no óptimo, pero si aceptable, se puede utilizar"
PRINT "como guía para observar el comportamiento de los valores APL vs. n,"
PRINT "para diferentes d,r y APLo. El programa presenta la lista de los valores,"
PRINT "sin embargo el comportamiento de los parámetros se visualiza mejor por"
PRINT "medio de curvas de estos datos, por lo que es aconsejable que se"
PRINT "introduzcan estos datos en una hoja de cálculo y se obtengan las"
PRINT "gráficas correspondientes."
PRINT ""
LOCATE 22, 42
PRINT "                                Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""

```

```

A$ = INKEY$
WEND
GOTO 100
END IF
IF R$ = "S" OR R$ = "s" THEN
EXIT SUB
END IF
END SUB

SUB SUB2
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " ESTE PROGRAMA REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PARAMETROS DE ENTRADA:"
PRINT ""
PRINT " - DELTA : TAMAÑO DEL CAMBIO EN LA MEDIA DEL PROCESO."
PRINT " - LAMBDA : PARAMETRO RELACIONADO CON LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA"
PRINT "           DE UNA CAUSA ASIGNABLE."
PRINT " - M      : REDUCCION DEL INGRESO POR HORA QUE SE ATRIBUYE A LA OCU-"
PRINT "           RRENCIA DE LA CAUSA ASIGNABLE."
PRINT " - e      : PROPORCION A LA CUAL EL TIEMPO ENTRE LA TOMA DE LA MUESTRA"
PRINT "           Y GRAFICACION DE UN PUNTO EN EL DIAGRAMA DE CONTROL X,"
PRINT "           SE INCREMENTA CON EL TAMAÑO DE LA MUESTRA n."
PRINT " - D      : TIEMPO PROMEDIO PARA BUSCAR UNA CAUSA ASIGNABLE DESPUES DE"
PRINT "           QUE UN PUNTO GRAFICADO CAE FUERA DE LOS LIMITES DE CONTROL"
PRINT " - T      : EL COSTO POR OCASION DE BUSCAR UNA CAUSA ASIGNABLE CUANDO"
PRINT "           ESTA NO EXISTE."
PRINT " - W      : EL COSTO PROMEDIO POR OCASION DE ENCONTRAR LA CAUSA ASIG-"
PRINT "           NABLE CUANDO ESTA EXISTE."
PRINT " - b      : EL COSTO POR MUESTRA DE MUESTREAR Y GRAFICAR."
PRINT " - c      : EL COSTO POR UNIDAD DE MUESTREAR, PROBAR Y ANOTAR EL RESUL-"
PRINT "           TADO QUE ESTA RELACIONADO CON EL TAMAÑO DE LA MUESTRA."
LOCATE 25, 42
PRINT "                               Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " LOS PARAMETROS DE SALIDA SON LOS SIGUIENTES:"
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " - n      : TAMAÑO DEL SUBGRUPO."
PRINT ""
PRINT " - K      : DISTANCIA DE LOS LIMITES DE CONTROL A LA LINEA CENTRAL."
PRINT ""
PRINT " - h      : INTERVALO DE MUESTREO."
PRINT ""
PRINT " - Lp     : COSTO DE PERDIDA POR 100 HORAS DE OPERACION."
PRINT ""
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "                               Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""

```

```

WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
5 CLS
DO
LOCATE 5, 5
PRINT "SELECCIONE LA OPCION QUE REQUIERA"
PRINT ""
LOCATE 7, 5
PRINT "1) OBTENER PARAMETROS DE SALIDA"
PRINT ""
LOCATE 9, 5
PRINT "2) EJEMPLO"
PRINT ""
LOCATE 11, 5
PRINT "3) SALIDA"
PRINT ""
LOCATE 15, 5
INPUT "OPCION ?"; R$
LOOP UNTIL R$ = "1" OR R$ = "2" OR R$ = "3" OR R$ = "3"

IF R$ = "1" THEN

10 CLS
'ENTRADA DE VALORES

INPUT "VALOR DE DELTA <.5-2>"; DE
DO UNTIL DE >= .5 AND DE <= 2
INPUT "VALOR DE DELTA <.5-2>"; DE
LOOP
INPUT "VALOR DE LAMBDA <.01-.03>"; LA
DO UNTIL LA >= .01 AND LA <= .03
INPUT "VALOR DE LAMBDA <.01-.03>"; LA
LOOP
INPUT "VALOR DE M <1-10000>"; M
DO UNTIL M >= 1 AND M <= 10000
INPUT "VALOR DE M <1-10000>"; M
LOOP
INPUT "VALOR DE e <.05-.5>"; e
DO UNTIL e >= .05 AND e <= .5
INPUT "VALOR DE e <.05-.5>"; e
LOOP
INPUT "VALOR DE D <1-20>"; d
DO UNTIL d >= 1 AND d <= 20
INPUT "VALOR DE D <1-20>"; d
LOOP
INPUT "VALOR DE T <5-5000>"; t
DO UNTIL t >= 5 AND t <= 5000
INPUT "VALOR DE T <5-5000>"; t
LOOP
INPUT "VALOR DE W <1-2500>"; W
DO UNTIL W >= 1 AND W <= 2500
INPUT "VALOR DE W <1-2500>"; W
LOOP
INPUT "VALOR DE b <.5-5>"; B
DO UNTIL B >= .5 AND B <= 5
INPUT "VALOR DE b <.5-5>"; B
LOOP
INPUT "VALOR DE c <.1-10>"; C
DO UNTIL C >= .1 AND C <= 10

```

```

      INPUT "VALOR DE c <.1-10>"; C
      LOOP

'VALORES DE INICIO

FO = .0124
KO = 2.5

NOM1 = (FO * t + B) / C

K = KO
NOM = NOM1

'tabla(ITERACION 1)
'SUBROUTINA QUE CALCULA n DADO NOM ((ALFA)(T)+b)/c

PI = 3.1416

FOR N = 2 TO 70 STEP .1

'   CALCULO DE P (Probabilidad de que una causa asignable sea detectada)

      X = K - DE * (SQR(N))
      GOSUB NORMAL
      AREA1 = AREA

      X = -K - DE * (SQR(N))
      GOSUB NORMAL
      AREA2 = AREA

      PR = 1 - (AREA1 - AREA2)

'CALCULO DE LA ECUACION 7

      ARR = PR ^ 2 * ((1 / PR) - (1 / 2))
      ABA = DE / (2 * SQR(2 * PI * N))
      XP = K - DE * (SQR(N))
      EXPO = EXP(-((XP) ^ 2) / 2)
      RESU = (ARR / (ABA * EXPO)) - N

      IF RESU > NOM THEN
        DAT = INT(N)
        EXIT FOR
      END IF

NEXT N

NO = DAT

' CALCULO DE K DE LA ECUACION 8

DEN = (C * SQR(2 * NO * PI)) / (DE * t)
IF DEN < 0 OR DEN = 0 THEN
  CLS
  PRINT "Esta combinación de cantidades no es posible resolverse por"
  PRINT "este método."
  INPUT "Desea intentarlo de nuevo (si/no)"; RE$
  DO UNTIL RE$ = "si" OR RE$ = "no"
    INPUT "Desea intentarlo de nuevo (si/no)"; RE$
  LOOP

```

```

IF RES = "si" THEN
GOTO 10
ELSE
EXIT SUB
END IF
END IF

PAUSA = (-2 * LOG(DEN))

IF PAUSA < 0 THEN
CLS
PRINT "Esta combinación de cantidades no es posible resolverse por"
PRINT "este método."
INPUT "Desea intentarlo de nuevo (si/no)"; RES
DO UNTIL RES = "si" OR RES = "no"
INPUT "Desea intentarlo de nuevo (si/no)"; RES
LOOP
IF RES = "si" THEN
GOTO 10
ELSE
EXIT SUB
END IF
END IF

K1 = SQR(PAUSA)

'CALCULO DE ALFA (FALSA ALARMA)

X = K1
GOSUB NORMAL
F1 = 2 * (1 - AREA)

'CALCULO DE NOM CON EL NUEVO VALOR ALFA (F1)
NOM = (F1 * t + B) / C
K = K1

'tabla (ITERACION 2)
'SUBROUTINA QUE CALCULA n DADO NOM

FOR N = 2 TO 70 STEP .1

X = K - DE * (SQR(N))
GOSUB NORMAL
AREA1 = AREA
X = -K - DE * (SQR(N))
GOSUB NORMAL
AREA2 = AREA

PR = 1 - (AREA1 - AREA2)

ARR = PR ^ 2 * ((1 / PR) - (1 / 2))
ABA = DE / (2 * SQR(2 * PI * N))
XP = K - DE * (SQR(N))
EXPO = EXP(-((XP) ^ 2) / 2)
RESU = (ARR / (ABA * EXPO)) - N

IF RESU > NOM THEN
DAT = INT(N)
EXIT FOR
END IF

```

```

NEXT N

N1 = DAT

'CALCULO DE P CON LOS VALORES FINALES

Q1 = K - (DE * SQR(N1))
X = Q1
  GOSUB NORMAL
P1 = AREA

Q2 = -K - (DE * SQR(N1))
X = Q2
  GOSUB NORMAL
P2 = AREA

P = 1 - (P1 - P2)

'CALCULO DE h

R1 = F1 * t
R2 = C * N1
R3 = LA * M
R4 = (1 / P) - (1 / 2)

H = SQR((R1 + B + R2) / (R3 * R4))

'CALCULO DE L

ae = (1 / P) - (1 / 2) + ((LA * H) / 12)
BI = (ae * H) + (e * N1) + d
L1 = LA * M * BI
L2 = (F1 * t) / H
L3 = LA * W
L4 = 1 + (LA * BI)
L5 = B / H
L6 = (C * N1) / H

L = ((L1 + L2 + L3) / L4) + L5 + L6) * 100

'SALIDA DE RESULTADOS

LOCATE 12, 15: PRINT "EL VALOR DE n ES "; N1
LOCATE 14, 15: PRINT "EL VALOR DE h ES "; H
LOCATE 16, 15: PRINT "EL VALOR DE K ES "; K
LOCATE 18, 15: PRINT "EL VALOR DE Lp POR 100 HORAS"
LOCATE 19, 15: PRINT "DE OPERACION ES "; L

LOCATE 22, 42
PRINT "
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND

EXIT SUB

```

Oprima cualquier tecla para continuar"

'SUBROUTINA QUE CALCULA AREAS BAJO LA CURVA NORMAL DE VARIABLES X'S

NORMAL:

D1 = .049867347#
 D2 = .0211410061#
 D3 = .0032776263#
 d4 = .0000380036#
 d5 = .0000488906#
 d6 = .000005383#

```
IF X >= 0 THEN
  A = (1 + D1 * X + D2 * X ^ 2 + D3 * X ^ 3 + d4 * X ^ 4 + d5 * X ^ 5 + d6 *
  AREA = 1 - ((1 / 2) * A ^ (-16))
ELSE
  X = -X
  A = (1 + D1 * X + D2 * X ^ 2 + D3 * X ^ 3 + d4 * X ^ 4 + d5 * X ^ 5 + d6 *
  AREA = ((1 / 2) * A ^ (-16))
END IF
```

RETURN

END IF

IF R\$ = "2" THEN

CLS

PRINT ""

PRINT ""

PRINT ""

PRINT "

PRINT ""

EJEMPLO "

PRINT "Se tiene un proceso de producción de tornillos, en el cual se han"
 PRINT "estimado los siguientes costos de control del proceso: M=50, e=0.05,"
 PRINT "D=3, T=50, W=25, b=0.50, c=0.10, con un parámetro lambda=0.02, para"
 PRINT "detectar un cambio de delta=2. Una vez que se cuenta con dichos"
 PRINT "parámetros, se introducen al programa en la opción 1, con la que se"
 PRINT "van a obtener los siguientes parámetros de salida:"

PRINT ""

PRINT " n=5 h=1.3 k=3.2 L=417"

PRINT ""

PRINT "Si se cambiara el parámetro delta a un tamaño mas pequeño delta=1, se"
 PRINT "obtendrian los siguientes parámetros:"

PRINT ""

PRINT " n=17 h=2 k=2.8 L=543.5"

PRINT ""

PRINT "Se observa de estos valores que aumenta el costo L, por lo que"
 PRINT "se puede deducir que el método no da tan buenos resultados para"
 PRINT "detectar pequeños cambios, o sea cambios menores o iguales a delta=1"

LOCATE 25, 42

PRINT "

Oprima cualquier tecla para continuar"

AS = ""

WHILE AS = ""

AS = INKEY\$

WEND

GOTO 5

END IF

IF R\$ = "S" OR R\$ = "s" THEN

EXIT SUB

END IF

END SUB

75

```
SUB SUB3
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " EL USO DE ESTE PROGRAMA REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PARAMETROS"
PRINT " DE ENTRADA:"
PRINT ""
PRINT " ARL(0) : NUMERO ESPERADO DE MUESTRAS TOMADAS ANTES DE QUE SE DE UNA "
PRINT " SEÑAL DE CAMBIO EN LA MEDIA CUANDO SE ESTA BAJO CONTROL."
PRINT " N:TAMAÑO DEL SUBGRUPO"
PRINT " MU: MEDIA DEL PROCESO"
PRINT " SIGMA: DESVIACION ESTANDAR DEL PROCESO "
PRINT ""
PRINT " LOS PARAMETROS DE SALIDA SON:"
PRINT " ARLout : ARL CUANDO UN CAMBIO DE SIGMA ENTRE RAIZ DE n UNIDADES HA "
PRINT " OCURRIDO EN LA MEDIA DEL PROCESO."
PRINT " LIMITES DE CONTROL Y LIMITES DE PRECAUCION"
PRINT " ESQUEMA: REGLAS DEL ESQUEMA MAS EFECTIVO."
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "
Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND

500 CLS
DO
LOCATE 5, 5
PRINT " SELECCIONE LA OPCION QUE REQUIERA."
PRINT ""
LOCATE 7, 5
PRINT "1) OBTENER ESQUEMA Y LIMITES DE CONTROL."
LOCATE 9, 5
PRINT "2) EJEMPLO."
LOCATE 11, 5
PRINT "3) SALIDA"
LOCATE 15, 5
INPUT "OPCION "; R$
LOOP UNTIL R$ = "1" OR R$ = "2" OR R$ = "3" OR R$ = "4"

IF R$ = "1" THEN

CLS
DIM AOUT(7)
DIM CL(7)
DIM WL(8)

LOCATE 13, 5
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE ARL0 <50-10000>"; A0
DO UNTIL A0 >= 50 AND A0 <= 10000
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE ARL0 <50-10000>"; A0
LOOP
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE LA MEDIA <0.01-10000>"; mo
```

```

DO UNTIL mo >= .01 AND mo <= 10000
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE LA MEDIA <0.01-10000>"; mo
LOOP
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE SIGMA <.0001-20>"; sigma
DO UNTIL sigma >= .0001 AND sigma <= 20
INPUT "CUAL ES EL VALOR DE LA SIGMA <0.0001-20>"; sigma
LOOP
INPUT "CUAL ES EL VALOR DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA <2-10>"; N
DO UNTIL N >= 2 AND N <= 10
INPUT "CUAL ES EL VALOR DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA <2-10>"; N
LOOP

```

```

'ESQUEMA 1
CL(1) = 2.3 - (.001244 * A0) + (.093511 * SQR(A0))
WL(1) = 1.0709 - (.000673 * A0) + (.050882 * SQR(A0))
AOUT(1) = -.4085 + (.010296 * A0) + (1.1398 * SQR(A0))
'ESQUEMA 2
CL(2) = 2.3615 - (.001418 * A0) + (.103098 * SQR(A0))
WL(2) = 1.2124 - (.000671 * A0) + (.050524 * SQR(A0))
AOUT(2) = .2678 + (.007843 * A0) + (1.037433 * SQR(A0))
'ESQUEMA 3
CL(3) = 2.0837 - (.001573 * A0) + (.120191 * SQR(A0))
WL(3) = .8087 - (.00052 * A0) + (.040784 * SQR(A0))
AOUT(3) = 1.6888 + (.000682 * A0) + (.857117 * SQR(A0))
'ESQUEMA 4
CL(4) = 2.0487 - (.001731 * A0) + (.129535 * SQR(A0))
WL(4) = .927 - (.000525 * A0) + (.040365 * SQR(A0))
AOUT(4) = 2.1122 - (.000158 * A0) + (.803781 * SQR(A0))
'ESQUEMA 5
CL(5) = 1.8742 - (.00131 * A0) + (.1111 * SQR(A0))
WL(5) = .1896 - (.000292 * A0) + (.026736 * SQR(A0))
AOUT(5) = 1.9427 - (.004158 * A0) + (.980098 * SQR(A0))
'ESQUEMA 6
CL(6) = 1.8672 - (.000982 * A0) + .096343 * SQR(A0)
WL(6) = -.1168 - (.000098 * A0) + .014101 * SQR(A0)
AOUT(6) = 2.2614 - (.009232 * A0) + 1.098535 * SQR(A0)
'ESQUEMA 7
CL(7) = 2.1791 - (.0021678 * A0) + (.1379453 * SQR(A0))
WL(7) = 1.45737 - (.8699999E-04 * A0) + (.062856 * SQR(A0))
WL(8) = .7952 - (.0007519 * A0) + (.0479763 * SQR(A0))
AOUT(7) = -5.7207 + (.0138419 * A0) + (3.079009 * LOG(A0))

```

```
MEN = AOUT(1)
```

```

IF A0 >= 100 AND A0 <= 500 THEN
L = 7
ELSE
L = 6
END IF

```

```

FOR K = 2 TO L
IF MEN >= AOUT(K) THEN
MEN = AOUT(K)
PMEN = K
END IF
NEXT K

```

```

LSC = mo + (CL(PMEN) * sigma) / SQR(N)
LIC = mo - (CL(PMEN) * sigma) / SQR(N)

```

LSP = mo + (WL(PMEN) * sigma) / SQR(N)
LIP = mo - (WL(PMEN) * sigma) / SQR(N)

N = PMEN

```
SELECT CASE N
  CASE 1
    RESTORE ESQUEMA1
  CASE 2
    RESTORE ESQUEMA2
  CASE 3
    RESTORE ESQUEMA3
  CASE 4
    RESTORE ESQUEMA4
  CASE 5
    RESTORE ESQUEMA5
  CASE 6
    RESTORE ESQUEMA6
  CASE 7
    RESTORE ESQUEMA7
END SELECT
```

READ A\$, B\$, C\$, d\$, e\$, F\$, G\$

```
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "*****"
PRINT ""
PRINT "EL MEJOR ESQUEMA ES EL No."; PMEN
PRINT "EL MENOR ARLout ES "; AOUT(PMEN)
PRINT "LOS LIMITES DE CONTROL SON LOS SIGUIENTES:"
PRINT "LSC="; LSC
PRINT "LIC="; LIC
PRINT "LSP="; LSP
PRINT "LIP="; LIP
PRINT "LAS REGLAS DEL ESQUEMA SON LAS SIGUIENTES:"
PRINT A$
PRINT B$
PRINT C$
PRINT d$
PRINT e$
PRINT F$
PRINT G$
PRINT ""
PRINT "*****"
LOCATE 25, 42
PRINT "                               Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
  AS = INKEY$
WEND

END IF

IF R$ = "2" THEN
  CLS
```

```

PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "
                                EJEMPLO "
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "Se tiene un proceso químico, en el cual se mide en una muestra de"
PRINT "tamaño 4 el contenido de sólidos de cierta sustancia cada 22"
PRINT "muestras. Se sabe que la media del proceso es igual a 14.9, con una"
PRINT "desviación estandar de 1.6. Se desea que el ARLO sea de 50"
PRINT "muestras, para detectar un cambio en la media de 15.7 o 14.1."
PRINT ""
PRINT "El esquema óptimo debe ser el que tenga el menor ARL, por lo que"
PRINT "utilizando la opción 1 del menu 3 del programa, se obtiene el esquema"
PRINT "más adecuado con sus respectivos límites de control y límites de"
PRINT "precaución. Para el ejemplo se obtienen los siguientes resultados:"
PRINT ""
PRINT "ESQUEMA OPTIMO = ESQUEMA 3"
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "
                                Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "Los límites de control serían:"
PRINT ""
PRINT "LSC = 17.18394"
PRINT "LIC = 12.616"
PRINT ""
PRINT "LSP = 15.75687"
PRINT "LIP = 14.04313"
PRINT ""
PRINT "Las reglas suplementarias serían las siguientes:"
PRINT ""
PRINT "Se declara el proceso fuera de control si i) un sólo punto cae mas"
PRINT "allá de los límites de control ii) tres de los últimos cuatro puntos"
PRINT "caen arriba del límite superior de precaución, ó iii) tres de los"
PRINT "últimos cuatro puntos caen abajo del límite inferior de precaución."
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "
                                Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
GOTO 500
END IF
IF R$ = "N" OR R$ = "S" THEN EXIT SUB
END SUB

SUB SUB4
CLS

```

```

PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT " EL USO DE ESTE PROGRAMA REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PARAMETROS DE"
PRINT " ENTRADA:"
PRINT ""
PRINT " P0 : FRACCION NO CONFORMANTE DURANTE EL PERIODO BAJO CONTROL."
PRINT " P1 : FRACCION NO CONFORMANTE DURANTE EL PERIODO FUERA DE CONTROL."
PRINT " G1 : GANANCIA POR UNIDAD CONFORMANTE."
PRINT " G2 : PERDIDA POR UNIDAD NO CONFORMANTE."
PRINT " RAST: COSTO DE ELIMINAR UNA CAUSA ASIGNABLE."
PRINT " PRO : PROMEDIO DE OCURRENCIA DE UNA CAUSA ASIGNABLE."
PRINT " V : RAPIDEZ DE PRODUCCION PROMEDIO."
PRINT " EAST: COSTO DE INVESTIGAR UNA FALSA ALARMA."
PRINT ""
PRINT " LOS PARAMETROS DE SALIDA SON LOS SIGUIENTES:"
PRINT ""
PRINT " n : TAMAÑO DEL GRUPO DE ARTICULOS PRODUCIDOS CONSECUTIVAMENTE PARA QUE "
PRINT " SE TOMA LA DECISION DE SI ESTA FUERA DE CONTROL O NO."
PRINT " K : DISTANCIA DE LOS LIMITES DE CONTROL A LA LINEA CENTRAL."
PRINT ""
PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "
Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND

```

```

600 CLS
DO
LOCATE 5, 5
PRINT " SELECCIONE LA OPCION QUE REQUIERA"
PRINT ""
LOCATE 7, 5
PRINT "1) ENCONTRAR PLAN DE CONTROL"
LOCATE 9, 5
PRINT "2) EJEMPLO"
LOCATE 11, 5
PRINT "3) SALIDA"
LOCATE 15, 5
INPUT "OPCION "; R$
LOOP UNTIL R$ = "1" OR R$ = "2" OR R$ = "3" OR R$ = "4"

IF R$ = "1" THEN

```

```

40 CLS
50 PRINT "CUAL ES LA FRACCION NO CONFORMANTE DURANTE EL PERIODO"
INPUT "BAJO CONTROL P0 <.01-1>"; P0
DO UNTIL P0 >= .01 AND P0 <= 1
PRINT "CUAL ES LA FRACCION NO CONFORMANTE DURANTE EL PERIODO"
INPUT "BAJO CONTROL P0 <.01-1>"; P0
LOOP
PRINT "CUAL ES LA FRACCION NO CONFORMANTE DESPUES DE QUE"
INPUT "OCURRIO UNA CAUSA ASIGNABLE P1 <.02-.09>"; P1
DO UNTIL P1 >= .02 AND P1 <= .09
PRINT "CUAL ES LA FRACCION NO CONFORMANTE DESPUES DE QUE"
INPUT "OCURRIO UNA CAUSA ASIGNABLE P1 <.02-.09>"; P1
LOOP

```

**ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA**

```

IF P1 < P0 OR P1 = P0 THEN
  PRINT "P1 DEBE SER MAYOR A P0"
  GOTO 50
END IF

```

```

70 INPUT "CUAL ES LA GANANCIA POR UNIDAD CONFORMANTE G1 <1-100>"; G1
DO UNTIL G1 >= 1 AND G1 <= 100
INPUT "CUAL ES LA GANANCIA POR UNIDAD CONFORMANTE G1 <1-100>"; G1
LOOP
INPUT "CUAL ES LA PERDIDA POR UNIDAD NO CONFORMANTE G2 <1-100>"; G2
DO UNTIL G2 >= 1 AND G2 <= 100
INPUT "CUAL ES LA PERDIDA POR UNIDAD NO CONFORMANTE G2 <1-100>"; G2
LOOP

```

```

IF G1 < G2 OR G1 = G2 THEN
  PRINT "G1 DEBE SER MAYOR A G2"
  GOTO 70
END IF

```

```

INPUT "CUAL ES EL COSTO DE ELIMINAR UNA CAUSA ASIGNABLE RAST <1-1000>"; RAST
DO UNTIL RAST >= 1 AND RAST <= 1000
INPUT "CUAL ES EL COSTO DE ELIMINAR UNA CAUSA ASIGNABLE RAST <1-1000>"; RAST
LOOP
INPUT "CUAL ES EL PROMEDIO DE OCURRENCIA DE UNA CAUSA ASIGNABLE PRO <1-500>"; PR
DO UNTIL PRO >= 1 AND PRO <= 500
INPUT "CUAL ES EL PROMEDIO DE OCURRENCIA DE UNA CAUSA ASIGNABLE PRO <1-500>"; PR
LOOP
INPUT "CUAL ES LA RAPIDEZ DE PRODUCCION PROMEDIO V <100-10000>"; V
DO UNTIL V >= 100 AND V <= 10000
INPUT "CUAL ES LA RAPIDEZ DE PRODUCCION PROMEDIO V <100-10000>"; V
LOOP
INPUT "CUAL ES EL COSTO DE INVESTIGAR UNA FALSA ALARMA EAST <1-1000>"; EAST
DO UNTIL EAST >= 1 AND EAST <= 1000
INPUT "CUAL ES EL COSTO DE INVESTIGAR UNA FALSA ALARMA EAST <1-1000>"; EAST
LOOP

```

```

LAMBDA = 1 / PRO
P = P0 / 2
  GOSUB REVERS
d = -Z
P = 1 - P1
  GOSUB REVERS
RESTA = Z
DELTA = d - RESTA
BAST = ((G1 - G2) * (P1 - P0) * (V / LAMBDA)) - RAST
BTOTAL = BAST / EAST
PUNTO = LAMBDA / (V * DELTA ^ 2)

```

```

IF BTOTAL < 0 THEN
  CLS
  PRINT "ESTA COMBINACION DE CANTIDADES NO ES POSIBLE RESOLVERSE POR"
  PRINT "ESTE METODO"
  INPUT "DESEA INTENTARLO DE NUEVO (s/n)"; RES$
  DO UNTIL RES$ = "s" OR RES$ = "n"
    INPUT "DESEA INTENTARLO DE NUEVO (s/n)"; RES$
  LOOP
  IF RES$ = "s" THEN GOTO 40
  IF RES$ = "n" THEN EXIT SUB
END IF

```

```

TOTAL = PUNTO * SQR(BTOTAL)

'calculo de n y K

MAY = 0
DIM CAL(100, 100)

'CALCULO DEL VALOR ENTERO DE LOS VALORES OPTIMOS DE Y, Z

FOR YE = 1 TO 7
  FOR ZETA = 1 TO 7

    X = -ZETA
    GOSUB CALCU
    NORMAL = AREA
    ALFA = 2 * NORMAL

    X = ZETA - YE
    GOSUB CALCU
    A1 = AREA
    X = -ZETA - YE
    GOSUB CALCU
    A2 = AREA
    BETA = A1 - A2

    EX = (EXP(PUNTO * YE ^ 2)) - 1

    ARRIBA = (BTOTAL * EX) - ALFA
    ABAJO = (EXP(PUNTO * YE ^ 2) - BETA) * (PUNTO * YE ^ 2)
    CAL(YE, ZETA) = (ARRIBA * (1 - BETA)) / ABAJO

    IF MAY <= CAL(YE, ZETA) THEN
      MAY = CAL(YE, ZETA)
      YEOPT = YE
      ZETAOPT = ZETA
    END IF

  NEXT ZETA
NEXT YE

MAY = 0

'CALCULO DEL RANGO DE LOS LIMITES DE BUSQUEDA DEL OPTIMO

L1 = YEOPT - .5
L2 = YEOPT + .5

F1 = ZETAOPT - .5
F2 = ZETAOPT + .5

FOR YE = L1 TO L2 STEP .1
  FOR ZETA = F1 TO F2 STEP .1

    X = -ZETA
    GOSUB CALCU
    NORMAL = AREA
    ALFA = 2 * NORMAL

```

```

X = ZETA - YE
GOSUB CALCU
A1 = AREA
X = -ZETA - YE
GOSUB CALCU
A2 = AREA
BETA = A1 - A2

EX = (EXP(PUNTO * YE ^ 2)) - 1

ARRIBA = (BTOTAL * EX) - ALFA
ABAJO = (EXP(PUNTO * YE ^ 2) - BETA) * (PUNTO * YE ^ 2)
CAL(YE, ZETA) = (ARRIBA * (1 - BETA)) / ABAJO

IF MAY <= CAL(YE, ZETA) THEN
MAY = CAL(YE, ZETA)
YEOPT = YE
ZETAOPT = ZETA
END IF

NEXT ZETA
NEXT YE

YEOP = (YE / DELTA) ^ 2
YEOPT = CINT(YEOP)

'SALIDA DE OPTIMOS
PRINT "EL VALOR OPTIMO DE n*="; YEOPT
PRINT "EL VALOR OPTIMO DE k*="; ZETAOPT

END IF

LOCATE 25, 42
PRINT "
Oprima cualquier tecla para continuar"
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
IF R$ = "2" THEN
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "
EJEMPLO"
PRINT ""
PRINT "Se sabe del monitoreo de un proceso de producción que durante el"
PRINT "periodo bajo control hay una fracción no conformante de Po=2%."
PRINT "Una causa asignable ocurre en promedio cada 120 horas de producción,"
PRINT "cambiando la fracción no conformante a P1=6%. El costo total de"
PRINT "eliminar una causa asignable es aproximadamente de 500 pesos y una"
PRINT "falsa alarma cuesta en promedio 200 pesos. La velocidad de producción"
PRINT "v=800 artículos/hora . Cada artículo no conformante encontrado por el"
PRINT "proceso de monitoreo es reparado. En promedio cada reparación cuesta"
PRINT "20 pesos. La ganancia de vender un producto conformante es de 30"
PRINT "pesos."
PRINT ""
PRINT "Utilizando la opción 1 del submenú, se encuentran los valores óptimos"
PRINT "del plan de control:"
PRINT ""
PRINT "
n=61 k=4.9"

```

```

PRINT ""
LOCATE 25, 42
PRINT "
A$ = ""
WHILE A$ = ""
A$ = INKEY$
WEND
GOTO 600
END IF
EXIT SUB
IF R$ = "s" OR R$ = "S" THEN
EXIT SUB
END IF

```

Oprima cualquier tecla para continuar"

'SUBROUTINA QUE CALCULA VARIABLES Z'S APARTIR DE AREAS BAJO LA CURVA NORMAL

REVERS:

***CONSTANTES**

```

C0 = 2.515517
C1 = .802853
C2 = .010328
D1 = 1.432788
D2 = .189269
D3 = .001308

```

```

A = 1 / P ^ 2
B = LOG(A)

```

IF B < 0 THEN

```

CLS
PRINT "ESTA COMBINACION DE CANTIDADES NO ES POSIBLE RESOLVERSE POR"
PRINT "ESTE METODO"
INPUT "DESEA INTENTARLO DE NUEVO (s/n)"; RES$
DO UNTIL RES$ = "s" OR RES$ = "n"
INPUT "DESEA INTENTARLO DE NUEVO (s/n)"; RES$
LOOP
IF RES$ = "s" THEN GOTO 40
IF RES$ = "n" THEN EXIT SUB
END IF

```

t = SQR(B)

IF 0 < P <= .5 THEN

$$y = (C0 + C1 * t + C2 * t^2) / (1 + (D1 * t) + (D2 * t^2) + (D3 * t^3))$$

$$Z = -(t - y)$$

ELSE

```

A = 1 / (1 - P) ^ 2
B = LOG(A)
t = SQR(B)

```

$$y = (C0 + C1 * t + C2 * t^2) / (1 + (D1 * t) + (D2 * t^2) + (D3 * t^3))$$

$$Z = -(t - y)$$

```

END IF
RETURN

```

'SUBROUTINA QUE CALCULA AREAS BAJO LA CURVA NORMAL DE VARIABLES X'S

CALCU:

D1 = .049867347#
 D2 = .0211410061#
 D3 = .0032776263#
 d4 = .0000380036#
 d5 = .0000488906#
 d6 = .000005383#

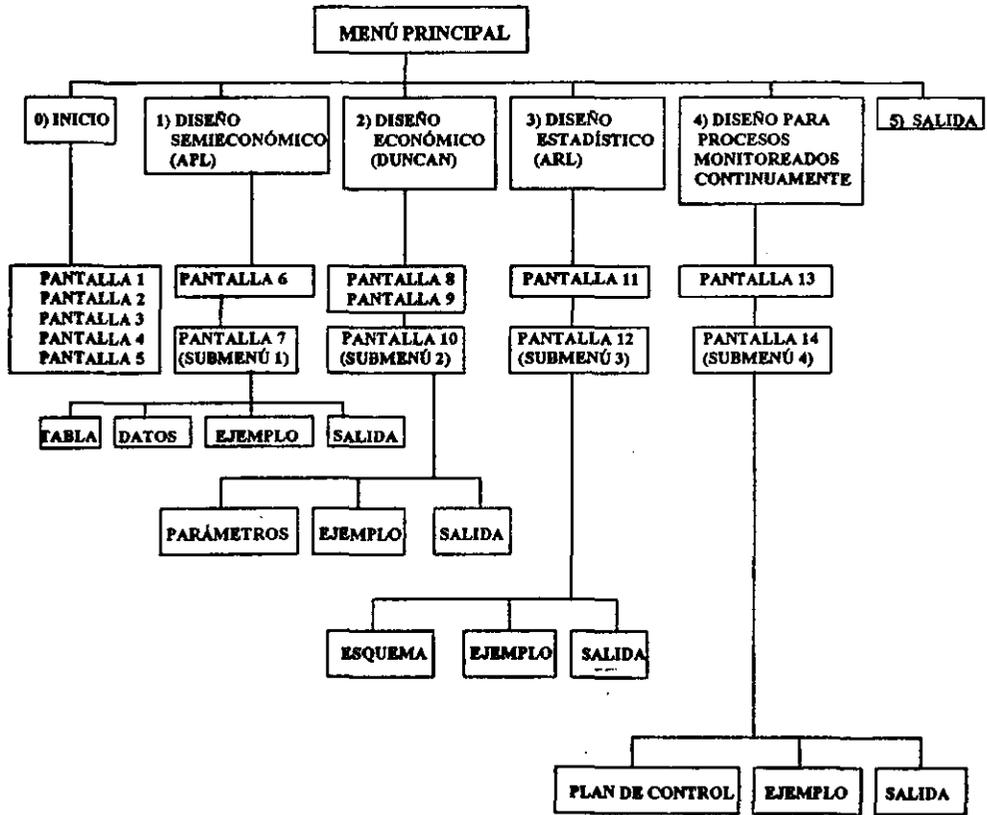
```

IF X >= 0 THEN
  A = (1 + D1 * X + D2 * X ^ 2 + D3 * X ^ 3 + d4 * X ^ 4 + d5 * X ^ 5 + d6 *
  AREA = 1 - ((1 / 2) * A ^ (-16))
ELSE
  X = -X
  A = (1 + D1 * X + D2 * X ^ 2 + D3 * X ^ 3 + d4 * X ^ 4 + d5 * X ^ 5 + d6 *
  AREA = ((1 / 2) * A ^ (-16))
END IF

```

RETURN
 END SUB

ANEXO 5 DIAGRAMA DE ARBOL DEL PROGRAMA PRINCIPAL



CONCLUSIÓN

Con el presente trabajo se obtuvo una opción de diseño de diagramas de control con diferentes criterios de construcción, por medio de un software sencillo y fácil de utilizar. Si bien el trabajo no es exhaustivo sobre el tema, si es aplicable a gran parte de los casos que se pueden encontrar en la práctica.

El uso del programa permite evaluar alternativas de diseño de diagramas de control, por medio de la variación de los parámetros de entrada establecidos y el análisis del impacto que tiene esta variación sobre los parámetros de salida. Así entonces, se establece una forma más fácil y sobre todo más fundamentada de diseñar un diagrama de control, ya que toma en cuenta factores involucrados en un esquema de control como son costos, tiempos, etc.

Cabe mencionar que la efectividad de los diseños depende en gran medida de la habilidad del personal involucrado en el esquema de control, como ingenieros y operadores, ya que son estos los encargados de hacer las estimaciones de los parámetros de entrada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Grant, E.L y R.S. Leavenworth, *Statistical Quality Control*, 6/e, McGraw-Hill, New York, 1988.
2. Gary K. Griffith, *Statistical Process Control Methods*, 2/e, ASQC, Quality Press.
3. Montgomery, D.C, *Introduction to Statistical Quality Control*, 2/e, John Wiley and Sons, New York, 1991.
4. J.Berts Keats y John D. Miskulin, "Statistical Process Control Scheme Design", *Journal of Quality Technology*, Vol.27, No.3, July 1995, pp.214-225.
5. Elart von Collani, "Economic Control of continuously monitored production processes", *Reports of Statistical Application Research, JUSE*, Vol.34, No.2, 1987, pp. 1-18.
6. Duncan A.J., "The Economic Design of \bar{x} - Charts used to maintain current control of a process", *Journal of the American Statistical Association* 51, pp. 228-242.
7. Noel Artiles León, "Simple Formulas for statistically designing control charts with supplementary stopping rules", *Quality Engineering* 7(4), 1995, pp. 719-731.