

# **GRAFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS**

## **1.- INTRODUCCIÓN**

Este documento describe la secuencia de construcción y las pautas de utilización de una de las herramientas para el control de procesos, los Gráficos de Control por Atributos.

Es específico para aquellos procesos que,

- por ser la característica de calidad relevante una variable no medible, o bien
- por razones de simplicidad en la toma de datos o en la realización de los cálculos, deben ser controlados en base a decisiones de conformidad o no respecto a una característica definida o atributo.

En estos casos, la herramienta “Gráficos de Control por Variables” no es aplicable.

## **2.- OBJETIVO Y ALCANCE**

Definir las reglas básicas a seguir para la elección, la construcción y la interpretación de los Gráficos de Control por Atributos y resaltar las situaciones en que pueden o deben ser utilizados.

Es de aplicación a todos aquellos estudios en que es necesario analizar el funcionamiento de los procesos, bien sea para su control o para profundizar en el conocimiento de su comportamiento.

Su utilización será beneficiosa para el desarrollo de los proyectos abordados por los Grupos y Equipos de Mejora y por todos aquellos individuos u organismos que estén implicados en proyectos de mejora de la calidad en los que concurran estas circunstancias.

Además, se recomienda su uso como herramienta de trabajo dentro de las actividades habituales de gestión.

## **3.- RESPONSABILIDADES**

*a) Grupo de trabajo o persona responsable de su realización:*

- Recoger los datos
- Seguir las reglas que señala el procedimiento para la elección y la construcción de los Gráficos de Control y para su correcta interpretación.

### *b) Dirección de Calidad:*

- Asesorar, a quien así lo solicite, en las bases para la elección, construcción y utilización de los Gráficos de Control.

## **4.- DEFINICIONES / CONCEPTOS**

### **4.1.- VARIABILIDAD**

#### **Definición**

Campo de variación en los valores numéricos de una magnitud.

#### **Concepto**

Generalmente en los procesos de producción y de prestación de servicios es imposible mantener todos los factores que influyen en el resultado final, constantemente en el mismo estado.

---

*Este hecho da lugar a que las características representativas de este resultado final (producto o servicio) presenten una determinada variación:*

- *El tiempo de viaje para un determinado trayecto presenta diferencias de un día a otro debido a la variación de las condiciones de circulación, las condiciones climáticas, el número de viajeros, etc.*
- *Los ejes que produce una máquina tienen diferente diámetro dentro del mismo lote debido a pequeñas variaciones en las condiciones de la materia prima, a holguras de los elementos móviles, al desgaste de la herramienta, etc.*
- *El plato que prepara un cocinero tiene diferente gusto en diferentes ocasiones debido a variaciones en el peso de los condimentos utilizados, en el tiempo de cocción, etc.*

### **4.2.- CAUSAS DE VARIABILIDAD**

En un proceso se distinguen dos tipos de causas de variación:

#### - Causas internas, comunes o no asignables:

- Son de carácter aleatorio
- Existe gran variedad de este tipo de causas en un proceso y cada una de ellas tiene poca importancia en el resultado final.
- Son causas de variabilidad estable y, por tanto, predecible.
- Es difícil reducir sus efectos sin cambiar el proceso.

- Causas externas, especiales o asignables:

- Son pocas las que aparecen simultáneamente en un proceso, pero cada una de ellas produce un fuerte efecto sobre el resultado final.
- Producen una variabilidad irregular e imprevisible, no se puede predecir el momento en que aparecerá.
- Sus efectos desaparecen al eliminar la(s) causa(s).

#### 4.3.- PROCESO

##### **Definición**

Combinación única de máquina, herramienta, método, materiales, temperatura, hombre y todo aquello necesario para la obtención de un determinado producto o servicio.

#### 4.4.- PROCESO BAJO CONTROL

##### **Definición**

Se dice que un proceso se encuentra bajo control cuando su variabilidad es debida únicamente a causas comunes (internas).

##### **Concepto**

Ningún proceso se encuentra espontáneamente bajo control, es necesario un esfuerzo sistemático para eliminar las causas asignables que actúan sobre él.

La ventaja de tener un proceso bajo control es que su resultado es estable y predecible.

#### 4.5.- GRAFICOS DE CONTROL

##### **Definición**

Los Gráficos de Control son representaciones gráficas de los valores de una característica resultado de un proceso, que permiten identificar la aparición de causas especiales en el mismo.

#### 4.6.- GRAFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

##### **Definición**

Son Gráficos de Control basados en la observación de la presencia o ausencia de una determinada característica, o de cualquier tipo de defecto en el producto, servicio o proceso en estudio.

## Características principales

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

### Comunicación

Simplifican el análisis de situaciones numéricas complejas.

### Impacto visual

Muestran de forma clara y de un "vistazo" la variabilidad del resultado de un proceso, respecto a una determinada característica, con el tiempo.

### Sencillez

La naturaleza de los datos necesarios permite recogerlos y tratarlos de forma simple y rápida.

### Aplicabilidad

Los Gráficos de Control por Atributos se pueden utilizar para cualquier tipo de proceso, producto o servicio y característica de los mismos, sea esa medible o no.

## 4.7.- MUESTRA, "n"

### Definición

Uno o varios elementos tomados de un conjunto más amplio (población o universo) para proporcionar información sobre el mismo y, eventualmente, para tomar una decisión relativa al colectivo o al proceso que lo ha producido.

## 4.8.- TENDENCIA CENTRAL

### Definición

Característica típica de la mayoría de las distribuciones de frecuencia, por la cual el grueso de las observaciones se agrupan en una zona determinada de las mismas.

## 4.9.- MEDIA ARITMETICA, $\bar{X}$

### Definición

Medida de la tendencia central correspondiente a la suma de todos los valores dividida por el número de los mismos.

## 4.10.- DISCONFORMIDAD (DEFECTO)

### Definición

Estado, modo o condición con que se presenta una cualidad (atributo) con una gravedad, cuantía o intensidad suficientes para que el producto que la posee no cumpla con los requisitos de la especificación.

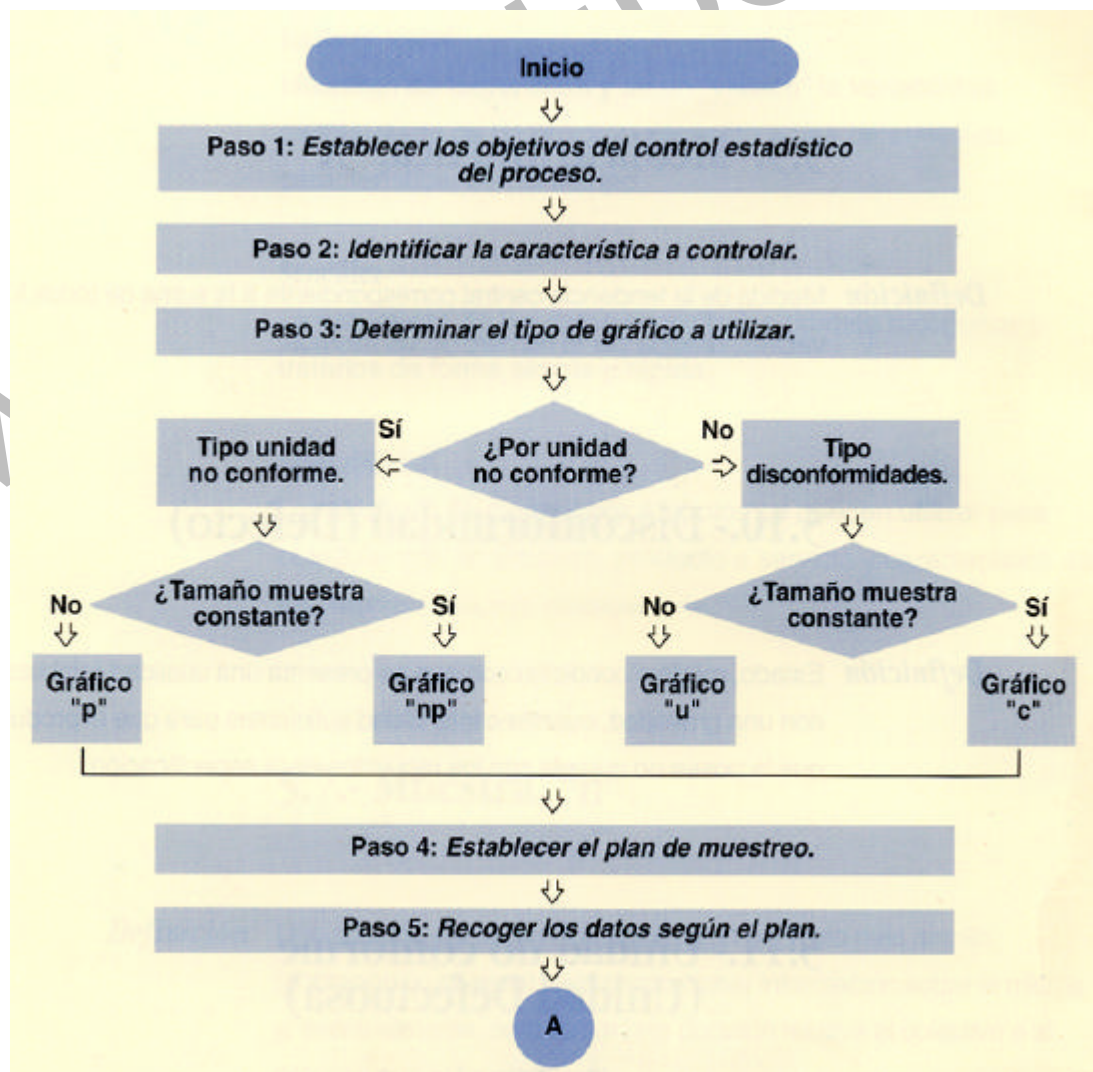
## 4.11.- UNIDAD NO CONFORME (UNIDAD DEFECTUOSA)

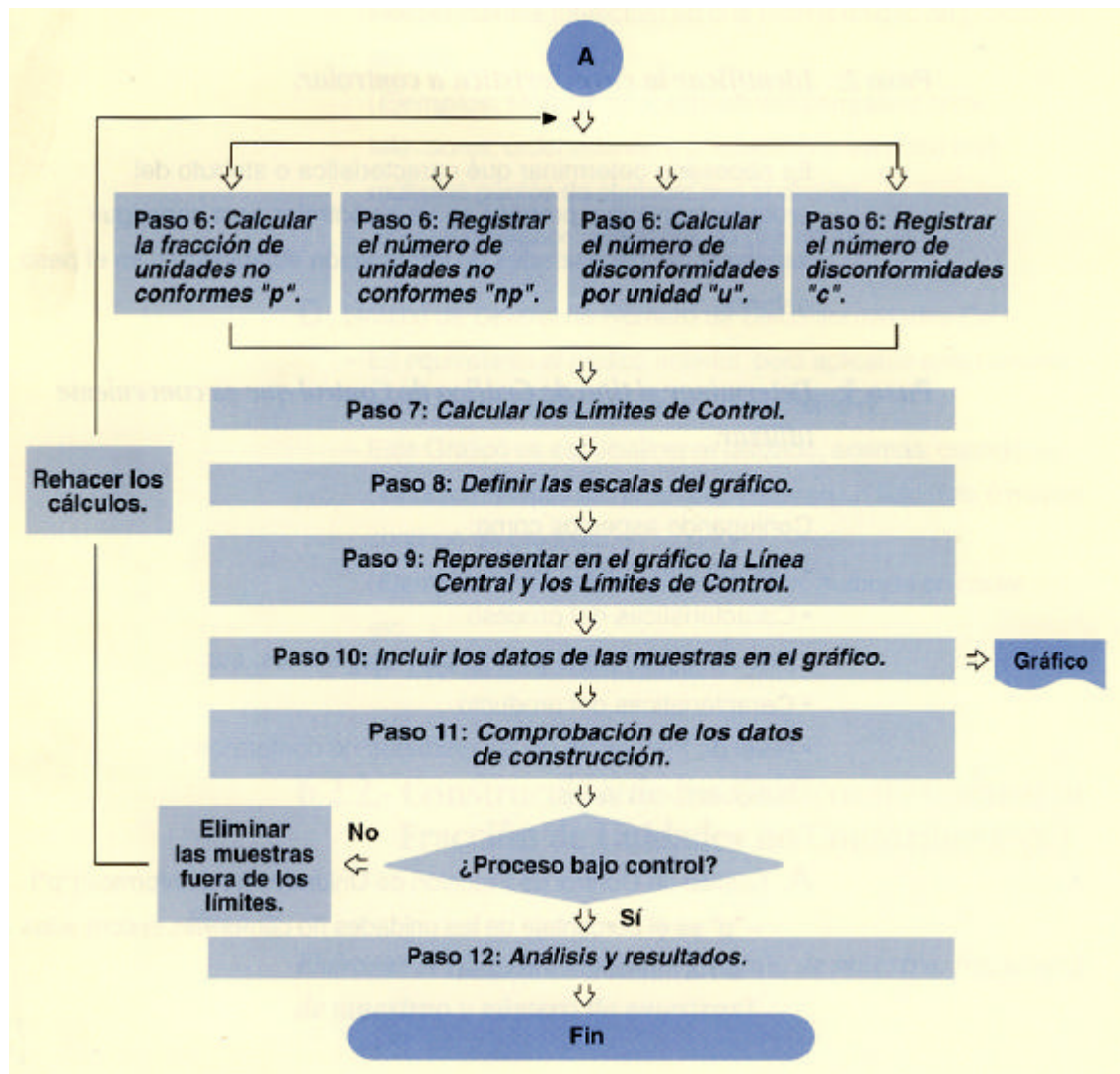
### Definición

Unidad de producto o servicio que contiene una o varias disconformidades.

## 5.- PROCESO

### 5.1.- DIAGRAMA DE FLUJO





## 5.2.- CONSTRUCCIÓN

### 5.2.1.- Elección del tipo de gráfico

#### ***Paso 1: Establecer los objetivos del control estadístico del proceso***

La finalidad es establecer qué se desea conseguir con el mismo.

#### ***Paso 2: Identificar la característica a controlar***

Es necesario determinar qué característica o atributo del producto/servicio o proceso se van a controlar para conseguir satisfacer las necesidades de información establecidas en el paso anterior.

#### ***Paso 3: Determinar el tipo de Gráfico de Control que es conveniente utilizar***

Conjugando aspectos como:

- Tipo de información requerida.
- Características del proceso.
- Recursos Humanos y materiales disponibles, etc.
- Características del producto.
- Nivel de frecuencia de las unidades no conformes o disconformidades.

##### a) Gráfico de Control de Fracción de Unidades no Conformes ("p")

- "p" es el porcentaje de las unidades no conformes encontradas en la muestra controlada.

##### b) Gráfico de Control de Número de Unidades no Conformes ("np")

- Es equivalente al gráfico anterior, pero aplicable solamente si todas las muestras son del mismo tamaño "n".
- "np" = N° de unidades no conformes.

##### c) Gráfico de Control de Disconformidades por Unidad ("u")

- Se emplea cuando pueden aparecer varias disconformidades independientes (defectos) en una misma unidad de producto o servicio.  
(Ejemplos: Montaje de componentes complejas como televisores, ordenadores, o prestación de servicios con múltiples puntos de contacto con el cliente).
- "u" = N° de disconformidades de una unidad

##### d) Gráfico de Control de Número de Disconformidades ("c")

- Es equivalente al gráfico anterior, pero aplicable solamente si todas las muestras son del mismo tamaño n.
- Este Gráfico es utilizado, además, cuando las disconformidades se hallan dispersas en un flujo más o menos continuo de producto.
- "c" = N° de disconformidades.

### 5.2.2.- Construcción de los Gráficos de Control de Fracción de Unidades no Conformes ("p")

#### ***Paso 4: Elaborar el plan de muestreo (Tamaño de muestra, frecuencia de muestreo y número de muestras)***

a) Los Gráficos de Control por Atributos requieren generalmente tamaños de muestras grandes para poder detectar cambios en los resultados.

Para que el gráfico pueda mostrar pautas analizables, el tamaño de muestra, será lo suficientemente grande (entre 50 y 200 unidades e incluso superior) para tener varias unidades no conformes por muestra, de forma que puedan evidenciarse cambios significativamente favorables (por ejemplo, aparición de muestras con cero unidades no conformes).

El tamaño de cada muestra oscilará entre +/- 20% respecto al tamaño medio de las muestras

$$\bar{n} = (n_1 + n_2 + \dots + n_N) / N \quad N = \text{Número de muestras}$$

b) La frecuencia de muestreo será la adecuada para detectar rápidamente los cambios y permitir una realimentación eficaz.

c) El periodo de recogida de muestras debe ser lo suficientemente largo como para recoger todas las posibles causas internas de variación del proceso.

Se recogerán al menos 20 muestras para proporcionar una prueba fiable de estabilidad en el proceso.

#### ***Paso 5: Recoger los datos según el plan establecido***

Se tendrá un especial cuidado de que la muestra sea aleatoria y representativa de todo el periodo de producción o lote del que se extrae.

Cada unidad de la muestra se tomará de forma que todas las unidades del periodo de producción o lote tengan la misma probabilidad de ser extraídas. (Toma de muestras al azar).

Se indicarán en las hojas de recogida de datos todas las informaciones y circunstancias que sean relevantes en la toma de los mismos.



### ***Paso 6: Calcular la fracción de unidades no conformes, "p"***

Para cada muestra se registran los siguientes datos:

- El número de unidades inspeccionadas "n".
- El número de unidades no conformes.
- La fracción de unidades no conformes "p" según la fórmula:  
$$p = (\text{unidades no conformes} / n) \cdot 100$$

*Ejemplo:*

Muestra número	Unidades verificadas "n"	Unidades no conformes	% Unidades no conformes "p"	Muestra número	Unidades verificadas "n"	Unidades no conformes	% Unidades no conformes "p"
1	148	20	13	14	136	12	9
2	150	24	16	15	151	22	15
3	151	15	10	16	158	19	12
4	161	19	12	17	150	16	11
5	150	16	11	18	145	21	14
6	152	23	15	19	139	13	9
7	159	15	9	20	143	24	17
8	150	21	14	21	149	27	18
9	148	13	9	22	154	14	9
10	167	18	11	23	150	12	8
11	152	14	9	24	148	15	10
12	142	7	5	25	155	18	12
13	142	17	12	<b>TOTAL</b>	<b>3.750</b>	<b>435</b>	<b>290</b>

### ***Paso 7: Calcular los Límites de Control***

a) Calcular la fracción media de unidades no conformes  $\bar{p}$

$$\bar{p} = (p_1 + \dots + p_N) / N$$

$p_i$  = fracción de unidades no conformes de la muestra  $i$

$N$  = número de muestras

b) Calcular el Límite de Control Superior  $LCS_p$

- Calcular el tamaño medio de las muestras  $\bar{n}$

$$\bar{n} = (n_1 + \dots + n_N) / N$$

- Calcular el valor de  $LCS_p$  según la fórmula:

$$LCS_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(100 - \bar{p})}{\bar{n}}}$$

c) Calcular el Límite de Control Inferior  $LCI_p$  según la fórmula:

$$LCI_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(100 - \bar{p})}{\bar{n}}}$$

Ejemplo:

#### Cálculo de los Límites de Control para el gráfico "p"

A. Fracción media de unidades no conformes  $\bar{p}$   
 $\bar{p} = (13 + 16 + \dots + 12) / 25 = 290 / 25 = 11,6\%$

B. Límite de Control Superior  $LCS_p$   
 $\bar{n} = (148 + 150 + \dots + 155) / 25 = 3.750 / 25 = 150$   
 $LCS_p = 11,6 + 3 \cdot \sqrt{\frac{11,6 \cdot (100 - 11,6)}{150}} = 19,4\%$

C. Límite de Control Inferior  $LCI_p$   
 $LCI_p = 11,6 - 3 \cdot \sqrt{\frac{11,6 \cdot (100 - 11,6)}{150}} = 3,8\%$

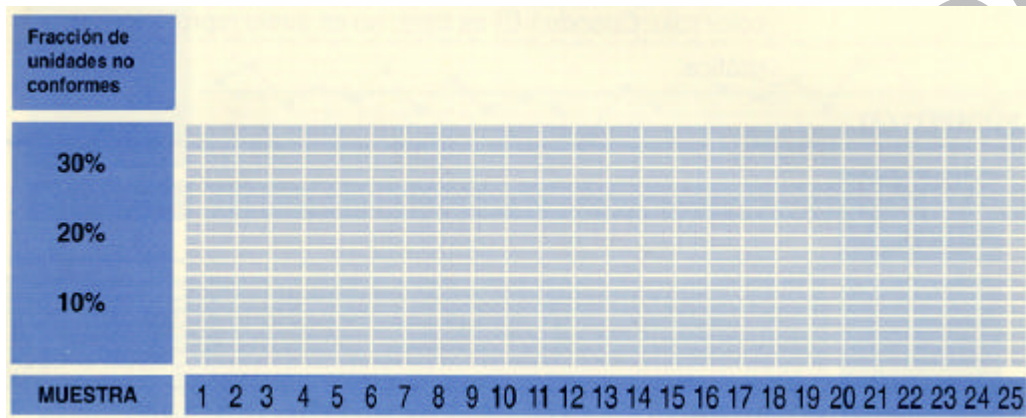
### Paso 8: Definir las escalas del gráfico

El eje horizontal representa el número de la muestra en el orden en que ha sido tomada.

El eje vertical representa los valores de la fracción de unidades no conformes "p".

La escala de este eje irá desde cero hasta dos veces la fracción de unidades no conformes máxima.

*Ejemplo:*



- Línea de Control Superior.

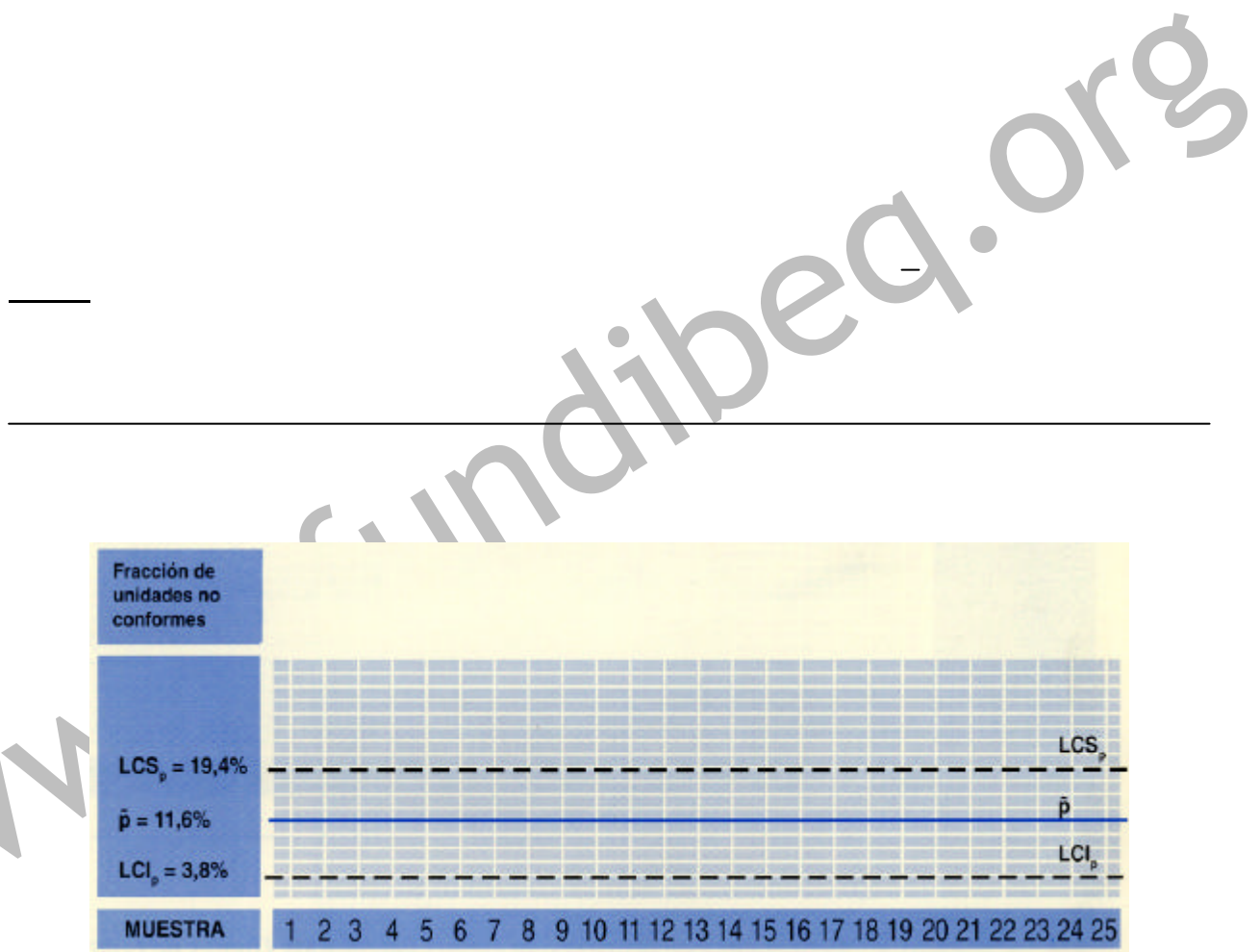
Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "p", el valor de  $LCS_p$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con  $LCS_p$ .

- Límite de Control Inferior.

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "p", el valor de  $LCL_p$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con  $LCL_p$ .

Nota: Usualmente la línea que representa el valor central  $\bar{p}$  se dibuja de color azul y las líneas correspondientes a los límites de control de color rojo. Cuando  $LCL$  es cero, no se suele representar en el gráfico.

Ejemplo:

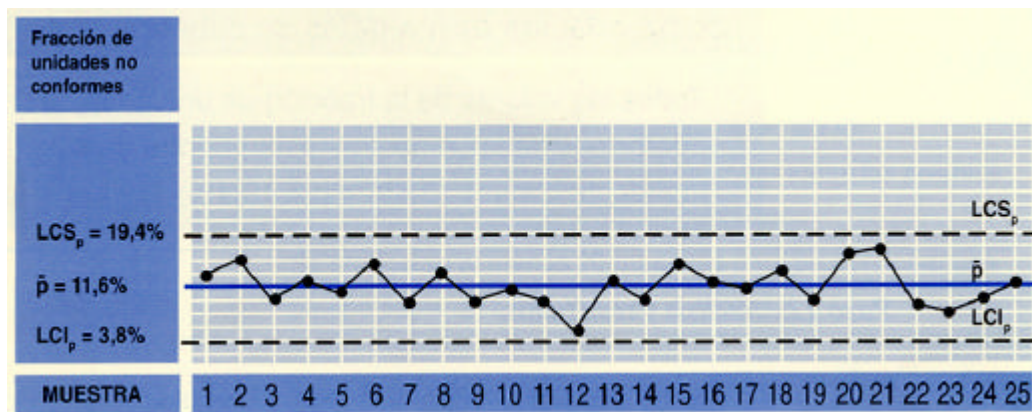


### ***Paso 10: Incluir los datos pertenecientes a las muestras en el gráfico***

Representar cada muestra con un punto, buscando la intersección entre el número de la muestra (eje horizontal) y el valor de su fracción de unidades no conformes (eje vertical).

Unir los puntos representados por medio de trazos rectos.

*Ejemplo:*





### ***Paso 11: Comprobación de los datos de construcción del Gráfico de Control "p"***

Se comprobará que todos los valores de la fracción de unidades no conformes de las muestras utilizadas para la construcción del gráfico correspondiente están dentro de sus Límites de Control.

$$LCI_p < p_i < LCS_p$$

Si esta condición no se cumple para alguna muestra, esta deberá ser desechada para el cálculo de los Límites de Control.

Se repetirán todos los cálculos realizados hasta el momento, sin tener en cuenta los valores de las muestras anteriormente señaladas.

Este proceso se repetirá hasta que todas las muestras utilizadas para el cálculo de los Límites de Control muestren un proceso dentro de control.

Los Límites, finalmente así obtenidos, son los definitivos que se utilizarán para la construcción de los Gráficos de Control.

---

*Ejemplo:*

#### **Comprobación de los datos de construcción**

Todos los valores de la fracción de unidades no conformes de las muestras están dentro de sus límites de control. (3,8% < p < 19,4%)

### ***Paso 12: Análisis y resultados***

El Gráfico de Control, resultado de este proceso de construcción, se utilizará para el control habitual del proceso.

### 5.2.3.- Construcción de los Gráficos de Control de Número de Unidades no Conformes ("np")

#### ***Paso 4: Elaborar el plan de muestreo (Tamaño de muestra, frecuencia de muestreo y número de muestras)***

a) Los Gráficos de Control por Atributos requieren generalmente tamaños de muestras grandes para poder detectar cambios en los resultados.

Para que el gráfico pueda mostrar pautas analizables, el tamaño de muestra, será lo suficientemente grande (entre 50 y 200 unidades e incluso superior) para tener varias unidades no conformes por muestra de forma que puedan evidenciarse cambios significativamente favorables (por ejemplo, aparición de muestras con cero unidades no conformes). El tamaño de muestra será *constante*.

b) La frecuencia de muestreo será la adecuada para detectar rápidamente los cambios y permitir una realimentación eficaz.

c) El periodo de recogida de muestras debe ser lo suficientemente largo como para recoger todas las posibles causas internas de variación del proceso.

Se recogerán al menos 20 muestras para proporcionar una prueba fiable de estabilidad en el proceso.

#### ***Paso 5: Recoger los datos según el plan establecido***

Se tendrá un especial cuidado de que la muestra sea aleatoria y representativa de todo el periodo de producción o lote del que se extrae.

Cada unidad de la muestra se tomará de forma que todas las unidades del periodo de producción o lote tengan la misma probabilidad de ser extraídas. (Toma de muestras al azar).

Se indicarán en las hojas de recogida de datos todas las informaciones y circunstancias que sean relevantes en la toma de las mismas.

**Paso 6: Registrar el número de unidades no conformes, "np"**

Para cada muestra se registran el siguiente dato:

- El número de unidades no conformes "np".

*Ejemplo:*

Muestra número	Unidades no conformes "np"	Muestra número	Unidades no conformes "np"
1	7	14	4
2	8	15	7
3	5	16	5
4	6	17	5
5	5	18	8
6	8	19	4
7	4	20	6
8	7	21	8
9	4	22	5
10	6	23	5
11	5	24	4
12	6	25	7
13	6	TOTAL	145

Tamaño de muestra: n=50



## Paso 7: Calcular los Límites de Control

a) Calcular el número medio de unidades no conformes  $n\bar{p}$ .

$$n\bar{p} = (np_1 + \dots + np_N)/N$$

$np_i$  = número de unidades no conformes de la muestra  $i$

$N$  = número de muestras

b) Calcular el Límite de Control Superior  $LCS_{np}$  según la fórmula:

$$LCS_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - n\bar{p}/n)}$$

c) Calcular el Límite de Control Inferior  $LCI_{np}$  según la fórmula:

$$LCI_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - n\bar{p}/n)}$$

Ejemplo:

### Cálculo de los Límites de Control para el gráfico "np"

A. Número medio de unidades no conformes  $n\bar{p}$

$$n\bar{p} = (7 + 8 + \dots + 7) / 25 = 5,8$$

B. Límite de Control Superior  $LCS_{np}$

$$LCS_{np} = 5,8 + 3 \sqrt{5,8 \cdot (1 - 5,8 / 50)} = 12,6$$

C. Límite de Control Inferior  $LCI_{np}$

$$LCI_{np} = 5,8 - 3 \sqrt{5,8 \cdot (1 - 5,8 / 50)} = -1$$

(LCI no puede, a efectos prácticos, ser inferior a cero y se considerará igual a cero, cuando su valor resulte negativo)

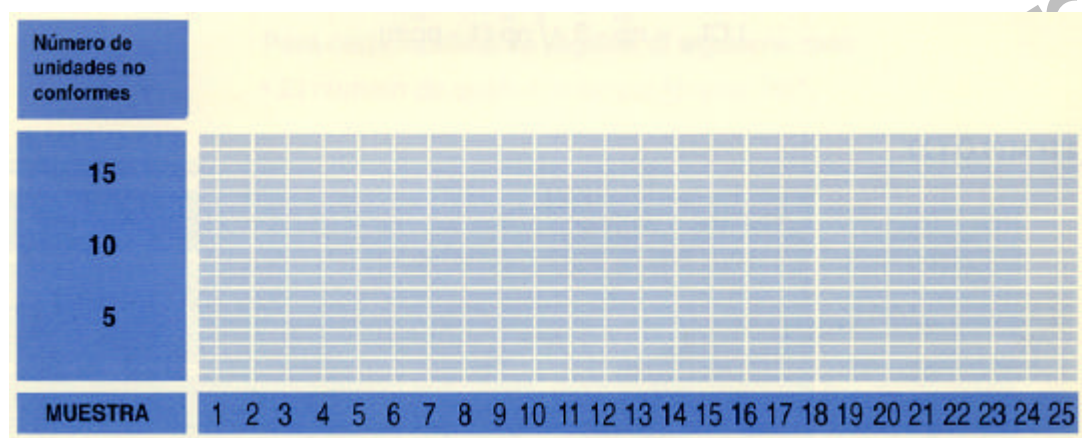
### ***Paso 8: Definir las escalas del gráfico***

El eje horizontal representa el número de la muestra en el orden en que ha sido tomada.

El eje vertical representa el número de unidades no conformes, "np".

La escala de este eje irá desde cero hasta dos veces el número de unidades no conformes máximo.

*Ejemplo:*



### Paso 9: Representar en el gráfico la Línea Central y los Límites de Control

#### - Línea Central.

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "np", el valor del número medio de unidades no conformes  $n\bar{p}$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal. Identificarla con  $n\bar{p}$ .

#### - Línea de Control Superior.

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "np", el valor de  $LCS_{np}$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con  $LCS_{np}$ .

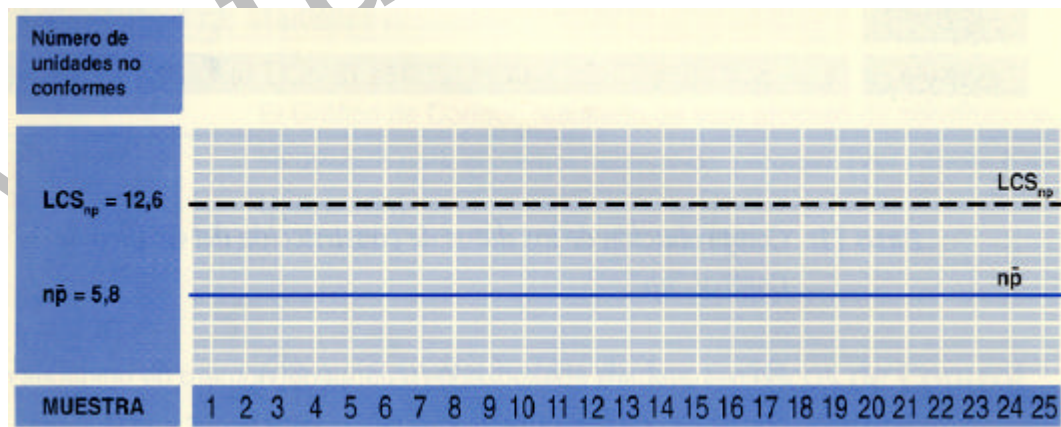
#### - Límite de Control Inferior.

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "np", el valor de  $LCI_{np}$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con  $LCI_{np}$ .

Nota: Usualmente la línea que representa el valor central  $n\bar{p}$  se dibuja de color azul y las líneas correspondientes a los límites de control de color rojo.

Cuando LCI es cero, no se suele representar en el gráfico.

Ejemplo:

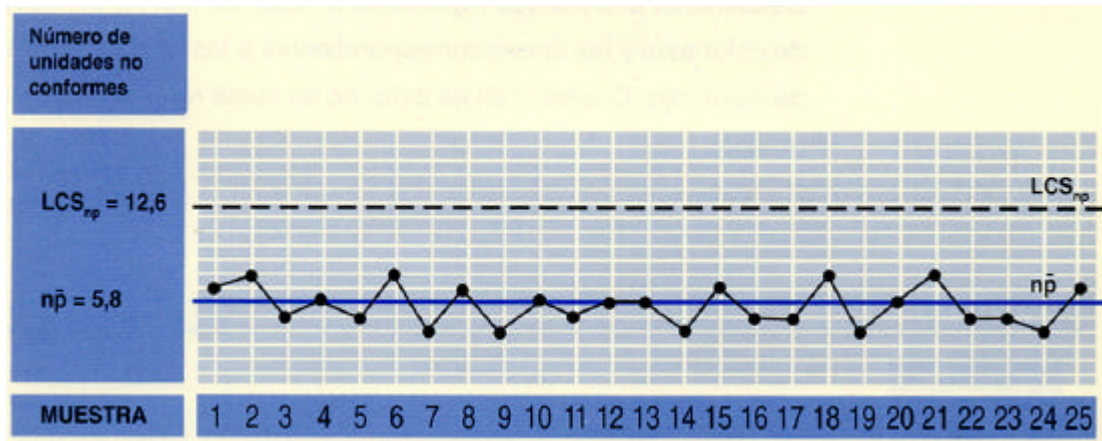


### ***Paso 10: Incluir los datos pertenecientes a las muestras en el gráfico***

Representar cada muestra con un punto, buscando la intersección entre el número de la muestra (eje horizontal) y el valor de su número de unidades no conformes (eje vertical).

Unir los puntos representados por medio de trazos rectos.

*Ejemplo:*



### **Paso 11: Comprobación de los datos de construcción del Gráfico de Control "np"**

Se comprobará que todos los valores del número unidades no conformes de las muestras utilizadas para la construcción del gráfico correspondiente están dentro de sus Límites de Control.

$$LCI_{np} < np_i < LCS_{np}$$

Si esta condición no se cumple para alguna muestra, esta deberá ser desechada para el cálculo de los Límites de Control.

Se repetirán todos los cálculos realizados hasta el momento, sin tener en cuenta los valores de las muestras anteriormente señaladas.

Este proceso se repetirá hasta que todas las muestras utilizadas para el cálculo de los Límites de Control muestren un proceso dentro de control.

Los Límites, finalmente así obtenidos, son los definitivos que se utilizarán para la construcción de los Gráficos de Control.

---

Ejemplo:

#### **Comprobación de los datos de construcción**

Todos los valores del número de unidades no conformes de las muestras están dentro de sus límites de control. ( $0 < np < 12,6$ )

### **Paso 12: Análisis y resultados**

El Gráfico de Control, resultado de este proceso de construcción, se utilizará para el control habitual del proceso.

#### 5.2.4.- Construcción de los Gráficos de Control de Número de Disconformidades por Unidad ("u")

***Paso 4: Elaborar el plan de muestreo (Tamaño de muestra, frecuencia de muestreo y número de muestras)***

a) Para que el gráfico pueda mostrar pautas analizables, el tamaño de muestra será lo suficientemente grande como para tener varias disconformidades por muestra, de forma que puedan evidenciarse cambios significativamente favorables (por ejemplo, aparición de muestras con cero disconformidades). El tamaño de cada muestra oscilará entre +/- 20% respecto al tamaño medio de las muestras.

$$\bar{n} = (n_1 + n_2 + \dots + n_N) / N \quad N = \text{Número de muestras.}$$

b) La frecuencia de muestreo será la adecuada para detectar rápidamente los cambios y permitir una realimentación eficaz.

c) El periodo de recogida de muestras debe ser lo suficientemente largo como para recoger todas las posibles causas internas de variación del proceso. Se recogerán al menos 20 muestras para proporcionar una prueba fiable de la estabilidad del proceso.

***Paso 5: Recoger los datos según el plan establecido***

Se tendrá un especial cuidado de que la muestra sea aleatoria y representativa de todo el periodo de producción o lote del que se extrae.

Cada unidad de la muestra se tomará de forma que todas las unidades del periodo de producción o lote tengan la misma probabilidad de ser extraídas. (Toma de muestras al azar).

Se indicarán en las hojas de recogida de datos todas las informaciones y circunstancias que sean relevantes en la toma de las mismas.



### ***Paso 6: Calcular el número de disconformidades por unidad, "u"***

Para cada muestra se registrarán los siguientes datos:

- El número de unidades inspeccionadas "n".
- El número de disconformidades total de la muestra.
- El número de disconformidades por unidad "u" según la fórmula:

$u = \text{suma de disconformidades de la muestra} / n$

*Ejemplo:*

Muestra número	Piezas verificadas "n"	Núm. Total Disconformidades	Disconformidades/pieza "u"	Muestra número	Piezas verificadas "n"	Núm Tot. Disconformidades	Disconformidades/pieza "u"
1	33	86	2,6	14	30	39	1,3
2	30	72	2,4	15	32	58	1,8
3	31	56	1,8	16	30	81	2,7
4	30	60	2,0	17	30	60	2,0
5	28	45	1,6	18	29	38	1,3
6	27	38	1,4	19	31	43	1,4
7	32	64	2,0	20	28	62	2,2
8	30	48	1,6	21	33	49	1,5
9	33	80	2,4	22	27	49	1,8
10	30	75	2,5	23	30	69	2,3
11	28	42	1,5	24	29	78	2,7
12	34	78	2,3	25	30	60	2,0
13	29	58	2,0	TOTAL	754	1.488	49,1

### ***Paso 7: Calcular los Límites de Control***

a) Calcular la media de disconformidades por unidad  $\bar{u}$ .

$$\bar{u} = (u_1 + \dots + u_N) / N$$

$u_i$  = es el número de disconformidades por unidad de la muestra  $i$ .

$N$  = número de muestras

b) Calcular el Límite de Control Superior  $LCS_u$ .

- Calcular el tamaño medio de las muestras  $\bar{n}$

$$\bar{n} = (n_1 + \dots + n_N) / N$$

- Calcular el valor de  $LCS_u$  según la fórmula:

$$LCS_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u} / \bar{n}}$$

c) Calcular el Límite de Control Inferior  $LCL_u$  según la fórmula

$$LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u} / \bar{n}}$$

---

Ejemplo:

**Cálculo de los Límites de Control para el gráfico "u"**

$$\begin{aligned}\bar{u} &= 49,1 : 25 = 2,0 \\ \bar{n} &= 754 : 25 = 30,2\end{aligned}$$

$$LCS_u = 2 + 3 \cdot \sqrt{2 / 30,2} = 2,8$$

$$LCL_u = 2 - 3 \cdot \sqrt{2 / 30,2} = 1,2$$



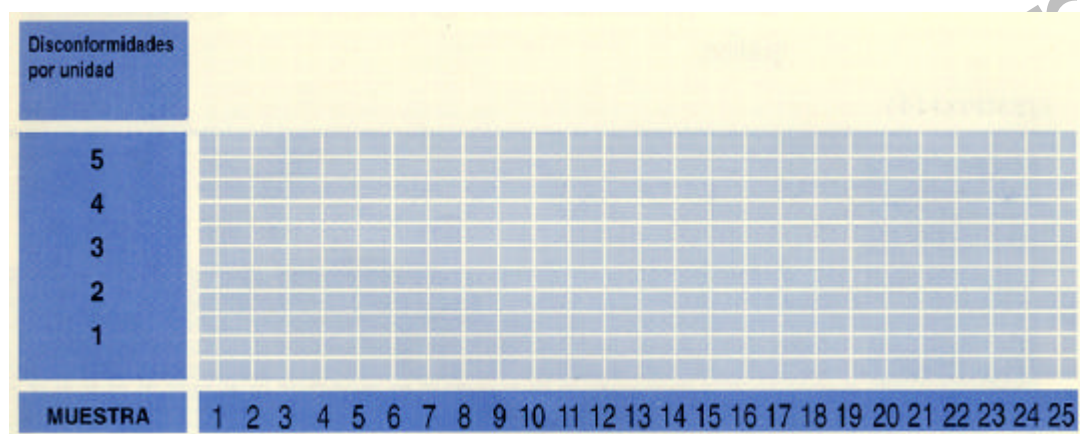
### **Paso 8: Definir las escalas del gráfico**

El eje horizontal representa el número de la muestra en el orden en que ha sido tomada.

El eje vertical representa el número de disconformidades por unidad "u".

La escala de este eje irá desde cero hasta dos veces el número de disconformidades por unidad máximo de las muestras.

*Ejemplo:*



### **Paso 9: Representar en el gráfico la Línea Central y los Límites de Control**

- *Línea Central.*

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "u", el valor del número medio de disconformidades por unidad  $\bar{u}$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal. Identificarla con  $\bar{u}$ .

- *Línea de Control Superior.*

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "u", el valor de  $LCS_u$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con  $LCS_u$ .

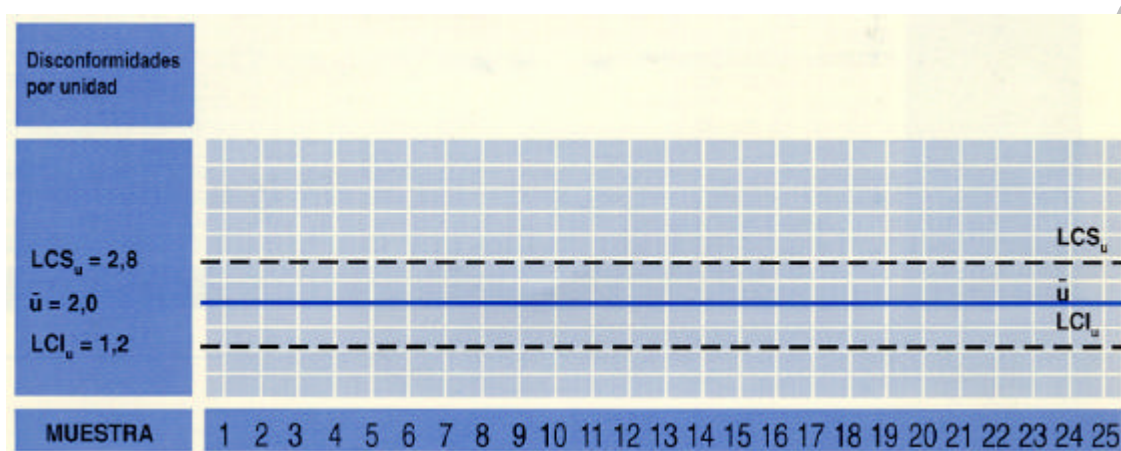
- *Límite de Control Inferior.*

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "u", el valor de  $LCL_u$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con  $LCL_u$ .

Nota: Usualmente la línea que representa el valor central  $\bar{u}$  se dibuja de color azul y las líneas correspondientes a los límites de control de color rojo.

Cuando LCI es cero, no se suele representar en el gráfico.

*Ejemplo:*

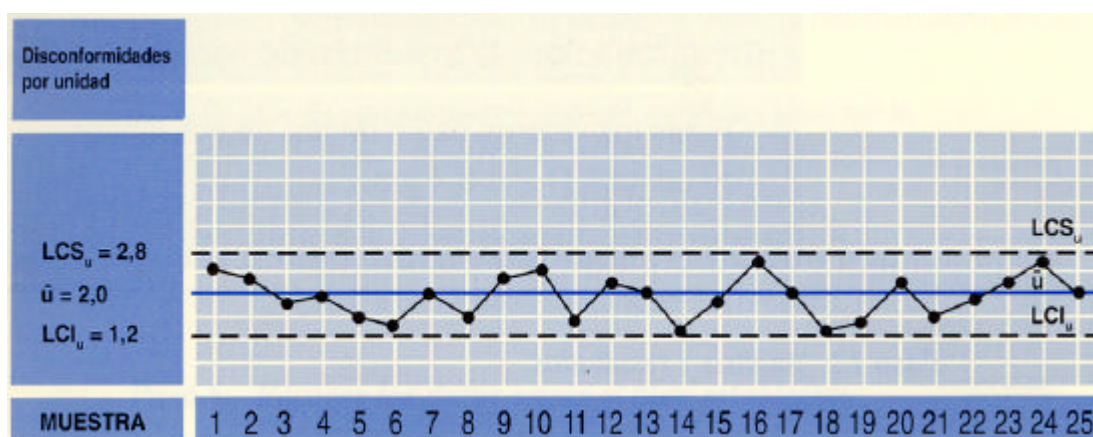


**Paso 10: Incluir los datos pertenecientes a las muestras en el gráfico**

Representar cada muestra con un punto, buscando la intersección entre el número de la muestra (eje horizontal) y el valor de su número de disconformidades por unidad (eje horizontal).

Unir los puntos representados por medio de trazos rectos.

*Ejemplo:*



### ***Paso 11: Comprobación de los datos de construcción del Gráfico de Control "u"***

Se comprobará que todos los valores del número de disconformidades por unidad de las muestras utilizadas para la construcción del gráfico correspondiente, están dentro de sus Límites de Control.

$$LCI_u < u_i < LCS_u$$

Si esta condición no se cumple para alguna muestra, esta deberá ser desechada para el cálculo de los Límites de Control.

Se repetirán todos los cálculos realizados hasta el momento, sin tener en cuenta los valores de las muestras anteriormente señaladas.

Este proceso se repetirá hasta que todas las muestras utilizadas para el cálculo de los Límites de Control muestren un proceso dentro de control.

Los Límites, finalmente así obtenidos, son los definitivos que se utilizarán para la construcción de los Gráficos de Control.

---

*Ejemplo:*

#### **Comprobación de los datos de construcción**

Todos los valores están dentro de sus límites de control. ( $1,2 < u < 2,8$ )

### ***Paso 12: Análisis y resultados***

El Gráfico de Control, resultado de este proceso de construcción, se utilizará para el control habitual del proceso.

evidenciarse cambios significativamente favorables (por ejemplo, aparición de muestras con cero disconformidades). El tamaño de muestra será *constante*.

b) La frecuencia de muestreo será la adecuada para detectar rápidamente los cambios y permitir una realimentación eficaz.

c) El periodo de recogida de muestras debe ser lo suficientemente largo como para recoger todas las posibles causas internas de variación del proceso.

Se recogerán al menos 20 muestras para proporcionar una prueba fiable de la estabilidad del proceso.

#### ***Paso 5: Recoger los datos según el plan establecido***

Se tendrá un especial cuidado de que la muestra sea aleatoria y representativa de todo el periodo de producción o lote del que se extrae.

Cada unidad de la muestra se tomará de forma que todas las unidades del periodo de producción o lote tengan la misma probabilidad de ser extraídas. (Toma de muestras al azar).

Se indicarán en las hojas de recogida de datos todas las informaciones y circunstancias que sean relevantes en la toma de las mismas.

### ***Paso 6: Registrar el número de disconformidades, "c"***

Para cada muestra se registra el siguiente dato:

- El número de disconformidades "c".

*Ejemplo:*

Muestra número	Núm. Tot. disconformidades "c"	Muestra número	Núm. Tot. disconformidades "c"
1	17	14	11
2	14	15	18
3	6	16	13
4	23	17	22
5	5	18	6
6	7	19	23
7	10	20	22
8	19	21	9
9	25	22	15
10	18	23	20
11	25	24	6
12	5	25	24
13	8	TOTAL	371

Tamaño de muestra: n=175

### ***Paso 7: Calcular los Límites de Control***

a) Calcular la media de disconformidades del proceso  $\bar{c}$ .

$$\bar{c} = (c_1 + \dots + c_N) / N$$

$c_i$  = número de disconformidades de la muestra i

N = número de muestras

b) Calcular el Límite de Control Superior  $LCS_c$  según la fórmula:

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



c) Calcular el Límite de Control Inferior  $LCL_c$  según la fórmula:

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

Ejemplo:

Cálculo de los Límites de Control para el gráfico "c"
$\bar{c} = 371 : 25 = 14,84$
$LCS_c = 14,84 + 3 \cdot \sqrt{14,84} = 26,4$
$LCL_c = 14,84 - 3 \cdot \sqrt{14,84} = 3,3$

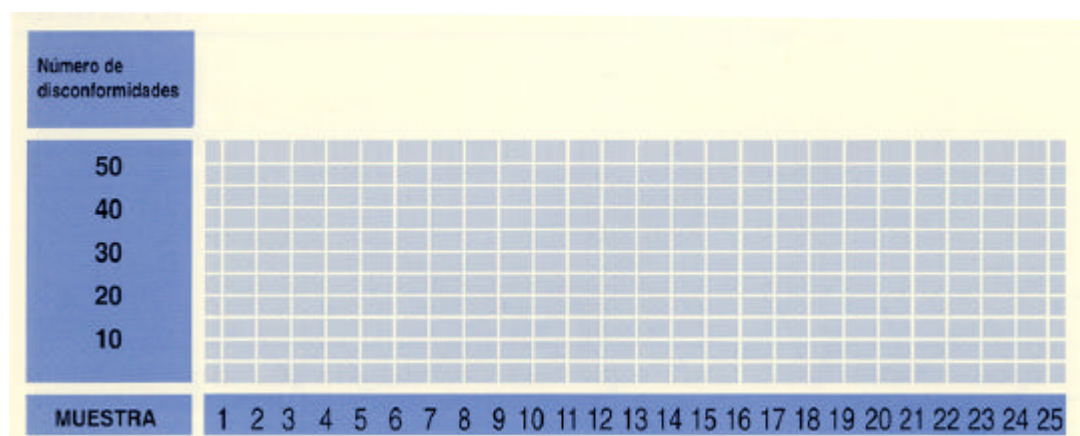
#### Paso 8: Definir las escalas del gráfico

El eje horizontal representa el número de la muestra en el orden en que ha sido tomada.

El eje vertical representa el número de disconformidades "c".

La escala de este eje irá desde cero hasta dos veces el número de disconformidades máximo encontrado en las muestras.

Ejemplo:



### Paso 9: Representar en el gráfico la Línea Central y los Límites de Control

#### - Línea Central.

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "c", el valor del número medio de disconformidades  $\bar{c}$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal. Identificarla con  $\bar{c}$ .

#### - Línea de Control Superior.

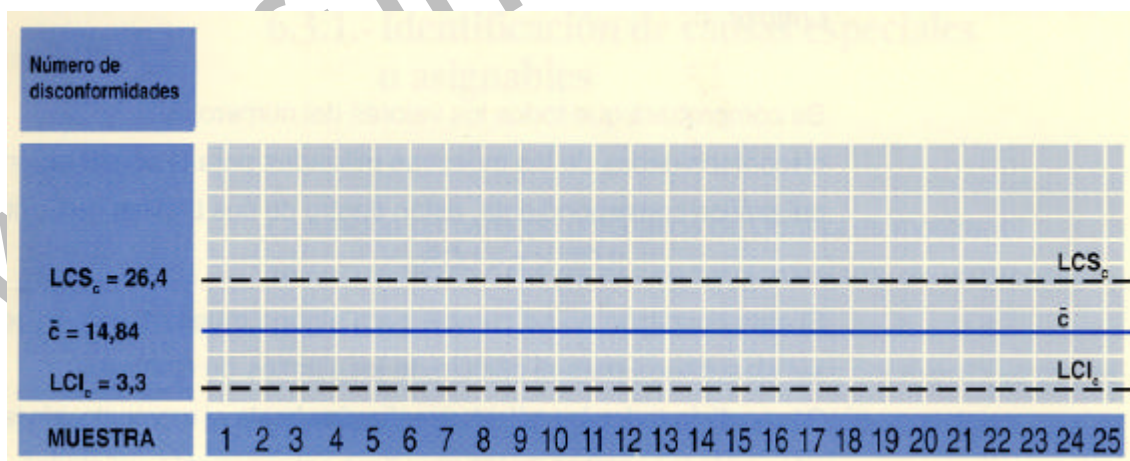
Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "c", el valor de  $LCS_c$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con  $LCS_c$ .

#### - Límite de Control Inferior.

Marcar en el eje vertical, correspondiente a las "c", el valor de  $LCL_c$ . A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con  $LCL_c$ .

Nota: Usualmente la línea que representa el valor central  $\bar{c}$  se dibuja de color azul y las líneas correspondientes a los límites de control de color rojo. Cuando LCI es cero, no se suele representar en el gráfico.

Ejemplo:

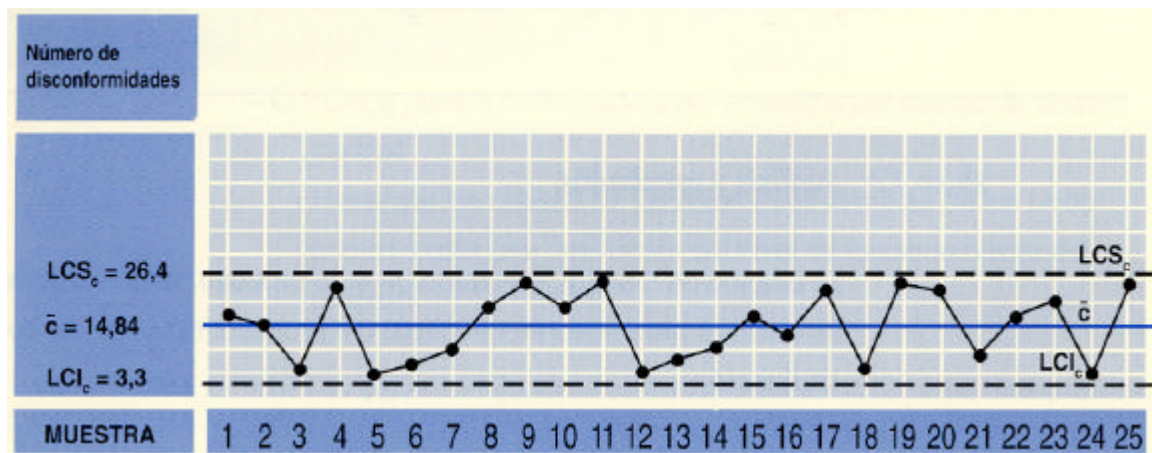


### Paso 10: Incluir los datos pertenecientes a las muestras en el gráfico

Representar cada muestra con un punto, buscando la intersección entre el número de la muestra (eje horizontal) y el valor de su número de disconformidades (eje vertical).

Unir los puntos representados por medio de trazos rectos.

*Ejemplo:*





### **Paso 11: Comprobación de los datos de construcción del Gráfico de Control "c"**

Se comprobará que todos los valores del número de disconformidades de las muestras utilizadas para la construcción del gráfico correspondiente, están dentro de sus Límites de Control.

$$LCI_c < c_i < LCS_c$$

Si esta condición no se cumple para alguna muestra, esta deberá ser desechada para el cálculo de los Límites de Control.

Se repetirán todos los cálculos realizados hasta el momento, sin tener en cuenta los valores de las muestras anteriormente señaladas.

Este proceso se repetirá hasta que todas las muestras utilizadas para el cálculo de los Límites de Control muestren un proceso dentro de control.

Los Límites, finalmente así obtenidos, son los definitivos que se utilizarán para la construcción de los Gráficos de Control.

---

*Ejemplo:*

#### **Comprobación de los datos de construcción**

Todos los valores están dentro de sus límites de control.  $(3,3 < c < 26,4)$

## **Paso 12: Análisis y resultados**

El Gráfico de Control, resultado de este proceso de construcción, se utilizará para el control habitual del proceso.

### **5.3.- INTERPRETACIÓN**

#### **5.3.1.- Identificación de causas especiales o asignables**

La función primaria de un Gráfico de Control es mostrar el comportamiento o las pautas de funcionamiento de un proceso.

Mediante el análisis de estas pautas de funcionamiento se puede identificar la existencia de causas de variación especiales (proceso fuera de control). Cuando esto ocurra, se dejará *constancia escrita* de la situación.

A continuación se comentan algunas de las pautas de comportamiento que informan sobre cambios en el proceso:

*a) Un punto exterior a los límites de control.*

Se estudiará la causa de una desviación del comportamiento tan fuerte.

*b) Dos puntos consecutivos muy próximos al límite de control.*

La situación es anómala, estudiar las causas de variación.

*c) Cinco puntos consecutivos por encima o por debajo de la línea central.*

Investigar las causas de variación pues la media de los cinco puntos indica una desviación del nivel de funcionamiento del proceso.

*d) Fuerte tendencia ascendente o descendente marcada por cinco puntos consecutivos.*

Investigar las causas de estos cambios progresivos.

*e) Cambios bruscos de puntos próximos a un límite de control hacia el otro límite.*

Examinar esta conducta errática.

#### **5.3.2.- Posibles problemas y deficiencias de interpretación**

Cuando se utilizan los Gráficos de Control por Atributos como herramienta de análisis se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Los errores de los datos o los cálculos utilizados para su construcción pueden pasar inadvertidos durante su utilización y provocar interpretaciones totalmente erróneas.

b) El hecho de que un proceso se mantenga bajo control no significa que sea un buen proceso, puede estar produciendo constantemente un gran número de no conformidades.

c) Controlar una característica de un proceso no significa necesariamente controlar el proceso. Si no se define bien la información necesaria y las características del proceso que, en consecuencia, deben ser controladas, tendremos interpretaciones erróneas debido a informaciones incompletas.

## 5.4.- UTILIZACIÓN

Los Gráficos de Control se pueden utilizar para cualquier tipo de proceso, sea de producción o no.

Para utilizarlos de esta forma es necesario, una vez contruidos los Gráficos básicos, preparar nuevos Gráficos, en los que se incluirán las medias y los límites de control aceptados en el paso 11 del proceso de construcción.

Se continuará con la recogida de muestras según el plan de muestreo establecido en el paso 4, y se representarán los datos correspondientes en dichos Gráficos.

Una vez identificado un cambio en el proceso se investigará su causa y se adoptarán las medidas necesarias para su eliminación y, si es posible, para la prevención de su aparición.

Nótese que puede haber cambios del proceso de carácter beneficioso. (Ejemplo: Disminución de disconformidades). En estos casos se estudiarán también sus causas para poder realizar mejoras en el proceso. (Mejora continua).

### ***Utilización en las fases de un proceso de solución de problemas***

- Pueden identificar posibles oportunidades de mejora.
- Es una herramienta útil en la comprobación de teorías sobre las causas de un problema.
- Puede utilizarse para el diseño y prueba de soluciones.
- Está especialmente indicada para controlar el comportamiento de las mejoras introducidas en los procesos y mantener las ganancias derivadas de las mismas.

## 6. ANEXOS

### Ejemplo 1 Reducción de los rechazos en inspección final

En una fábrica de montaje de equipos de medición se presentaban numerosos rechazos en la estación final de inspección. Con el fin de reducir el porcentaje de rechazos y los costes asociados se desarrolló un Plan de Mejora en dos etapas: conseguir primero que el proceso trabajara "bajo control", eliminando una a una las causas especiales de variación, y estudiar luego posibilidades de mejora del proceso mismo.

Para realizar la primera parte del plan se decidió utilizar los Gráficos de Control de Número de Unidades no Conformes "np" (el obtener muestras de igual tamaño no presentaba ningún problema). Como "unidad no conforme" se definió aquel equipo rechazado en la inspección final.

Para construir el Gráfico de Control se tomó una muestra diaria de 50 equipos de medición, procurando que fueran equipos pertenecientes al mismo lote, durante 20 días consecutivos.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Muestra	Número de equipos no conformes (np)	Fracción de equipos no conformes (p)
1	7	14
2	6	12
3	12	24
4	5	10
5	8	16
6	4	8
7	9	18
8	6	12
9	6	12
10	10	20
11	11	22
12	7	14
13	8	16
14	5	10
15	9	18
16	4	8
17	12	24
18	6	12
19	9	18
20	8	16
<b>Total:</b>	<b>152</b>	<b>304</b>

Tamaño de muestra: n = 50

Los Límites de Control se calcularon de la siguiente manera:

$$\bar{np} = 152/20 = 7,6$$

$$LCS_{np} = 7,6 + 3\sqrt{7,6(1-7,6)/50} = 15,2$$

$$LCI_{np} = 7,6 - 3\sqrt{7,6(1-7,6)/50} = 0$$

Puesto que todas las muestras estaban dentro de los Límites de Control, el proceso se encontraba bajo control estadístico.

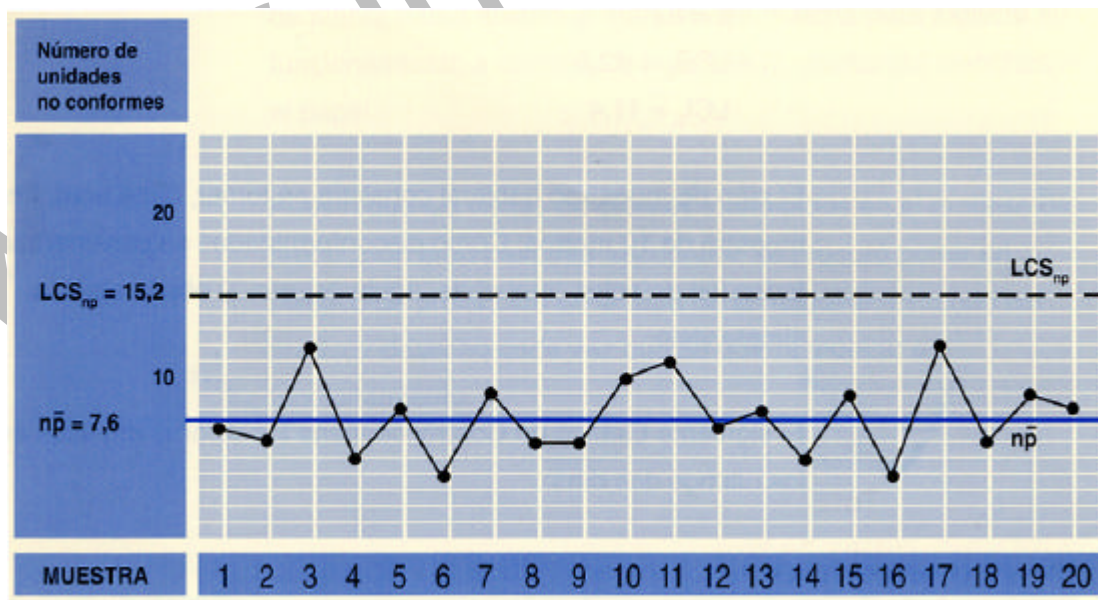
La alta fracción de equipos no conformes no era entonces debida a causas externas y asignables, sino a causas internas al proceso.

La única posibilidad de reducir sensiblemente la fracción de equipos que se rechazaban en el control final era actuar sobre el propio diseño del proceso.

Se pasó así a la segunda fase del Plan estudiando posibilidades de mejora del proceso.

---

### Gráficos de Control



## Ejemplo 2 Los defectos en el papel

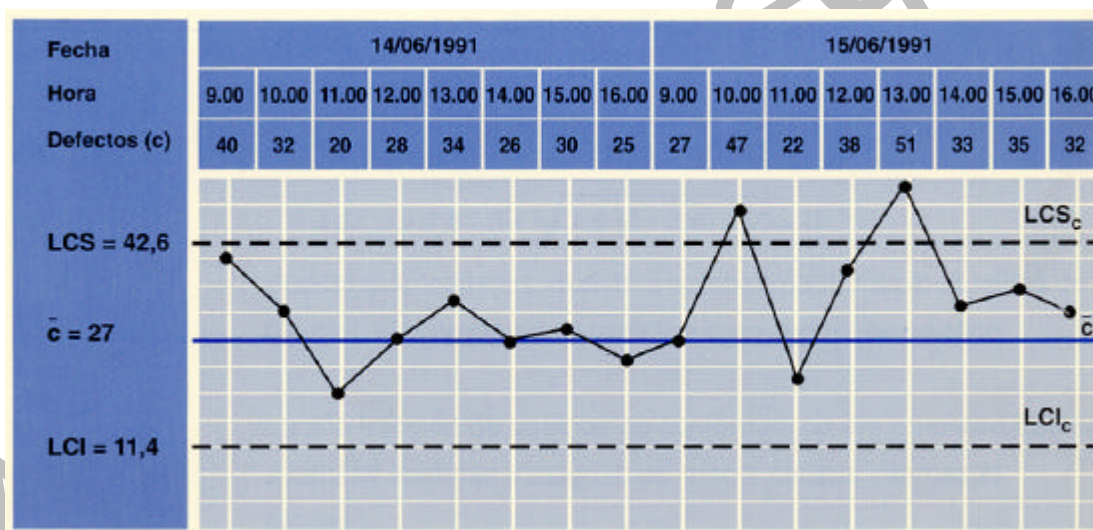
En una fábrica de papel se controlaba de forma continua el proceso de producción, utilizando Gráficos de Control de Número de Disconformidades ("c").

Los Límites de Control correspondientes al proceso bajo control eran:

$$\bar{c} = 27 ; \quad LCS_c = 42,6 ; \quad LCI_c = 11,4$$

El plan de muestreo habitual consistía en tomar, cada hora, una muestra de 10 metros. Como disconformidades se consideraban todos los defectos (manchas, agujeros, etc...) observables a simple vista.

El siguiente Gráfico de Control contiene los valores medidos en los últimos dos días:



Evidentemente dos de las muestras tomadas el 05/06/1991 están fuera de los Límites de Control, presentando un número de defectos mayor del explicable por la variación normal del proceso.

Analizando los acontecimientos ocurridos alrededor de las 10.00 y de las 13.00 (horas en las que se tomaron las muestras fuera de los Límites de Control) se consiguió identificar la causa especial del aumento de defectos: En los dos casos, un técnico de planta había abierto la máquina en marcha para explicar su funcionamiento a clientes de la empresa, causando manchas en el papel.

Puesto que las visitas de clientes interesados en el proceso de producción eran bastante frecuentes, se procuró poner un plástico de protección en la tapa de la máquina, evitando así producir desecho cada vez que se quería mostrar su funcionamiento.



## 7. UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA

<i>La herramienta es muy útil para:</i>	<i>La herramienta es útil para:</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Determinación de causas</li><li>- Diseño de soluciones y controles</li><li>- Evaluación de la solución implantada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Identificación de problemas</li></ul>

## 8. RELACIÓN CON OTRAS HERRAMIENTAS

<i>La herramienta esta fuertemente relacionada con:</i>	<i>La herramienta esta debilmente relacionada con:</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Gráficos de Control por Variables de Datos</li><li>- Estudios de Capacidad Potencial de Calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Hojas de Comprobación y Recogida de Datos</li></ul>