Tema 4: Control Estadístic de Processos

- Estratègies en la lluita contra la variabilitat
- Control estadístic de processos: Com i per què
- Gràfics de control per a variables. Gràfics $\bar{X}$-R
- Altres gràfics de control per a variables
- Gràfics de control per atributs: P, NP
- Altres gràfics de control per atributs

1

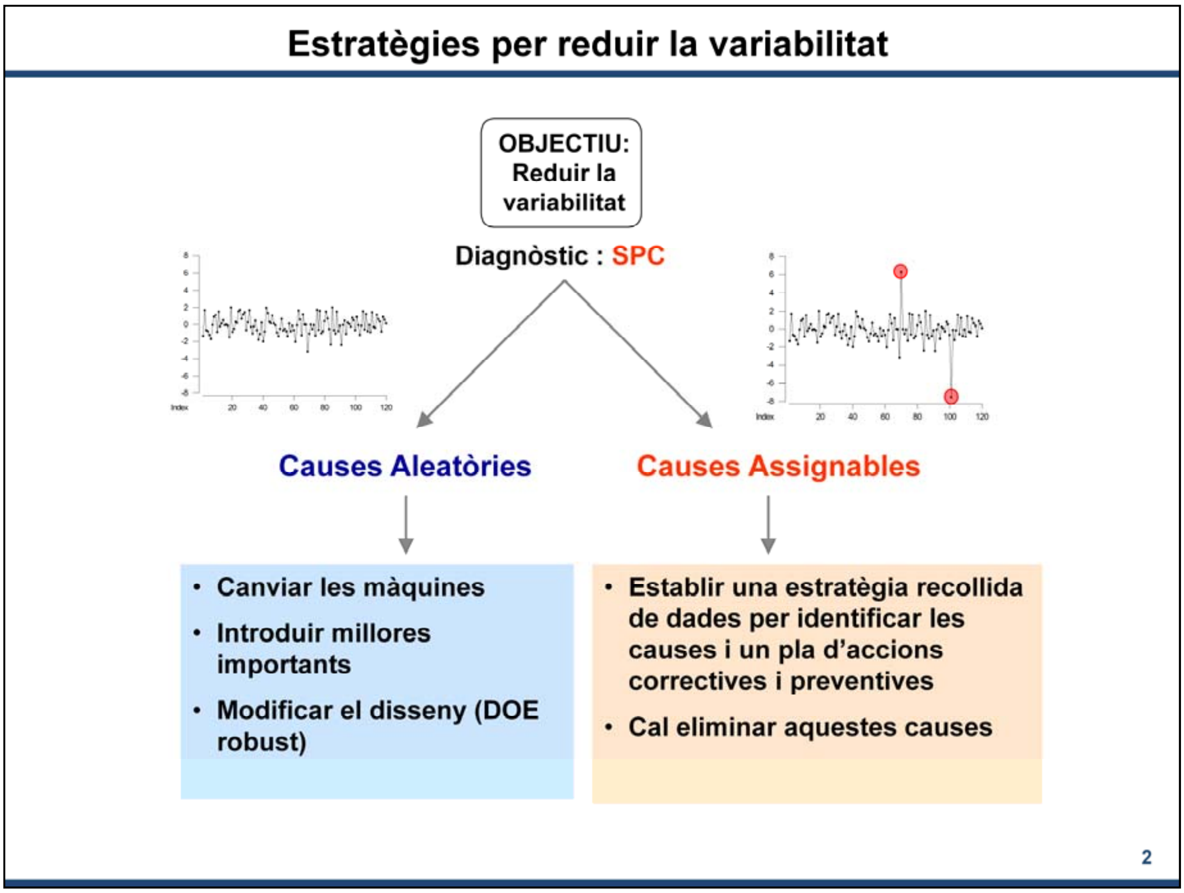
En acabar aquest tema ha d'estar clar :

• El paper dels gràfics de control en la lluita contra la variabilitat (identificació de causes assignables, aprendre del procés)

• La importància de distingir la variabilitat intrínseca del procés de la variabilitat deguda a causes assignables. Que tan important és reaccionar davant les assignables, com no actuar davant les aleatòries.

• Per què s'utilitzen gràfics $\bar{X}$-R. Model teòric en què es basen. Com es calculen els límits. Com s'interpreten.

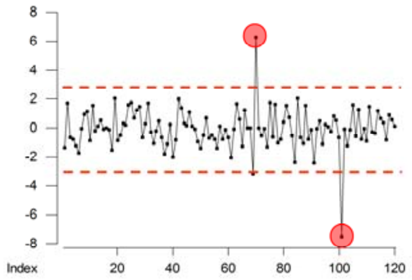
• Com es construeixen i quan s'utilitzen els gràfics P i NP. Model teòric. Càlcul de límits. Interpretació.



Objectiu: Processos estables en el seu nivell de mínima variabilitat

Atenció: Mínima variabilitat no significa variabilitat satisfactòria o procés capaç

Control estadístic de processos



Seguir l'evolució dels valors d'una característica de qualitat, establint els límits del que és variabilitat natural

Què es pretén?

- **Mantenir el procés amb la mínima variabilitat**
- **Aprendre del funcionament del procés**

Com s'aconsegueix?

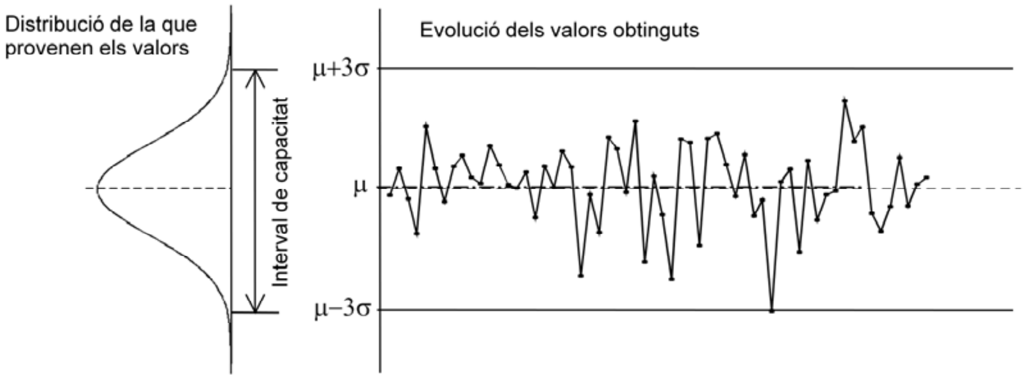
- **Identificar patrons de comportament no aleatori**
- **Identificar augments o disminucions en la variabilitat**

3

El Control Estadístic de Processos (conegut com SPC, de *Statistical Process Control*) detecta símptomes de presència de causes assignables i ajuda a identificar les possibles causes a partir de l'anàlisi dels patrons d'evolució del gràfic.

ÚS : Qualitat concertada. Exigència a Proveïdors. Molt estès en el sector de l'automoció. Normes ISO, QS, ...

Concepte de gràfic de control



Comportament aleatori dels valors d'un procés en estat de control

Les diferències respecte a μ no es poden evitar

Actuar només quan ocorrin esdeveniments "rars"

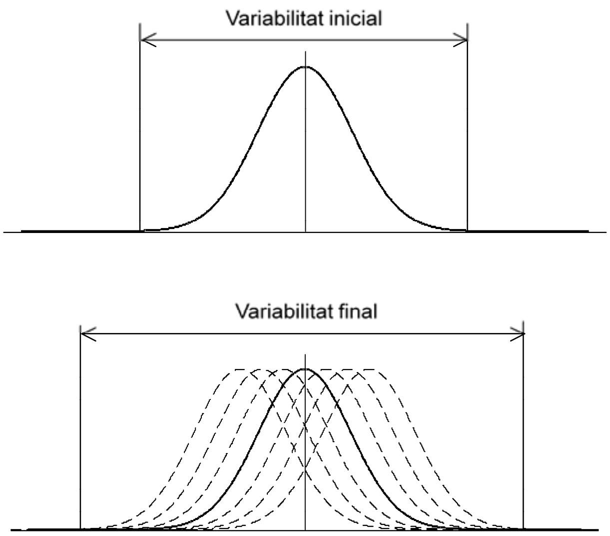
4

Si el procés està en estat de control (només variabilitat deguda a causes aleatòries), els valors que s'obtenen, representats en sèrie temporal, mostren un comportament aleatori, sense patrons reconeixibles, i dins dels límits marcats per la variabilitat intrínseca del procés.

L'ús continuat comporta un aprenentatge, una associació entre patrons detectats i causes o patologies del procés, de manera que el diagnòstic i les contramesures es fan cada vegada d'una manera més ràpida, disminuint d'aquesta manera la freqüència i durada de les crisis. Conseqüència: Produir amb mínima variabilitat.

Atenció: Si el que es controla són mitjanes de mostres, la campana de referència i els límits de control corresponen a la distribució de la mitjana mostral, no a les observacions individuals.

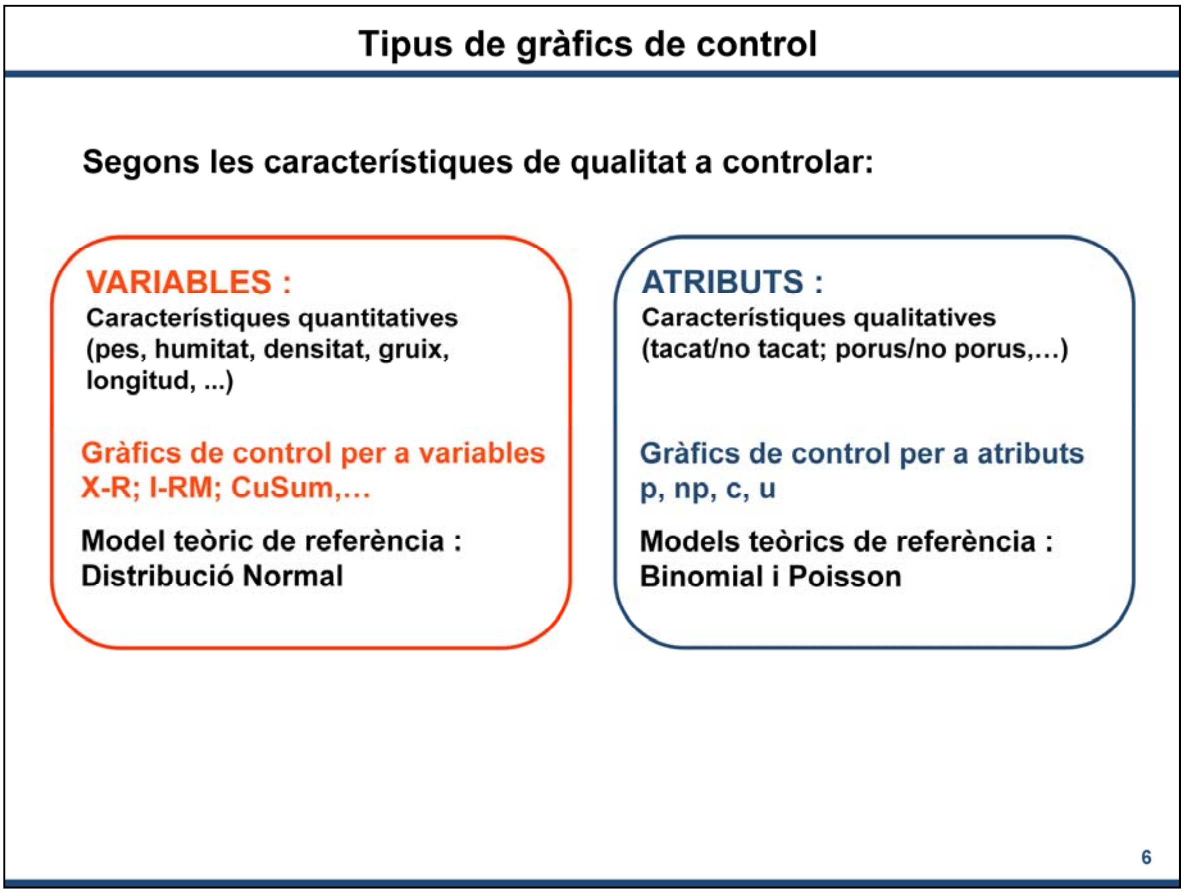
Estratègia incorrecta: sobreajustament



Sobreajustament: Correccions davant la variabilitat aleatòria

5

Si s'actua sobre el procés (intentant centrar-lo) quan en realitat només estan actuant causes aleatòries, el que s'aconsegueix és augmentar la seva variabilitat: Augment de variabilitat per sobreajustament.



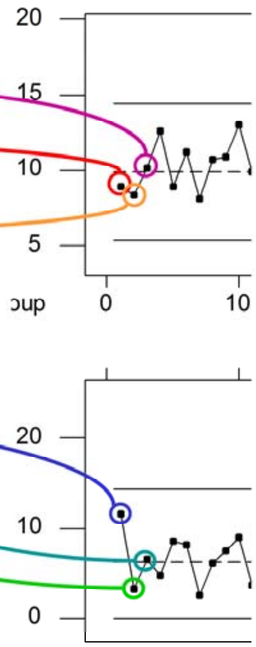
Variable: Característica que es pot mesurar (pes, distància,…)

Atribut : Característica que el producte/servei té o no té (tara, forat, accident …)

Les variables també es poden controlar com atributs (dintre - fora de toleràncies) però sempre és més rica la informació que es té controlant variables.

En el control per atributs cal tenir criteris clars per classificar el producte (o esdeveniment) en les 2 categories.

Gràfics $\bar{X}$- R



	0,99	7,31	6,63	13,27	...
	11,73	9,58	8,70	15,12	...
	10,35	9,91	13,15	11,76	...
	12,50	6,72	12,13	10,37	...
Mitjana	8,89	8,38	10,15	12,63	...
Rang	11,51	3,19	6,52	4,75	...

7

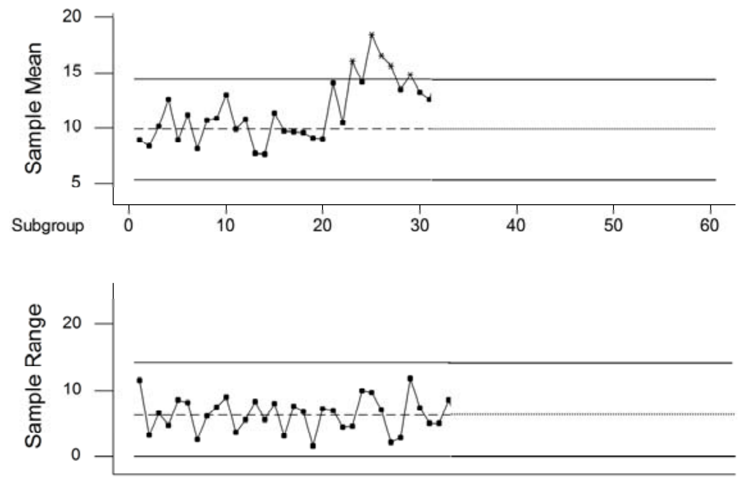
Cada cert temps es pren una mostra. Es calcula la seva mitjana i es representa en el gràfic de mitjanes, es calcula el rang i es representa en el gràfic de rangs.

Gràfic de mitjanes: Controla que el procés estigui centrat.

Gràfic de rangs: Controla la variabilitat del procés. (Per què rangs i no desviacions tipus?)

Interpretació gràfic $\bar{X}$ - R en temps real

Amb l'SPC no s'analitzen dades històriques

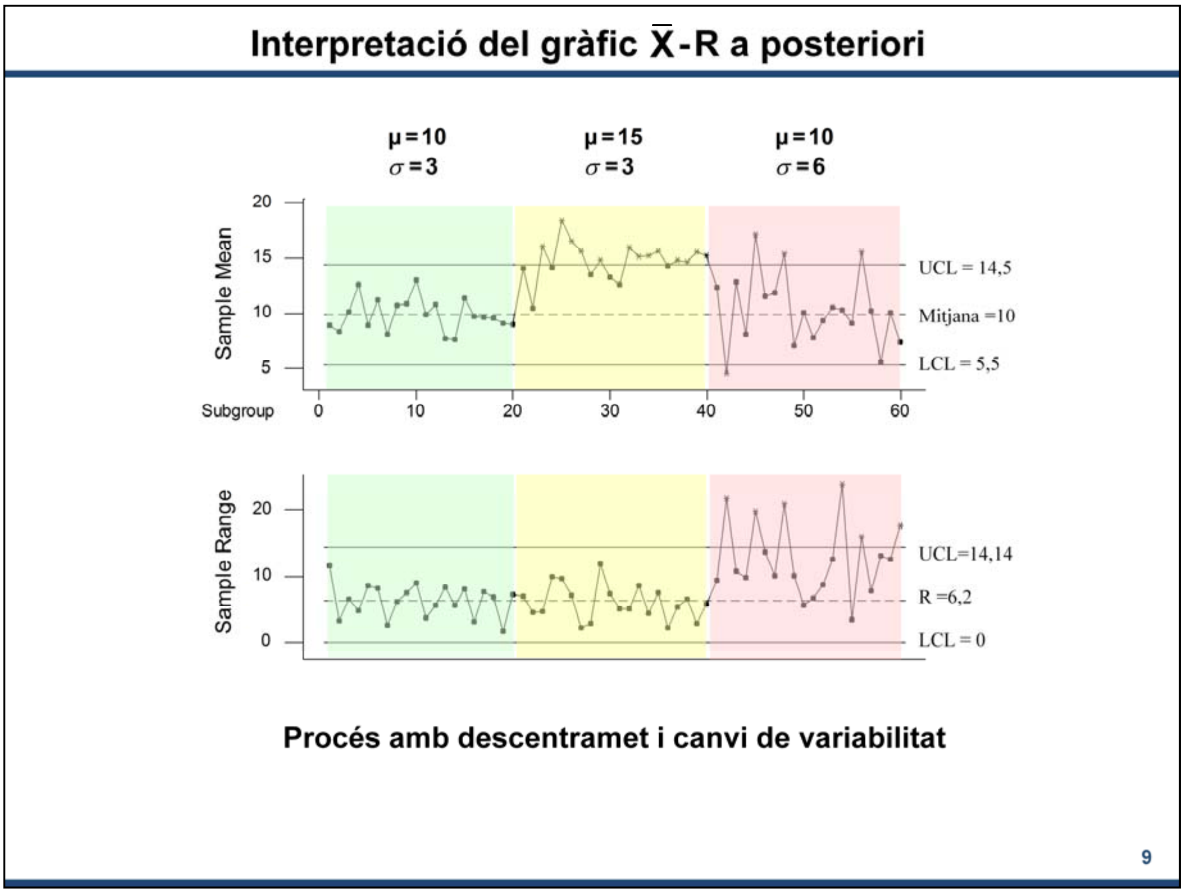


Amb l'SPC es prenen decisions cada vegada que arriba una dada

8

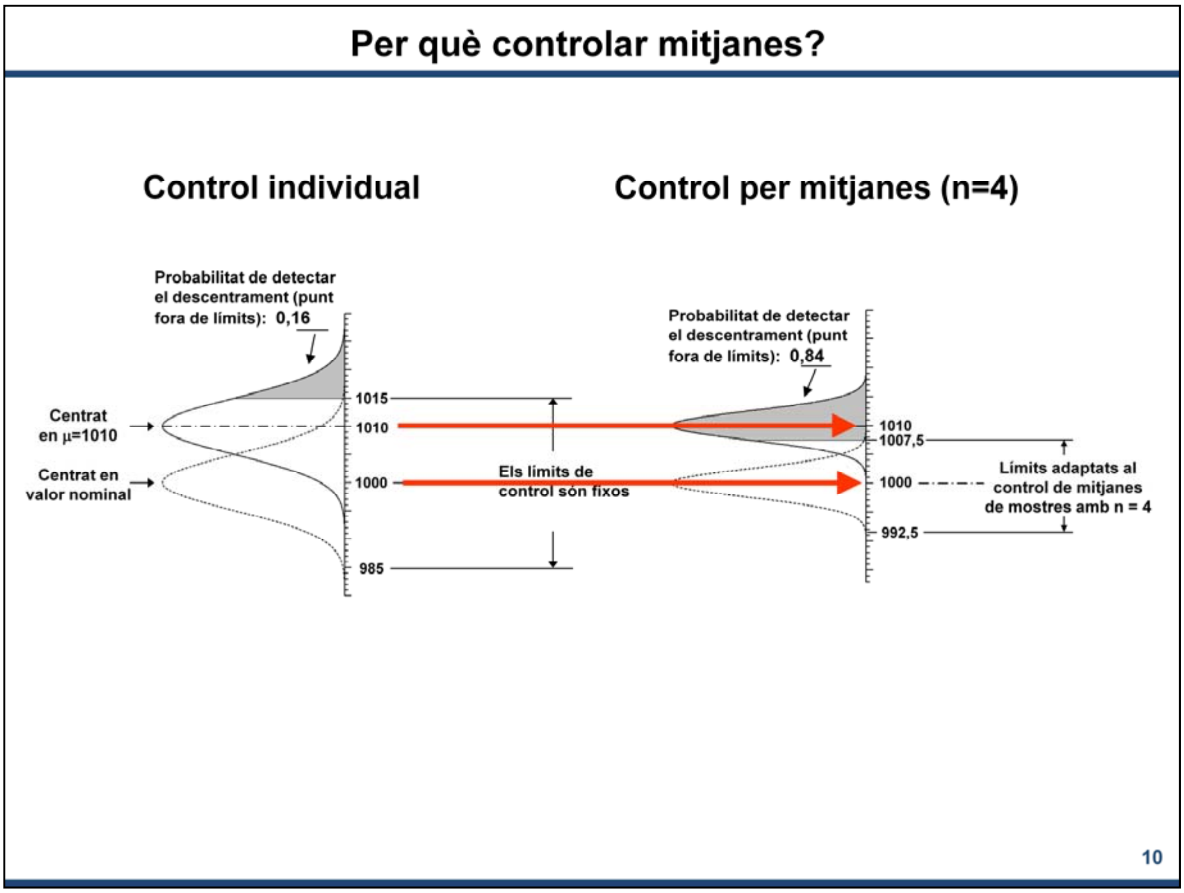
Els gràfics de control són una eina d'**anàlisi en temps real**. Quan arriba la dada es pren la decisió.

A més de la seva missió fonamental (reaccionar el més ràpid possible davant la presència de causes assignables), també es poden utilitzar per estudiar l'evolució de la resposta a mig termini (per exemple, dades de la setmana: ¿s'ha mantingut estable el procés?), o a llarg termini (diversos mesos: ¿s'aprecien derives?, manteniment preventiu).



Descentrament del procés: Es nota en el gràfic de mitjanes, però no en el de rangs (si no augmenta la variabilitat).

Augment de la variabilitat: Es nota en el gràfic de rangs (puja el nivell) i en el de mitjanes (inestabilitat).



Control individual:

Tenim μ=1000, σ=5. Els límits estaran a μ ±3σ, és a dir: 985 y 1015.

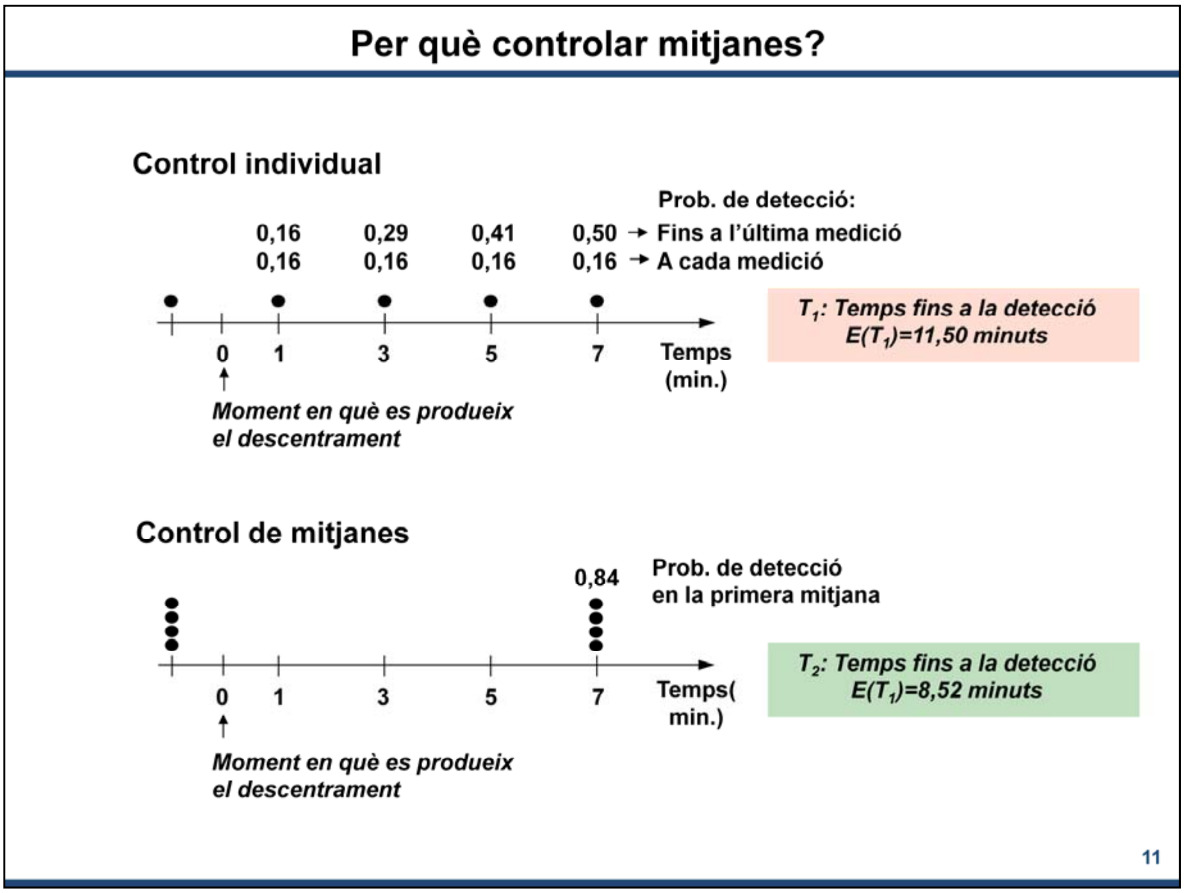
Si el procés passa a estar centrat al voltant de 1010, probabilitat que la primera observació estigui fora de toleràncies : P(X>1015) = 0,16. No considerem P(X<815) ja que és pràcticament zero.

Probabilitat que no es detecti dins dels 4 primers controls: $(1-0{,}16)^4 = 0{,}50$

Control per mitjanes de n=4:

Per a la distribució de la mitjana tenim μ=1000, $\sigma_{\overline{X}} = \frac{5}{\sqrt{4}}$. Els límits en aquest cas estaran a $\pm 3\sigma_{\overline{X}}$, és a dir: 992,5 y 1007,5.

Si el procés passa a estar centrat al voltant de 1010, probabilitat que la primera observació (mitjana de 4) estigui fora de toleràncies: $P(\overline{X}>1007{,}5) = 0{,}84$



Esperança matemàtica del temps necessari fins detectar el descentrament

Control individual:

$$E(T_1) = 1 \cdot 0{,}16 + 3 \cdot 0{,}16 \cdot 0{,}84 + 5 \cdot 0{,}16 \cdot 0{,}84^2 + \ldots$$

$$E(T_1) = \sum_{i=1}^{\infty} (2i-1) \cdot 0{,}16 \cdot 0{,}84^{i-1}$$

$$E(T_1) = 11{,}5$$

Control per mitjanes:

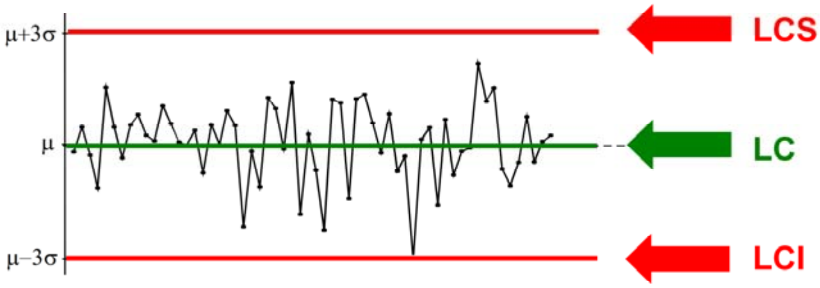
$$E(T_2) = 7 \cdot 0{,}84 + 15 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}16 + 23 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}16^2 + \ldots$$

$$E(T_2) = \sum_{i=1}^{\infty} [(7 + 8(i-1)] \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}16^{i-1}$$

$$E(T_2) = 8{,}52$$

Càlcul dels límits

Cada gràfic té uns paràmetres (línia central i límits de control) que han de ser estimats a partir d'una mostra que representi al procés en estat de control (o també a partir de dades històriques)



Els límits s'han de canviar si canvia el procés

12

Criteris per al càlcul dels límits :

El més habitual és posar-los a ±3σ del valor central. Això implica un error tipus I (falsa alarma) del 3 per mil.

Si es col·loquen a menys de 3σ augmenta l'error tipus I, però disminueix el tipus II (risc que es descentri i no ho detectem).

Existeixen fórmules i algorismes per al disseny de gràfics de control amb criteris econòmics, establint la distància dels límits en funció del cost d'una falsa alarma, cost de deixar passar una unitat defectuosa,…

Els límits s'han d'anar adaptant si el procés canvia i es consolida aquest canvi (ex.: una reducció de la variabilitat)

També s'han de modificar si canvia "*n*" o es modifica el valor d' α (normalment 3 per mil)

Càlcul dels límits per a gràfics $\bar{X}$-R. Exemple

Muestra	Pesos				$\bar{X}$	R
1	20,06	20,00	20,07	19,81	19,99	0,26
2	19,93	20,00	19,87	19,99	19,95	0,13
3	19,98	19,96	19,80	20,11	19,96	0,31
4	20,02	20,2	19,96	19,87	20,01	0,33
5	19,89	20,03	20,06	20,06	20,01	0,17
6	19,96	19,98	19,94	20,01	19,97	0,07
7	20,25	20,03	20,15	20,03	20,12	0,22
8	19,85	20,00	20,16	19,87	19,97	0,31
9	19,92	20,02	19,87	19,98	19,95	0,15
10	20,11	19,96	19,95	19,87	19,97	0,24
11	19,98	20,28	20,05	20,01	20,08	0,30
12	19,86	19,91	20,04	19,94	19,94	0,18
13	19,92	20,24	19,78	19,92	19,97	0,46
14	20,00	20,12	20,01	19,95	20,02	0,17
15	20,02	20,08	19,94	20,02	20,01	0,14
16	20,11	20,13	19,98	19,85	20,02	0,28
17	20,12	20,11	19,95	20,01	20,05	0,17
18	19,88	20,15	20,13	19,99	20,04	0,27
19	20,00	20,10	19,86	20,01	19,99	0,24
20	20,03	19,99	20,18	20,08	20,07	0,19
Mitjana de les mitjanes ($\bar{\bar{X}}$)					20,00	
Mitjana dels rangs ($\bar{R}$)						0,23

13

Planificació de la recollida de dades per calcular els límits de control:

1. Prendre *k* mostres de tamany *n* de manera consecutiva i a intervals de temps iguals.
   k: com a mínim 20.
   n: entre 2 i 6.

2. Calcular la mitjana i el rang de cada mostra

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} X_{ij}}{n} \qquad R_i = \left\{ \max(X_{ij}) - \min(X_{ij}),\ \text{con}\ \ j = 1,...n \right\}$$

3. Calcular la mitjana de les *k* mitjanes i dels *k* rangs :

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \bar{X}_i}{k} \qquad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \bar{R}_i}{k}$$

$\bar{\bar{X}}$ és l'estimador de μ i $\bar{R}$ l'estimador de *R*, a nivell de població

Segueix …

Fórmules per a calcular els límits en gràfics $\bar{X}$-R

Gràfic $\bar{X}$

Límit superior: $\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$

Límit central: $\bar{\bar{X}}$

Límit inferior: $\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$

Gràfic R

Límit superior: $D_4 \bar{R}$

Límit central: $\bar{R}$

Límit inferior: $D_3 \bar{R}$

En el nostre exemple : $\bar{\bar{X}} = 20{,}00$; $\bar{R} = 0{,}23$

Gràfic $\bar{X}$

Límit superior: $20{,}00 + 0{,}73 \cdot 0{,}23 = 20{,}17$

Límit central: $20{,}00$

Límit inferior: $20{,}00 - 0{,}73 \cdot 0{,}23 = 19{,}83$

Gràfic R

Límit superior: $2{,}28 \cdot 0{,}23 = 0{,}52$

Límit central: $0{,}23$

Límit inferior: $0 \cdot 0{,}23 = 0$

14

… Continuació

4. S'utilitzen les fórmules de la transparència i els valors de la taula per determinar els valors dels límits

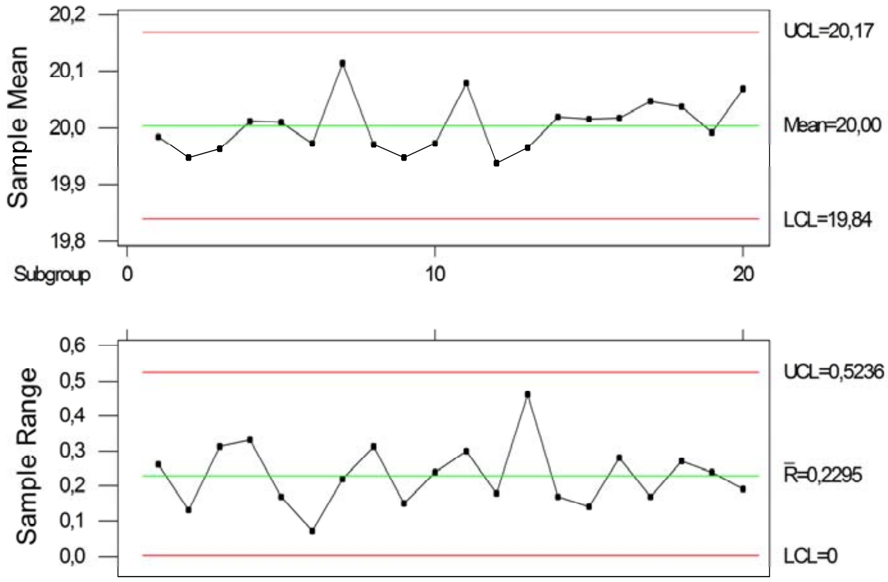
Taula de valors dels coeficients en funció del tamany de la mostra

Tamany	A2	D3	D4
2	1,88	0	3,27
3	1,02	0	2,57
4	0,73	0	2,28
5	0,58	0	2,11
6	0,48	0	2,00
7	0,42	0,08	1,92
8	0,37	0,14	1,86
9	0,34	0,18	1,82
10	0,31	0,22	1,78

$A_2 \cdot \bar{R}$ equival a 3σ

Si ja es té una estimació dels paràmetres del procés (μ i σ) es calculen directament els límits de control

Aspecte de gràfic $\bar{X}$-R

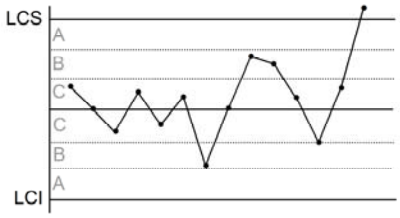


15

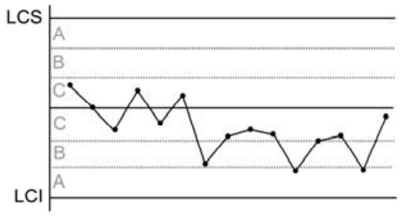
Comprovar que el conjunt de referència és bo (no hi ha comportaments anòmals)

Prendre els límits de control com a límits de referència

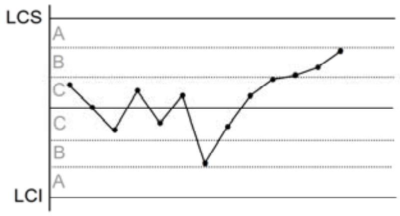
Alertes (1)



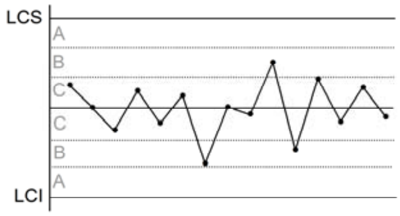
Un punt fora de límits



9 punts seguits al mateix costat de la línia central



6 punts seguits en ordre creixent o decreixent



14 punts seguits alternativament a dalt i a baix

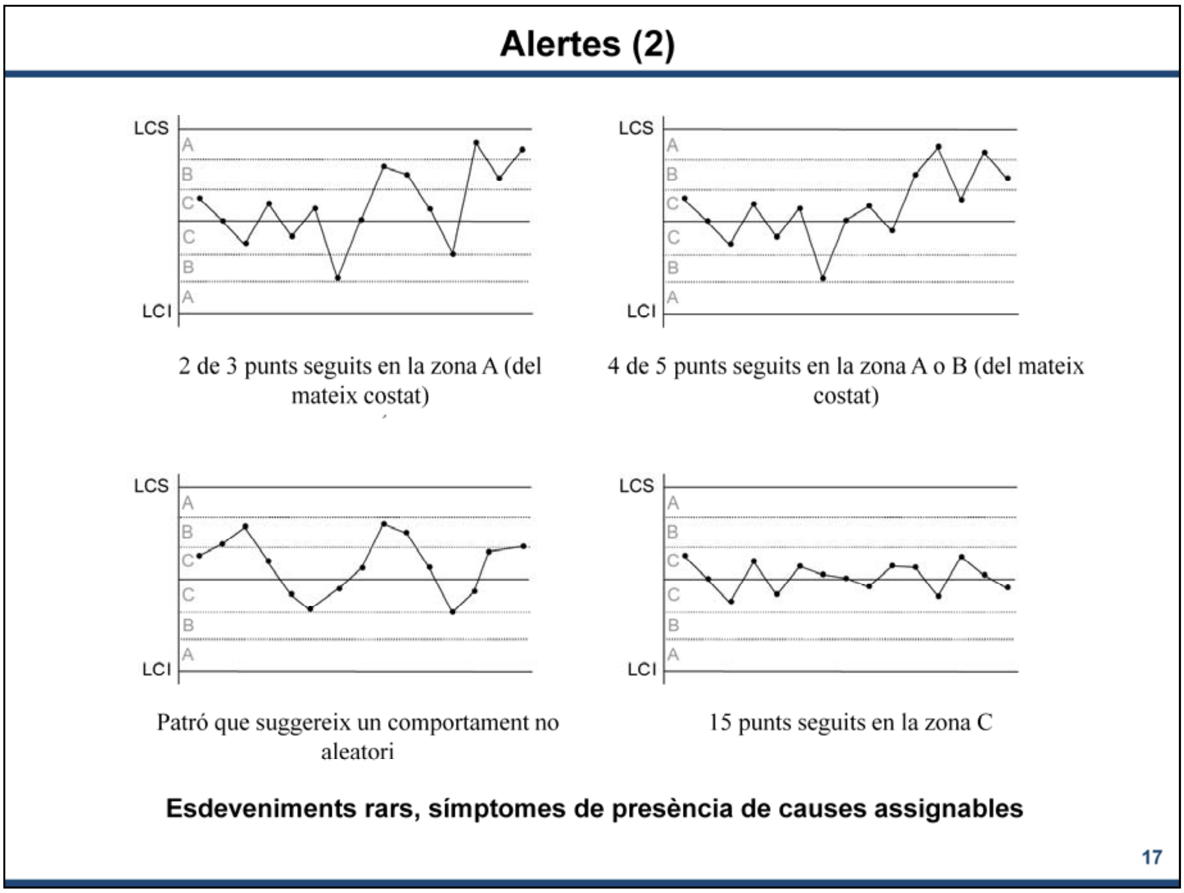
Esdeveniments rars, símptomes de presència de causes assignables

16

Punt fora de límits: Símptoma més típic

Molts (normalment 9 o més) punts seguits al mateix costat: Ratxa

Molts (normalment 6 o més) punts seguits en ordre creixent o decreixent: Tendència.



15 punts seguits a la zona C: Sobrestabilitat
Què ha canviat? Funcionen bé els aparells de mesura?

No només cal estar atent a lo dolent. També a les coses bones: Per què ha millorat?... Així anem aprenent del procés.

Els patrons a revisar s'han de seleccionar en funció de quines siguin les "malalties" més típiques del procés (¿té sentit estar atent al comportament cíclic?). Com més patrons es seleccionin, més riscos de falses alarmes.

Pla de control

1. Extreure una mostra de tamany *n*.
2. Mesurar la variable d'interès.
3. Calcular la mitjana i el rang de les dades.
4. Representar la mitjana i el rang en els gràfics de control de referència.
5. Comprovar si hi ha símptomes d'alguna causa assignable que ha entrat en el procés.
6. Recollir informació per identificar les causes assignables
7. Emprendre accions.

18

El cost d'implementar SPC ha de ser inferior al benefici que s'obtingui amb aquesta reducció: s'han de seleccionar característiques crítiques de qualitat.

Preguntes per a la discussió:

• Quin ha de ser el tamany de les mostres?

• Amb quina freqüència s'han de prendre les mostres?

• Els gràfics de control s'han de fer a mà o de forma automàtica?

• Hi ha sistemes automàtics que detecten els problemes (descentraments, augment de variabilitat) i ells sols actuen en conseqüència?

Altres gràfics de control per a variables

- Mitjanes – desviacions tipus
- Observacions individuals – rangs mòbils
- Mitjanes mòbils – rangs mòbils
- Sumes acumulades (CUSUM)
- Ponderació exponencial (EWMA)

19

Observacions individuals: Quan es tracta de controlar variables d'un procés (temperatura d'un forn) o característiques d'un producte fabricat en flux continu.

Sumes acumulades: Més sensibles que els X-R per detectar petits descentraments

EWMA: Tipus sumes acumulades, però les observacions més antigues van tenint cada vegada menys pes.

Gràfic d'observacions individuals i rangs mòbils

Procés de destil·lació d'un àcid. Es mesura, cada 15 minuts el color de l'àcid d'un dels fluids resultants en unitats AFF.

Muestra	I	MR	Muestra	I	MR
1	17,9279		21	18,0645	0,90847
2	17,2991	**0,6289**	22	15,1781	2,88647
3	19,6317	**2,3326**	23	16,9451	1,76700
4	19,0214	**0,6103**	24	19,0542	2,10915
5	15,9038	**3,1176**	25	1[illegible],7220	0,66778
6	18,3706	**2,4669**			882
7	18,2771	**0,0935**			134
8	20,3680	**2,0909**			580
9	19,3039	**1,0642**			311
10	22,1444	**2,8406**	30	16,7056	0,21350
11	22,1919	**0,0474**	31	19,0646	2,35900
12	13,2246	**1,6432**	32	17,6858	1,37884
13	17,6965	**2,8522**	33	19,5974	1,91160
14	20,1352	**2,4387**	34	19,0934	0,50403
15	19,8400	**0,2952**	35	22,0674	2,97407
16	19,8167	**0,0233**	36	17,5550	4,51240
17	18,8061	**1,0105**	37	20,2717	2,71661
18	17,0182	**1,7879**	38	16,8940	3,37764
19	19,2407	**2,2225**	39	19,3207	2,42673
20	18,9730	**0,2677**	40	16,0823	3,23845
Media de las medias = 18,828					
Media de los rangos = 1,8714					

Rangs mòbils de longitud 2

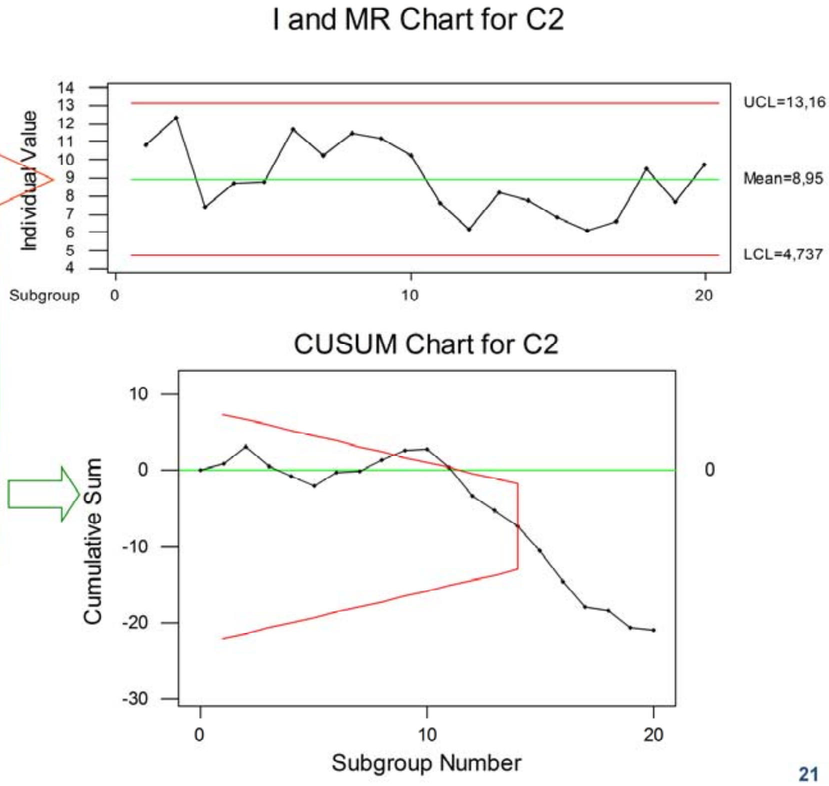
20

Els rangs mòbils també poden ser de longitud 3 o més

Igual que de rangs mòbils, es poden construir gràfics de mitjanes mòbils

Gràfics CUSUM

X	X-10	Σ(X-10)
10,8	0,8	0,8
12,3	2,3	3,1
7,4	-2,6	0,5
8,7	-1,3	-0,8
8,8	-1,2	-2,0
11,7	1,7	-0,3
10,2	0,2	-0,1
11,5	1,5	1,4
11,2	1,2	2,6
10,2	0,2	2,8
7,6	-2,4	0,4
6,2	-3,8	-3,4
8,2	-1,8	-5,2
7,8	-2,2	-7,4
6,8	-3,2	-10,6
6,1	-3,9	-14,5
6,6	-3,4	-17,9
9,5	-0,5	-18,4
7,7	-2,3	-20,7
9,7	-0,3	-21,0



21

El gràfic de sumes acumulades (sumes acumulades de les diferències respecte al valor objectiu) és més sensible que el de valors individuals (també podrien ser mitjanes) per detectar petits descentraments.

Cas de l'entitat bancària

Es desitja realitzar un estudi sobre la qualitat del servei en les 6 oficines que una entitat bancària té en una ciutat.

Per això, durant 1 any, cada trimestre es pren una mostra aleatòria de 50 clients de cada oficina i mitjançant una enquesta es determina si estan satisfets o no amb els serveis que reben.

Oficina	Nombre de clients no satisfets				Total
	1 trimestre	2 trimestre	3 trimestre	4 trimestre	
1					
2					
3					
4					
5					
Total					

Gràfic P (proporció de "defectes")

- **Es tracta dun gràfic de control per ATRIBUTS**
- **Es classifica cada individu (client, peça,…) en dos grups (satisfet /no satisfet; correcte / defectuós …)**
- **Indicador: proporció P d'individus en un d'aquests grups (insatisfets, defectuosos, ...)**
- **La grandària de mostra pot no ser constant**
- **Model matemàtic de referència:**
  Llei Binomial (aproximada per la Llei Normal si n·p>5)

23

Tamany de la mostra: n
Proporció de defectes: p
Nombre de defectes en la mostra: X

$$P(X \le x) = B(x;n;p)$$

$$\left.\begin{array}{l} E(X) = np \\ V(X) = np(1-p) \end{array}\right\} \quad \text{Gràfics np (es comenten més endavant)}$$

$$p = \frac{X}{n}$$

$$\left.\begin{array}{l} E(p) = \dfrac{1}{n}E(X) = p \\ V(p) = \dfrac{1}{n^2}V(X) = \dfrac{p(1-p)}{n} \end{array}\right\} \quad \text{Gràfics p}$$

Els límits del gràfic s'obtenen amb els mateixos criteris que els gràfics per a variables contínues (esdeveniment rar és el que té 3‰ de prob. d'ocórrer per atzar)

Obtenció de dades pel càlcul dels límits en el gràfic p

Mostra	Ampolles defectuoses	Tamany de la mostra	Proporció defectuoses
1	6	100	6
2	7	150	4,7
3	5	120	4,2
4	10	100	10
5	8	140	5,7
6	7	90	7,8
7	4	100	4
8	2	100	2
9	1	100	1
10	9	150	6
11	12	145	8,3
12	5	130	3,8
13	6	100	6
14	11	160	6,9
15	3	120	2,5
16	14	140	10
17	4	100	4
18	7	90	7,8
19	6	100	6
20	9	100	9
	Total=136	Total=2335	

$$p = \frac{\text{total defectuoses}}{\text{total mostrejat}} = \frac{136}{2335} = 5{,}82\%$$

24

1. Prendre k mostres de tamany n a intervals de temps regulars.
   $k \geq 20$; $np \geq 5$

2. Calcular la fracció d'individus defectuosos en cada mostra : p_i

3. Estimació de p: Total defectuós / Total estimat
   Si ja es té una estimació dels paràmetres, es pot anar directament a calcular els límits de control.

4. Calcular els límits ($\pm 3\sigma$ de la línia central)

5. Representar el gràfic. Verificar que el procés ha estat en estat de control

Càlcul de límits pel gràfic p

$\mu \pm 3\sigma$ ***Amb les nostres dades :***

Límit superior : $\bar{p} + 3\sqrt{\dfrac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} = 0{,}0582 + 3\sqrt{\dfrac{0{,}0582(1-0{,}0582)}{100}} = 0{,}1284$

Límit central : $\bar{p} = 0{,}0582$

Límit inferior : $\bar{p} - 3\sqrt{\dfrac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} = 0{,}0582 - 3\sqrt{\dfrac{0{,}0582(1-0{,}0582)}{100}} \approx 0$

n_i ***Si el tamany de la mostra va canviant, els límits de control també canvien***

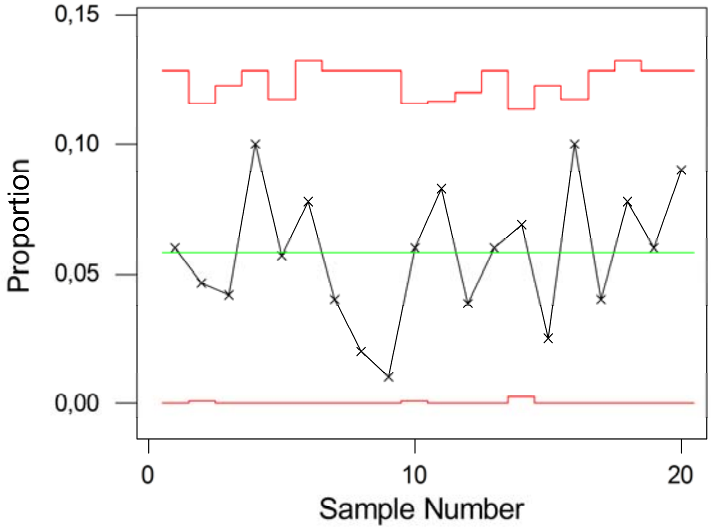
25

Segona mostra: n=150

Límit superior: $$0{,}0582 + 3\sqrt{\frac{0{,}0582(1-0{,}0582)}{150}} = 0{,}1155$$

Límit inferior: $$0{,}0582 - 3\sqrt{\frac{0{,}0582(1-0{,}0582)}{150}} = 0{,}0009$$

Gràfic P



26

Mètode de control :

- Extreure una mostra de tamany n_i
- Comptar el nombre d'elements defectuosos i trobar p_i (fracció defectuosa)
- Portar p_i al gràfic
- Ajustar els límits si n_i no és fix, mantenint el valor de p.
- Comprovar si hi ha evidència d'alguna causa assignable que ha entrat en el procés. (Si hi ha punts fora de control, veure que ha passat).
- Emprendre accions**.**

Gràfic NP

- Molt similar al gràfic P
- En comptes de controlar la proporció de defectes (gràfic P) es controla el nombre de defectes.
- La grandària de mostra ha de ser constant
- Els límits de control són :

Límit superior : $n\overline{p} + 3\sqrt{n\overline{p}(1-\overline{p})}$

Límit central : $\overline{p}$

Límit inferior : $n\overline{p} - 3\sqrt{n\overline{p}(1-\overline{p})}$

27

Càlcul dels límits (similar als gràfics *p*):

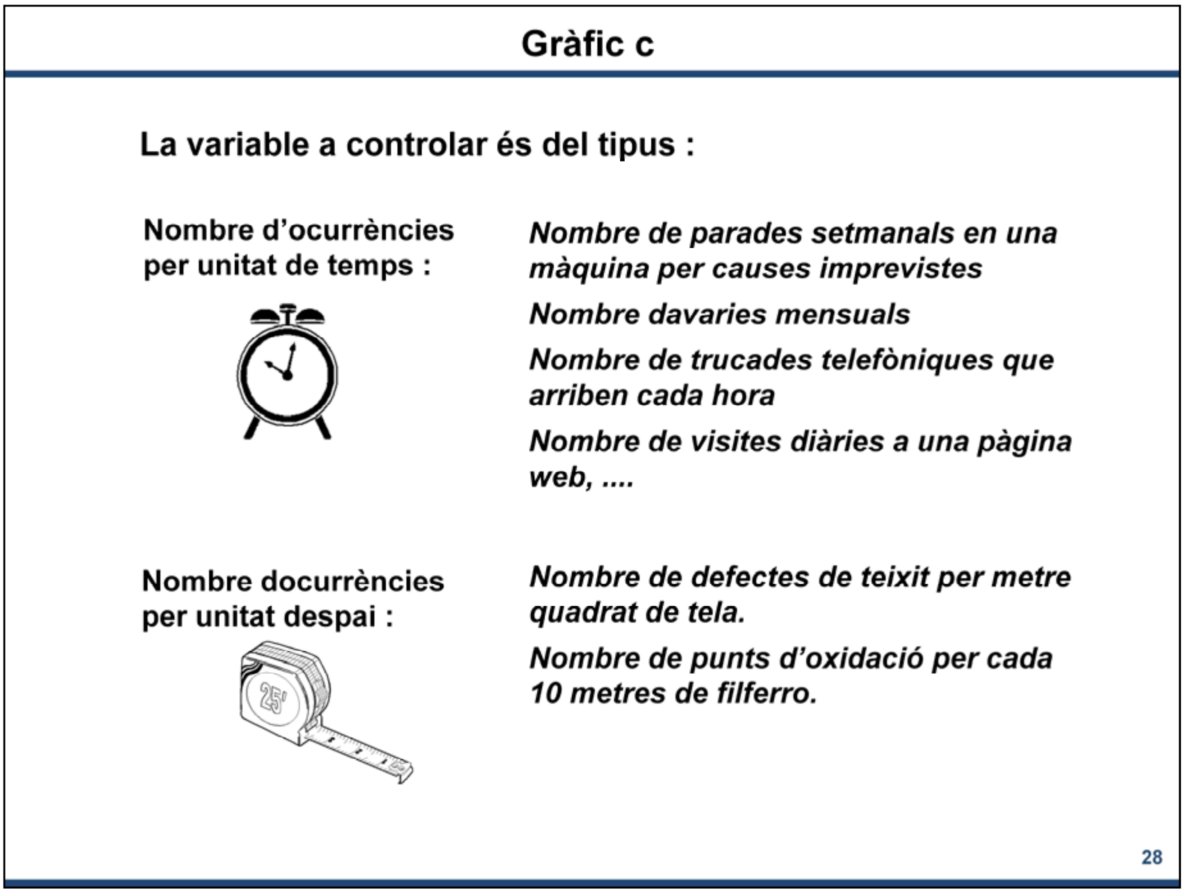
1. Prendre *k* mostres de tamany *n* de manera consecutiva i a intervals de temps iguals. $k \geq 20$. El tamany de mostra s'ha d'escollir de manera que el nombre mig de defectes per mostra sigui major o igual a 5.

2. Comptar el nombre de defectuosos en cada mostra.

3. Calcular el nombre mitjà de defectes per mostra fent el promig dels defectes de cada mostra.

4. Calcular els límits de control (en aquest cas són fixos, perquè el tamany de mostra és constant).

5. Portar els valors del nombre de defectuosos per mostra al gràfic, i comprovar que durant l'obtenció de les mostres el procés ha estat sota control.



Com distingir quan és més adequat un gràfic *c* que un gràfic *np*?

Gràfic *c*: No hi ha límit en el nombre d'ocurrències (no hi ha nombre màxim de visites a una pàgina web)

Gràfic *np*: Hi ha un nombre màxim d'ocurrències (nombre màxim de defectes en una mostra de 100 unitats: 100)

Gràfic *c*.

Model teòric que regeix el nombre d'ocurrències en estat de control: Distribució de Poisson.

Estimació de λ (en aquest context s'anomena *c*): Mitjana del nombre d'ocurrències en *k* mostres ($k \geq 20$)

Límits de control: $\overline{c} \pm 3\sqrt{\overline{c}}$
(Recorda : en la dist. de Poisson la mitjana coincideix amb la variància)

Gràfic c. Exemple

Nombre de visites a una pàgina web durant 1 mes :

Dia		Visites	Dia		Visites	Dia		Visites
1	Mi	44	11	S	7	21	Ma	38
2	J	44	12	D	10	22	Mi	34
3	V	48	13	L	38	23	J	39
4	S	10	14	Ma	38	24	V	35
5	D	14	15	Mi	42	25	S	16
6	L	43	16	J	50	26	D	10
7	Ma	36	17	V	46	27	L	42
8	Mi	43	18	S	7	28	Ma	35
9	J	38	19	D	9	29	Mi	39
10	V	40	20	L	52	30	J	32

29

Càlcul de límits amb les dades de l'exemple :

Atenció: S'observa a simple vista que els dissabtes i diumenges el nivell de visites és més baix que la resta de dies. És més raonable calcular els límits només per als dies laborables.

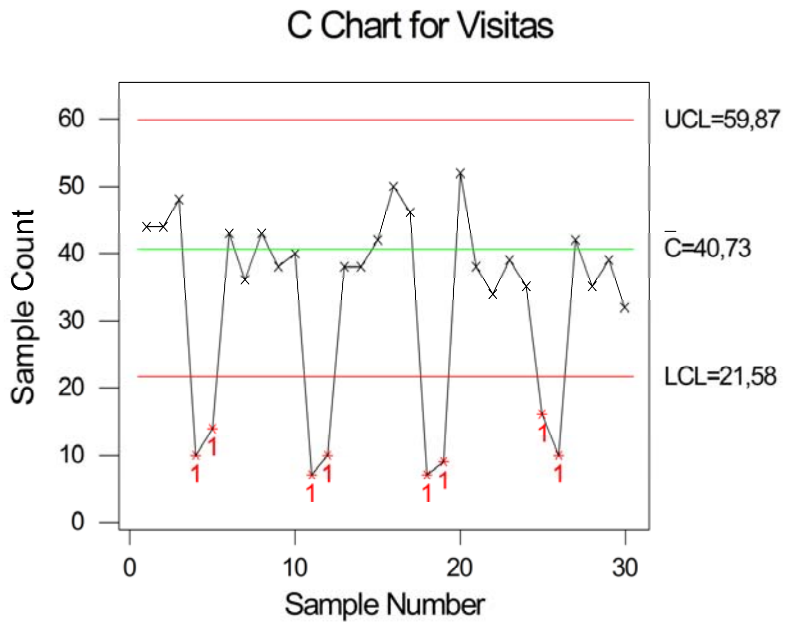
$\overline{c} = 40{,}73$, només dies laborables

Límit superior: $40{,}73 + 3\sqrt{40{,}73}$ = 59,88

Línia central: 40,73

Límit inferior: $40{,}73 - 3\sqrt{40{,}73}$ = 21,58

Gràfic c. Representació



30

Fent servir Minitab, automàticament es poden excloure valors que no interessen per al càlcul dels límits.

Algunes problemàtiques no tractades

Producció "multicanal": Diversos capçals de producció, les unitats es barregen i no se sap que capçal les ha produït (Ex.: Carrusel d'ompliment d'ampolles de vi)

Valor central no constant : En algunes situacions el valor central es va movent a poc a poc (desgast d'eina de tall) o segueix patrons més complexos (serie temporal)

Control de variables correlacionades : Controlar diverses variables correlacionades no és el mateix que controlar-les una a una. Es poden tenir conjunts de valors en els quals cada variable està dins de límits, però globalment no ho estan.

31

Tema 4: Bibliografia

Métodos Estadísticos. Control y mejora de la calidad
A. Prat; X. Tort-Martorell; P. Grima y L. Pozueta
Ed. UPC, 1997

Capítulo 11: Gráficos de control para variables y para atributos. Incluye también gráficos CUSUM y EWMA.

Introduction to Statistical Quality Control
Douglas C. Montgomery
John Wiley, 2001

Una buena parte del libro trata sobre estos temas. En concreto: Cap. 4, Métodos y filosofía del SPC. Cap. 5, Gráficos de control para variables. Cap. 5, Gráficos de control para atributos, Cap. 8, gráficos CUSUM y EWMA. También tratan sobre este tema, a nivel más avanzado, los capítulos 9, 10 y 11.