



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
E.T.S. DE INGENIERÍA ICAI
DEPARTAMENTO DE ORGANIZACION INDUSTRIAL

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIOS DE CONTROL DE CALIDAD

Preparados por Arturo Ruiz-Falcó Rojas

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

1. EJERCICIOS DE MUESTREOS DE ACEPTACIÓN

EJERCICIO 1.1.

Su empresa obtiene un contrato para suministrar 5 lotes de 1.000 piezas. La fabricación de estas piezas es relativamente sencilla pero presenta la dificultad de tener una tolerancia muy estrecha en una de las dimensiones. El contrato establece que el cliente realizará una inspección según MIL-STD-105E, AQL=0.65, simple, nivel II.

Previamente al lanzamiento de la fabricación Ud realiza un estudio de capacidad del proceso de fabricación de la cota problemática y obtiene $C_p=0.95$. Debido a la naturaleza del proceso de fabricación resulta sencillo mantenerlo centrado. Si su empresa sirve ese pedido sin realizar una inspección final:

- ¿Cuál es la probabilidad de que el cliente acepte los cinco lotes?
- Si el cliente no ha rechazado ningún lote ¿cuál ha sido la fracción defectuosa de los lotes fabricados?
- Si el cliente ha rechazado algún lote ¿cuál ha sido la fracción defectuosa de los lotes fabricados?

EJERCICIO 1.2.

En relación con la norma MIL-STD-414:

- Explique brevemente la razón por la cual no es aplicable la forma 1 en aquellos casos en los que exista un límite superior y otro inferior.
- Explique brevemente la razón por la que el método σ requiere una muestra menor que el método s, y éste a su vez menor que el método R.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 1.3.

Su empresa recibe envíos de un proveedor en lotes de 10.000 piezas. El tamaño de muestra del plan de muestreo acordado es $n=100$ piezas y el número de aceptación es $Ac=0$.

- ¿Cuál es el AQL que corresponde a este plan?
- Si el proveedor suministra con una fracción defectuosa igual al AQL ¿Qué probabilidad hay de aceptar 10 lotes seguidos?
- En el caso anterior ¿Qué probabilidad hay de aceptar 9 de los 10 lotes?

EJERCICIO 1.4.

Su empresa recibe envíos de un proveedor en lotes de 10.000 piezas. El tamaño de muestra del plan de muestreo acordado es $n=100$ piezas y el número de aceptación es $Ac=2$.

- ¿Cuál es la ecuación de la curva de operación de ese plan?
- Para el plan de muestreo anterior, ¿qué calidad de salida media correspondería a un conjunto de lotes que contuviesen una fracción defectuosa del 2%?

EJERCICIO 1.5.

Su empresa ha acordado con un cliente las condiciones de recepción de los envíos de lotes de 5000 piezas. El plan de muestreo por atributos acordado es el siguiente:

- Tamaño de muestra $n=50$.
- Número de unidades defectuosas admitidas en la muestra $Ac=0$.

Por datos históricos Ud. sabe que la fabricación de su empresa es muy estable y tiene un 0,25% de unidades defectuosas.

- ¿Cuál es la probabilidad de que se acepte un lote?
- Si está prevista la entrega de 400 lotes ¿qué cantidad R de lotes espera que le rechacen? Se supone que no se toma ninguna acción correctora sobre el proceso después de cada retraso.
- ¿Cuál es la probabilidad de que le rechacen exactamente " R " lotes, ni uno más, ni uno menos?

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

- d) Si los lotes rechazados se reinspeccionan al 100% y se reponen las unidades defectuosas ¿cuál es la calidad de salida media?
- e) Con objeto de estudiar una posible mejora del proceso de fabricación, ha encomendado a un operario que haga un estudio de índices de capacidad de una de las fases de fabricación. Una vez realizado el estudio, el técnico de calidad le facilita los datos indicados más abajo. ¿Qué conclusiones saca de ellos? Justifique brevemente la respuesta.

$$C_p = 1,67, C_{pk} = 1,70, C_M = 1,47, C_{Mk} = 1,20$$

EJERCICIO 1.6.

Su empresa obtiene un contrato para suministrar 5 lotes de 1.000 piezas. La fabricación de estas piezas es relativamente sencilla pero presenta la dificultad de tener una tolerancia bilateral muy estrecha en una de las dimensiones. El contrato establece que el cliente realizará una inspección según MIL-S TD-105E, AQL=0.10, simple, nivel II.

- a) Hallar el tamaño de la muestra necesario para cada lote y el criterio de aceptación y rechazo.
- b) Dado que su empresa no tiene experiencia en la fabricación de la pieza, su jefe le pide que calcule la probabilidad de que su cliente acepte los 5 lotes en función de la fracción defectuosa de la fabricada, si su empresa sirve ese pedido sin realizar una inspección 100 % final.
- c) Para poder cumplimentar el pedido, su empresa piensa adquirir una nueva máquina para realizar la operación de fabricación mencionada anteriormente. Si se supone que el proceso permanece centrado ¿Cual es el índice de capacidad de proceso C_p que debe tener la máquina a adquirir si se pretende tener una `probabilidad del 90% de que el cliente no rechace ningún lote?
- d) Debido al alto precio de la máquina anterior, su empresa decide hacer un lanzamiento piloto con la máquina antigua. Fabrica 50 unidades que se verifican todas y 2 de ellas resultan defectuosas. Se pide estimar la fracción defectuosa existente mediante un intervalo de confianza del 95%.
- e) Para cumplimentar el contrato con la maquinaria antigua, se planifica realizar una inspección final 100% para segregar las unidades defectuosas. Alguien propone reemplazarla por un muestreo. ¿Qué opina Ud?

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 1.7. (NUEVO)

La recepción de materiales de su empresa sigue un plan de muestreo de aceptación basado en el “número de defectos” que pueden tener las piezas. Analizando el proceso de producción de las piezas, se sabe que las probabilidades de ocurrencia de cada tipo de defecto considerado son independientes. El plan anterior requiere la toma de una muestra aleatoria de 50 piezas y se aceptará si no hay ningún defecto en la muestra. Los lotes rechazados se reinspeccionan al 100% y se reemplazan las piezas defectuosas por otras conformes (piezas sin ningún defecto).

- 1) ¿Cuál es el AQL y la QL del plan?
- 2) ¿Cuál es la ecuación de la curva de calidad de salida media?
- 3) ¿Cuál es la tasa de defectos máxima (medida en defectos/100 piezas) que podrá haber como promedio después de la inspección de recepción?
- 4) Si el proveedor fabrica con una tasa de defectos idéntica al AQL, ¿cómo se distribuirá el número de defectos en las piezas? Dicho de otra manera, ¿qué porcentaje de las piezas fabricadas estarán libres de defectos? ¿Idem 1 defecto? ¿Idem 2 defectos? etc.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

2. EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

EJERCICIO 2.1.

Calcular los índices C_p y C_{pk} y la fracción defectuosa esperada de los siguientes procesos:

°	Tol. sup.	Tol. inf.	s	Cent. del proc.	C_p	C_{pk}	%
1	12	0	4	5			
2	12	0	2	5			
3	12	0	2	2,5			
4	12	0	1	5			
5	12	0	1	7,5			

EJERCICIO 2.2.

Un gráfico de control de Shewhart dispone de 25 muestras, cada una de ellas compuesta por 15 piezas. La gran media y el rango medio son respectivamente $\bar{\bar{x}} = 51,3 \text{ mm}$ $s_{n-1} = 0,04$ $\bar{R} = 0,15 \text{ mm}$. Las tolerancias son $51,25 \pm 0,1 \text{ mm}$.

- a) Conteste a los cálculos que se le piden en la siguiente tabla, justificando los criterios seguidos:

RESULTADO:

σ	C_p	C_{pk}	LCS (MEDIAS)	LCI (MEDIAS)	LCS (RECOR.)	LCI (RECOR.)	Fracción defectuosa esperada

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

b) Si el proceso anterior se descentrara un total de 1σ desde el nominal, recalcule:

C_p	C_{pk}	Fracción Defectuosa

c) Tras el desplazamiento anterior ¿qué probabilidad hay de que el gráfico de medias no detecte el desplazamiento en la siguiente muestra? Se supone que no se aplican los criterios complementarios para detectar procesos fuera de control.

EJERCICIO 2.3.

Se han observado 20 muestras de tamaño 5, con los siguientes valores de $\bar{X} - \bar{R}$. Construir el gráfico de control. Comente el proceso. (5 puntos)

Muestra	Media	Rango
1	0,8372	0,010
2	0,8324	0,009
3	0,8318	0,008
4	0,8344	0,004
5	0,8346	0,005
6	0,8332	0,011
7	0,8340	0,009
8	0,8344	0,003
9	0,8308	0,002
10	0,8350	0,006
11	0,8380	0,8380
12	0,8380	0,8322
13	0,8322	0,8356
14	0,8356	0,8322
15	0,8322	0,8304
16	0,8372	0,8372
17	0,8282	0,8282
18	0,8346	0,8346
19	0,8360	0,8360
20	0,8374	0,8374

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 2.4.

El control de un proceso por variables se realiza tomando cada hora una muestra de 4 unidades y calculando $\bar{x}$ y s . Si se produce un desplazamiento de la media del proceso de $0,5\sigma$, sin modificarse la desviación típica σ , calcular el tiempo medio que transcurrirá hasta que se detecte el cambio.

EJERCICIO 2.5.

El gráfico de medias y recorridos utilizado en la fabricación de unas piezas es muy estable y presenta las siguientes características:

	Medias	Recorridos
Límite de Control Superior	78.0	8.0
Valor medio	75.8	3.8
Límite de Control Inferior	73.6	0

Si las tolerancias de la piezas fabricadas son 75 ± 4 :

- ¿Qué tamaño tienen las muestras tomadas para construir el gráfico?
- ¿Cual es la estimación de la desviación típica del proceso?
- Estimar la fracción defectuosa producida.
- ¿Cuanto tendría que derivar la media para tener una probabilidad del 30% de que la media de la muestra caiga fuera de los límites de control?

EJERCICIO 2.6.

Esta Vd analizando el proceso de fabricación de una familia de piezas del que conoce los siguientes datos:

- El mecanizado final de la pieza tiene fijada una tolerancia de $\pm 0,5$ mm.
- La capacidad de máquina es $6\sigma = 0,6$ mm. Esta capacidad se ha hallado calculando la desviación típica de 25 piezas fabricadas consecutivamente por el mismo operario y con piezas procedentes del mismo lote de fabricación en curso.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

- La producción media es de 1.000 piezas/ día, fabricadas en un turno de 8 horas/día.
- El coste estándar de la pieza (después de realizar la operación de mecanizado es 500 Pta).
- En caso de que la mecanización de la pieza resulte fuera de tolerancia, no es posible repararla y debe ser desechada.
- El tiempo medio de verificación final de cada pieza es 0,5 minutos.
- El coste horario del operario es 3.500 Pta/hora.

Conteste de manera **razonada** las siguientes cuestiones:

- a) Calcular C_M . ¿Qué se puede decir de C_{Mk} ?
- b) Calcular la fracción defectuosa de la producción. Interprete el valor dado e indique las hipótesis realizadas.
- c) Con objeto de asegurar la calidad final de la pieza, se está estudiando la conveniencia de realizar una inspección dimensional 100% después del mecanizado. Haga un estudio de costes de calidad en ambas situaciones (con inspección / sin inspección) y compare ambas alternativas en base al coste de calidad.
- d) Con objeto de reducir el coste de la inspección, se sugiere reemplazarlo por un gráfico de control. ¿Qué opina? ¿Qué ventajas e inconvenientes podría aportar?
- e) Para mejorar el proceso se está estudiando la posibilidad de incorporar un sistema automático de control. Este sistema incorpora una medición automática de la pieza fabricada y corrige el centrado del proceso en función de las últimas mediciones. ¿Cómo afecta al C_M ? ¿En qué caso sería recomendable la incorporación de este sistema?

EJERCICIO 2.7.

Un proceso de galvanizado de unas tuberías requiere una protección media de 200 lbs por tubo. El límite inferior de la especificación es de 180 lbs, sin que esté impuesto un límite superior debido a que el exceso de galvanizado mejora la protección.

Por estudios realizados anteriormente utilizando gráficos “multi-vari”, se sabe que la variación de la protección tubo a tubo es muy pequeña frente a la variación temporal. Por esta razón se opta por utilizar el gráfico de control denominado de “*rango móvil*” (moving range chart). Este gráfico es una variante del gráfico $\bar{X} - R$ convencional y se caracteriza por tomar un solo tubo como muestra (muestras de tamaño=1) y estimar la variabilidad a partir de la diferencia existente entre el espesor de un tubo y el anterior.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

Los datos siguientes muestran el peso de la protección de 30 tubos (muestra un tubo por turno, ordenados por filas).

216	202	208	208	212	202	193	208	206	206
206	213	204	204	204	218	204	198	207	218
204	212	212	205	203	196	216	200	215	202

- Construya el gráfico de valores individuales (muestra $n=1$).
- ¿Indica el gráfico si el proceso se encuentra en control estadístico?
- Conoce alguna alternativa a este gráfico de control que resulte más sensible para detectar si el proceso se sale de control (variación temporal)?
- Si el estudio con el gráfico multi-vari hubiera revelado que el componente posicional de la variabilidad de la protección fuera relevante (variabilidad del espesor en las diferentes zonas del tubo):
 - Valore el gráfico de control en estas condiciones.
 - ¿Qué haría para conseguir que el espesor de galvanizado no bajara de un determinado espesor en ninguno de sus puntos?

EJERCICIO 2.8.

Se han tomado muestras de cables y analizado el número de defectos. La longitud de la muestra no siempre es idéntica como se indica en la tabla.

Num. muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lon. (m)	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Num. defectos	3	4	3	3	5	6	7	4	3	4
Num. muestra	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lon. (m)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Num. defectos	5	2	4	3	6	4	7	8	4	8

Estudiar si el proceso está bajo control.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 2.9.

Con objeto de controlar la soldadura de una máquina MIG de un astillero, se pretende implantar un sistema de gráficos de control. Para ello se prepara un procedimiento de inspección radiográfica en el que se indican los defectos a considerar y se especifica que se radiografiarán el 10% de las soldaduras. Este procedimiento clasifica los defectos según su importancia en dos categorías:

- Defecto mayor, que serán todos aquellos defectos no admitidos por el código.
- Defecto menor, que serán todos aquellos defectos no tipificados por el código como rechazables (por ejemplo pequeños poros).

Inicialmente se opta por establecer dos gráficos de control, uno para cada tipo de defecto. Tras recoger datos el primer mes, se obtiene que la media de defectos mayores es de 0,01 defectos/m y la media de defectos menores es de 0,1 defectos/m. También se sabe que esta máquina suelda diariamente entorno a 100 m y las radiografías correspondientes a las soldaduras del día se revelan durante la noche de modo que a la mañana siguiente se conocen el número de defectos producidos.

- a) Si los defectos menores no son motivo de rechazo de producto ¿qué objeto puede tener implantar un gráfico de control?
- b) ¿Sería operativo implantar un gráfico tipo u para los defecto mayores? ¿Por qué?
- c) Plantee las ecuaciones de la curva de operación del gráfico u.

EJERCICIO 2.10.

Los planos de un ajuste eje-agujero indican una tolerancia ISO 40H8/f7, que fija los siguientes límites de tolerancia (en mm):

$$\text{Agujero: } 40_{+0}^{+0.039} \quad \text{Eje: } 40_{-0.050}^{-0.025}$$

Por los requerimientos de servicio del ajuste, esta tolerancia tiene siempre juego positivo:

$$J_{\text{máximo}} = 0.039 + 0.050 = 0.089 \text{ mm}$$

$$J_{\text{mínimo}} = 0 + 0.025 = 0.025 \text{ mm}$$

$$\Delta J = J_{\text{máximo}} - J_{\text{mínimo}}$$

$$J_{\text{medio}} = (J_{\text{máximo}} + J_{\text{mínimo}}) / 2$$

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

El proceso de torneado del eje se realiza con un torno y tiene una desviación típica $\sigma_{\text{EJE}} = 0.004$ mm y el fresado del agujero tiene una desviación típica $\sigma_{\text{AGUJERO}} = 0.007$ mm.

- Calcule los c_p de los procesos de mecanizado.
- ¿Cuál es la desviación típica del juego? Justifique la respuesta.
- Se está estudiando reducir la variación admitida al juego a un 75% de la actual, manteniendo el juego medio. Si se mecanizan los ejes y los agujeros en el centro de sus respectivos intervalos de tolerancia, ¿qué fracción de los ajustes fabricados no cumplirían los nuevos criterios impuestos al juego?
- Si se pretende disminuir la fracción defectuosa con los nuevos criterios impuestos al juego, ¿qué sería más eficaz, mejorar el proceso de torneado del eje o el de fresado del agujero? Justifique la respuesta.

Observaciones:

Como se puede observar, en este tipo de ajustes, el nominal está fuera del intervalo de tolerancias.

El juego se define como la diferencia de la dimensión del agujero y del eje.

EJERCICIO 2.11.

Los siguientes datos resumen el número total de piezas defectuosas producidas por los operarios de su planta en los últimos 6 meses:

OPERARIO	Nº DEFECTOS	OPERARIO	Nº DEFECTOS
A	46	H	9
B	22	I	130
C	64	J	10
D	5	K	125
E	65	L	39
F	79	M	26
G	188	N	94

Se establece un plan para eliminar estos defectos. Las primeras investigaciones confirman que el equipo de fabricación es apropiado, la especificación está clara y los operarios reciben información periódica sobre sus resultados. ¿Que haría Ud?. Establezca la secuencia de los siguientes pasos a dar.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 2.12. (NUEVO)

Una característica de calidad de un producto se controla con un gráfico $\bar{X} - R$ y se distribuye normalmente. Las muestras tomadas son de cinco piezas. Durante las primeras 50 muestras el proceso se mantiene muy estable y se obtienen los siguientes valores $\bar{\bar{X}} = 10.0$ y $\bar{R} = 2.32$. Las tolerancias impuestas al producto son $T_i = 7.9$ y $T_s = 12.1$. En el transcurso de la fabricación el proceso se descentra y su media se sitúa entorno a 10.5.

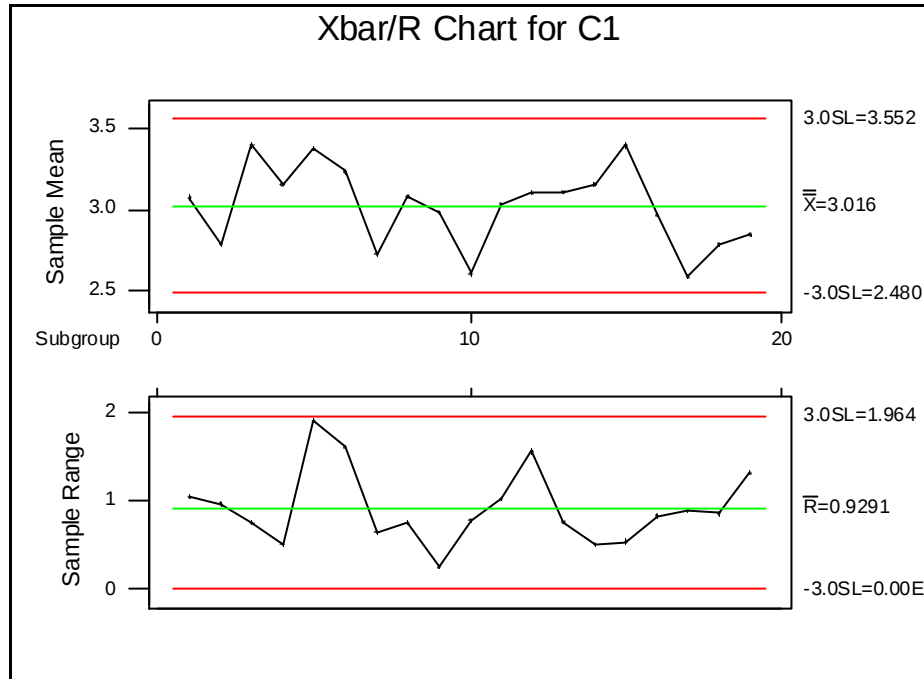
- a) Calcular los índices de capacidad de proceso y fracción defectuosa en la situación inicial.
- b) Calcular los índices de capacidad de proceso y fracción defectuosa en la situación final.
- c) ¿Cuál es la probabilidad de que la media muestral del proceso operando en la segunda situación caiga dentro de los límites de control iniciales?
- d) La gerencia de la empresa desea tener una probabilidad de detectar esa deriva del proceso, superior al 90% a lo largo de un turno de 8 horas. ¿Con qué frecuencia deben tomarse las muestras?

EJERCICIO 2.13. (NUEVO)

Un proceso productivo tiene un gráfico de control como el de la figura siguiente:

- a) ¿Qué tamaño tiene cada una de las muestras tomadas?
- b) Estime la desviación típica del proceso.
- c) Si los límites de tolerancia son $T_i = 3.1$ mm y $T_s = 4.1$ mm, estimar C_p y C_{pk} .
- d) Estime la fracción defectuosa que espera producir con ese proceso.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD



EJERCICIO 2.14. (NUEVO)

Un proceso productivo de unos elementos de fijación tiene un índice de capacidad $C_p = 0.95$.

- 1) Si el proceso está centrado, estime la fracción defectuosa que espera producir con ese proceso.
- 2) Si el proceso se descentra 0.15σ ¿cuánto valdrán ahora los índices C_p y C_{pk} ?
- 3) Estime la fracción defectuosa que espera producir con ese proceso en estas nuevas condiciones.
- 4) El proceso sigue operando en estas últimas condiciones y la producción se divide en lotes de 1000 piezas. Cada uno de los lotes se somete a un plan de muestreo definido por $n=100$, $Ac=1$ ¿cuál es la probabilidad de aceptar un lote?
- 5) En estas últimas condiciones ¿qué fracción de los lotes espera que no tenga ninguna pieza defectuosa en las 1000? ¿y que tenga sólo 1 pieza defectuosa? ¿y que tenga exactamente i piezas defectuosas?
- 6) Si se fabrican 10 lotes manteniendo el proceso estable en estas últimas condiciones ¿Cuál es la probabilidad de que se fabriquen menos de 35 piezas defectuosas en total?
- 7) Si tras realizar una investigación llegara a la conclusión que la distribución de los valores individuales del proceso productivo anterior es manifiestamente asimétrica (y por lo tanto no normal) ¿cómo afectaría esto a cada una de las respuestas anteriores?

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

3. EJERCICIOS DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y MEJORA DE CALIDAD

EJERCICIO 3.1.

Se han probado dos tipos distintos de colectores solares y han dado los siguientes resultados (vatios).

Configuración A	1.8 ⁽¹⁾	1.9 ⁽²⁾	1.1 ⁽³⁾	1.4 ⁽⁴⁾
Configuración B	1.9 ⁽⁵⁾	2.1 ⁽⁶⁾	1.5 ⁽⁷⁾	1.5 ⁽⁸⁾

La prueba se realizó en 8 periodos de tiempo diferentes y comparables, siguiendo un procedimiento escrito y utilizando equipos calibrados con una incertidumbre adecuada. Los números entre paréntesis indican el orden de la prueba.

- Comente el planteamiento del ensayo en cuanto a la validez de su resultado.
- Si no se tienen en cuenta las posibles salvedades planteadas en a) ¿hay evidencia de que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios de la potencia obtenida por los colectores?

EJERCICIO 3.2.

Se desea saber si existe error sistemático en un polímetro. Para ello se miden 4 resistencias (A, B, C, D) con el polímetro y con un tester de laboratorio (calibrado y de menor incertidumbre). Estas medidas se realizan siguiendo un procedimiento escrito, en condiciones ambientales adecuadas y homogéneas y en el orden indicado en el superíndice. Se han obtenido los siguientes resultados (Ohmios).

	A	B	C	D
Tester	1.8 ⁽¹⁾	1.9 ⁽²⁾	1.1 ⁽⁵⁾	1.4 ⁽⁷⁾
Polímetro	1.9 ⁽³⁾	2.1 ⁽⁴⁾	1.5 ⁽⁶⁾	1.5 ⁽⁸⁾

- ¿Hay evidencia estadística de que existe un error sistemático en las medidas del polímetro.
- Construya un intervalo de confianza del 95% del error sistemático.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 3.3.

NOVOMAT, S.A. es una empresa dedicada a la fabricación de piezas en materiales compuestos a base de fibra de vidrio, kevlar y fibra de carbono. Sus clientes son empresas de alta tecnología que precisan incorporar a sus diseños componentes con un elevado límite elástico y bajo peso. Las exigencias de estos clientes son cada vez mayores y las especificaciones de compra cada vez más complejas.

NOVOMAT, S.A. es licenciataria de una empresa norteamericana, **ADVANCED COMPOSITES, Inc.** que es quien aporta el know-how. En este acuerdo los técnicos de **ADVANCED COMPOSITES** realizaron el diseño de los procesos de fabricación, formaron al personal de **NOVOMAT** y aportaron toda la documentación técnica necesaria para operar los procesos de fabricación. A partir de ese momento, los técnicos de **NOVOMAT** se hicieron cargo de la operación de la planta y **ADVANCED COMPOSITES** realiza una auditoría anual de los procesos, comprobando que éstos se llevan a cabo sin desviaciones de las instrucciones técnicas.

Recientemente **NOVOMAT** está en negociando un importante contrato de suministro de componentes. De momento se encuentran en la fase de aprobación del prototipo. Para ello debe presentar unos prototipos, acompañados de sus protocolos de ensayos, en los que se debe indicar el valor medio de la característica de calidad, con un nivel de confianza del 95% y una precisión mínima de ± 1 uf (unidades ficticias), y garantizar también con un nivel de confianza del 95% que todas las unidades se encuentran por encima de los 200 uf.

Por la experiencia adquirida con estos procesos, se sabe que:

- La distribución de la característica de calidad en las piezas es sensiblemente normal.
 - La desviación típica del proceso es sensiblemente constante y vale $\sigma = 1,5$ uf.
- a) La dirección de **NOVOMAT** le solicita a Ud que prepare el plan de ensayos. Para ello ya ha preparado los procedimientos de ensayo pero le queda establecer cual es el número de unidades a ensayar. Dado el alto importe de estas piezas es preciso aquilatar el número al mínimo.
- b) Si los resultados obtenidos son los indicados en la tabla siguiente, ¿qué conclusiones se pueden sacar de estos datos?

Pieza	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valor	203,3	204,5	202,2	197,7	203,0	198,0	204,8	199,5	201,3

- c) ¿Como afectaría a los conclusiones anteriores si no se conociera σ ?
- d) Con objeto de poder ganar el contrato, **NOVOMAT, S.A.** ha introducido unas modificaciones en el proceso. Para analizar las mejoras de los productos fabricados con el

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

nuevo proceso se fabricaron otras nueve piezas. Los resultados obtenidos en el ensayo son:

Pieza	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Proc. A	203,3	204,5	202,2	197,7	203,0	198,0	204,8	199,5	201,3
Proc. B	204,5	207,8	205,0	204,1	205,2	205,7	205,7	202,8	202,3

Ante estos resultados surgen los siguientes interrogantes:

- ¿Ha mejorado el proceso?
- ¿Ha cambiado la variabilidad del proceso con la nueva modificación?

EJERCICIO 3.4.

Una empresa desea comparar dos tecnologías distintas para disminuir las emisiones de CO por el tubo de escape de los automóviles. Para la realización de este estudio la empresa dispone de 10 automóviles de diferentes modelos y un aparato medidor de CO. La gerencia de la empresa le pide que prepare un plan de ensayos para realizar este estudio.

EJERCICIO 3.5.

Esta Ud en un equipo de desarrollo de una herramienta de sw auxiliar para el control de calidad de un proceso. Esta herramienta precisa realizar un contraste de normalidad siguiendo la técnica del papel probabilístico. En particular es preciso realizar el análisis de la significación de efectos en diseños factoriales a dos niveles.

- Por favor explique de manera clara y concisa al programador qué es el papel probabilístico y cómo se calculan las ordenadas.
- Con objeto de que el programador pueda probar la aplicación, facilite el valor de la ordenada correspondiente a los tres efectos menores de los 15 efectos que se pueden calcular en un diseño 2^4 .

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 3.6.

Para estudiar la producción un proceso químico se realizaron experimentos debidamente aleatorizados y siguiendo protocolos de ensayo adecuados. Los resultados obtenidos fueron:

# Experimento	Temperatura (°C)	Concentración %	Velocidad de agitación rpm	Producción
1	50	6	60	54
2	60	6	60	57
3	50	10	60	69
4	60	10	60	70
5	50	6	100	55
6	60	6	100	54
7	50	10	100	80
8	60	10	100	81

Se sabe que la desviación típica de cada experimento no está afectada por los cambios de las variables y es aproximadamente la unidad.

- a) ¿Qué efectos son significativos?
- b) ¿Qué recomendaciones daría a partir del análisis del experimento?

EJERCICIO 3.7.

Un proceso industrial depende de 5 variables:

- A: Temperatura.
- B: Concentración.
- C: Catalizador (I o II).
- D: pH.
- E: Velocidad de agitación.

Se desea estudiar este proceso realizando únicamente 8 experimentos. El investigador está interesado en conocer los efectos principales y las interacciones Temperatura - Concentración ($A \times B$) y Temperatura - Catalizador ($A \times C$). Si los ingenieros del proceso creen que es muy improbable que existan otras interacciones, ¿existe un diseño que no confunda los efectos

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

principales con estas dos interacciones y que además tampoco confunda estas dos interacciones entre sí?

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 3.8.

En¹ una investigación sobre la resistencia del color en tejidos, se realizó un ensayo factorial completo a dos niveles. Los factores estudiados fueron los siguientes:

Factores	Abreviatura	+	-
Catalizador	A	II	I
Velocidad de agitación (rpm)	B	120	100
Temperatura	C	180	140
Concentración (%)	D	6	3

Los resultados obtenidos fueron:

Exp.	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	AB C	AB D	AC D	BC D	AB CD	Div .	Resp	Efecto	
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	16	57	65.5	Media
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	8	62	19.5	A
3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	8	54.5	-0.63	B
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	8	57.5	10.75	C
5	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	8	65	-6.25	D
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	8	93.5	0.875	AB
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	8	63	13.25	AC
8	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	8	96.5	2	AD
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	8	59.5	2.125	BC
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	8	67.5	0.875	BD
11	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	8	57	-11	CD
12	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	8	66	1.125	ABC
13	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	8	44.5	0.125	ABD
14	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	8	77.5	-0.25	ACD
15	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	8	45.5	0.125	BCD
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	81.5	-0.63	ABCD

Interprete los resultados, ¿qué efectos son significativos?

Estudie la posibilidad de reducir el número de ensayos a realizar.

Si se hubieran realizado únicamente los ensayos correspondientes a la media fracción

¹ Ejemplo tomado y adaptado del texto: Estadística para investigadores. Box, Hunter y Hunter.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

D=ABC ¿qué conclusiones se hubiesen obtenido?

EJERCICIO 3.9.

Se desea investigar la influencia de 6 factores (A-F) en un proceso de tratamiento térmico. Inicialmente se desea realizar un grupo de 8 ensayos como máximo, pudiendo fijar únicamente dos niveles para cada factor. Proponga un plan de ensayos:

- a) Generadores y ecuaciones de generación.
- b) Relación de definición.
- c) Resolución.
- d) Codificación del diseño factorial fraccional.
- e) Estructura de alias, suponiendo despreciables las interacciones de tercer orden y superiores.

Para realizar los ensayos anteriores, se dispone de dos palanquillas (marcadas como 1 & 2), de modo que, de cada una se pueden obtener únicamente 4 probetas. Redefina el plan de ensayos de manera que se satisfaga este nuevo condicionante:

- f) Generadores y ecuaciones de generación.
- g) Relación de definición.
- h) Resolución.
- i) Codificación del diseño factorial fraccional.
- j) Asigne las probetas a cada uno de los 8 ensayos, indicando en cada caso la palanquilla de procedencia.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 3.10.

Relacionado con el diseño de los paneles de mando de un vehículo, se realizó una investigación sobre el tiempo de respuesta del ojo humano. Para ello se construyó un aparato con el que se pueden medir 7 factores (A-G) relacionados con la agudeza visual. Se realizó un primer grupo de ensayos según la matriz de la tabla siguiente, en la que se recogen también los resultados obtenidos:

A	B	C	D	E	F	G	Tiempo (ms)	Media 99.663 Respuestas=
-1	-1	-1	1	1	1	-1	85.5	EFFECTOS:
1	-1	-1	-1	-1	1	1	75.1	A+ALIAS= 20.625
-1	1	-1	-1	1	-1	1	93.2	B+ALIAS= 38.375
1	1	-1	1	-1	-1	-1	145.4	C+ALIAS= -0.275
-1	-1	1	1	-1	-1	1	83.7	D+ALIAS= 28.875
1	-1	1	-1	1	-1	-1	77.6	E+ALIAS= -0.275
-1	1	1	-1	-1	1	-1	95	F+ALIAS= -0.625
1	1	1	1	1	1	1	141.8	G+ALIAS= -2.425

- Describa el plan de ensayos anterior:
 - Generadores y ecuaciones de generación-
 - Relación de definición.
 - Resolución.
 - Codificación del diseño factorial fraccional.
 - Estructura de alias, suponiendo despreciables las interacciones de tercer orden y superiores.
- En la tabla se recogen los cálculos de los efectos de los factores (confundidos con la estructura de alias) ¿Cuales son los efectos significativos? Indique el patrón de confusión de cada uno de ellos.
- Se pretende continuar la investigación realizando un segundo grupo de ensayos que permita la estimación de todos los efectos de primer orden libres de confusión. Defina este segundo plan de ensayos.
- Una vez realizado este segundo plan de ensayos, indique como calcularía los efectos de primer orden.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 3.11.

Se² desea diseñar un muelle de manera que se optimice su comportamiento frente a la fatiga. Para ello se forma un grupo de trabajo en el que está Ud integrado como ingeniero de calidad. En la primera reunión del grupo de trabajo, el representante del Departamento de Ingeniería ha seleccionado los siguientes factores como influyentes en el diseño del muelle:

- Longitud del muelle sin carga.
- Espesor del alambre.
- Tipo de acero.

Con objeto de conocer el grado de influencia de cada uno de estos factores, así como su posible interrelación, en esta primera reunión se acuerda llevar a cabo un experimento factorial a dos niveles. Se van a realizar dos réplicas, es decir, se ensayarán dos solo muelles de cada tipo. Los niveles elegidos para cada uno de ellos factores se indican en la tabla siguiente.

Factores	Abreviatura	+	-
Longitud (cm)	L	10	15
Grosor (mm)	G	5	7
Tipo de acero	T	A	B

En esta reunión también se tomaron las siguientes medidas:

- Se planificó la fabricación de los prototipos de los muelles de modo que la misma fuese lo más homogénea posible.
- El orden de la fabricación de cada uno de los prototipos de los muelles se hará de manera aleatoria, es decir, en general la fabricación de cada pareja de muelles iguales no se hará de forma consecutiva.
- Un vez fabricados se someterán a un ensayo acelerado de fatiga. Se preparará un protocolo para estandarizar el ensayo por su fuera necesario repetirlo posteriormente en un ensayo posterior. La dureza del ensayo asegura la rotura de todos los muelles dentro del tiempo previsto para el ensayo, ya que si no fuera así, el análisis del ensayo con datos censurados se complicaría enormemente.
- Se aseguró la calibración de los instrumentos utilizados.

En la reunión le encomiendan a Ud que prepare la matriz del diseño.

² Ejemplo tomado y adaptado del texto: Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad. Albert Prats Bartés, Xavier Tort-Martorell Llabrés, Pere Grima Cintas, Lourdes Pozueta Fernández. Edicions UPC. 1.994.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

Suponiendo que se hayan obtenidos los resultados de la tabla siguiente (dos tandas de ensayos replicados, (kiclos hasta la rotura). Estimar los efectos de los factores significativos.

Exp.	L	G	T	LG	LT	GT	LGT	R1	R2	Media	Div.	Efecto	
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	77	81	79	8	81,75	Media
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	98	96	97	4	18	L
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	76	74	75	4	1,5	G
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	90	94	92	4	-1	LG
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	63	65	64	4	-8	T
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	82	86	84	4	0,5	LT
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	72	74	73	4	6	GT
8	1	1	1	1	1	1	1	92	88	90	4	-0,5	LGT

EJERCICIO 3.12.

LACADOS, S.A está poniendo a punto un nuevo proceso de acabado superficial en madera. El proceso consiste esencialmente en una cinta transportadora que arrastra las piezas a una cabina dónde se le chorrea un producto químico. Hasta el momento las pruebas no eran totalmente satisfactorias debido a la falta de uniformidad de la capa depositada. Para mejorar este proceso constituyó un grupo de trabajo formado por un ingeniero de proceso, un técnico de laboratorio y un ingeniero de calidad. Éste último sugirió realizar algunos ensayos para caracterizar el comportamiento del proceso. Al planificar los ensayos, el grupo de trabajo se enfrentó a dos problemas:

1. Cómo medir la uniformidad de la capa depositada de una manera sencilla.
2. Cuáles son los factores que afectan al proceso.

Para resolver el primer punto, el técnico de laboratorio ideó un método basado en la cantidad de luz reflejada en una dirección determinada por una probeta tratada por el proceso de protección superficial, y compararla con la reflejada por un espejo. Esto se basa en la idea de que cuanto más rugosa es la capa depositada más disperso es el haz de luz reflejado.

El segundo punto lo resolvió el ingeniero de proceso quien identificó los factores indicados en la tabla. También indicó el rango de valores en los que de acuerdo con su experiencia podrían situarse los factores y el valor actual de operación.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

Factor	Valor actual	Máximo	Mínimo
Cantidad de producto en g/min.	100 g/min.	130 g /min.	80 g /min.
Velocidad de avance de la cinta	5 m / min.	8 m/min.	3 m/min.

Además el ingeniero de proceso atribuía el problema al tipo de producto utilizado (A) y sugería la utilización del (B) pese a que este es bastante más caro.

- Con esta información se pretende planificar los ensayos para mejorar el proceso.
- El grupo de trabajo acordó realizar un ensayo 2^3 sin replicar. Las condiciones de ensayo elegidas y los resultados de los ensayos son los siguientes:

Factor	Alto	Bajo
Cantidad depositada en g/min.	110 g /min.	90 g /min.
Velocidad de avance de la cinta	6 m/min.	4 m/min.

A continuación se reproduce la matriz de diseño con los valores obtenidos:

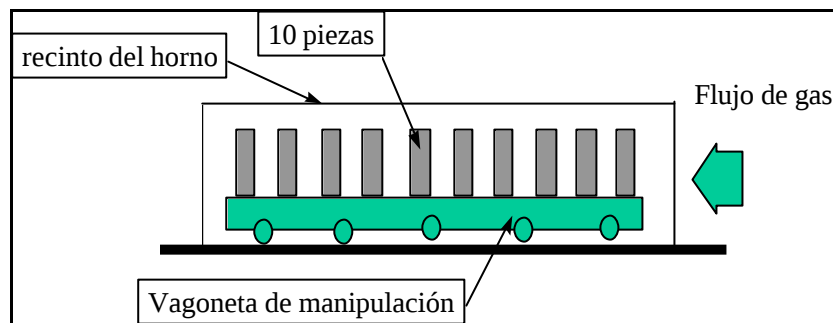
Ensayo número	Orden	Cantidad de pintura: (C)	Velocidad de avance: (V)	Tipo de pintura: (P)	CV	CP	VP	CV P	Respuesta
1	2	-1	-1	-1	1	1	1	-1	40
2	4	1	-1	-1	-1	-1	1	1	25
3	5	-1	1	-1	-1	1	-1	1	30
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	50
5	8	-1	-1	1	1	-1	-1	1	45
6	6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	25
7	7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	30
8	3	1	1	1	1	1	1	1	52

- ¿Qué efectos son significativos?.
- ¿Está justificado el cambio de pintura?
- ¿Hacia donde sugiere cambiar el punto de operación del proceso?

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 3.13.

ALEACIONES ESPECIALES, S.A es una empresa dedicada a la fabricación de piezas con cerámicas especiales. Ha conseguido recientemente un contrato para el suministro de unas piezas de muy alto valor para un contrato del Ministerio de Defensa. La fabricación de estas piezas requiere un tratamiento térmico especial en flujo de gas inerte, según se describe en el esquema de la figura.



En el primer lote fabricado se detectaron defectos en varias de las piezas (microgrietas), lo que puede comprometer la continuación del contrato. La dirección de la empresa le pide que solucione el problema. Los ingenieros del proceso le indican que:

- Por la propia geometría de la colocación de las piezas sobre el carro, el flujo de gas tiene un régimen turbulento. La causa de los defectos puede ser el gradiente de temperaturas al que da lugar la incidencia desigual del gas sobre las piezas y sobre cada cara de la pieza.
- Los factores que se pueden controlar en el proceso son la velocidad del gas, el tiempo de permanencia y la temperatura del horno. Además se puede modificar la proporción del componente A, de modo que se disminuya la fragilidad y por lo tanto la propensión a las grietas.

Defina una estrategia para solucionar el problema.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 3.14. (NUEVO)

En un proceso de protección superficial se ha realizado el plan de experimentación recogido en la tabla siguiente:

Potencia eléctrica W	Agitación baño	Nivel actividad baño	Temp. ° C.	Nivel baño m	Espesor recubrimie nto mm
60	40	80	15	0.05	3.444
70	10	80	15	-0.05	4.314
60	10	100	15	0.05	2.893
70	40	100	15	-0.05	2.591
60	40	80	20	-0.05	3.269
70	10	80	20	0.05	4.024
60	10	100	20	-0.05	3.548
70	40	100	20	0.05	3.015

La “agitación del baño” indicada corresponde a la posición elegida del mando de agitación y el “nivel de actividad del baño” es función del desgaste del ácido.

1. Describa el plan de ensayos anterior:
 - Generadores y ecuaciones de generación.
 - Relación de definición.
 - Resolución.
 - Codificación del diseño factorial fraccional.
 - Estructura de alias, suponiendo despreciables las interacciones de tercer orden y superiores.
2. Estime los efectos de los factores en el espesor.
3. Indique cuales son estadísticamente significativos.
4. Si el proceso operara en las condiciones indicadas a continuación ¿qué predicción daría para el espesor medio de la protección superficial?
 - Potencia eléctrica, 65 W.
 - Nivel de agitación del baño, 20.
 - Nivel de actividad del baño, 90.
 - Temperatura, 18° C.
 - Nivel del baño, 0.00 m.

EJERCICIOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

EJERCICIO 3.15. (NUEVO)

Con objeto de evaluar las mejoras en el diseño de un colector solar, se ha realizado una prueba comparativa del modelo actual (A) y del prototipo de la nueva versión (B). La prueba se ha hecho de manera simultanea, estando los colectores situados muy próximos y con la misma orientación. Las pruebas se han realizado durante 9 días y la tabla siguiente recoge los valores medios de cada colector para cada uno de los días (vatios).

Colector	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
A	203,3	204,5	202,2	197,7	203,0	198,0	204,8	199,5	201,3
B	204,5	207,8	205,0	204,1	205,2	205,7	205,7	202,8	202,3

Los datos se han analizado con EXCEL y se ha obtenido la siguiente salida:

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	A	B
Media	201.588889	204.788889
Varianza	7.06611111	2.70611111
Observaciones	9	9
Coeficiente de correlación de Pearson	0.46276874	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	-4.01220844	
P(T<=t) una cola	0.00194154	
Valor crítico de t (una cola)	1.85954832	
P(T<=t) dos colas	0.00388308	
Valor crítico de t (dos colas)	2.30600563	

Realice el planteamiento estadístico e interprete el resultado.