

MATERIA
Proxectos

TITULACIÓN
Enxeñaría Química

unidade
didáctica
11

Xestión e control da calidade

Amaya Franco Uría

Área de Enxeñaría Química
Departamento Enxeñaría Química
ETSE

unidadesdidácticas
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

DESCATALOGADO

© Universidade de Santiago de Compostela, 2014



Esta obra atópase baixo unha licenza Creative Commons BY-NC-ND 2.5
Calquera forma de reprodución, distribución, comunicación pública ou transformación desta obra non incluída na licenza Creative Commons BY-NC-ND 2.5 só pode ser realizada coa autorización expresa dos titulares, salvo excepción prevista pola lei. Pode acceder Vde. ao texto completo da licenza nesta ligazón:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/deed.gl>

Deseño e maquetación

J. M. Gairí

Edita

Vicerreitoría de Estudantes,
Cultura e Formación Continua
da Universidade de Santiago de Compostela
Servizo de Publicacións
da Universidade de Santiago de Compostela

ISBN

978-84-16183-36-4

MATERIA: Proxectos

TITULACIÓN: Enxeñaría Química

PROGRAMA XERAL DO CURSO

Localización da presente unidade didáctica

BLOQUE TEMÁTICO I: TIPOLOXÍA E ESTRATEXIA DE PROXECTOS

Unidade I. Os proxectos en enxeñaría

Definición e obxectivos dun proxecto

Tipos de proxectos

Metodoloxía e fases dun proxecto industrial

A organización e documentación dun proxecto

Unidade II. Estratexia e competencia

Estudo de mercado e técnicas de proxección de mercados

Tamaño dun proxecto

Economía de escala

Estudios previos de viabilidade

Localización dunha planta industrial

Modelos de asignación de localizacións

BLOQUE TEMÁTICO II: ENXEÑARÍA DE PROCESO E DOCUMENTOS DO PROXECTO

Unidade III. Bases do deseño

Especificación de materias primas, produtos e servizos

Balances de materia e enerxía

Diagrama de bloques e Diagrama de fluxo (PFD)

Deseño de equipos e deseño mecánico

Selección de materias e follas de especificación de equipos

Unidade IV. Diagrama de tubarías, instrumentación e control (P&ID)

Simbología e nomenclatura

Follas de especificación de instrumentación

Distribución en planta: métodos de optimización

Planos de implantación (layout): normas

Casos de estudo

Unidade V. Presuposto e avaliación económica

Investimentos, capital inmovilizado e circulante

Tipos de custos e distribución

Avaliación económica de proxectos

Fluxos de caixa, rendibilidade, VAN, TIR

Análises de sensibilidade e de risco

Unidade VI. Metodoloxía para a realización da memoria do proxecto

Memoria descritiva

Memoria xustificativa: presentación de cálculos

Prego de condicións, definición e estrutura

Unidade VII. Estudo de seguridade e saúde laboral

Documentación básica

Guía para confección do estudo básico de seguridade e saúde

Exemplos

BLOQUE III: XESTIÓN DE PROXECTOS

Unidade VIII. Programación do proxecto

Fases: iniciación, planificación, execución, comprobación e retroalimentación

Norma ISO 10006

Distribución óptima de recursos humanos e temporais

Diagramas de Gantt e análises PERT

Unidade IX. Sustentabilidade do proxecto

Definición de sustentabilidade

Indicadores de sustentabilidade

Deseño sostible de proceso

Unidade X. Xestión ambiental

Normas ISO 14000

Avaliación simple de impacto ambiental

Tratamento de efluentes, contaminación acústica e impacto visual

Unidade XI. Xestión e control da calidade

Definicións e conceptos

Certificación da calidade: normas ISO 9000

Ferramentas de xestión de calidade

Métodos estatísticos de control de calidade

Unidade XII. Lexislación aplicable a proxectos

Solo

Construción e actividades

Instalacións

Medio ambiente

Seguridade

ÍNDICE

PRESENTACIÓN

OS OBXECTIVOS

A METODOLOXÍA

OS CONTIDOS

1. Xestión da calidade

1.1. Estratexias de xestión de calidade

1.1.1. Coñecer as necesidades do cliente

1.1.2. Focalizar o deseño

1.1.4. Deseño por comparación

1.2. Certificación da calidade

1.3. Deseño para a calidade

Control da calidade

2.1. Gráficas de control

2.1.1. Gráfica X

2.1.2. Gráfica R

2.1.3. Gráficas de control para atributos

2.1.4. Gráficas p para tamaños variables de subgrupo

2.2. Mostraxe de aceptación

ACTIVIDADES PROPOSTAS

AVALIACIÓN DA UNIDADE DIDÁCTICA

ANEXO

BIBLIOGRAFÍA

PRESENTACIÓN

A unidade didáctica (UD) de “Xestión e control da calidade” está incluída no terceiro bloque da materia obrigatoria “Proxectos”, que se imparte no primeiro semestre do último curso (5º) de Enxeñaría Química. O bloque III inclúe as UD relacionadas coa xestión de proxectos, abordándose na unidade 11 os conceptos básicos necesarios para a xestión, certificación e o control da calidade.

A materia de Proxectos é de carácter multidisciplinar e trata do desenvolvemento e a presentación formal de proxectos no ámbito da Enxeñaría Química. Preséntanse en detalle os procesos de toma de decisión, avaliación da viabilidade e deseño de unidades, xunto coa descrición do marco legislativo e regulamentario dos proxectos de enxeñaría.

Na presente UD introdúcese unha visión xeral do concepto de calidade, que comeza pola súa definición dende varios enfoques. Amósanse diferentes métodos de xestión de calidade, así como as principais características das normas ISO 9000, que son o instrumento fundamental para a súa certificación. Por último, o estudo do control estatístico de calidade permitirá coñecer aquelas situacións nos que os procesos de produción incumpran os estándares de calidade impostos.

A impartición da UD terá unha duración de 6 horas, das cales 3 horas serán de teoría e 3 horas serán de seminarios. As sesións de clase serán de 2 horas.

OS OBECTIVOS

Esta UD ten como obxectivo xeral introducir os conceptos básicos da calidade no proceso e no produto. Ao completar a UD os alumnos estarán capacitados para:

- Entender o concepto de calidade coma un cumprimento de especificacións.
- Coñecer diferentes sistemas de xestión de calidade.
- Coñecer as principais características e as etapas necesarias para acadar a certificación de calidade.
- Identificar as etapas de proceso onde sería necesario implementar control de calidade.
- Seleccionar o método máis adecuado para o control de calidade segundo as características do proceso.

A METODOLOXÍA

Nas **clases expositivas**, o profesor impartirá os contidos teóricos da UD co apoio dos medios audiovisuais presentes na aula. Previamente ás clases, os alumnos terán o material dispoñible en liña na aula virtual da materia. Nas clases fomentárase a participación do estudantado mediante a formulación de cuestións, sobre todo naquelas sesións onde os conceptos teóricos teñan unha clara demostración mediante exemplos prácticos concretos.

As **clases interactivas (seminarios)** terán como obxectivo afianzar os coñecementos amosados nas clases expositivas. O profesor proporá unha serie de problemas, e resolverá os máis representativos na aula a modo de exemplo. Os restantes exercicios serán desenvolvidos mediante a participación de todos os alumnos na seguinte sesión de clase, coa asistencia do profesor en caso necesario. Adicionalmente, o estudantado disporá de máis exemplos de problemas no entorno virtual da materia. A participación en clase, especialmente nas clases interactivas, será un factor tido en conta na avaliación continua.

Nas **sesións de titoría** da materia, resolveranse as dúbidas dos alumnos. As titorías serán desenvolvidas preferentemente de forma individual, xa que é a forma máis adecuada considerando os contidos da UD.

OS CONTIDOS

1. Xestión da calidade

A xestión da calidade é unha actividade preventiva que ten o seu foco de atención sobre os procesos. Os principais aspectos que inclúe son:

- monitorizar e mellorar os procesos produtivos;
- planificar o control de calidade a realizar;
- utilizar os resultados do control de calidade para mellorar os procesos.

Aínda que o concepto de calidade é facilmente comprensible, a súa definición precisa como unha cantidade medible non é fácil. Unha definición útil para este concepto é o **cumprimento das especificacións**, xa que isto pode medirse e cuantificarse. Unha vez que se pode cuantificar, pódese mellorar. Con todo, tal definición non chega a abarcar todos os aspectos do que se entende por calidade, e como a percibe o cliente. Por tanto, esta definición débese ampliar para apreciar mellor a complexidade da calidade, considerándoa ao longo de oito dimensións básicas agrupadas en dúas categorías. A primeira categoría corresponde ao **apego aos requirimentos** e inclúe aspectos como desempeño, características, confiabilidade, apego ou durabilidade. A segunda categoría considera a **satisfacción do cliente** e inclúe a facilidade de servizo, a estética e a calidade percibida de forma subxectiva.

A xestión da calidade tamén se pode definir como o compromiso total de todas as partes dunha compañía ou empresa coa misión da calidade, e enténdese como unha oportunidade para mellorar. A entrega de calidade ao cliente é un problema moito máis complexo que os que se encaran con aspectos estatísticos soamente. Para promover a calidade é necesario o recoñecemento formal por parte de axencias ou organizacións. A máis recoñecida e importante hoxe en día é a **certificación** da Organización Internacional de Estándares, ISO 9000, que require que as compañías documenten claramente as súas políticas e procedementos. Aínda cando o proceso de certificación é custoso tanto en tempo como en diñeiro, con frecuencia é necesario para facer negocios en moitos países.

1.1. Estratexias de xestión de calidade

1.1.1. Coñecer as necesidades do cliente

Unha parte importante da xestión da calidade consiste en escoitar ao consumidor. Este proceso pódese levar a cabo mediante diferentes medios, e ten como finalidade investigar que é o que quere o cliente, é dicir, priorizar as necesidades do cliente e vincularlas co deseño do produto. Como exemplo deste aspecto, non ten sentido deseñar e fabricar radiadores para a súa venda en países cálidos. Polo tanto, parte do proceso de entregar calidade ao cliente é coñecer as súas necesidades. Atopar o que quere o cliente e incorporar eses desexos no deseño e a manufactura do produto é un proceso de pasos múltiples. O primeiro paso do proceso é a obtención de información, e hai varios medios para obtelos. Tradicionalmente, a opinión do cliente potencial solicítase a través de entrevistas e enquisas, ou grupos de enfoque. Estas metodoloxías teñen tanto vantaxes como inconvenientes, polo que hai moitos aspectos que deben tomarse en conta, empregando a máis adecuada segundo o caso particular. Unha vez que se obtén a información e se desenvolve unha base de datos, deben priorizarse e agruparse as necesidades e os desexos do cliente. Dispónse de varios métodos para isto. Un que recibiu moita atención na literatura de mercadotecnia é a análise conxunta. A análise conxunta é unha técnica baseada na estatística para estimar a utilidade dos atributos do produto con base nos datos da preferencia do cliente. Unha vez que se determinan e agrúpanse os atributos, é necesario enlazar estes atributos cos procesos de deseño e manufactura. Isto faise xeralmente mediante un enfoque matricial, no que a forza das correlacións entre as necesidades do cliente e os atributos do produto ou as características de deseño mostra onde debe pórse a énfase cando se considera o deseño de produtos novos ou os cambios de deseño nos produtos existentes. Aínda que é fundamental coñecer a opinión do cliente, debe terse coidado en non pór demasiada énfase neste aspecto. As innovacións reais non proveñen do cliente senón dos visionarios. Ao deixar que o consumidor dirixa o proceso, as empresas non soamente deixan de innovar, senón que tamén optan por crear novas ofertas que son seguras pero brandas.

1.1.2. Focalizar o deseño

Xa que é posible definir a calidade de varias maneiras, unha boa estratexia pode ser **focalizar o deseño ao longo de unha ou varias dimensións de calidade**. Un enfoque baseado no desenvolvemento de tecnoloxía permite ser un líder tecnolóxico, pero fai vulnerable fronte a unha competencia cun desempeño comparable e unha mellor confiabilidade. Por outra banda, pódense requirir diferentes dimensións de calidade para un mesmo produto, dependendo do cliente. Por exemplo, unha mellor confiabilidade en que un ordenador non se colgue é unha vantaxe para moitos clientes (bancos, administracións públicas, etc.) fronte ao deseño ou a extrema rapidez, polo que están dispostos a pagar unha bonificación por mellorar ese aspecto en concreto. A alta confiabilidade tamén é un dos principais factores do éxito dos fabricantes de automóviles xaponeses fronte a europeos e norteamericanos. Outros exemplos, a

banca é unha industria que compite ao longo da dimensión do servizo, mentres que outras compañías basean as súas estratexias en fornecer ao consumidor o produto da máis alta calidade, independentemente do custo. En resumo, varias empresas acadaron o éxito mediante unha estratexia de negocios baseada en levar o liderado do mercado ao longo dunha ou dúas dimensións de calidade. Con todo, isto pode facelas vulnerables á competencia.

1.1.4. Deseño por comparación

O **benchmarking** (avaliación por comparación) implica medir o rendemento propio contra o dos competidores, e está a gañar importancia á luz do incremento da competencia global. Resulta esencial establecer prioridades e confirmar que son consistentes coas necesidades do mercado dependendo fundamentalmente da súa localización. Por exemplo, é sobradamente coñecida a prioridade das empresas nipoas pola confiabilidade nos seus produtos. Existen diferentes tipos de benchmarking, como se expón a continuación.

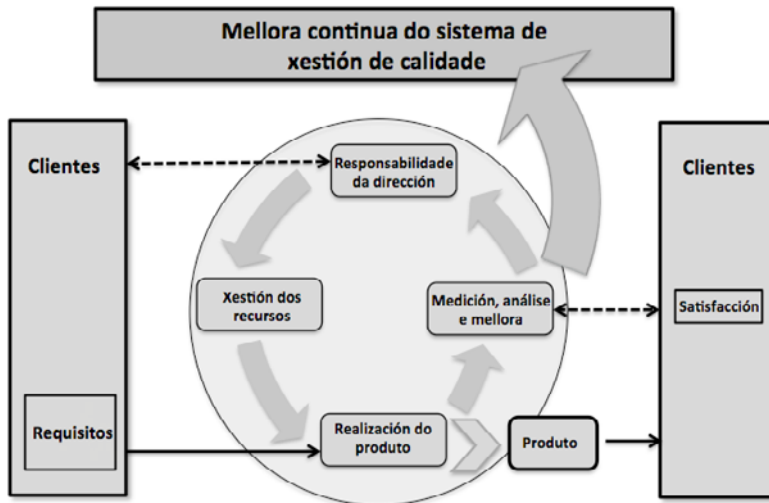
O benchmarking **do produto** significa desarmar o produto dun competidor para ver que pode aprenderse sobre o seu deseño e construción. O benchmarking **funcional** enfócase no proceso máis que no produto. Os procesos típicos poderían ser a entrada da orde, a ensamblaxe, o desenvolvemento de probas do produto, e o frete. Este tipo de método é posible só cando as compañías teñen a vontade de cooperar e compartir a información. Ten o mesmo obxectivo que o benchmarking do produto: mellorar o proceso e finalmente o produto resultante. O benchmarking **das mellores prácticas** é similar ao benchmarking funcional, salvo que se enfoca nos recursos humanos da empresa no canto de en un proceso específico. As mellores prácticas poden considerar factores como o ambiente de traballo e os incentivos salariais para os empregados en compañías cun desempeño excepcional. Por último, o obxectivo do benchmarking **estratéxico** é considerar os resultados doutras comparacións de benchmarking á luz do enfoque estratéxico da compañía.

1.2. Certificación da calidade

Conforme a calidade convértese nun aspecto cada vez máis importante para os procesos produtivos a nivel mundial, diversas organizacións desenvolveron diferentes normas e guías segundo o país, a rama industrial, etc. En 1992 a Organización Internacional de Estándares (ISO), con base en Suíza, estableceu as bases de **ISO 9000**. Este foi o primeiro intento para desenvolver un estándar uniforme verdadeiramente global para a calidade. As normas ISO 9000 son aceptadas en todo o mundo como unha linguaxe común que garante a calidade continua de todo aquilo que unha organización ofrece. Para que unha empresa obteña o rexistro de ISO 9000, debe documentar cuidadosamente todos os seus sistemas e os seus procedementos. As compras, o manexo dos materiais, a manufactura, a distribución, as políticas relacionadas co sistema e a contratación, débense levar mediante rexistro e están suxeitos á documentación e a certificación de ISO. Este proceso de revisión e

documentación implica un gasto considerable en tempo e diñeiro, pero claramente é compensado polas vantaxes de obter a certificación. Unha delas xa procede do proceso mesmo: a documentación coidadosa das prácticas de calidade revela onde fallan estas prácticas e onde hai problemas que resolver. Non obstante, a máis evidente é a posibilidade de negociar cunha maior cantidade de clientes en calquera país que esixa esta certificación como garantía de calidade. Como estratexia principal das normas ISO, establécense os **principios de Xestión da Calidade establecidos pola norma ISO 9001**: xestión dos recursos (plan), realización do produto (do), medición, análise e mellora (check) e actuación para acadar esa mellora, que é responsabilidade da dirección (act). Estes principios reflicten as mellores prácticas, sendo a súa interrelación a que se mostra na Figura 1.

Figura 1. Sistema de mellora continua da ISO 9001

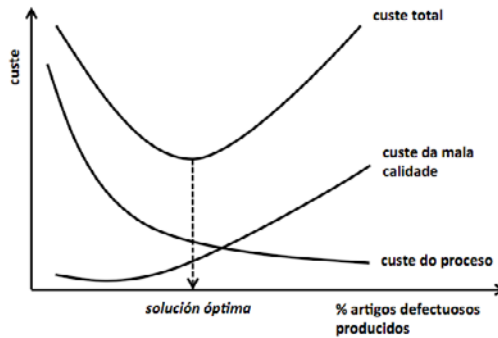


O pensamento tradicional é que as iniciativas de calidade son caras. Para alcanzar unha alta confiabilidade e o apego ás especificacións, poderían requirirse gastos substanciais de capital (véxase a Figura 2). Con todo, que a calidade custe máis non está do todo claro. Ademais de prexudicar a base de clientes, hai numerosos custos directos pola mala calidade. Estes inclúen os custos dos inventarios adicionais do traballo en proceso, os custos da chatarra, os custos do reprocesado, e os custos de inspección (Figura 2).

As compañías encaran riscos crecentes se hai problemas de deseño e/ou confiabilidade nos seus produtos. Estes fallos na calidade conducirán a demandas e acordos custosos (por exemplo, un coche que provoque un accidente). En xeral, moitos estudos mostran que as compañías que producen produtos de máis alta

calidade teñen unha retribución máis alta, unha maior participación no mercado, e máis ganancias que as compañías que producen produtos de menor calidade.

Figura 2. Custes óptimos de proceso dende o enfoque da calidade



1.3. Deseño para a calidade

O deseño para a calidade significa que deberá minimizarse o número de partes que fallan facilmente, ou aquelas que complican significativamente ao proceso de manufactura. O deseño simple é un factor importante na confiabilidade e o éxito do produto no mercado. O ciclo de deseño é unha parte importante da cadea da calidade. Recoméndanse o seguintes tres pasos no ciclo de deseño de enxeñaría Taguchi *et al.* (1989):

- **Deseño do sistema.** Este é o deseño básico do prototipo que cumpre coas especificacións de desempeño e tolerancia. Inclúe a selección de materiais, partes, compoñentes e a ensamblaxe do sistema.
- **Deseño de parámetros.** Despois que se desenvolve o deseño do sistema, o seguinte paso é a optimización dos parámetros do sistema. Dado un deseño de sistema, xeralmente hai varios parámetros do sistema cuxos valores deben determinarse. Un deseño de parámetros pode ser a ganancia dun transistor que é parte dun circuíto. É necesario atopar unha relación funcional entre o parámetro e a medida de desempeño do sistema para determinar un valor óptimo do parámetro.
- **Deseño de tolerancias.** O propósito deste paso é determinar os rangos permisibles para os parámetros cuxos valores se optimizan no paso 2. Alcanzar o valor óptimo dun parámetro pode ser moi caro, mentres que un valor subóptimo podería dar a calidade desexada a un custo menor. O paso do deseño de tolerancias require unha avaliación explícita sobre os custos asociados cos valores dos parámetros do sistema.

Os mesmos conceptos poden aplicarse ao deseño do proceso de produción unha vez que o deseño de produto foi terminado. A fase do deseño do sistema corresponde ao deseño do proceso real de manufactura. Na fase do deseño de parámetros identifícanse medidas que afectan o proceso de manufactura. Os exemplos típicos son a variación da temperatura, a variación da materia prima e a variación da voltaxe de entrada. Na fase do deseño de tolerancias, determínanse rangos aceptables para os parámetros identificados na fase 2.

Todos os conceptos mostrados neste apartado de xestión de calidade levan a que ao realizar un maior investimento fronte a un deseño sólido de produto, o consumidor será recompensado con produtos superiores e a empresa será recompensada coa lealdade do cliente.

Control da calidade

O control de calidade é unha actividade de prevención que se centra nos produtos, sendo os seus obxectivos principais:

- comparar os produtos contra atributos ou propiedades previamente definidos;
- identificar e dar a coñecer defectos, e verificar posteriormente que se cumpran as correccións pertinentes;
- desenvolver tarefas de validación e verificación de produtos;
- comprobar a calidade dos produtos intermedios e a do produto final.

O control estatístico da calidade constitúe un conxunto de técnicas baseadas nas teorías da probabilidade e na mostraxe estatística para controlar a variación dos procesos e para determinar se os lotes de manufacturas cumpren cos niveis desexados de calidade. Baséase no emprego de dúas metodoloxías: a **gráfica de control** e a **mostraxe de aceptación**. Brevemente, unha gráfica de control é un medio gráfico para determinar se a distribución subxacente dalgunha variable medible puidese experimentar unha variación. A mostraxe de aceptación é o conxunto de procedementos para deducir as características dun lote a partir das características dunha mostra de artigos dese lote. Falarase de cando e como deben de aplicarse cada un deles.

2.1. Gráficas de control

Unha gráfica de control describe a saída dun proceso de produción con respecto ao tempo e sinala cando puido ocorrer un cambio na distribución de probabilidade que xera as observacións. É un método gráfico simple para controlar un proceso en tempo real. A base subxacente das gráficas de control estatístico é a distribución normal. A distribución normal (a distribución con forma de campá) ten a propiedade de que a media \pm dúas desviacións estándar ($\mu \pm 2\sigma/\sqrt{n}$) contén aproximadamente o 95% da poboación, e a media \pm tres desviacións estándar ($\mu \pm 3\sigma/\sqrt{n}$) contén máis do 99% da poboación. Estas propiedades son as que constitúen a base das gráficas de control estatístico. Considérese un proceso de manufactura que produce un

artigo cunha propiedade medible que debe cumprir unha especificación dada, e se promedian as medicións desta cantidade en subgrupos (comunmente de tamaño catro ou cinco). O teorema do límite central (TLC) garante que a distribución da medición media terá unha distribución aproximadamente normal. Se a media dun subgrupo se sitúa fóra por dous ou tres límites de σ da distribución normal, é improbable que tal desviación se deba ao azar. Iso apunta a unha situación fóra de control que podería requirir unha intervención no proceso. Esta é a base da gráfica X .

Por outra banda, surxe a pregunta de ¿por qué non empregar métodos estatísticos clásicos para o control da calidade? As gráficas de control sinalan observacións non representativas nunha mostra. A hipótese de que ocorreu unha desviación do proceso tamén pode probarse mediante os métodos estatísticos clásicos. Con todo, no contexto da manufactura hai maior preocupación coas desviacións extremas dunhas cantas observacións que coa media de moitas desviacións, o que proporciona unha razón para que os profesionais prefiran a metodoloxía da gráfica de control. Outra razón da preferencia polas gráficas de control é que son fáciles de usar e de entender. O persoal que se encarga do control de calidade están máis familiarizados coas gráficas de control que cos métodos estatísticos clásicos.

2.1.1. Gráfica X

Unha gráfica X require que os datos mostrados se dividan en subgrupos de tamaño fixo. O tamaño dos subgrupos no exemplo das mostras da Táboa 1 (n) debe ser polo menos 4 para que sexa aplicable o teorema do límite central ($n \geq 4$). Co propósito de construír unha gráfica X , é necesario estimar a media \bar{X}_i e o rango R para cada mostra ou subgrupo. Así, para a mostra nº 1, defínese $\bar{X}_1 = (\sum_{i=1}^n X_{1i})/n$, e $R_1 = \max X_{1i} - \min X_{1i}$, para $i = 1, \dots, n$. Por outra banda, necesítase estimar a media (μ) e a varianza (σ^2) da mostra da poboación, é dicir, incluíndo todos os datos para as d mostras. Isto pode facerse usando as fórmulas tradicionais de estatística. Con todo, xeralmente non se recomenda que se use a desviación estándar (σ) da mostra como unha estimación de σ^2 ao construír unha gráfica X . Para que σ (a desviación estándar) sexa unha estimación exacta de σ^2 é necesario que a media básica da mostra sexa constante. Como o propósito dunha gráfica X é determinar se ocorreu unha desviación na media, non debemos supor *a priori* que a media é constante ao estimar σ .

Táboa 1. Estrutura de mostra de poboación para gráficas de control

	Número de mostra				
Día mostraxe	1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}
	2				
	...				
	d	X_{d1}		...	X_{dn}

Un método alternativo para estimar a variación da mostra que permanece exacta cando cambia a media poboacional é empregar os rangos dos datos. Aínda se hai unha desviación na media do proceso, os rangos serán estables sempre que a variación do proceso sexa estable. Existe unha relación entre a desviación estándar da poboación e o rango dos subgrupos dun tamaño dado que depende do tamaño do subgrupo, unha constante que é d_2 (tabulada), tal que $\sigma = \bar{R}/d_2$, sendo \bar{R} a media dos rangos observados, estimándose como $\bar{R} = (\sum_{j=1}^d R_j)/n$ e σ unha estimación da desviación estándar da poboación. Os constantes d_2 para os diferentes tamaños de subgrupo móstranse tabulados. Unha vez que se obteñen as estimacións da media e a desviación estándar da media do grupo, as gráficas de control constrúense da seguinte maneira: débúxanse liñas para os límites de control superior e inferior en $\mu \pm 3\sigma/\sqrt{n}$, sendo n o tamaño do subgrupo. As medias dos grupos ($\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_d$) se representan cunha frecuencia diaria. Dise que o proceso está fóra de control se unha observación sitúase fóra dos límites de control.

2.1.2. Gráfica R

A gráfica X úsase para probar se hai algunha desviación no valor medio dun proceso. En moitos casos tamén estamos interesados en facer probas para ver se hai unha desviación na varianza do proceso. A variación do proceso pode monitorizarse examinando as varianzas da mostra das observacións do subgrupo. Con todo, os rangos dos subgrupos dan aproximadamente a mesma información e son moito máis fáciles de calcular. A teoría detrás da gráfica R é que cando a poboación que se manexa é normal, existe unha relación entre o rango da mostra e a desviación estándar da mostra que depende do tamaño da mostra.

Normalmente, desenvolveríase unha gráfica R antes que unha gráfica X con obxecto de obter unha estimación correcta da varianza. O propósito da gráfica R é determinar se a variación do proceso resulta estable. Para que sexan correctos os valores das estimacións usadas ao construír a gráfica X , a varianza do proceso debe ser constante. É dicir, recoméndase que a gráfica R se use antes que a gráfica X , xa que unha gráfica X supón que a variación do proceso é estable. Os límites inferior (Li) e superior (Ls) desta gráfica están dados polas fórmulas $Li = d_3\bar{R}$ e $Ls = d_4\bar{R}$, onde \bar{R} é a media dos rangos de todos os subgrupos de tamaño n , e os valores dos constantes d_3 e d_4 e móstranse tabulados, e tamén dependen do valor de n . Os límites de control así calculados supoñen o límites tres σ para o rango do proceso.

As gráficas R non son o único medio para probar a estabilidade da variación do proceso. Tamén podería usarse unha gráfica σ . Para isto, represéntanse as desviacións estándar da mostra dos subgrupos con respecto ao tempo para determinar se ocorre unha desviación estatisticamente significativa nestes valores e cando sucede. As gráficas σ úsanse de cando en cando na práctica por dúas razóns: i) costa máis traballo calcular as desviacións estándar da mostra para cada subgrupo que calcular os rangos e ii) as gráficas R e as gráficas σ case sempre proporcionan os mesmos resultados.

2.1.3. Gráficas de control para atributos

As gráficas X e R son de utilidade para controlar os procesos cando a calidade está definida por unha soa propiedade medible, como lonxitude ou o ancho. Con todo, existen dúas situacións nas cales as gráficas de control para variables non son apropiadas: i) cando a preocupación é se o artigo ten un atributo específico (por exemplo, o problema pode ser se o artigo funciona) e ii) cando hai moitas variables de calidade diferentes. No caso ii) non é práctico nin é efectivo para os custos manter gráficas de control separadas para cada variable. O artigo ten os atributos desexados ou non os ten. Se se usan as gráficas de control para atributos, cada valor da mostra é 1 ou 0. Un 1 significa que o artigo é aceptable, e un 0 significa que non o é. Defínese n como o tamaño do subgrupo de mostraxe e defínese á variable aleatoria X como o número total de elementos defectuosos no subgrupo. Suponse que cada subgrupo representa unha mostraxe da produción dun día. A teoría sería exactamente a mesma independentemente de que o intervalo de mostraxe sexa dunha hora, un día ou un mes. Xa que X conta o número de elementos defectuosos nun tamaño fixo de mostra, a distribución subxacente de X é binomial con parámetros n e p . Interpretase a p como a proporción de elementos defectuosos producidos e n como o número de artigos mostrados en cada grupo (comunmente, n é o número de artigos mostrados cada día). Unha gráfica p úsase para determinar se existe unha desviación importante no valor verdadeiro de p . Aínda que poderían construírse gráficas p con base na distribución binomial exacta, é máis común e sinxelo usar unha aproximación normal. Tendo en conta que ademais o interese reside en estimar o valor de p , o que se rastrea e a variable aleatoria X/n , cuxa esperanza é p , no canto de X mesma. Para valores grandes de n , o teorema do límite central dinos que X/n ten unha distribución aproximadamente normal con parámetros $\mu = \bar{p}$ e $\sigma = \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$. Co uso dunha aproximación normal, os límites (L) tres σ tradicionais serían $L = \bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$.

A estimación da proporción verdadeira de artigos defectuosos na poboación, é \bar{p} , a fracción media de artigos defectuosos observados durante un período razoable da liña base. Dise que o proceso está baixo control sempre que a fracción observada de artigos defectuosos para cada subgrupo permaneza dentro dos límites de control superior e inferior. Ilustrarase a construción da gráfica p cun exemplo: a empresa Marela dedícase a fabricación de cartóns para o envasado de leite. Para controlar a calidade do produto, inspecciónanse 75 cartóns da produción diaria, que é de 2500 envases ó día. En base a diferentes atributos, o responsable de calidade clasifica cada un deles como aceptable ou non. Os datos obtidos para un período de mostraxe típico (18 días) amósanse na Táboa 2. Para construír a gráfica de control p , é necesario coñecer a fracción verdadeira de artigos defectuosos do período de mostraxe completo, p . Tendo en conta os datos da Táboa 2, o número de artigos rexeitados durante os 18 días é de 260. Polo tanto, a proporción de envases defectuosos é de $192/2500 = 0,104$. Aplicando a fórmula para a estimación de σ baseada en \bar{p} , obtense $\sigma = \sqrt{(0,104 \cdot (1 - 0,104))/75} = 0,035$. Con este valor e o de $\mu = 0,104$, constrúense os límites inferior e superior de control, que son de $-0,001$ (0 a efectos prácticos) e $0,209$, respectivamente. Considerando os valores da Táboa 2, estes límites de control se superan en catro ocasións, os días 18, 19 e 30 do 06, e o

07/07 (lémbrese que se rastrea X/n). Esta é unha porcentaxe moi alta (máis do 20 %) para o período de mostraxe considerado, polo que se terán que investigar as causas da produción defectuosa elevada durante eses días.

Táboa 2. Exemplo de datos para mostraxe por atributos

Data	Número de rexeitamentos	Data	Número de rexeitamentos
18/06	36	01/07	1
19/06	40	02/07	14
20/06	15	03/07	12
23/06	9	04/07	8
24/06	2	07/07	31
25/06	15	08/07	10
26/06	7	09/07	10
27/06	13	10/07	2
30/06	24	11/07	11

2.1.4. Gráficas p para tamaños variables de subgrupo

Para calcular as gráficas p suponse que o número de produtos inspeccionados en cada subgrupo é o mesmo. Este suposto é razoable cando se mostren subgrupos periodicamente de lotes grandes. Con todo, nalgúns procesos prodúcense poucas unidades ao día. Estas unidades inspecciónanse ao 100%. É habitual que cando a produción diaria é baixa, tamén é variable, polo que o tamaño do subgrupo tamén variará. Polo tanto, é necesario basear a análise na variable estandarizada Z , que é aproximadamente normal estándar e **independente de n** . Defínese $Z = p - \bar{p} / \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$. Os límites de control inferior (Li) e superior (Ls) establécense en -3 e 3, respectivamente, para obter os límites tres sigma. A gráfica de control monitoriza valores sucesivos da variable estandarizada Z .

2.2. Mostraxe de aceptación

As gráficas de control son un método adecuado para controlar os parámetros de calidade dun proceso en tempo real, para coñecer se ocorreu unha desviación nos parámetros do proceso. Con todo, tamén é de interese determinar a calidade dos produtos finais dun determinado proceso. Na maioría dos casos a inspección ao 100% é imposible ou non práctica, polo que se inspecciona unha mostra de artigos e estímense os parámetros de calidade de lotes grandes de artigos en base aos resultados da mostraxe.

Concretamente, a mostraxe de aceptación consiste en extraer unha mostra dun lote grande de artigos, inspeccionala ao 100% e deducir a calidade do lote en base a información obtida da mostra. A estatística proporciona os métodos para extrapolar as características dunha mostra ás características do lote, e un medio para determinar a probabilidade de chegar á conclusión equivocada. Obviamente, a inspección ao 100% de todos os artigos do lote reducirá a cero a probabilidade dunha conclusión incorrecta. Con todo, hai varias razóns polas cales a inspección ao 100% non é factible ou non é desexable. Algunhas destas inclúen:

- Na maioría dos casos a inspección ao 100% é demasiado custosa. Non é posible levala a cabo nos procesos de produción en continuo.
- Nalgúns casos a inspección ao 100% non é posible, se a inspección implica destruír o produto. Por exemplo, determinar a vida útil dunha lámpada require mantela aceso ata que se funda.

Os plans de mostraxe máis comúns son:

Plans de mostraxe simple. Os plans de mostraxe simple son os máis fáciles de implementar. Dous números, n e c , definen un plan de mostraxe simple. Se hai máis de c (nivel de rexeitamento) artigos defectuosos nunha mostra de tamaño n , rexéitase ao lote; doutra maneira acéptase.

Plans de mostraxe dobre. Nun plan de mostraxe dobre, primeiro se selecciona unha mostra de tamaño n_1 . Se o número de artigos defectuosos na mostra é menor ou igual que c_1 , acéptase o lote. Se o número de artigos defectuosos na mostra é maior que c_2 , entón rexéitase. Con todo, se o número de artigos defectuosos é maior que c_1 e menor ou igual que c_2 , extráese unha segunda mostra de tamaño n_2 . Agora acéptase o lote se o número acumulado de artigos defectuosos en ambas as mostras é menor ou igual a un terceiro número, c_3 . (Xeralmente, $c_3 = c_2$).

Mostraxe secuencial: Un plan de mostraxe dobre pode ampliarse a un plan de mostraxe tripla, cuádrupla, etc. Un plan de mostraxe secuencial é a conclusión lóxica deste proceso. Os artigos móstranse un á vez e rexístrase o número acumulado de artigos defectuosos para cada etapa do proceso. En base ao valor do número acumulado de artigos defectuosos hai tres decisións posibles en cada etapa: i) rexeitar o lote; ii) aceptar o lote e iii) continuar a mostraxe.

Un plan de mostraxe complexa pode ter propiedades estatísticas desexables, pero podería ser difícil calcular as rexións de aceptación e rexeitamento, e o plan podería ser difícil de poñer en marcha na práctica. O plan de mostraxe correcta para un ambiente específico pode non ser o de maior sofisticación matemática, polo que deben sopesarse os beneficios potenciais contra os custos potenciais. Nesta UD veremos unicamente os **conceptos básicos que definen a plan de mostraxe simple**.

Suponse que N (número de pezas nun lote ou un grupo dados) é unha constante coñecida. Se N é moi grande en relación co tamaño da mostra, n , pode suporse como infinita. M (número de artigos defectuosos no lote) tamén é unha constante, pero o seu valor non se pode coñecer, xa que só a inspección ao 100% revelará o valor verdadeiro de M . É frecuente que o interese se centre en analizar o comportamento do plan de mostraxe para diferentes valores de M . Defínese α (risco do produtor) como a probabilidade de rexeitar lotes bos e β (risco do consumidor) como a probabilidade de aceptar lotes malos. O risco do consumidor e o risco do produtor dependen do plan de

mostraxe. Finalmente, X , o número de artigos defectuosos na mostra, é unha variable aleatoria. Isto significa que se se repite o experimento de mostraxe cunha mostra aleatoria diferente de tamaño n (como de feito, debe facerse nas mostraxes dobres e secuenciais), non se obtería necesariamente o mesmo número de artigos defectuosos.

O nivel aceptable de calidade, p_o , é o nivel desexado da proporción de artigos defectuosos no lote. Se a proporción verdadeira de artigos defectuosos no lote é menor ou igual a p_o , considérase que o lote é aceptable. A tolerancia porcentual de artigos defectuosos, p_1 , é unha proporción inaceptable de artigos defectuosos no lote. Considérase que o lote é inaceptable se a proporción de artigos defectuosos excede a p_1 . Debido á imprecisión da mostraxe estatística, é necesario que p_o e p_1 sexan diferentes. Se son iguais, poden requirirse tamaños grandes de mostra para alcanzar valores aceptables de α e β . O obxectivo primordial que se debe alcanzar é definir os parámetros da mostraxe (c e n) que permitan obter uns riscos para o consumidor e o produtor similares e non demasiado elevados (< 20%).

ACTIVIDADES PROPOSTAS

As actividades propostas para o desenvolvemento desta UD teñen que ver coa resolución de problemas prácticos de control estatístico da calidade, e levaranse a cabo durante:

- As clases de seminario, de forma conxunta co profesor. Os alumnos terán que seleccionar o método máis adecuado para exercer e controlar a calidade dun determinado proceso proposto. En base aos datos de mostraxe representativos para un determinado proceso, terán que decidir qué tipo de gráficas de control se deben aplicar.
- O traballo previo ás clases, de forma individual ou colectiva, dependendo da complexidade dos problemas. Os alumnos deberán expoñer durante a clase os pasos seguidos e o resultado final dos problemas propostos. No Anexo poden consultarse exemplos de problemas propostos.

AVALIACIÓN DA UNIDADE DIDÁCTICA

A avaliación desta UD farase de forma conxunta co resto dos contidos da materia. Para superar a materia, o alumno deberá realizar un anteproxecto e o exame de contido teórico/práctico. En ambos casos requírese unha nota mínima de 3 puntos. A cualificación final estará dada polo conxunto de nota colectiva (anteproxecto) e individual (exame e participación), coa seguinte distribución: 60% anteproxecto, 30% exame e 10% participación na aula.

A cualificación individual do alumno baséase na puntuación obtida no exame, onde se avaliarán mediante preguntas cortas e problemas os contidos teóricos da materia (50%) así como aspectos máis prácticos asociados ao contido formal e técnico dun anteproxecto (50%).

Os contidos da UD serán por tanto avaliados nos apartados de participación na clase e no exame final.

ANEXO

Exemplos de problemas propostos:

Exercicio 1. As gráficas de control para X e R consérvanse para o balasto electrónico de lámparas fluorescentes compactas (tamén chamadas de baixo consumo). Cen observacións divididas en subgrupos de tamaño catro úsanse como liña basee para construír as gráficas, e calcúlanse estimacións de μ e σ a partir destas observacións. Supoña que as 100 observacións son X_1, X_2, \dots, X_{100} e os rangos dos 25 subgrupos son R_1, R_2, \dots, R_{25} . A partir destes datos da liña basee calcúlanse as seguintes cantidades:

$$\sum_{i=1}^{100} X_i = 81600 \qquad \sum_{j=1}^{25} R_j = 1258$$

Usando esta información, calcular os valores do límites tres sigma para ambas as gráficas.

Exercicio 2. Un fabricante de discos multimedia adquire os chips do procesador central en lotes de 2000. Gustaríalle ter unha taxa de artigos defectuosos de 1% pero normalmente non vai rexeitar un lote a menos que teña 4% ou máis de artigos defectuosos. Extráense mostras de 100 de cada lote, e o lote rexéitase se se atopan máis de dous artigos defectuosos.

- Canto valen p_0, p_1, n , e c para este problema?
- Calcula α e β . Usa a aproximación binomial para os seus cálculos.

BIBLIOGRAFÍA

Os contidos básicos tratados nesta UD poden atoparse en:

EVANS, James R., William M. Lindsay (2008): *Administración y control de calidad*, México: Cengage Learning Latin America.

Adicionalmente, recoméndase a consulta dos seguintes textos:

BESTERFIELD, Dale H. (2009): *Control de calidad*, México: Pearson Educación.

Taguchi, G., A. E. Elsayed e T. Hsiang (1989): *Quality Engineering in Production Systems*, Nueva York: McGraw-Hill.

Agradecementos

Ao Profesor Ramón F. Moreira Martínez, polo emprego do programa xeral do curso.



Unha colección orientada a editar materiais docentes de calidade e pensada para apoiar o traballo do profesorado e do alumnado de todas as materias e titulacións da universidade

unidadesdidácticas
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA