

MATERIA
Seguridade e Prevención de Riscos

TITULACIÓN
Grao en Enxeñaría Química

unidade
didáctica
5

Fundamentos dos accidentes graves na industria de proceso químico: fugas, incendios, explosións e reactividade química descontrolada

Isabel Vidal Tato

Área de Enxeñaría Química
Departamento de Enxeñaría Química
Escola Técnica Superior de Enxeñaría

unidadesdidácticas
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA



Ensinanzas Técnicas



Esta obra atópase baixo unha licenza internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Calquera forma de reprodución, distribución, comunicación pública ou transformación desta obra non incluída na licenza Creative Commons BY-NC-ND 4.0 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/4.0/deed.gl>

© Universidade de Santiago de Compostela, 2019

Deseño e maquetación

J. M. Gairí

Edita

Servizo de Publicacións e Intercambio Científico
da Universidade de Santiago de Compostela
usc.es/publicacions

ISBN

978-84-17595-69-2

DOI

<https://dx.doi.org/10.15304/9788417595692>



MATERIA: Seguridade e prevención de riscos

TITULACIÓN: Grao en Enxeñaría Química

PROGRAMA XERAL DO CURSO

Localización da presente unidade didáctica

BLOQUE I. Toxicoloxía e Hixiene Industrial

Unidade I. Marco legal e de xestión dos riscos laborais

Unidade II. Bases da toxicoloxía e hixiene industrial

Unidade III. Os contaminantes: químicos, físicos e biolóxicos

BLOQUE II. Enxeñaría da Seguridade

Unidade IV. Marco legal e de xestión dos riscos industriais

Unidade V. Fundamentos dos accidentes graves na industria de proceso químico: fugas, incendios, explosións e reactividade química descontrolada.

Unidade VI. Deseño para a prevención de accidentes industriais: purgas, control da electricidade estática e sistemas de alivio

Unidade VII. Avaliación de riscos



ÍNDICE

PRESENTACIÓN

XUSTIFICACIÓN DA UNIDADE DIDÁCTICA

OBXECTIVOS

METODOLOXÍA

CONTIDOS

1. Introducción
2. Perda de contención en procesos: fugas
 - 2.1. Visión global
 - 2.2. Cálculo e análise de fugas
3. Incendios e explosións
 - 3.1. Visión global
 - 3.2. Definicións
 - 3.3. Clasificación dos incendios e explosións
 - 3.4. Fontes de ignición e o seu control
4. Reactividade química descontrolada
 - 4.1. Visión global
 - 4.2. Escenarios de risco de reactividade descontrolada
 - 4.3. Factores fisicoquímicos
 - 4.4. Métodos experimentais
 - 4.5. Factores de risco en proceso
 - 4.6. Estratexias de xestión dos riscos

ACTIVIDADES

AVALIACIÓN

BIBLIOGRAFÍA



PRESENTACIÓN

Esta **unidade didáctica** denominada «Fundamentos dos accidentes graves na industria de proceso químico: fugas, incendios, explosións e reactividade química descontrolada» forma parte da **materia** «Seguridade e prevención de riscos», que é optativa e se imparte no primeiro semestre do 4º curso do Grao en Enxeñaría Química.

É unha **materia interdisciplinaria** impartida por dúas áreas de coñecemento: Enxeñaría Química, do departamento do mesmo nome e Toxicoloxía, do departamento de Ciencias Forenses, Anatomía Patolóxica, Xinecoloxía e Obstetricia e Pediatría. Está estruturada en **dous bloques** de contido: **toxicoloxía e hixiene industrial**, impartido pola área de Toxicoloxía, e **enxeñaría da seguridade**, impartido pola área de Enxeñaría Química.

Nun primeiro bloque estúdanse os **efectos dos contaminantes** físicos, químicos e biolóxicos na **saúde das persoas** e as medidas de protección asociadas.

No segundo bloque analízanse os fallos que se poden dar nunha instalación industrial e a súa evolución a un **accidente maior de incendio, explosión ou reactividade química descontrolada**, así como as medidas de protección asociadas.

Dito dunha maneira sinxela, estúdase a protección das persoas no seu traballo ordinario nunha planta de proceso químico e como protexer a instalación para que non ocorran situacións extraordinarias.

Para abordar esta materia precísanse os conceptos estudados en **materias previas** de Química fundamental, Termodinámica, Transmisión de Calor, Fluxo de Flúidos e Enxeñaría de Procesos. Así mesmo, **relaciónase coa materia** de Proxectos e Deseño de Instalacións, impartida no **mesmo curso e semestre**.

Esta **unidade didáctica** ten unha duración de **8 horas lectivas**: 5 expositivas e 3 interactivas.

XUSTIFICACIÓN DA UNIDADE DIDÁCTICA

Unha das **competencias** dos profesionais da Enxeñaría química é a de **análise e valoración dos impactos sociais e ambientais** das solucións tecnolóxicas.

Estamos nunha era de grandes avances tecnolóxicos caracterizados por unha sofisticación crecente. Os sistemas produtivos máis complexos requiren tecnoloxía da seguridade das mesmas características. Para entender este nivel de desenvolvemento hai que coñecer de maneira detallada os **fundamentos da seguridade**. Estes conceptos fundamentais estúdanse nesta unidade didáctica.

Outras competencias desenvolvidas **nesta unidade** didáctica e relacionadas coa **Memoria do Título** son:

- capacidade de resolver problemas con iniciativa que implique tomar decisións, exercitar a creatividade e fomentar o razoamento crítico;
- comunicar e transmitir coñecementos, habilidades e destrezas no campo da enxeñaría química;
- traballo en equipo;
- aprendizaxe autónoma;
- coñecementos básicos dos sistemas de produción e fabricación.



OBXECTIVOS

Os obxectivos propostos para esta unidade didáctica son os seguintes:

- Identificar as consecuencias sociais, ambientais e económicas dunha cultura da seguridade pobre.
- Identificar os perigos asociados a unha planta de proceso químico e as medidas de control do risco.
- Relacionar as variables que inflúen nunha perda de contención (fuga).
- Desenvolver modelos simples para dimensionar escenarios de fuga.
- Relacionar as variables que inflúen no desenvolvemento de incendios e explosións.
- Describir os mecanismos de incendios e explosións e clasificar.
- Calcular escenarios con métodos simples.
- Describir os mecanismos da reactividade descontrolada e clasificar escenarios.
- Coñecer os métodos experimentais para estudar a reactividade descontrolada.
- Identificar os factores e estratexias de xestión do risco por reactividade descontrolada.

METODOLOXÍA

Ao **iniciar a materia** faise unha **presentación** de toda a programación docente. **Antes de impartir** cada **unidade didáctica preséntase** ao alumnado o contido, metodoloxía e avaliación.

Como **apoio** das sesións **expositivas** e **interactivas** proxectaranse algúns **vídeos** e utilizaranse como soporte páxinas **web** de organismos internacionais relacionados coa seguridade de procesos.

As **clases expositivas** desenvolveranse seguindo o modelo de **lección maxistral**. O alumnado disporá con antelación do resumo de contidos en formato diapositivas.

Na **clase interactiva** o alumnado resolverá **casos prácticos numéricos** utilizando as ferramentas de cálculo habituais na profesión de enxeñeiro e analizarán documentos técnicos.

A actividade interactiva lévase a cabo en **grupos de dúas persoas** debido a que a infraestrutura da aula asignada a esta docencia non facilita o traballo en equipos máis grandes. Esta limitación require que os casos estean deseñados para que poidan resolvelos dúas persoas no tempo dispoñible. **Propóñense** as seguintes **actividades**:

- Dimensionar un escenario de fuga de gases en almacenamento a alta presión. Proposta de modificacións.
- Dimensionar un escenario de fuga de líquidos tóxicos. Proposta de modificacións.
- Analizar un inventario de substancias químicas para realizar o informe preliminar de potencial reactividade descontrolada. Utilízase unha ferramenta de software gratuíta.



Durante o desenvolvemento da actividade interactiva faise un **seguimento** da evolución de cada equipo e de cada un dos seus compoñentes. As **dúbdidas** xurdidas, na medida do posible, resólvense **durante a sesión**, facendo partícipe a toda a clase. As dúbdidas pendentes resólvense a través do **Campus Virtual** ou en **titorías individuais**.

Para **ampliar** coñecementos disporán de fontes de información en formato **libros** e tamén en formato **web**.

O alumnado entregará os **resultados** a través do Campus Virtual, primeiro en versión **borrador** e despois dun prazo estimado razoable, en **versión definitiva**. Os resultados teñen que **interpretarse** segundo **criterios técnicos** e de ética profesional e presentaranse de forma **clara** e **organizada**.

Farase un **exame** de conceptos básicos ao **final** do semestre e unha **avaliación final ponderada**.

CONTIDOS

1. Introducción

Empezamos esta unidade didáctica estudando algúns dos accidentes industriais de maior impacto na historia industrial. Identifícanse as causas técnicas e organizativas que contribuíron á súa ocorrencia e analízase o papel das autoridades.

2. Perda de contención en procesos: fugas

2.1. Visión global

Preséntanse os escenarios de **fuga** nun proceso: rotura de tubaxes, perforacións por corrosión, perforacións por impacto etc. Unha vez que se produce a **perda de contención** e segundo o perigo das substancias, prodúcese unha **secuencia de eventos** ata o **fenómeno perigoso final** (incendios, explosións, fugas tóxicas). O desenvolvemento de secuencias de sucesos estrutúrase en árbores de sucesos.

2.2. Cálculo e análise de fugas

Estúdanse modelos matemáticos sinxelos para dimensionar os escenarios e, de seguido, propoñer medidas de correctoras.

3. Incendios e explosións

3.1. Visión global

A **combustión** é unha reacción exotérmica. O lume é o resultado visible da combustión (lapas), xunto coa liberación de enerxía calorífica e fume.

A combustión sempre ten lugar en fase vapor: os líquidos volatilizanse e os sólidos descompóñense en vapores antes da combustión. Os elementos esenciais dunha combustión son: combustible, comburente (oxidante) e fonte de ignición.



Cando o combustible e o oxidante están nunha determinada concentración (zona de inflamabilidade) e en presenza dunha fonte de ignición prodúcese un **incendio**. Nun incendio en presenza de aire, o oxidante é o osíxeno e o nitróxeno é inerte.

A velocidade de queimado, que afecta á altura da lapa, está controlada pola velocidade de transferencia de osíxeno desde o aire á masa de vapor en combustión. Algúns materiais sólidos poden arder sen lapa.

O termo **explosión** utilízase moitas veces de forma imprecisa. Unha explosión é unha liberación súbita de enerxía que causa unha descontinuidade na presión e dá lugar a unha onda de presión (ou de choque). As explosións poden ser químicas ou mecánicas. O mecanismo dunha explosión química pode ser o mesmo que o dunha combustión. Nas explosións mecánicas prodúcese unha liberación súbita de presión sen ocorrencia de reacción química.

A diferenza entre un incendio e unha explosión radica na taxa de liberación de enerxía: nunha explosión a liberación de enerxía realízase moito máis rápido e pode xerar suficiente sobrepresión para producir danos a persoas e estruturas. Algúns materiais (metais, azucre, fariña) resultan extremadamente inflamables cando se reducen a partículas moi finas, dando lugar a explosións de po de gran capacidade destrutiva.

Hai que distinguir entre as explosións de mesturas de vapores combustibles cun comburente e as producidas por explosivos. Os explosivos conteñen osíxeno na súa molécula e a explosión pode producirse en ausencia de aire.

Os **danos a persoas e estruturas** en incendios débense á calor producida por convección e radiación e nas explosións débense á sobrepresión.

3.2. Definicións

Defínense as propiedades que caracterizan a inflamabilidade das substancias: límites de inflamabilidade, punto de inflamabilidade, temperatura de autoignición, velocidade de combustión, velocidade de lapa.

3.3. Clasificación dos incendios e explosións

Defínense diferentes tipos de incendios segundo o estado, as propiedades físicas e as condicións de contorna do material inflamable.

O escenario do accidente con resultado de **incendio** pode estar orixinado por a perda de contención dun gas, a perda de contención dun líquido que pode evaporarse ou un escape bifásico. O fenómeno perigoso final pode ser a formación dunha nube que, tras a súa ignición, evolucione a **incendios en charco, incendio súbito (flash) ou dardos de lume**.

En **explosións** diferéncianse dous mecanismos, segundo a velocidade da fronte de reacción: **deflagración e detonación**.

Nunha deflagración a fronte de reacción desprázase a unha velocidade inferior á do son e a fronte de presión xerado desprázase á velocidade do son.

Nunha detonación a fronte de reacción móvese a unha velocidade superior á do son, comprime abruptamente a mestura sen reaccionar por encima da súa temperatura de autoignición e dá lugar a unha onda de choque, moito máis violenta e devastadora que unha onda de presión.



Que se desenvolva un ou outro mecanismo depende da sustancia e das condicións de contorna. En plantas de proceso químico o máis habitual é a deflagración.

3.4. Fontes de ignición e o seu control

As **fontes de ignición** proporcionan a **enerxía mínima** para **iniciar** unha **combustión**. As fontes de ignición poden ser chamas, calor directa, inestabilidades térmicas, chispas de orixe mecánica ou electricidade estática.

As **chamas** están presentes en todas as unidades de combustión e moitos equipos de proceso operan a alta temperatura. Outras **superficies quentes** que poden actuar como fontes de ignición son as tubaxes de vapor, recubrimentos refractarios, equipo de secado, quentadores eléctricos, luminarias etc.

Cando algúns materiais pulverulentos ou granulados sécanse en masa poden alcanzar o punto de inestabilidade térmica debido a fenómenos de exotermicidade autosostida (non eliminación da calor producida) do material con resultado final de incendio e explosión. Fenómenos similares poden ocorrer en almacenamentos de sólidos, transportes ou depósitos de capas de po en superficies quentes.

As operacións que poden dar lugar a **chispas de orixe mecánica** son a moenda, pulverización, impactos de ferramentas en operacións de reparación e mantemento, pero tamén impactos mecánicos accidentais, entrada accidental de obxectos metálicos en muíños, equipos de pulverización etc. A fricción pode xerar calor suficiente producir a ignición dunha mestura inflamable.

As **chispas de orixe eléctrica** prodúcense como consecuencia da acumulación de carga electrostática e a súa rápida descarga. Para deseñar métodos de prevención para este tipo de ignición é necesario coñecer os mecanismos de acumulación de carga estática e os mecanismos de descarga. Cando esta acumulación de carga é inevitable é necesario controlar a atmosfera ao redor destas zonas.

4. Reactividade química descontrolada

4.1. Visión global

Os **perigos** asociados á reactividade química descontrolada (*runaway reaction*) non identificados adecuadamente foron e son causa de accidentes en operacións industriais e laboratorios, co resultado de decenas de mortos entre os anos 80 e a actualidade. Para o estudo de antecedentes contamos con abundante material en diferentes formatos e accesible a través das páxinas web do Consello de Seguridade Química dos Estados Unidos, CSB, e a Organización de Enxeñeiros Químicos en Europa, IChemE.

É moi difícil identificar e caracterizar os **escenarios de potencial descontrol** porque a reactividade química descontrolada depende tanto do **perigo intrínseco** da sustancia como das **condicións do procesado, almacenamento e deseño** dos equipos.



Cando se produce o **disparo da reacción libérase** unha gran cantidade de **enerxía, emítense substancias** e **xérase** unha gran cantidade de **gases** que presuriza o sistema. Pódese chegar ao punto dunha **ebulición incontrolada**. Estes fenómenos poden darse por separado ou como combinación ou concatenación de varios deles.

Non só as reaccións fortemente exotérmicas son perigosas; en reaccións debilmente exotérmicas, de se producir acumulación de reactantes, a calor liberada pode levar ao proceso á perda de estabilidade por entrar nun ciclo reacción-acumulación-quecemento-reacción.

4.2. Escenarios de risco de reactividade descontrolada

As reaccións fóra de control poden orixinarse pola perda de contención dunha reacción desexada ou pola aparición dunha reacción non desexada. Os escenarios asociados a reaccións descontrolados son os seguintes:

- reaccións violentas coa auga;
- reaccións violentas co aire;
- incompatibilidade química;
- descomposición;
- polimerización;
- reaccións descontroladas por aceleración térmica.

4.3. Factores fisicoquímicos

A estabilidade dunha substancia química está directamente relacionada cos seguintes factores:

- enlace químico;
- entalpías de combustión, descomposición e reacción;
- enerxía de activación;
- mecanismo de reacción;
- catálise;
- inhibición;
- concentración dos reactivos;
- temperatura.

4.4. Métodos experimentais

Descríbense os métodos calorimétricos, tanto microtérmicos como macrotérmicos. No estudo da reactividade química hai que realizar análise termodinámico e cinético. As cuestións que hai que investigar antes de deseñar e poñer en marcha calquera proceso químico son: a cantidade de material procesado, os propios equipos, o control de temperatura e presión, a eliminación da calor producida na reacción e a axitación en grandes sistemas.



4.5. Factores de risco en proceso

Estúdanse factores xerais e factores específicos ou inmediatos. Como factores xerais considéranse os seguintes:

- descoñecemento da química e termoquímica do proceso;
- sistemas de protección (salvagardas) non adecuados;
- procedementos de operación non adecuados ou desatendidos;
- formación dos operadores insuficiente.

Os factores específicos son os relacionados coas características das substancias, as características do equipo e a operación, por exemplo:

- desprendemento de calor demasiado elevado na reacción principal;
- desprendemento de calor demasiado elevada (imprevisto) nas reaccións secundarias;
- desprendemento de calor demasiado elevada (imprevisto) na descomposición de reactantes e produtos inestables;
- axitación inadecuada, por efecto na concentración;
- axitación inadecuada, por efecto na transmisión de calor;
- eliminación insuficiente da calor xerada;
- fallos no condensador;
- impurezas procedentes doutras operacións que catalizan reaccións non desexadas;
- impurezas procedentes de corrosión que catalizan reaccións non desexadas;
- presenza de fontes de ignición;
- orde de adición en operacións descontinuas.

4.6. Estratexias de xestión dos riscos

Explicaranse estratexias intrínsecas, pasivas, activas e de procedemento. Estas estratexias baséanse nos principios de deseño intrinsecamente seguro, establecemento de distancias de seguridade e contención física, instalación de sistemas automáticos de control e parada de emerxencia, así como dun completo sistema documentado que sexa posible someter a auditoría.

ACTIVIDADES

A cada equipo asígnanselle dúas substancias químicas, unha en fase líquida e outra en fase gas.

O primeiro paso consiste en identificar algunha actividade industrial na que estean presentes esas sustancias, así como as características máis comúns do almacenamento ou condicións de procesado (presión, temperatura).

Con esta información previa e os conceptos explicados na fase expositiva teñen que propor un esquema de instalación, expor un escenario de fuga e de



seguido facer os cálculos da cantidade de sustancia fugada. Os cálculos se levarán a cabo nunha folla de cálculo de uso habitual en enxeñaría.

Unha vez analizados os resultados teñen que decidir se a instalación é adecuada ou suxerir modificacións.

AVALIACIÓN

Ao iniciar a materia faise unha avaliación inicial dos conceptos previos. Formúlanse verbalmente unha serie de preguntas sobre se traballaron estes conceptos en materias anteriores. Se os conceptos estudáronse, pregúntase ao alumnado sobre o grao de dificultade que lles supuxeron e o que lembran. Os resultados desta avaliación inicial non computan na avaliación final.

Para a avaliación continua, os casos prácticos desenvolvidos nas sesións interactivas puntúanse de 0 a 10 en cada un dos apartados e pondéranse da seguinte maneira: colaboración do equipo durante a sesión interactiva (20 %), capacidade para a procura e filtrado da información (20 %), resultados en borrador (40 %) e resultados definitivos (20 %). O resultado final ponderarase para obter a cualificación final.

Ao final do semestre realízase un exame final para avaliar os conceptos básicos, formato cuestións curtas. A distribución da cualificación na avaliación final é a seguinte:

- Bloque de toxicoloxía e hixiene industrial: 40 % do total (4 puntos).
- Bloque de enxeñaría da seguridade: 60 % do total (6 puntos).

Dentro do bloque de enxeñaría da seguridade a **distribución** é a seguinte: 20 % exame e 80 % casos prácticos.

Esta unidade didáctica supón o 40 % da cualificación asignada aos casos prácticos de todo o bloque de seguridade e un 5 % da cualificación do exame final.

BIBLIOGRAFÍA

CROWL, Daniel e LOUVAR, Joseph (2011): *Chemical Process Safety*, New York: Pearson.
FERNÁNDEZ, Inmaculada y otros (2012): *Sistemas instrumentados de seguridad y análisis SIL*, Madrid: Díaz de Santos.

Recursos web

- <https://www.csb.gov/>
- <https://www.icheme.org/>
- <https://www.aiche.org/ccps>
- <https://www.gexcon.com/>
- <https://www.exida.com/>





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

