



ELS ALFACS, ENCARA

Claudi Mans

Departament d'Enginyeria Química i Metal·lúrgia
Universitat de Barcelona

NPQ té una tirada d'uns 4000 exemplars. Imaginem que cada exemplar és llegit per una persona. Segons diu Stephen Hawking¹, cada vegada que en un text hi apareix una equació es redueix a la meitat el nombre de lectors. És fàcil de veure, doncs, que en un article on hi hagi n equacions, la quantitat final de lectors L_f està relacionada amb la quantitat inicial L_i per l'expressió:

$$L_f = \frac{L_i}{2^n} \quad (1)$$

A partir d'aquí, doncs, sou 2000 llegint. A vosaltres va dedicat el que segueix.

ELS FETS

L'11 de juliol de 1978 un camió carregat de propilè² va explotar als Alfacs (Montsià), amb un resultat de més de 200 morts. Aquesta catàstrofe segueix essent una font de coneixement per als químics i enginyers químics, i en general per als estudiosos de seguretat. El camió tenia un volum de cisterna de 44,4 m³ i una càrrega mesurada de 23619 kg, que suposarem que era de propilè pur³. La cisterna estava autoritzada a portar-ne només 19350 kg. Estava, doncs, sobrecarregada.

— *Per què va explotar?, pregunto.*

En aquest moment tots dos mil calleu, mireu cap a un altre costat, busqueu afanyadament un paper...

— *A veure, tu. Sí, tu que estàs llegint l'NPQ, digues.*

I tu, amb veu dubitativa, respos:

— *Perquè va augmentar la pressió.*

— *I per què va augmentar la pressió?*

— *Perquè... perquè feia calor.*

I la resposta, que és qualitativa-ment correcta, quantitativament és molt ambigua.

— *I per què augmenta la pressió quan fa calor?*

— *Bé, ja se sap, $PV = nRT$. Si n i V són constants, a l'augmentar T augmenta P .*

Error! Desastre! A la cisterna no hi ha un gas, sinó un líquid en equilibri amb el seu vapor. El propilè, com l'amoníac, com el clor, com el butà, es transporta a pressió mitja i a temperatura una mica freda o a temperatura ambient, perquè la temperatura crítica del propilè està per sobre de la tempera-

tura ambient, i per simple pressió es pot liquar.

Com que és un equilibri líquid-vapor, l'equació d'estat dels gasos no es pot aplicar al conjunt, la pressió que hi ha a la cisterna és sempre la pressió de vapor a la temperatura corresponent, que als 0 °C és d'uns 5,5 bar.

Segueixo preguntant:

— *Hi ha algun altre mecanisme que...?*

Els 1000 que quedeu mireu novament la taula, el sostre, la mosca... Al final, un diu, mig afirmant mig interrogant:

— *Si augmenta la temperatura, augmenta la pressió de vapor... no?*

— *Bé, sí, és cert, qualitativament cert, però quantitativament no és suficient. La cisterna podia suportar una pressió de 50 bar, l'acabaven de provar. Amb la calor que feia –era un juliol tòrrid– com a màxim la temperatura de la cisterna hauria pogut arribar a 50 °C, i a aquesta temperatura la pressió de vapor del propilè és d'uns 9 bar, molt menor que 50. Per arribar-se a trencar la cisterna per pressió de vapor hauria d'haver-se arribat a més de*

90°C, impossible del tot. Alguna altra explicació?

Tothom callat com un mort. El professor, lluint-se:

— Doncs el que va passar va ser que, a mida que es va anar escalfant la cisterna, el volum de líquid va anar augmentant fins que tota la cisterna va ser plena de líquid.

— Com, què, què diu? Quan s'escalfa un líquid es vaporitza, no? I vostè diu que el vapor va desaparèixer!

— «Distingo», que diu que diuen els jesuïtes en les controvèrsies intel·lectuals. A l'escalfar un líquid, es vaporitza si en el sistema no hi ha limitació de volum. Però en un recipient tancat, com la cisterna, a l'escalfar passen tres coses a la vegada: que la pressió de vapor augmenta, que el vapor es dilata i que el líquid també es dilata. I la combinació de factors fa que puguin passar coses sorprenents. Haurem d'escriure equacions, ho lamento. El raonament pur requereix un suport matemàtic, ho veureu més clar.

Això espero.

EL MODEL MATEMÀTIC

En la cisterna tancada, la massa total m del propilè és constant, i és la suma del que està com a líquid, m_L i del que està com a gas o vapor, m_G :

$$m = m_L + m_G \quad (2)$$

Amb el volum passa el mateix:

$$V = V_L + V_G \quad (3)$$

Per definició, les densitats del líquid i del gas en equilibri, d_L i d_G , són:

$$d_L = \frac{m_L}{V_L} \quad \text{i} \quad d_G = \frac{m_G}{V_G} \quad (4) \text{ i } (5)$$

i, combinant-ho tot ⁴,

$$V_G = \frac{V * d_L - m}{d_L - d_G} \quad (6)$$

Discutirem aquesta expressió (6) amb els 31 lectors que encara continuen.

Fixeu-vos que el numerador és positiu: el producte $V * d_L$ seria la massa total d'una cisterna totalment plena de líquid, que seria més gran que la massa m que realment s'ha

carregat a la cisterna. També el denominador és positiu: el líquid té més densitat que el vapor. El volum de vapor V_G dependrà dels valors numèrics de les diferents variables en un cas concret.

Què passa a l'augmentar la temperatura? La densitat es redueix, és la dilatació dels cossos. El valor de d_L es va reduint. I com que V i m són constants, el numerador es va fent petit (i també el denominador, però això no és important per a la conclusió final). Si la temperatura creix molt i la cisterna està sobre-carregada –que ho estava– pot donar-se el cas que d_L baixi tant que $V * d_L$ es redueixi fins que arribi a tenir el valor de m . En aquest moment el numerador es fa zero: el volum de vapor en la cisterna s'anul·la i tota la cisterna queda plena de líquid.

Això trenca els esquemes. A l'escalfar, es redueix el volum de vapor! Hem de fer un esforç per imaginar-nos un líquid tancat amb una mica de vapor a sobre; l'escalfem, el líquid es dilata –tot incrementant-se una mica la pressió de vapor– i «no queda espai» pel vapor, que no té més remei que anar condensant ⁵.

Cada substància que s'envasi com a barreja en equilibri gas-líquid té definit legalment un valor màxim



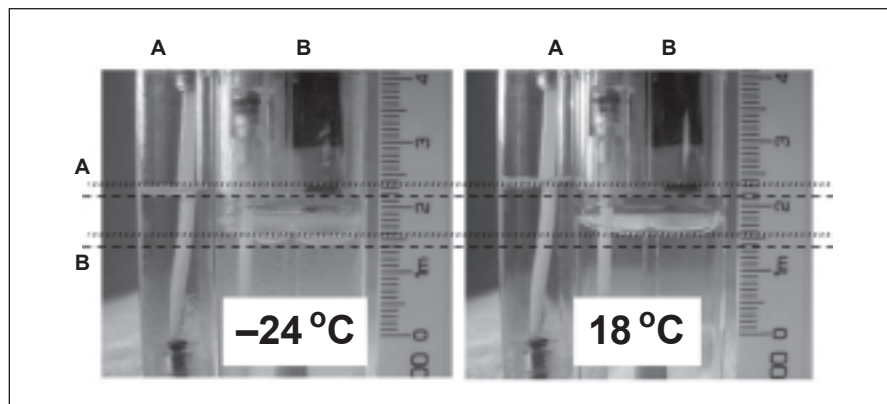
Un antic banc de sorra, conegut amb el nom de l'Alfac, crescut pels al·luvions aportats per un dels braços de l'Ebre, que desembocava en aquest indret (la boca de l'Alfac), convertí l'antic port Fangós en una albufera. Una nova llengua de terra, coneguda amb el nom de la Banya, unida a la terra ferma per l'istme del Trabucador, formà un nou port natural, el port dels Alfacs.

per sobre del qual la cisterna no s'ha d'omplir⁶. D'aquesta manera es pretén evitar que ni en condicions extremes la cisterna es quedi sense vapor. Però és que la cisterna dels Alfacs estava sobrecarregada, i per tant hi havia massa líquid. Es va calcular que la fase vapor va desaparèixer a l'arribar-se a 8 °C, amb una pressió –la pressió de vapor– d'uns 7 bar. La cisterna era tot líquid. I a l'escalfar-se encara més –només un grau més–, el posterior intent de dilatació del líquid contra les parets va fer que la pressió augmentés molt més, com sabem. Es va superar la pressió màxima que podia suportar la cisterna, es va provocar una fissura i es va rebentar.

I el propilè líquid a una pressió de més de 50 bar i a uns 9 °C es va vessar, i en contacte amb l'atmosfera es va vaporitzar bruscament i es va barrejar amb aire. Aquest núvol inflamable es va incendiar en contacte amb una flama del càmping, amb els catastròfics resultats que tots sabem.

L'EXPERIMENT

No us ho creieu, tot això? Proveu-ho a casa. Fa uns dies se'm va acudir un senzill experiment que tot-



hom pot fer, i que pot ajudar a visualitzar aquest fenomen. No patiu, ja sé que no teniu cap cisterna de propilè a casa, no us farà falta.

Compreu un encenedor de butà, que sigui dels de plàstic ben transparent.

Ara, fiqueu-lo al congelador del refrigerador un parell d'hores.

Treieu-lo, i ràpidament marqueu amb un retolador fi el nivell on arriba el líquid, o bé colqueu-lo al costat d'un regle graduat.

Deixeu ara que s'escalfi fins a temperatura ambient.

Observareu –si tot va bé– que el nivell del butà líquid puja algun mil·límetre per sobre del nivell que

tenia abans. Ho podeu observar a les fotos adjuntes, fetes sense trampa. A l'escalfar-se, augmenta el nivell del líquid, com en el cas del propilè⁷. Observeu-ho en els meniscs: en la foto presa amb els encenedors A i B a –24 °C els meniscs (ratlles de traços) estan una mica per sota de les ratlles que senyalen els meniscs dels encenedors a 18 °C (ratlles de punts). L'experiment surt millor amb encenedors *plens, llargs i prims*.

Hi ha, és clar, molts errors experimentals: el recipient varia lleugerament de dimensions amb la temperatura, i les ratlles i les lectures són imprecises. De tota manera, qualitativament l'efecte s'observa sens dubte. Si voleu, podeu fer-ho tot amb més precisió i fer alguns números. Jo ho he fet, i surt força bé.

FINAL

Als lectors –31 com a màxim– que heu llegit fins aquí ara només us falta que graveu a foc la idea central: a l'escalfar un sistema tancat gas-líquid, pot augmentar el volum del líquid.

Però no sóc gens optimista. El preconcepte «*la calor sempre genera vapor*» el tenim gravat a foc, no el perdem fàcilment... Tots hem aprovat la termo, però tots encara diem «*Quina calor que tinc!*» en lloc de dir «*Acumulo energia interna a un ritme brutal!*»... I això que ja us ho havia advertit fa anys⁸. 🌐

¹ **Hawking, S.** (1988) «*Història del temps*». Ed. Crítica. Cita de la pàgina 9.

² El nom *propilè*, antic nom del *propè*, té el seu origen en el nom de l'àcid propiònic (o propanoic), CH₃-CH₂-COOH. Ve dels mots grecs *πρῶτος*, *primer*, i *πίων*, *greix*: és l'àcid gras més curt que es coneixia. De *propiònic* es va originar el radical *propil-* i la resta de derivats. No té res a veure amb el mot *propileu*, portal d'honor dels edificis monumentals grecs, com l'Acropolis.

³ Podeu trobar els detalls tècnics a **Mans, C.** (1985) «*La explosió del càmping "Els Alfacs"*» *Ingenieria Química*, novembre, 349-351.

⁴ La demostració de l'equació (6) la preguntaré el proper dia a classe.

⁵ Cal destacar que aquesta discussió és vàlida només quan hi ha molt líquid i poc vapor. Si és al revés, passa just al contrari: a l'escalfar es va reduint el líquid fins que es fa tot vapor.

⁶ Legalment una cisterna de propilè ha d'omplir-se amb líquid com a màxim fins un 53 % de la seva capacitat.

⁷ Per cert, us heu preguntat mai a quina pressió està l'encenedor? Quan el teniu a la butxaca (uns 30 °C), a més de 3 bar.

⁸ Vegeu **Mans, C.** (1989) «Una classe sobre l'energia» NPQ 310/89 (abril), 5-8.