

## MODELIZACIÓN DEL FENÓMENO DE EVAPORACIÓN DE CHARCOS DE SUSTANCIAS VOLÁTILES

Fossati, F.<sup>1</sup>; Kraft, R. A.<sup>1</sup>; Orellano, S.<sup>1</sup>; Rodríguez, N. H.<sup>1</sup>; Scenna, N. J.<sup>1</sup>.

CAIMI Centro de Aplicaciones Informáticas y Modelado en Ingeniería, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Zeballos 1346, S2000BQA Rosario, Argentina.

### INTRODUCCIÓN

En este trabajo, se pretende desarrollar un método matemático que permita estimar para charcos de sustancias volátiles, el caudal de evaporación, el área y la temperatura del charco, y el flujo de calor intercambiado. El modelo divide al suceso en dos fenómenos fundamentales: expansión y vaporización de charcos. Para el primer fenómeno se utiliza el modelo GASP y para el segundo se plantea un balance de energía. El método desarrollado se asienta en un software de uso libre de modo que cualquier persona interesada pueda utilizarlo con múltiples sustancias.

### METODOLOGÍA

El modelo descrito se implementó en el software SciLab, mediante la discretización de las ecuaciones diferenciales empleando el método de Euler tomando un rango de la variable tiempo comprendido entre 0 y 10000 s con un incremento muy pequeño  $dt=0.1$  s. Se definieron valores iniciales para las siguientes variables: radio inicial  $r_1=0.1$  m, profundidad media del charco  $h_1=0.01$  m, velocidad de expansión  $u_1=0.01$  m/s y la temperatura inicial de descarga del líquido  $T_f$ = temperatura del aire adoptada. Se comprueba el modelo con un tanque atmosférico de ciclohexano sin endicamiento sobre una superficie de concreto. Para evaluar la tasa de evaporación, se parametriza el caudal fugado en: 50, 100, 250 y 500 kg/s y la velocidad del viento en: 2, 5 y 8 m/s. Para el balance de energía, se contemplaron dos situaciones: Invierno-temperatura del suelo 283,15K, temperatura del aire 278,15K y radiación solar incidente 166J/m<sup>2</sup>s; Verano - $T_s=313,15$  K,  $T_a=303,15$  K y  $H_r=625$  J/m<sup>2</sup>s.

### DEMANDA SOCIOECONÓMICA

El almacenamiento de una sustancia volátil y el peligro asociado a su exposición a la atmósfera es crucial al momento de efectuar un análisis de riesgo cuantitativo (ACR) en la industria. Para sustancias con bajo punto de ebullición existen diferentes modalidades de almacenamiento en estado líquido: presurizado como es el caso del Gas Natural Licuado (GNC), o mediante refrigeración, como el amoníaco (NH<sub>3</sub>); mientras que aquellas sustancias que son líquidas a temperatura ambiente pueden contenerse en grandes reservorios atmosféricos. Si ocurre un derrame de una sustancia volátil, en ausencia de una fuente de ignición, generará vapores que se pueden traducir en la formación de nubes tóxicas/ inflamables y/o explosivas cuyas consecuencias sobre la salud no solo se extienden a los operarios sino también a las personas que habitan cerca del recinto.

### Balace de energía

$$\frac{dT}{dt} = \frac{A_{top}}{C_{p,L}(T)\rho_L(T)V} (H(T) - q_v L_V(T)) + \frac{q_s}{\rho_L(T)V} (T_{q_s} - T) \quad H_{c(\tau)} = \frac{k_s(T_s - T)}{\sqrt{a_s \pi t}}$$

$$H_r = \frac{(1 - \epsilon)H_{r_s} + C_3 T_a^6 - \sigma T_a^4 + C_4 N}{1,12} \quad H_{a(\tau)} = \frac{0,037 Pr_a^{1/3} Re_a^{0,8} k_a}{2 r} (T_a - T)$$

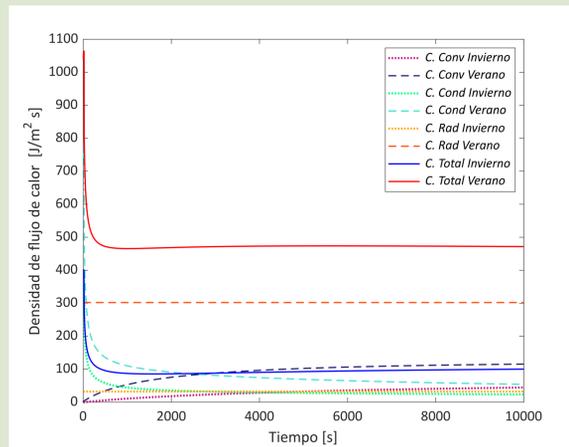
### Descarga y evaporación

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV_d}{dt} - \frac{dV_e}{dt} - \frac{q_{dr}}{\rho_L} \quad \frac{dV_d}{dt} = \frac{q_s}{\rho_L(T)} \quad \frac{dV_e}{dt} = \frac{q_v}{\rho_L} \cdot A_{top}$$

### Transporte de vapor

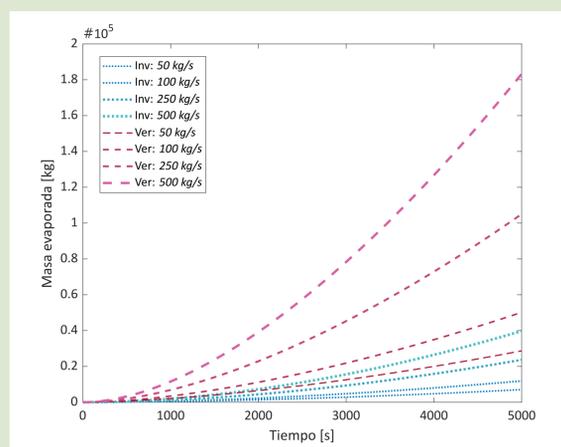
$$q_v = k_m \rho_v \quad k_m = 0,004786 u_w^{0,78} (2 r)^{-0,11} Sc^{-0,67}$$

### Densidad de flujo de calor



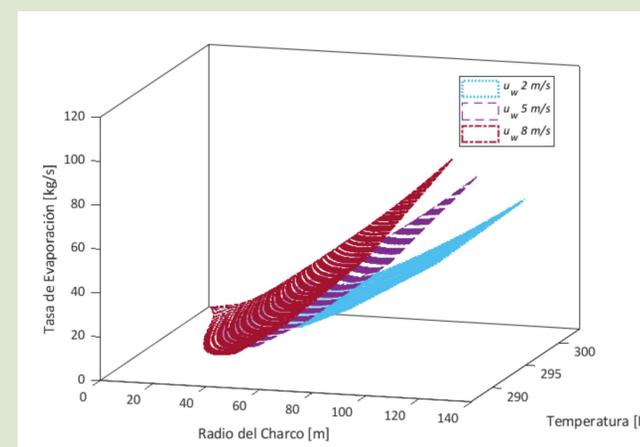
Se puede observar que el término más importante es el de la radiación solar. Además, este fenómeno varía considerablemente dependiendo de la estación del año. Sin embargo, al principio el calor por conducción predomina frente a los otros tipos de transmisión de calor durante 2 minutos en verano y 40 minutos en invierno, esto se debe al tamaño del área de intercambio. Mientras que la convección con el ambiente aumenta al disminuir la temperatura del charco, pues aumenta el  $\Delta T$ .

### Masa evaporada



Aquí se refleja un aumento en la masa evaporada al aumentar el caudal de fuga, debido al aumento del área de intercambio. También es apreciable que la masa evaporada es mayor en verano, siempre y cuando el área de transferencia no disminuya demasiado debido a una evaporación excesiva y se tenga un caudal de fuga muy pequeño.

### Radio vs tasa de evaporación



Se observa que a mayor velocidad de viento el área del charco (radio) disminuye dado el aumento de la masa evaporada debido a un incremento en el gradiente químico. Por otro lado, también puede notarse un incremento en el gradiente de temperaturas, puesto que disminuye la temperatura producto de la evaporación pero la descarga se mantiene a temperatura constante, principalmente a caudales de fuga pequeños, lo que influye en la temperatura media del charco.

### RESULTADOS

Por medio del análisis efectuado en este trabajo para el derrame de ciclohexano en ausencia de una fuente de ignición, se expone la influencia de variables con injerencia en el fenómeno de evaporación de charco partiendo de diferentes condiciones de entorno. Se concluye la importancia de la evaluación de las condiciones ambientales: principalmente de la velocidad de viento secundada por la temperatura del suelo (aporte significativo por el mecanismo de conducción). Al mismo tiempo, aunque se remarca la simplificación adoptada de considerar un caudal constante de descarga a lo largo de la evolución del charco como así también la ausencia de delimitaciones del mismo, se infiere que éste, al menos en los primeros minutos, tiene gran influencia en la tasa de evaporación. Finalmente, se desea resaltar que la sustancia evaluada se considera no solo inflamable sino también explosiva, por lo que contar con un análisis de las principales variables abre el campo para plantear a futuro un modelo simplificado con el fin de calcular la tasa de evaporación y junto con un modelo de dispersión poder estimar las consecuencias ocasionadas dado un fogonazo (flash fire) o una explosión de nube de vapor.