

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **4.1 Materiales.**

#### ***4.1.1 Software***

Microsoft Visual Basic 6.0

Matlab Versión 6.0.0.88 Release 12.

Microsoft Office Excel 2003

#### ***4.1.2 Equipo de Cómputo.***

- Computadora

Microsoft Windows XP Profesional

Versión 2002

Intel ® Celeron ® 1.60 GHz de procesador.

1.59 GHz, 448 MB de memoria RAM.

Disco duro de 60 GB de memoria.

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Procedimientos de cálculo para obtener la sobrepresión.

- TNT: Cálculo de sobrepresiones en cantidades equivalentes del hidrocarburo y de trinitrotolueno.

El procedimiento de cálculo para obtener la sobrepresión por medio de éste método se describe a continuación. Se incluyen los modelos matemáticos utilizados para éstos cálculos.

1. Se obtiene la masa equivalente de TNT de la sustancia involucrada en la explosión. Para esto, se necesita de la **ECUACIÓN 3.4**. El valor de la eficiencia de la explosión puede tomar cualquier valor que va desde el 1% hasta el 15%. Se recomienda usar el 5% para eficiencias bajas, un 10% para eficiencias medias y 15% para eficiencias altas. El valor de la energía de explosión del gas inflamable se obtiene de tablas y por último el valor de la energía total de explosión del TNT es un valor fijo y es de 4686 kJ/kg.

$$m_{TNT} = \frac{\eta m \Delta H_c}{E_{TNT}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

2. Posteriormente, se obtiene el valor de la distancia escalada ( $Z_e$ ), usando la **ECUACIÓN 3.3**. Para cada distancia ( $r$ ), existe un valor de distancia escalada. Finalmente, el valor de la masa equivalente de TNT se eleva a la potencia de  $1/3$ .

$$Z_e = \frac{r}{m_{TNT}^{\frac{1}{3}}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

3. Finalmente, con la **ECUACIÓN 3.2** se obtiene el valor del diferencial de presión para cada distancia escalada. Y por último, este valor se multiplica por la presión ambiental para obtener el valor de sobrepresión.

$$\frac{P_0}{P_a} = \frac{1616 \left[ 1 + \left( \frac{Z_e}{4.5} \right)^2 \right]}{\sqrt{1 + \left( \frac{Z_e}{0.048} \right)^2} \sqrt{1 + \left( \frac{Z_e}{0.32} \right)^2} \sqrt{1 + \left( \frac{Z_e}{1.35} \right)^2}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$m_{TNT}$  = masa equivalente de TNT (kg).

$\eta$  = eficiencia a dimensional de la explosión.

$m$  = masa del hidrocarburo (kg).

$\Delta H_e$  = energía de explosión del gas inflamable. (kJ / kg).

$E_{TNT}$  = energía de la explosión de TNT (kJ / kg).

- TNO: Cálculo de la sobrepresión con el método multi-energía.

El procedimiento de cálculo para este método es el siguiente:

1. El primer paso es encontrar el valor del parámetro de la energía total de la explosión. Este valor se obtiene a partir del producto de la masa de la sustancia combustible que se encuentra en la nube y el valor de la entalpía de combustión, para lo cual se aplica la **ECUACIÓN 3.9**. En dado caso que no se tengan los valores de las entalpías de explosión, y por el contrario, se tengan las capacidades caloríficas de los productos de combustión, se puede aplicar el lado derecho de la misma ecuación. Para obtener el volumen final de la expansión del volumen, en condiciones de explosión, se aplica la **ECUACIÓN 3.10**.
2. Con el valor de la energía total de la explosión, se obtiene la distancia escalada ( $R'$ ), por medio de la **ECUACIÓN 3.8**. Esta ecuación depende de la energía de la explosión y de la distancia a la que se desean conocer los daños.
3. Se fija un valor de nivel de explosión. Se recomienda que para deflagraciones muy débiles se escoja el valor de 1, y para detonaciones muy fuertes se escoja el valor de 10. Con el valor de la distancia escalada, el nivel de explosión adecuado y de la **FIGURA 3.9**, que relaciona los niveles de explosión y la distancia escalada, se obtienen los valores de las constantes  $C_1$  y  $C_2$ .
4. Finalmente, se obtiene el valor del diferencial de presión. De la misma manera que se hizo con el método de TNT, el valor del diferencial de presión se multiplica por la presión ambiental para obtener el valor de la sobrepresión.
5. Para obtener los datos de temperatura y volumen, en condiciones de explosión, es necesaria la aplicación de la **ECUACIÓN 3.10**. Con la ley de Boyle, se pueden obtener estos parámetros que sirven como información de seguridad que puede proporcionar el programa.

El primer paso que se necesita para aplicar éste método es obtener el valor de la energía total de la explosión, la cual es igual al producto de la masa del combustible y el diferencial de entalpía de la misma sustancia. Posteriormente, se obtiene el valor de la distancia escalada. Recordemos que con el valor de la distancia escalada y el nivel de explosión, se obtendrá un diferencial de presión. Finalmente, el diferencial de presión se multiplica por la presión ambiental para obtener la sobrepresión final.

#### 4.2.2 Modelos Matemáticos.

4.2.2. a Ecuación de Sobrepresión por el método de equivalencia de TNT, para predicción de perfiles de presión.

$$\frac{P_0}{P_a} = \frac{1616 \left[ 1 + \left( \frac{Z_e}{4.5} \right)^2 \right]}{\sqrt{1 + \left( \frac{Z_e}{0.048} \right)^2} \sqrt{1 + \left( \frac{Z_e}{0.32} \right)^2} \sqrt{1 + \left( \frac{Z_e}{1.35} \right)^2}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

4.2.2. b Ecuación de Sobrepresión por el método de multi-energía TNO para predicción de perfiles de presión.

$$P = C_1 * R^{-c_2} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

4.2.2. c Ecuación de balance de energía para obtener la temperatura a condiciones de explosión y la energía total de combustión.

$$m \Delta H_c = \sum_{i=1}^n (m_i C_{p_i}) \Delta T \quad \text{Ecuación 3.9}$$

4.2.2.d Ecuación de la ley de Boyle de gas ideal, para conocer el volumen final de la nube explosiva.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{Ecuación 3.10}$$