

CRITERIOS DE DISEÑO PARA LÍNEAS DE DRENAJE DE SOBRELLENADO EN TANQUES CERRADOS

Javier Sánchez Laínez^{1*}, Diego Yagüe¹, Fernando Bagües¹

Sistemiza Fluid Handling
ETOPIA – La Terminal
Avenida Ciudad de Soria, 8, planta 3ª, A04
5003 Zaragoza

Email: javier.sanchez@sistemiza.com

INTRODUCCIÓN

El sobrellenado de tanque ocurre cuando el líquido almacenado en un tanque excede su capacidad, provocando un derrame. Esto puede suceder en varios escenarios, como en el llenado, debido a errores del operador, mal funcionamiento del equipo, etc. Los sobrellenados de tanques pueden causar daños ambientales y presentar riesgos de seguridad cuando el líquido almacenado es peligroso. Además, esto puede provocar pérdidas económicas, así como dañar el tanque y el equipo relacionado.

Los tanques de almacenamiento deben estar equipados con líneas de drenaje para permitir que el fluido contenido se descargue de manera segura y controlada. Las líneas de drenaje deben conectarse al tanque cerca de la parte superior, a una cota inferior a la línea de alimentación del tanque. Es fundamental que la línea de drenaje esté diseñada para estar ventilada. De lo contrario, puede ocurrir fácilmente que el drenaje del tanque falle debido a la generación de vacío en la línea.

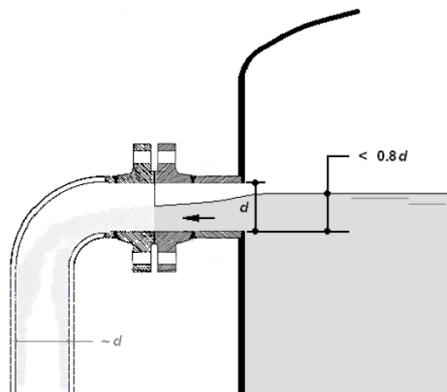


Figura 1. Esquema de línea de sobrellenado en tanque. [1]

Las líneas de drenaje por sobrellenado de los tanques suelen ser tuberías verticales por las que el líquido fluye en sentido descendente por acción de la gravedad (ver Figura 1). Se trata de flujos a superficie libre donde el caudal de líquido no llena completamente el diámetro de tubería, coexistiendo por tanto con una fase de aire. Cuando el gas y el líquido fluyen simultáneamente en una tubería o conducto, pueden resultar varios regímenes de flujo dependiendo de la geometría de

la tubería, las propiedades del fluido, las fracciones volumétricas y las velocidades de cada fase.[2] En tuberías verticales, los regímenes de flujo más comúnmente descritos son flujo de burbuja, flujo tapón, turbulento y anular, como se muestra en la Figura 2.

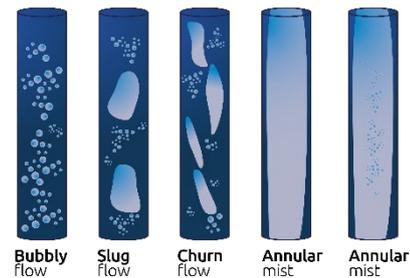


Figura 2. Patrones de flujos característicos en tuberías verticales [3]

En el flujo de burbuja, el líquido fluye hacia abajo, formando la fase continua, mientras que el gas se dispersa en el líquido formando burbujas dispersas. Estas burbujas se distribuyen por toda la sección transversal de la tubería, aumentando en número, tamaño y velocidad a medida que aumenta el flujo de gas.

En el flujo tapón, las burbujas se fusionan para formar tapones de gas alargados con un borde de frontal parabólico. El líquido desciende a lo largo de la película que rodea estos tapones de gas. Cuando la velocidad superficial del gas es alta, el líquido que desciende alrededor de los tapones de gas casi se detiene, provocando inestabilidad en estos tapones de gas y su posterior ruptura. El líquido comienza a fluir de forma turbulenta y oscilatoria en un patrón de flujo turbulento. Ambas fases fluyen como una mezcla turbulenta, con elementos estructurales en continuo proceso de colapso y formación. Este fenómeno ocurre para una amplia gama de velocidades superficiales del gas.

En el flujo anular o flujo de película descendente, el líquido fluye hacia abajo como una película a lo largo de las paredes internas de la tubería, formando un anillo, mientras que el gas fluye a través del centro. El gas suele arrastrar una porción del líquido en forma de pequeñas gotas, que fluyen a la velocidad del gas. Finalmente, en el

flujo de niebla el líquido fluye como finas gotas dispersas en el gas, lo que constituye la fase continua.

Para evitar que el aire bloquee las líneas de drenaje de sobrellenado verticales, la velocidad del líquido debe mantenerse lo suficientemente baja para permitir que el aire regrese al tanque. El único método para garantizar el flujo en superficie libre correcto es hacer que el diámetro de la tubería sea lo suficientemente grande como para evitar la formación de patrones de flujo no deseados y lograr un flujo anular.[4]

MÉTODO EXPERIMENTAL

Según la investigación de Hills [5] el flujo por gravedad en drenajes autoventilados debe cumplir dos condiciones simultáneas para garantizar un flujo de salida lateral sin efecto sifón o cualquier patrón de flujo no deseado diferente al patrón anular. Esto implica un diámetro mínimo en el límite de entrada a la salida y un número de Froude máximo (Ecuación 1):

$$ID > \left(\frac{4 \cdot Q}{0.3 \cdot \pi \sqrt{g}} \right)^{0.4} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Fr < 0.3$$

dónde:

ID es el diámetro interior en m
Q es el caudal de fluido en m³/s
g la gravedad en m²/s

Las desigualdades anteriores aseguran que la altura del fluido al comienzo de la línea de drenaje sea inferior a la mitad de la altura de esta tubería. Como se muestra en la Figura 1, para asegurar un flujo por gravedad ventilado, se debe mantener una altura crítica de fluido estático en la zona central del tanque (lejos de la salida) inferior a 0,8 d.[1]

El número de Froude es un número adimensional que se utiliza para indicar la influencia de la gravedad en el movimiento de un fluido. Se define como la relación entre las fuerzas de inercia que actúan sobre un elemento fluido y el peso de ese elemento fluido y se puede calcular con la Ecuación 2.

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{g \cdot ID}} \quad (\text{Eq. 2})$$

dónde:

u es la velocidad del fluido en m/s

Además, mantener valores de Fr por debajo de 0,3 es un criterio ampliamente aceptado en la comunidad científica para conseguir una línea ventilada en la que el líquido pueda drenar fácilmente del depósito.

CASO DE ESTUDIO

En este artículo, queremos diseñar una tubería de drenaje por sobrellenado que pueda evacuar el flujo máximo de agua alimentada al tanque que se muestra en la Figura 3. Este tanque tiene 1200 L de

capacidad de almacenamiento y puede alimentarse continuamente con hasta 9 m³/h de agua. Además, la especificación de sistemas de tuberías (pipping class) establece que las tuberías deben construirse con un diámetro nominal NPS de 1 a 6 pulgadas, siempre con Schedule 10S.

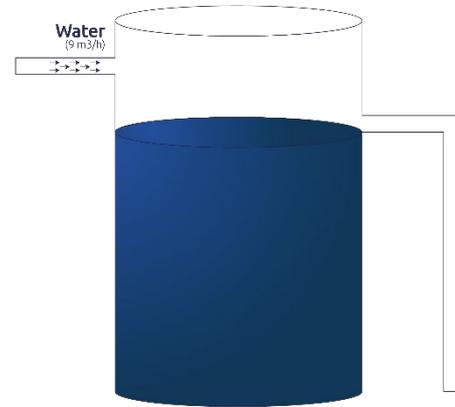


Figura 3. Esquema de caso de estudio

Estableciendo 9 m³/h de agua como caudal máximo a drenar, el diámetro interior mínimo de la tubería de drenaje se puede calcular con la Ecuación 1.

$$ID > \left(\frac{4 \cdot 0.0025}{0.3 \cdot \pi \sqrt{9.81}} \right)^{0.4} = 0.103 \text{ m}$$

Ahora, se debe seleccionar el diámetro nominal de la tubería entre los tamaños disponibles en la norma ASME B36.10M. Como se muestra en la Figura 4, un diámetro de tubería de NPS 4 in. y Sch. 10S cumple con los requisitos, ya que su diámetro interior sería de 0,108 m, y por tanto superior a los 0,103 m obtenidos del cálculo.

Tamaño	Diám. exteri.	SCH 5	SCH 10	SCH 30	SCH 40 STD	SCH 80 XS	SCH 120	SCH 160	XXS
NPS	DN	in	in	in	in	in	in	in	mm
in	mm	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
3	80	3.5 (88.9)	0.083 (2.11)	0.12 (3.05)	0.188 (4.78)	0.216 (5.49)	0.3 (7.62)	0.438 (11.13)	0.6 (15.24)
3 1/2	90	4 (101.6)	0.083 (2.11)	0.12 (3.05)	0.188 (4.78)	0.226 (5.74)	0.318 (8.08)	0.438 (11.13)	0.6 (15.24)
4	100	4.5 (114.3)	0.083 (2.11)	0.12 (3.05)	0.188 (4.78)	0.237 (6.02)	0.337 (8.56)	0.438 (11.13)	0.531 (13.49)
5	125	5.063 (128.7)	0.109 (2.77)	0.134 (3.4)	0.258 (6.55)	0.375 (9.53)	0.5 (12.7)	0.625 (15.88)	0.75 (19.05)
6	150	6.625 (168.28)	0.109 (2.77)	0.134 (3.4)	0.28 (7.11)	0.432 (10.97)	0.562 (14.27)	0.719 (18.26)	0.864 (21.95)

Figura 3. Fragmento de ASME B36.10M standard con diámetros de tubería [6]

Finalmente, se calcula el número de Froude con la Ecuación 2 para comprobar que esta condición también se cumple.

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{g \cdot ID}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot ID^2 \sqrt{g \cdot ID}}$$

$$Fr = \frac{4 \cdot 0.0025}{\pi \cdot 0.108^2 \sqrt{g \cdot 0.108}} = 0.27 < 0.3$$

En conclusión, un diámetro de tubería **NPS 4 (sch. 10S)** es la mejor opción para el diseño de este sistema de drenaje, ya que permitirá lograr una línea de ventilada cuando el agua pueda rebosar el tanque.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Selecting the Optimum Pipe Size © 2008, 2015 Randall W. Whitesides, CPE, PE.

[2] WU, Benjamin, et al. A critical review of flow maps for gas-liquid flows in vertical pipes and annuli. Chemical Engineering Journal, 2017, vol. 326, p. 350-377.

[3] R.A Sultan et. al. CFD Simulation Investigation of Natural Gas Components through a Drilling Pipe. ENGI 9120 (Advanced Natural Gas)- Term Project Affiliation: Memorial University of Newfoundland. March 2016

[4] Assess the Gravity of the Situation. Chemical Processing. Nov. 2009.

[5] HILLS, P. D. Designing piping for gravity flow. Chem. Eng.(London);(United Kingdom), 1983, vol. 90, no 18.

[6] Espesor tuberías en Acero al Carbono según ASME B36.10M. <http://www.dnbrida.com/espesor-tuberia-acero-al-carbono-sch-asme-b36.10m.php>. Last Access on 03/06/2024.

#FlowWithUs

