

Mat.: Téngase presente actividades de carga y descarga de combustibles que generan emisiones de COVs.

Ant.: Resolución Exenta N° 860, de 23 de mayo de 2023, de esta Superintendencia del Medio Ambiente.

Adj.: Anexo en formato digital.

Santiago, 25 de mayo de 2023

Señora
Marie Claude Plumer Bodin
Superintendente
Superintendencia del Medio Ambiente
Teatinos 280, piso 8
Santiago

PRESENTE

Junto con saludarle, y en representación de **Coppec S.A.**, por medio de la presente, vengo en hacer presente a Ud. el detalle de las actividades de carga y descarga de combustibles que generan emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles ("**COVs**"), realizadas en la Unidad Fiscalizable "Terminal Marítimo de Quintero" ("**TPI**"), para su debida consideración al momento de fiscalizar el cumplimiento de las medidas provisionales pre-procedimentales decretadas en el Resuelvo Primero de la Resolución Exenta N°860, de 23 de mayo de 2023, dictada por esta Superintendencia del Medio Ambiente ("**R.E. N°860/2023**");

Al respecto, en las instalaciones de TPI existen dos tipos de tanques de almacenamiento de productos combustibles, los **tanques de techo flotante externo**, utilizados para el almacenamiento de productos orgánicos de alta volatilidad, específicamente, gasolinas, que corresponde a los denominados TK-202, TK-203 y TK-204 y, los **tanques de techo fijo**, utilizados para el almacenamiento de productos de baja volatilidad, por ejemplo, petróleo diésel y fuel oil, que corresponden a los denominados TK-201, TK-212, TK-213, TK-601, TK-602 y TK-603.

Pues bien, conforme consta en la estimación de emisiones que motivó el Plan Operacional vigente, y según se da cuenta en el informe técnico adjunto a esta presentación, en los tanques del TPI se generan dos tipos de emisiones:

- **Tanques de techo flotante externo:**

- **Emisiones evaporativas permanentes (“standing losses”):** Corresponden a emisiones fugitivas por zonas del tanque que no se encuentran completamente selladas – cuyo valor dependerá exclusivamente de las características de diseño de los sellos, accesorios y patas del techo – y que se caracterizan por ser independientes de las condiciones de operación del tanque (reposo, ingreso o salida del producto). Es decir, estas emisiones no se relacionan con la condición operativa del tanque; y,
- **Emisiones evaporativas durante la salida del producto del tanque (“withdrawal losses”):** Estas se encuentran asociadas a la condición operativa del tanque, y que se producen con el descenso del techo del tanque. En este sentido, con la salida del producto del tanque, la pared queda “expuesta”, estando impregnada del producto líquido que almacena que, en un tiempo determinado, se evapora, generando una emisión de COVs al aire.

- **Tanques de techo fijo:**

- **Emisiones evaporativas permanentes por respiración (“breathing losses”):** Corresponden a aquellas que se producen por variaciones de presión y volumen de los vapores de hidrocarburos existentes en el interior del tanque, ocasionadas por cambios de su temperatura y presión como consecuencia del intercambio de energía con el exterior por el ciclo diario de temperatura ambiente y radiación solar. Sin embargo, la frecuencia de estos venteos de respiración depende principalmente de la amplitud térmica del ciclo diario y la radiación solar del día, y son independientes de las condiciones de operación del tanque (reposo, ingreso o salida del producto).
- **Emisiones evaporativas durante el ingreso de producto al tanque (“working losses”):** Estas emisiones, a diferencia de las de carácter permanente, están asociadas a la condición operativa del tanque, y se producen debido a que, en el momento de ingresar producto al tanque, sube el nivel de líquido, aumentando la presión en la zona de vapores, lo que genera el desplazamiento al exterior de parte de los vapores existentes sobre éste. No se generan emisiones en el caso del “vaciado” (o salida) del producto, en tanto el flujo, en este escenario, es hacia el interior del tanque.

En consecuencia, las únicas operaciones de carga y descarga de combustibles realizadas en TPI que generan emisiones de COVs – y, por tanto, a las que resultan aplicables las medidas provisionales decretadas por la R.E. N°860/2023 – corresponden a (i) **carga de combustibles líquidos desde buque a tanques de almacenamiento de techo fijo** y; (ii) **descarga de producto combustible desde tanques de almacenamiento de techo flotante**.

Por lo anterior, se solicita a Ud. tener presente las operaciones carga y descarga de combustibles respecto de las cuales resultan aplicables las medidas provisionales pre-procedimentales decretadas en el Resuelvo Primero de la R.E. N°860/2023.

Sin otro particular, le saluda atentamente,

**ALFREDO
JALON
OVALLE**

Firmado digitalmente
por ALFREDO JALON
OVALLE
Fecha: 2023.05.25
14:50:20 -04'00'

Alfredo Jalón Ovalle
Copec S.A.

CC: Carolina Silva, Jefa Oficina Regional Valparaíso.

Adj: Informe técnico "Emisiones de COVs en tanques de almacenamiento de combustibles", elaborado por Inerco, año 2022.

INFORME TÉCNICO

EMISIONES DE COVs EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES



Av. Andrés Bello 2233 Piso 3, Providencia · Santiago · Chile · Fono (+56) 2 2963 8560 · www.inercochile.com

NOVIEMBRE 2022
CL-MA-22-0181-001-CCC-00

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. OBJETO.....	2
2. REFERENCIAS DE LA METODOLOGÍA EPA AP-42.....	2
3. DESCRIPCIÓN DE EMISIONES EN TANQUES ALMACENAMIENTO	4
3.1. TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO	5
3.2. TANQUES DE TECHO FIJO	8
4. FORMULACIÓN MATEMÁTICA PARA CÁLCULOS DE EMISIONES EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	11
4.1. CÁLCULOS DE EMISIONES EN TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO	11
4.2. CÁLCULOS DE EMISIONES EN TANQUES DE TECHO FIJO	15
5. CONCLUSIONES	20

1. OBJETO

Este Informe se desarrolla con el objeto de exponer los mecanismos y acciones operativas que ocasionan emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en tanques de almacenamiento de combustibles, tomando como sustento las referencias bibliográficas relativas a esta materia de fuentes de prestigio contrastadas y aceptadas internacionalmente, como lo son la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA AP-42), el Instituto Americano del Petróleo (API) y la Comisión Europea.

Como resultado del análisis, este Informe evidencia que el ingreso de productos combustibles en tanques de techo flotante externo y la salida de productos desde tanque de techo fijo no son operaciones a las que, de acuerdo a la bibliografía de referencia, se pueda atribuir la generación de emisiones de COVs, mientras que la salida de productos desde tanque de techo flotante y el ingreso de productos en tanques de techo fijo, si se tratan de operaciones a las que, de acuerdo a la bibliografía de referencia, se les puede atribuir la generación de emisiones de COVs.

2. REFERENCIAS DE LA METODOLOGÍA EPA AP-42

La metodología EPA AP-42¹ constituye el referente a nivel internacional en lo relativo a las técnicas y métodos para la estimación de emisiones atmosféricas de diferentes actividades. Esta metodología contiene factores de emisión e información de procesos para más de 200 categorías de fuentes de emisiones aire, y ha sido desarrollada a partir de multitud de datos de pruebas en las fuentes emisoras, estudios de balance de materia y estimaciones de ingeniería.

Fue publicada por primera vez en el año 1972, y ha tenido diversas actualizaciones hasta la fecha. Contiene una sección específica relativa a las emisiones en el almacenamiento de productos líquidos orgánicos (como son los combustibles) (Chapter 7, Liquid Storage Tanks), cuya última revisión es del año 2020, y se sustenta en multitud de estudios realizados por la Asociación Americana del Petróleo (API). Esta revisión ha considerado los últimos avances disponibles en relación con el conocimiento y estimación de las emisiones de COVs relativas al almacenamiento de combustibles e incluyó un proceso de participación pública donde los diferentes grupos de interés entregaron sus aportes técnicos.²

Algunos ejemplos que pueden citarse respecto al empleo de esta metodología como referencia internacional, adicional a su uso con carácter regulatorio en USA, son los siguientes:

- En Europa:
 - o La **Agencia de Europea de Medio Ambiente** en su Guía para la realización de inventarios de emisiones en Europa³ considera a la metodología del Capítulo 7 de EPA AP-42 como la opción de mayor nivel

¹ AP-42, Compilation of Air Pollutant Emissions Factors. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>

² <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/final-revisions-ap-42-chapter-7-section-71-organic-liquid>

³ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

(Tier 3) para estimar las emisiones del almacenamiento de combustibles.

- La Organización Europea de Compañías Petroleras para la Protección del Medio Ambiente y la Salud (**CONCAWE**), en su metodología específica para la estimación de emisiones para refinerías de petróleo⁴, indica expresamente el uso de del Capítulo 7 de EPA AP-42 para calcular las emisiones de los tanques de almacenamiento de combustibles.
- En **Australia**, el Manual de estimación de emisiones de almacenamiento de combustibles y productos orgánicos⁵, del Departamento de Cambio Climático, Energía, Medio Ambiente y Agua del **Gobierno de Australia**, también cita la metodología EPA AP-42 en su Capítulo 7 como la referencia para la estimación de emisiones en caso que se disponga de la información detallada necesaria para poder aplicarla.
- En **Canadá**, el Código para el desarrollo de inventarios de emisiones de refinerías y terminales de combustibles⁶, publicado por la **Asociación de Empresas de Combustible de Canadá**, indica que las emisiones del almacenamiento de combustibles deben calcularse según estable el Capítulo 7 de EPA AP-42.

Esta metodología EPA AP-42 es también ampliamente usada en Chile para la estimación de emisiones atmosféricas. En particular, es la metodología considerada en la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Provenientes de Fuentes Puntuales del Ministerio de Medio Ambiente (2019), que es la base para realizar la declaración anual de emisiones de este tipo de fuentes conforme al D.S. N°138/2005 MINSAL.

⁴ https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Rpt_19-4.pdf

⁵ <https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/fols.pdf>

⁶ https://www.canadianfuels.ca/wp-content/uploads/2019/09/Canadian-Fuels-Code-of-Practice-2020-Rev-18_Final.pdf

3. DESCRIPCIÓN DE EMISIONES EN TANQUES ALMACENAMIENTO

En este apartado se describen conceptualmente los mecanismos generadores de emisiones de COVs en tanques de techo flotante externo y en tanques de techo fijo.

La información que se presenta se sustenta principalmente en el Chapter 7, Liquid Storage Tanks, EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources (versión actualizada marzo 2020)⁷.

Dicho documento de la EPA contiene el detalle de las ecuaciones y modelos para estimar las emisiones al aire de tanques de almacenamiento de líquidos orgánicos. También incluye descripciones detalladas de variedades típicas de tales tanques, incluyendo horizontales, verticales y tanques subterráneos de techo fijo y tanques de techo flotante internos y externos. Las ecuaciones de estimación de emisiones presentadas aquí han sido desarrolladas por la API.

Adicionalmente, también se incluye información procedente del documento de Mejores Técnicas Disponibles (BREF) relativas a emisiones generadas por el almacenamiento⁸, publicado por la Comisión Europea en 2006 en el contexto de la regulación en Europa relativa a la Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC).

Finalmente, los aspectos indicados que se describen cualitativamente en este apartado, se contrastan cuantitativamente con la formulación matemática aportada en el apartado 4 del presente Informe, procedente del documento EPA AP-42 antes referenciado.

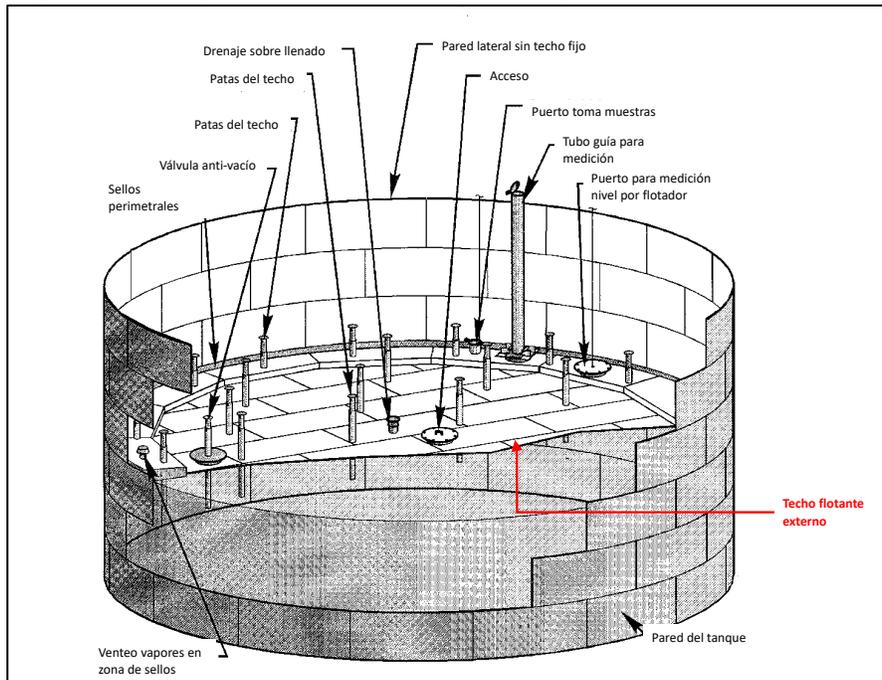
⁷ <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/ch07s01.pdf>

⁸ <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/es/reference/emissions-storage>

3.1. Tanques de techo flotante externo

La Figura siguiente muestra la representación referencial de un tanque de techo flotante externo para el almacenamiento de combustibles.

Figura N° 1. Representación referencial tanque techo flotante externo



Como se observa en la Figura, el tanque está compuesto por principalmente por:

- Una pared lateral (que suele ser soldada).
- Un techo flotante externo.
- Sellos perimetrales fijados al techo flotante que ocupan el pequeño espacio que necesariamente debe existir entre el techo y la pared para permitir el movimiento ascendente y descendente del techo para el ingreso y salida de producto. Esto sellos tienen la misión de contener y minimizar la emisión al aire de los vapores de hidrocarburos que se generan en la zona perimetral entre el tanque y la pared.
- Un conjunto de patas en el techo que tienen la función sostener el techo en un punto fijo cuando el nivel del líquido desciende bajo una determinada altura (llamada altura crítica).
- Un grupo de accesorios en el techo con diversas funcionalidades necesarias para el control y medición del producto y para la operación segura del tanque.

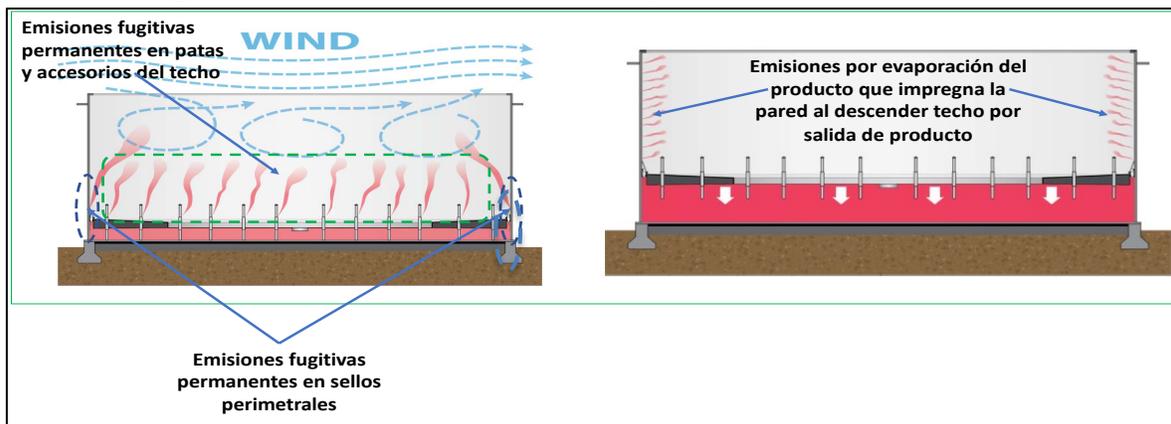
Los tanques de techo flotante externo se ocupan principalmente para el almacenamiento de productos orgánicos de volatilidad significativa, como por ejemplo gasolinas. El techo del tanque es móvil, y flota sobre el nivel de líquido impidiendo de esta manera que se cree una zona de vapores de hidrocarburos entre el nivel del líquido almacenado y el propio techo, a diferencia de lo que ocurre en tanques de techo fijo convencionales, donde existe una zona

de vapores entre el líquido almacenado y el techo que está fijo en la parte superior del tanque.

Cuando ingresa producto a un tanque de techo flotante externo, el techo asciende manteniendo siempre el contacto con el líquido a medida que éste sube de nivel. Igualmente ocurre cuando sale producto del tanque y desciende el techo flotante.

Los diferentes mecanismos generadores de emisiones de COVs en este tipo de tanques, se representan visualmente en la Figura 2 y se describen posteriormente.

Figura N° 2. Emisiones de COVs en tanques de techo flotante externo



Las emisiones generadas durante condiciones de operación normales de los tanques de techo flotante externo se categorizan en dos tipos, siendo más significativas las emisiones evaporativas permanentes, que las que ocurren durante la salida de producto del tanque:

- **Emisiones evaporativas permanentes (standing losses).** Estas emisiones corresponden a emisiones fugitivas por zonas del tanque que no están completamente selladas, como lo son los sellos perimetrales, y los accesorios y patas que penetran al techo. El valor de estas emisiones depende fundamentalmente de las características de diseño de los sellos, accesorios y patas del techo, así como de la velocidad del viento. Estas emisiones se caracterizan por ser independientes de las condiciones de operación del tanque (reposo, ingreso o salida de producto), es decir, no están relacionadas con la condición operativa del tanque.
- **Emisiones evaporativas durante la salida de producto del tanque (withdrawal losses).** A diferencia de las emisiones permanentes, estas emisiones sí están asociadas a la condición operativa del tanque, y se producen debido a que al descender el techo del tanque, la pared queda expuesta estando impregnada del producto líquido que almacena, que en un tiempo determinado se evapora generando una emisión de COVs al aire. La magnitud de estas emisiones depende principalmente del factor de impregnación de la pared (clingage factor) del producto almacenado, siendo significativamente mayor en el caso del crudo que de productos limpios como gasolinas o diésel.

En consecuencia:

- No se atribuyen emisiones específicas de COVs a la operación de ingreso de producto en el tanque, adicionales a las “standing losses”, ya que las emisiones evaporativas permanentes no alternan su magnitud por el hecho de que el tanque esté en reposo, ingresando o despachando producto.
- Al subir el techo por el ingreso de producto no se produce la impregnación de la pared que motiva las “withdrawl losses”, que sí se generan en el descenso del techo por salida del producto.

Es preciso señalar que lo expuesto anteriormente hace referencia a condiciones operativas habituales, donde el techo siempre está flotando sobre el líquido. Existe una condición operativa que tiene lugar cuando durante la salida de producto el techo desciende hasta alcanzar su altura mínima (altura crítica). En ese caso, el techo queda en un punto fijo sustentado sobre sus patas que se apoyan en el suelo del tanque. En este momento, si continúa el proceso de retiro de producto, el nivel de líquido desciende quedando el techo fijo y formándose entonces una zona de vapores entre el líquido y el techo, abriéndose la válvula anti-vacío existente en el techo para evitar presiones negativas en el interior del tanque. Durante esta circunstancia, el tanque pasa a comportarse como un tanque de techo fijo, de modo que cuando se ingresa producto se ocasionan emisiones de COVs por el desplazamiento de vapores del interior al subir el líquido, saliendo estos vapores de hidrocarburos por la válvula anti-vacío. Esta situación se mantiene hasta que el líquido al subir de nivel alcanza la posición fija del techo y hace que éste vuelva a condiciones de flotación en contacto permanente con el producto.

Las emisiones de COVs que tienen lugar en esta situación operativa particular se denominan **emisiones en condiciones de “Roof Landing”** y están descritas en los documentos EPA AP-42, API y BREF de la Comisión Europea.

Por tanto, en consideración de lo anterior, sólo pueden atribuirse emisiones específicas de COVs durante el ingreso de producto en tanques de techo flotante externo en caso de que esté se encuentre en condición operativa de Roof Landing, es decir, con el techo flotante en su posición más baja y apoyado en sus patas.

A modo complementario, se incluye la siguiente Figura del documento Mejores Técnicas Disponibles (BREF) relativas a emisiones generadas por el almacenamiento⁹ publicado por la Comisión Europea en 2006, donde se refieren las diferentes fuentes de emisión de tanques de techo flotante externo. Se constata que para operaciones de ingreso de producto (filling) sólo se generan emisiones en condiciones de Roof Landing y hasta que el techo vuelve a flotar sobre el líquido.

⁹ <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/es/reference/emissions-storage>

Figura N° 3. Fuentes de emisión de COVs en tanques techo flotante externo

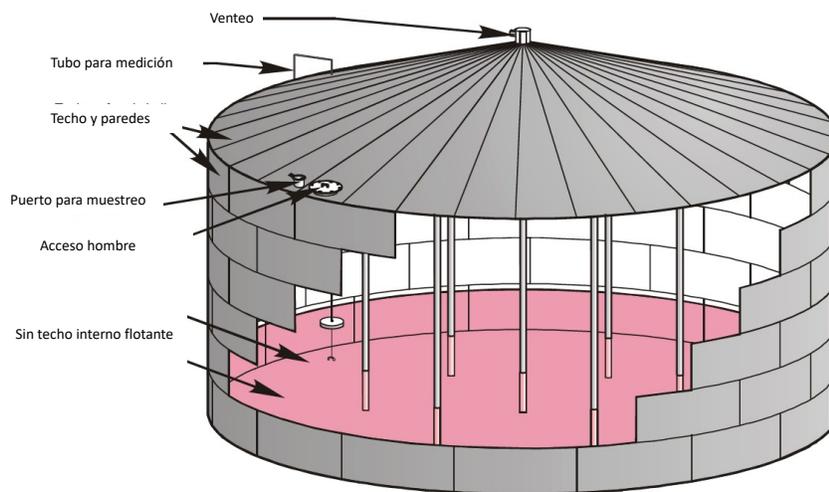
Potential source of emissions to air	Emission frequency	Emission volume	Emission score
Filling (until roof floats on liquid)	1	3	3
Standing	3	1	3
Emptying (shell film)	2	1	2
Emptying (roof landing)	1	1	1
Blanketing			N/A
Cleaning	1	2	2
Manual gauging	2	1	2
Sampling	2	1	2
Fugitive	3	1	3
Draining	2	1	2

Table 3.6: Possible emissions to air from 'operational sources' with EFRT [84, TETSP, 2001]

3.2. Tanques de techo fijo

La Figura siguiente muestra la representación referencial de un tanque de techo fijo para el almacenamiento de combustibles.

Figura N° 4. Representación referencial tanque de techo fijo



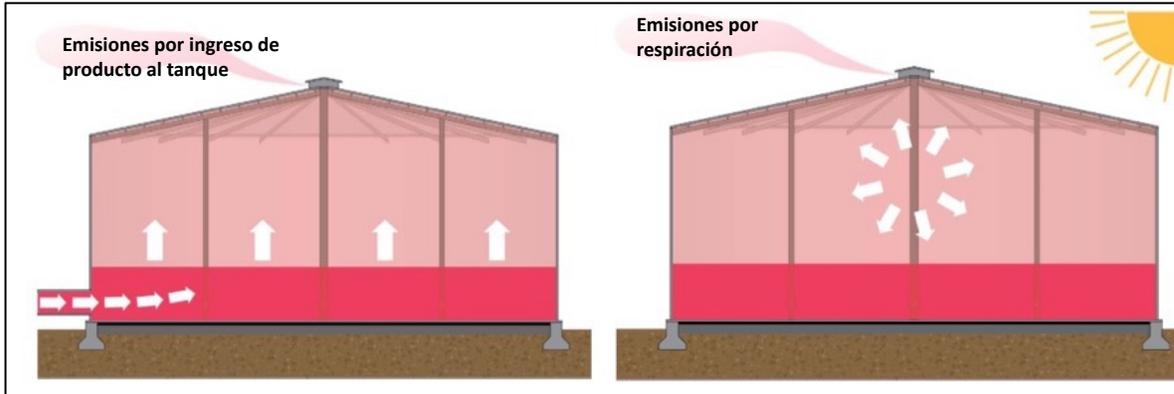
El tanque está compuesto por principalmente por:

- Una pared lateral (que suele ser soldada).
- Un techo fijo que puede ser tipo cónico o con forma de domo auto-soportado sin patas.
- Un grupo de accesorios en el techo con diversas funcionalidades necesarias para el control y medición del producto y para la operación segura del tanque, incluyendo un venteo de vapores al aire¹⁰.

¹⁰ Este venteo puede ser libre o controlado con válvula de presión-vació.

Los tanques de techo fijo se ocupan principalmente para el almacenamiento de productos orgánicos de baja volatilidad, y por tanto baja potencialidad de generar emisiones atmosféricas en su manejo y almacenamiento, como por ejemplo diésel o fuel oil. Los mecanismos generadores de emisiones de COVs en este tipo de tanques se representan visualmente en la Figura 5.

Figura N° 5. Emisiones de COVs en tanques de fijo



Las emisiones generadas durante condiciones de operación normales de los tanques de techo fijo se categorizan en los dos tipos que a continuación se indican:

- **Emisiones evaporativas por respiración (breathing losses).** Estas emisiones se producen por variaciones de la presión y volumen de los vapores de hidrocarburos existentes en el interior del tanque, ocasionadas por cambios de su temperatura y presión como consecuencia del intercambio de energía con el exterior por el ciclo diario de temperatura ambiente y radiación solar.

Cuando la temperatura ambiente aumenta durante las horas del día, se produce una transferencia de calor a través de las paredes del tanque desde el exterior al interior, incrementando la temperatura y presión al interior de tanque, lo que hace que los vapores de expandan y una fracción de ellos salgan al exterior por el venteo existente en el techo hasta equilibrar la presión del tanque, lo cual ocurre típicamente en las horas de la tarde (fenómeno que se denomina respiración del tanque).

Al finalizar el día y en las horas de la noche, ocurre la situación contraria, el intercambio de calor se produce desde el tanque hacia el exterior y eso hace que descienda ligeramente la presión al interior del tanque permitiendo el ingreso de aire al interior del tanque hasta alcanzar la presión atmosférica. Este fenómeno no genera emisiones atmosféricas.

La frecuencia de estos venteos de respiración depende principalmente de la amplitud térmica del ciclo diario y la radiación solar del día, y son independientes de las condiciones de operación del tanque (reposo, ingreso o salida de producto).

- **Emisiones evaporativas durante el ingreso de producto del tanque (working losses).** A diferencia de las emisiones por respiración, estas emisiones si están asociadas a la condición operativa del tanque, y se producen debido a que, en el momento de ingresar producto al tanque, sube el nivel de líquido aumentando la presión en la zona de vapores, lo que genera el desplazamiento al exterior de parte de los vapores existentes sobre éste.

No se atribuyen emisiones al vaciado, ya que el aumento de volumen de la zona de vapores, al descender el nivel de líquido, se asume mayor que la tasa a la cual la evaporación aumenta y genera una disminución de la presión al interior del tanque. Es decir, el flujo durante el vaciado es hacia el interior del tanque y, por lo tanto, no se producen emisiones durante el vaciado de un tanque de techo fijo.

En consecuencia:

- No se atribuyen emisiones específicas de COVs a la operación de salida de producto en el tanque, adicionales a las “breathing losses”, ya que las emisiones evaporativas por respiración no alternan su magnitud por el hecho de que el tanque esté en reposo, ingresando o despachando producto.
- Al bajar el nivel del líquido por el vaciado de producto no se produce el aumento de presión que motiva las “working losses”, que sí se generan en con el ingreso del producto.

4. FORMULACIÓN MATEMÁTICA PARA CÁLCULOS DE EMISIONES EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

Una vez descritos los mecanismos y operaciones que generan emisiones de COVs en tanques de techo flotante externo y de techo fijo de acuerdo a la bibliografía de referencia, en este apartado se presenta el detalle de la formulación matemática asociada a los cálculos de dichas emisiones.

El desarrollo matemático que se incluye a continuación está tomado del documento Chapter 7, Liquid Storage Tanks, EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources (versión actualizada marzo 2020).

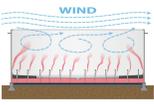
4.1. Cálculos de emisiones en tanques de techo flotante externo

- Cálculos de las emisiones totales (L_T)

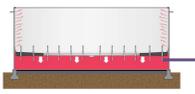
$$L_T = L_S + L_W$$

L_T : Emisiones totales de estanques de techos flotantes externos

L_S : Emisiones en reposo



L_W : Emisiones por movimiento (Withdrawal)



a.1 Emisiones en reposo (Standing Losses) (L_S)

Estas emisiones son independientes de las condiciones de operación del tanque (reposo, ingreso o salida de producto) y se corresponden con emisiones fugitivas por los sellos perimetrales y por las zonas en las que los accesorios y patas del techo penetran al techo y que por ende no son zonas completamente selladas.

$$L_S = L_R + L_F$$

L_R : Emisiones por sellos

L_F : Emisiones por accesorios y patas del techo

a.1.1 Emisiones en reposo por sellos (Standing Losses) (L_R)

$$L_R = (K_{Ra} + K_{Rb}V^n)DP^*M_VK_C$$

- K_{Ra} : Factor emisión independiente del viento
 K_{Rb} : Factor emisión dependiente del viento
 V : Velocidad del viento
 D : Diámetro del estanque
 n : Constante según sello
 P^* : Función de presión
 M_V : Peso molecular del vapor
 K_C : Factor de producto
 Crudos, $K_C = 0,4$ Otros líquidos orgánicos, $K_C = 1$

Tank Construction And Rim-Seal System	Average-Fitting Seals		
	K_{Ra} (lb-mole/ft-vr)	K_{Rb} [(lb-mole/(mph) ⁿ -ft-vr)	n (dimensionless)
Welded Tanks			
Mechanical-shoe seal			
Primary only ^b	5.8	0.3	2.1
Shoe-mounted secondary	1.6	0.3	1.6
Rim-mounted secondary	0.6	0.4	1.0
Liquid-mounted seal			
Primary only	1.6	0.3	1.5
Weather shield	0.7	0.3	1.2
Rim-mounted secondary	0.3	0.6	0.3
Vapor-mounted seal			
Primary only	6.7 ^c	0.2	3.0
Weather shield	3.3	0.1	3.0
Rim-mounted secondary	2.2	0.003	4.3
Riveted Tanks			
Mechanical-shoe seal			
Primary only	10.8	0.4	2.0
Shoe-mounted secondary	9.2	0.2	1.9
Rim-mounted secondary	1.1	0.3	1.5

$$P^* = \frac{\frac{P_{VA}}{P_A}}{\left(1 + \left[1 - \frac{P_{VA}}{P_A}\right]^{0,5}\right)^2}$$

P_{VA} : Presión de vapor a la temperatura media diaria de la superficie del líquido (T_{LA})

P_A : Presión atmosférica

$$P_{VA} = \exp\left[A - \frac{B}{T_{LA}}\right]$$

$T_{LA} = 0,7T_{AA} + 0,3T_B + 0,008\alpha I$ EFRT con techo ponton, ($T_B = T_{AA} + 0,007\alpha I$)

$T_{LA} = 0,3T_{AA} + 0,7T_B + 0,009\alpha I$ EFRT con techo doble cubierta, ($T_B = T_{AA} + 0,005\alpha I$)

T_{AA} : Temperatura ambiente media diaria.

T_B : Temperatura promedio del líquido del estanque.

α : Absorción solar del estanque.

I : Radiación solar promedio diario.

Las expresiones presentadas que permiten la cuantificación de emisiones por sellos ponen de manifiesto que estas no guardan vinculación con variables relacionadas con el movimiento del tanque, por lo que no se atribuyen emisiones a los sellos durante las operaciones de llenado y vaciado de este tipo de tanques adicionales a las que se producen de modo permanente con el tanque en reposo.

a.1.2 Emisiones en reposo por accesorios y patas del techo (Standing Losses) (L_F)

$$L_F = F_F P^* M_V K_C$$

$$F_F = [(N_{F1} K_{F1}) + (N_{F2} K_{F2}) + \dots + (N_{nf} K_f)]$$

K_{Fi} : Factor emisión accesorio i $K_{Fi} = K_{Fa_i} + K_{Fb_i} (K_v V)^{m_i}$

K_{Fa_i} : Factor de emisión independiente de velocidad del viento

K_{Fb_i} : Factor de emisión dependiente de velocidad del viento

m_i : Constante según accesorio

K_v : Factor de corrección por velocidad viento

V : Velocidad del viento

Table 7.1-12. DECK-FITTING LOSS FACTORS, K_{Fa} , K_{Fb} , AND m , AND TYPICAL NUMBER OF DECK FITTINGS, N_f^a

Fitting Type And Construction Details	K_{Fa} Loss Factor (lb-mole/yr)	K_{Fb} Loss Factor (lb-mole/(mph) ^m -yr)	m Loss Factor (dimensionless)	Typical Number Of Fittings, N_f
Access hatch				1
Bolted cover, gasketed ^b	1.6	0	0	
Unbolted cover, ungasketed	36 ^c	5.9	1.2	
Unbolted cover, gasketed	31	5.2	1.3	
Fixed roof support column well ^d				N_c (Table 7.1-11)
Round pipe, ungasketed sliding cover	31			
Round pipe, gasketed sliding cover	25			
Round pipe, flexible fabric sleeve seal	10			
Built-up column, ungasketed sliding cover ^e	51			
Built-up column, gasketed sliding cover	33			
Unslotted guidepole and well				f
Ungasketed sliding cover	31	150	1.4	
Ungasketed sliding cover w/pole sleeve	25	2.2	2.1	
Gasketed sliding cover	25	13	2.2	
Gasketed sliding cover w/pole wiper	14	3.7	0.78	
Gasketed sliding cover w/pole sleeve	8.6	12	0.81	

Las expresiones presentadas que permiten la cuantificación de emisiones por accesorios y patas del techo ponen de manifiesto que estas no guardan vinculación con variables relacionadas con el movimiento del tanque, por lo que no se atribuyen emisiones a los accesorios del techo durante las operaciones de llenado y vaciado de este tipo de tanques adicionales a las que se producen de modo permanente con el tanque en reposo.

a.2 Emisiones por salida de producto (Withdrawal Losses) (L_w)

Estas emisiones se producen debido a que, al descender el techo del tanque por la salida de producto, la pared queda impregnada del producto líquido que almacena, que en un tiempo determinado se evapora generando una emisión de COVs al aire.

$$L_w = \frac{0,943 Q C_s W_L}{D}$$

- Q : Flujo que sale de estanque y genera descenso de nivel
- C_s : Factor de adherencia al estanque
- D : Diámetro del estanque
- W_L : Densidad del producto líquido

Flujo que sale de estanque y genera descenso de nivel (Q)

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 (\sum H_{QI} / 5,614)$$

- $\sum H_{QI}$: Suma de los descensos de nivel del líquido en el periodo de cálculo
- C_s : Factor de adherencia al estanque, bbl/1.000 ft²

Table 7.1-10. AVERAGE CLINGAGE FACTORS, C_s^a
(bbl/10³ ft²)

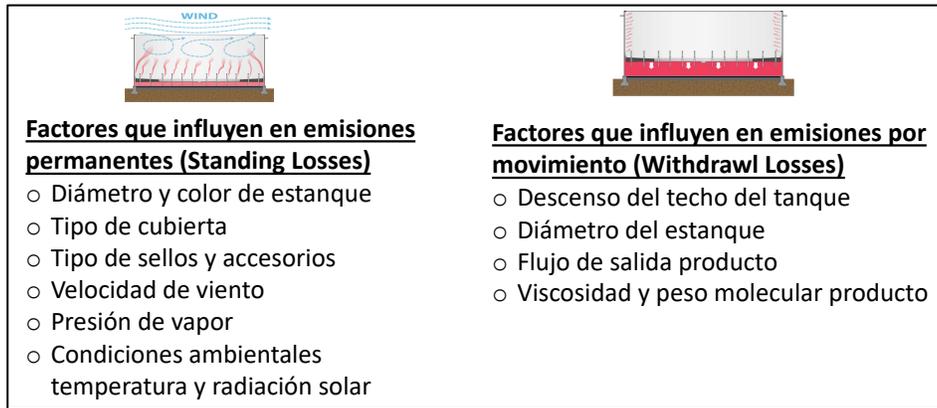
Product Stored	Shell Condition		
	Light Rust	Dense Rust	Gunite Lining
Gasoline	0.0015	0.0075	0.15
Single-component stocks	0.0015	0.0075	0.15
Crude oil	0.0060	0.030	0.60

^a Reference 5. If no specific information is available, the values in this table can be assumed to represent the most common or typical condition of tanks currently in use.

La formulación anterior pone de manifiesto que la metodología de cálculo de emisiones sólo atribuye emisiones al descenso del techo producido por la salida de producto almacenado, y no atribuye emisiones a la operación de ingreso de producto en tanques de techo flotante externo.

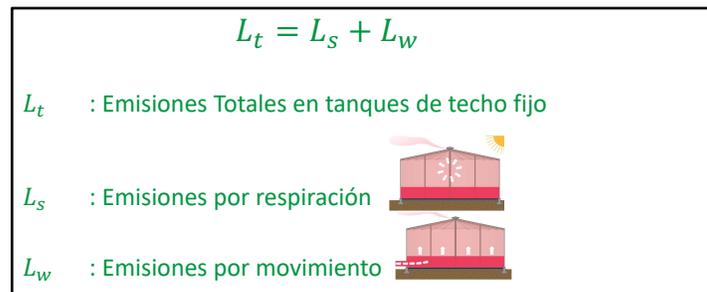
La siguiente Figura recoge un resumen de las variables involucradas en el cálculo de emisiones de COVs según metodología EPA AP-42 para tanques de techo flotante externo.

Figura N° 6. Resumen de variables involucradas en cálculos de emisiones de COVs en tanques techo flotante externo



4.2. Cálculos de emisiones en tanques de techo fijo

- Cálculos de las emisiones totales (L_T)



a.1 Emisiones en reposo por respiración (Breathing Losses) (L_S)

Estas emisiones son independientes temporalmente de las condiciones de operación del tanque (reposo, ingreso o salida de producto) y corresponden a emisiones por el venteo del techo por aumento de presión en la zona de vapores, debido al intercambio de energía con el exterior por variaciones de la temperatura ambiente e incidencia de la radiación solar. Estas emisiones tienen lugar únicamente cuando la presión al interior del tanque, como consecuencia de este intercambio de energía, supera la presión atmosférica.

$$L_S = NK_E \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) H_{VO} K_S W_v$$

N : Periodo de cálculo en días (mínimo recomendado por EPA mensual)

Factor de expansión del espacio de vapor (K_E)

Representa fracción de vapor que es expulsada del estanque por aumento de la temperatura de la fase vapor. Es un valor en el rango 0-1 (cero para estanques 100 % aislados).

$$K_E = \frac{\Delta T_v}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_v - \Delta P_B}{P_A - P_{VA}}$$

ΔT_v : Promedio de variación diaria de temperatura del vapor sobre el líquido del estanque
 ΔP_v : Promedio de variación diaria de presión de vapor sobre el líquido del estanque
 ΔP_B : Rango de presiones de seteo de válvula de venteo
 P_A : Presión atmosférica
 P_{VA} : Presión de vapor a la temperatura promedio diaria de la superficie del líquido
 T_{LA} : Temperatura promedio diaria de la superficie del líquido

ΔT_v : Promedio de variación diaria de temperatura del vapor sobre el líquido del estanque

$$\Delta T_v = 0,7 \Delta T_A + 0,02 \alpha I$$

ΔT_A : Promedio de variación diaria de temperatura ambiente
 Promedio máximas diarias menos promedio mínimas diarias de periodo de cálculo.
 α : Absorción solar del estanque, adimensional según color exterior estanque.
 I : Radiación solar promedio diario

ΔP_v : Promedio de variación diaria de presión de vapor sobre el líquido del estanque.

$$\Delta P_v = P_{VX} - P_{VN}$$

P_{VX} : Presión de vapor al promedio de temperaturas máximas diarias de superficie líquida ($T_{LX} = T_{LA} + 0,25 \Delta T_v$)

P_{VN} : Presión de vapor al promedio de temperaturas mínimas diarias de superficie líquida ($T_{LN} = T_{LA} - 0,25 \Delta T_v$)

$$P_{V(T)} = \exp \left[A - \frac{B}{T} \right]$$

T_{LA} : Temperatura promedio diaria de la superficie del líquido

$$T_{LA} = 0,4T_{AA} + 0,6T_B + 0,005\alpha I$$

T_{AA} : Temperatura ambiente media diaria.
 T_B : Temperatura promedio del líquido del estanque. Si T_B no disponible por medición,
 $T_B = T_{AA} + 0,003\alpha I$ para estanques no aislados asumiendo equilibrio con ambiente
 α : Absorción solar del estanque.
 I : Radiación solar promedio diario.

ΔP_B : Rango de presiones de seteo de válvula de venteo, psi

$$\Delta P_B = P_{BP} - P_{BV}$$

P_{BP} : Seteo válvula por sobrepresión, (+0,03 psig por defecto)
 P_{BV} : Seteo válvula por vacío, (-0,03 psig por defecto)

Si venteo es libre, $\Delta P_B=0$

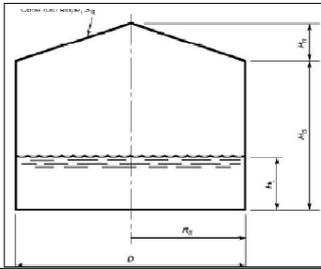
P_{VA} : Presión de vapor a la temperatura promedio diaria de la superficie del líquido (T_{LA})

$$P_{VA} = \exp \left[A - \frac{B}{T_{LA}} \right]$$

Altura equivalente del espacio de vapor sobre el líquido (H_{vo})

$$H_{vo} = H_S - H_L + H_{RO}$$

H_S : Altura de la sección vertical del estanque, ft
 H_L : Altura del líquido almacenado, ft
 H_{RO} : Altura equivalente del volumen del vapor debajo del techo, ft.
 Para techo cónico: $H_{RO} = 1/3 \times$ pendiente techo \times Rs



Factor de saturación del vapor emitido (K_S)

$$K_S = \frac{1}{1 + 0,053P_{VA}H_{VO}}$$

P_{VA} : Presión de vapor a la temperatura media diaria de la superficie del líquido
 H_{VO} : Altura equivalente del espacio de vapor sobre el líquido

En relación a la dependencia de las emisiones por respiración respecto a H_{vo} , es importante señalar que el hecho de retirar de producto de un tanque de techo fijo, que implica incrementar el valor de H_{vo} (aumentando la zona de vapores), no significa una generación de emisiones asociada a dicha operación. En concreto, como se ha explicado previamente, durante la retirada de producto la presión al interior del tanque se reduce e ingresa aire al tanque hasta equilibrar la presión al interior, sin que ello genere emisiones. Una vez

finalizada la operación de salida de producto, el tanque ha quedado en nivel de líquido menor (es decir con un volumen de vapores mayor (mayor H_v), pero con menor concentración de hidrocarburos (menor K_s), lo que influye en las posibles emisiones que se pueden generar posteriormente durante el ciclo diario en las horas de la tarde en caso de que el aporte de energía externa por temperatura y radiación solar implique aumentar la presión.

Densidad del vapor emitido (W_V)

$$W_V = \frac{M_v P_{VA}}{RT_V}$$

- M_v : Peso molecular del vapor
- P_{VA} : Presión de vapor a la temperatura promedio diaria de la superficie del líquido (T_{LA})
- R : Constante de gas ideal, 10.731 psia ft³ / lb-mol ° R
- T_V : Temperatura media del vapor, ° R, ($T_V = 0,7T_{AA} + 0,3T_B + 0,009\alpha I$)

a.2 Emisiones por ingreso de producto (Working or Filling Losses) (L_W)

Estas emisiones se producen al momento de ingresar producto al tanque, ya que ello provoca que suba el nivel de líquido desplazando al exterior parte de los vapores existentes sobre éste.

$$L_W = V_Q K_N K_P W_V K_B$$

- V_Q : Flujo que ingresa al estanque y genera subida de nivel
- K_N : Factor corrección por turnovers, adimensional
- K_P : Factor corrección por producto, adimensional
- W_V : Densidad de vapor
- K_B : Factor corrección por válvula de venteo cuando rango seteo es mayor $\pm 0,03$ psig

Flujo que ingresa al estanque y genera subida de nivel (V_Q)

$$V_Q = \sum H_{QI} \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right)$$

$\sum H_{QI}$: Suma de los aumentos de nivel del líquido en el periodo de cálculo

Para turnovers $N > 36$, $K_N = (180 + N) / 6N$
 Para turnovers $N \leq 36$, $K_N = 1$

Para crudo $K_P = 0,75$
 Otros líquidos orgánicos, $K_P = 1$

Factor corrección por válvula de venteo rango seteo mayor $\pm 0,03$ psig (K_B)

Si se cumple $K_N \left[\frac{P_{BP} + P_A}{P_I + P_A} \right] > 1.0$ \rightarrow $K_B = \left[\frac{P_I + P_A - P_{VA}}{K_N} \right]$
 $\left[\frac{P_{BP} + P_A - P_{VA}}{P_{BP} + P_A - P_{VA}} \right]$

P_I : Presión normal de fase vapor del estanque. Si estanque es atmosférico P_I es cero
 P_{BP} : Rango de seteo de válvula de venteo, psig

La formulación anterior pone de manifiesto que la metodología de cálculo de emisiones atribuye emisiones sólo al aumento de nivel del líquido en el tanque, por tanto no se asocian emisiones al descenso de nivel que produce con la salida del producto del tanque.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo descrito en este Informe se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- La metodología EPA AP-42 constituye el referente a nivel internacional en lo relativo a las técnicas y métodos para la estimación de emisiones atmosféricas asociadas al almacenamiento de combustibles en tanques.
- Los tanques de techo flotante externo y de techo fijo tienen emisiones atmosféricas de COVs que no guardan relación con el modo de operación en la que se encuentre el tanque (ingreso o salida de producto o reposo). Estas corresponden a (i) emisiones evaporativas por sellos y accesorios del techo en caso de los tanques de techo flotante, y a (ii) emisiones por respiración motivadas por el intercambio de calor con el ambiente exterior del producto contenido para los tanques de techo fijo.
- En el caso de tanques de techo flotante, solo existen emisiones asociadas a la **salida** de producto del tanque.
- Para los tanques de techo fijo, solo se generan emisiones durante el **ingreso** de producto.
- El **ingreso** de productos combustibles en tanques de techo flotante externo, que no estén en condiciones operativas de *roof landing*¹¹, y la **salida** de productos de tanques de techo fijo son operaciones que, de acuerdo a la metodología EPA AP-42, **no generan emisiones de COVs al aire ambiente en el momento de su realización.**



Santiago, 7 de noviembre de 2022
 Juan Manuel López Suárez
 Ingeniero Químico

¹¹ Techo flotante en su posición más baja y apoyado en sus patas.