



15ª COMEND Sep - 2023

El Poder del Vacío



José Luis Mora Corro



El temario, la presentación y disposición en conjunto de “**El Poder del Vacío**” es propiedad exclusiva de **M&M INGENIEROS**®.

Se permite su publicación, reproducción o transmisión, mediante cualquier sistema o método con la condición de conservar integro todo su contenido.

M&M INGENIEROS®

Esteban de Antuñano No. 46-B
Col. Paraíso del Ángel. CP 72110
Puebla, Pue.
2222-97-1193
mmingenieros@msn.com

Diego Fernández de Córdoba 251
Col. Cerrada México. CP 67130
Guadalupe, NL.
8130-63-6817
mm-ingenieros.com

Puebla, Pue., México. © 2023

¿QUÉ ES EL VACÍO?

ASTM-1316:

En la tecnología de vacío un espacio dado lleno de gas a presiones inferiores a la presión atmosférica (véase la Tabla 2).

GRADOS DE VACÍO

TABLE 2 Degrees of Vacuum

Degrees of Vacuum	Approximate Pressure Range		
Low	100 kPa to 3 kPa	1.02 to 0.03 kg/cm ²	14.5 to 0.435 psi
Medium	3 kPa to 0.1 Pa	0.03 to 0.000 001 kg/cm ²	0.435 psi to 0.000 015 psi
High	0.1 Pa to 0.1 mPa	0.000 001 to 0.000 000 001 kg/cm ²	0.000 015 to 0.000 000 015 psi
Very high	0.1 mPa to 0.1 μPa	0.000 000 001 to 0.000 000 000 001 kg/cm ²	0.000 000 015 to 0.000 000 000 015 psi
Ultra high	0.1 μPa and less	0.000 000 000 001 kg/cm ² and less	0.000 000 000 015 psi and less

SENSIBILIDAD EN LT

Method	Sensitivity range, std cm ³ /s	
	Pressure	Vacuum
Mass spectrometer	10 ⁻³ to 10 ⁻⁵	10 ⁻³ to 10 ⁻¹⁰
Electron capture	10 ⁻⁶ to 10 ⁻¹¹	...
Colorimetric developer	1 to 10 ⁻⁸	...
Bubble test--liquid film	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁵	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁵
Bubble test--immersion	1 to 10 ⁻⁶	...
Hydrostatic test	1 to 10 ⁻²	...
Pneumatic test	Not defined	Not defined
Pressure increase	1 to 10 ⁻⁴	1 to 10 ⁻⁴
Pressure decrease/flow	1 to 10 ⁻³	...
Liquid tracer	1 to 10 ⁻⁴	1 to 10 ⁻⁴
High voltage	...	1 to 10 ⁻⁴
Halogen (heated anode)	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁶	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁵
Thermal conductivity (He)	1 to 10 ⁻⁵	...
Gage	...	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁷
Radioactive tracer	10 ⁻¹³	...
Infrared	1 to 10 ⁻⁵	...
Acoustic	1 to 10 ⁻²	1 to 10 ⁻²
Smoke tracer	1 to 10 ⁻²	...

SENSIBILIDAD EN LT

Method	Sensitivity range, std cm ³ /s	
	Pressure	Vacuum
Mass spectrometer	10 ⁻³ to 10 ⁻⁵	10 ⁻³ to 10 ⁻¹⁰
Electron capture	10 ⁻⁶ to 10 ⁻¹¹	...
Colorimetric developer	1 to 10 ⁻⁸	...
Bubble test--liquid film	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁵	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁵
Bubble test—immersion	1 to 10 ⁻⁶	...
Hydrostatic test	1 to 10 ⁻²	...
Pneumatic test	Not defined	Not defined
Pressure increase	1 to 10 ⁻⁴	1 to 10 ⁻⁴
Pressure decrease/flow	1 to 10 ⁻³	...
Liquid tracer	1 to 10 ⁻⁴	1 to 10 ⁻⁴
High voltaje	...	1 to 10 ⁻⁴
Halogen (heated anode)	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁶	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁵
Thermal conductivity (He)	1 to 10 ⁻⁵	...
Gage	...	10 ⁻¹ to 10 ⁻⁷
Radioactive tracer	10 ⁻¹³	...
Infrared	1 to 10 ⁻⁵	...
Acoustic	1 to 10 ⁻²	1 to 10 ⁻²
Smoke tracer	1 to 10 ⁻²	...

SENSIBILIDAD EN LT

Method	10 ³	10 ²	10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³
Mass spectrometer							Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue			
Electron capture										Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	
Colorimetric developer				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue				
Bubble test--liquid film				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue								
Bubble test--immersion				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue							
Hydrostatic test				Blue	Blue	Blue	Blue										
Pneumatic test																	
Pressure increase				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue									
Pressure decrease/flow				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue									
Liquid tracer				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue									
High voltage				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue									
Halogen (heated anode)				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue									
Thermal conductivity (He)				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue									
Gage					Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue						
Radioactive tracer																	Blue
Infrared				Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue								
Acoustic				Blue	Blue	Blue	Blue										
Smoke tracer				Blue	Blue	Blue	Blue										
Diám. equivalente con aire:	1.964	0.621	0.196	0.062	0.020	0.006	0.002	0.001	0.196	0.062	0.020	0.006	0.002	0.001	0.196	0.062	0.020
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	nm	nm	nm

SENSIBILIDAD EN LT

Concept / criterion	Comment	q_L atm · cm ² / s	Relevant particle size
Water-tight*)	Droplets	$< 10^{-2}$	
Vapor-tight	"Sweating"	$< 10^{-3}$	
Bacteria-tight*) (cocci) (rod-shaped)		$< 10^{-4}$	$\varnothing \approx 1 \mu\text{m}$ $\varnothing \approx 0.5 - 1 \mu\text{m}, 2 - 10 \mu\text{m}$ long
Oil-tight		$< 10^{-5}$	
Virus-tight*) (vaccines e. g. pox) (smallest viruses, bacteriophages) (viroids, RNA)		$< 10^{-6}$ $< 10^{-8}$ $< 10^{-10}$	
Gas-tight		$< 10^{-7}$	
"Absolutely tight"	Technical	$< 10^{-10}$	

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

TECNICA	LIMITANTES PRACTICOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bubble test--liquid film	$P_{Pba} \leq 15$ psi (1 kg/cm ² , 103 k Pa)	<ul style="list-style-type: none"> - Los contenedores no requieren de cerrarse/aislarse. - Fácil ubicación de fugas desde el exterior. - Poco equipo requerido para realizar la examinación. - Semi-portatil. - Muy práctico para contenedores de volumen pequeño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lento avance de examinación.
Hydrostatic test	$P_{Pba} \geq 15$ psi (1 kg/cm ² , 103 k Pa)	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil ubicación de fugas desde el exterior. - Buena sensibilidad desde la caída de presión. - Fluido de prueba económico (normalmente se utiliza agua). 	<ul style="list-style-type: none"> - Los contenedores deben poderse cerrar/aislar del exterior. - Disponibilidad de líquido en cantidad y calidad adecuada. - Peso del líquido. - Paro de equipos para su ejecución. - Mucho tiempo para preparativos y ejecución. - Equipos no económicos para presionar. - Requiere limpieza en el interior del contenedor antes y después de la prueba. - Riesgo de liberar chorros de agua con gran cantidad de energía. - Poco práctica para objetos menores a 1 lt. - Los cambios de temperatura afectan el resultado.
Pneumatic test	$P_{Pba} \geq 15$ psi (1 kg/cm ² , 103 k Pa)	<ul style="list-style-type: none"> - Mínimos residuos líquidos después de la prueba. - Muy práctico para casi cualquier tamaño de contenedor. - Se pueden calcular con cierta precisión los cambios de presión debidos a cambios de temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los contenedores deben poderse cerrar/aislar del exterior. - Disponibilidad de gas en cantidad y calidad adecuada. - Fluidos o equipos no económicos para presionar. - Muy riesgoso almacenamiento de energía. - Se requiere de elementos auxiliares (líquidos, jabones, detectores) para facilitar la localización de fugas.

Cambio de Presión: Prueba Hidrostática



Cambio de Presión: Prueba Neumática



Emisión de Burbujas

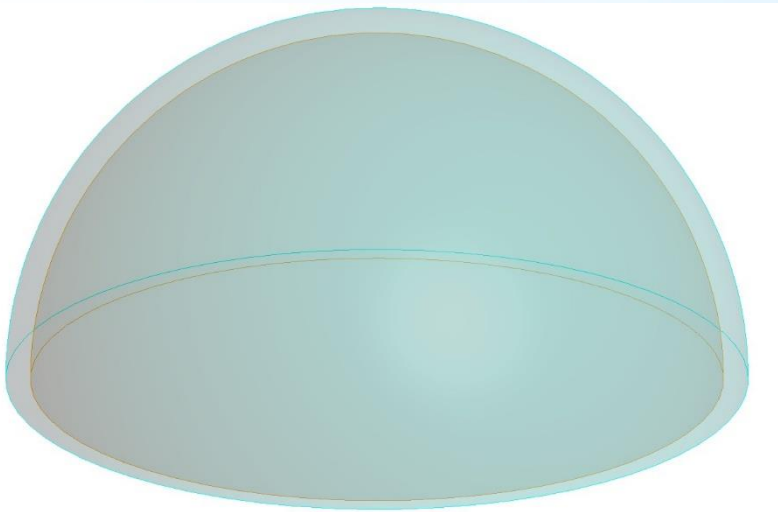


Prueba de Fuga por Emisión de Burbujas

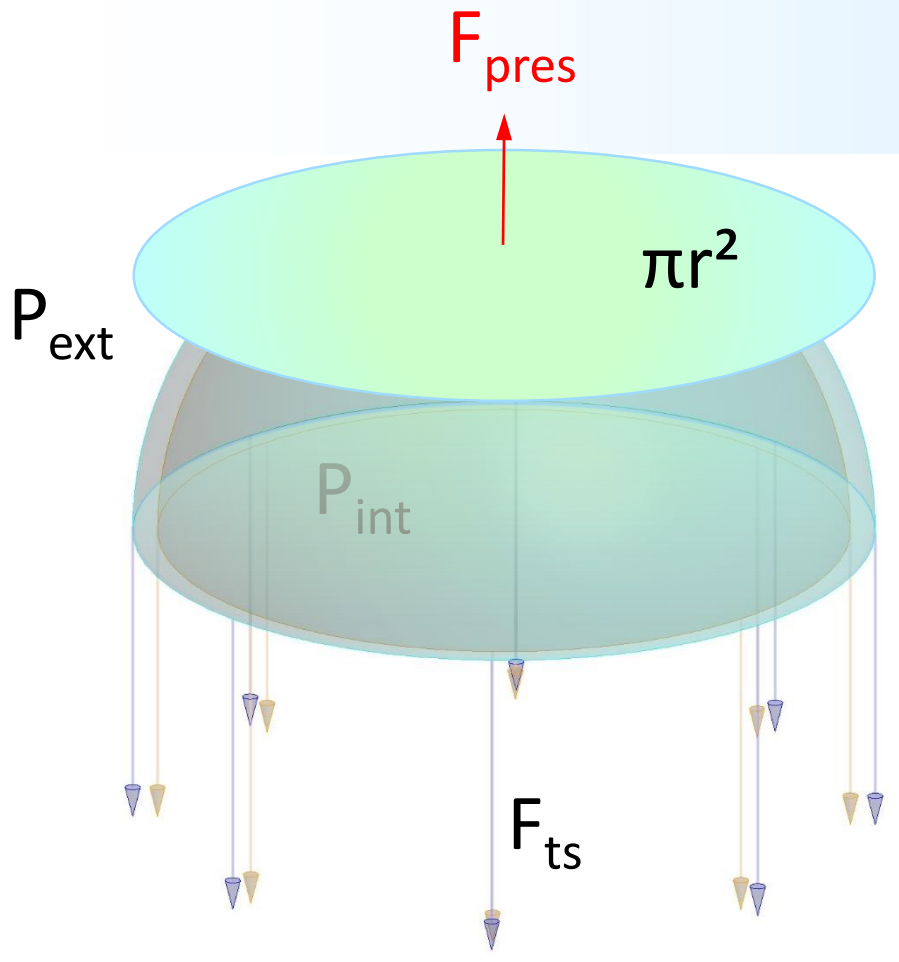
¿Qué produce la formación de burbujas?



Tensión Superficial



Tensión Superficial



$$F_{ts} = \gamma(\text{per}) = \gamma(2\pi r)$$

$$F_{ts} = 2\gamma 2\pi r = 4\gamma\pi r$$

$$F_{\text{pres}} = (P_{\text{int}} - P_{\text{ext}})S = \Delta P \pi r^2$$

$$F_{ts} = F_{\text{pres}}$$

$$\Delta P \pi r^2 = 4\gamma\pi r$$

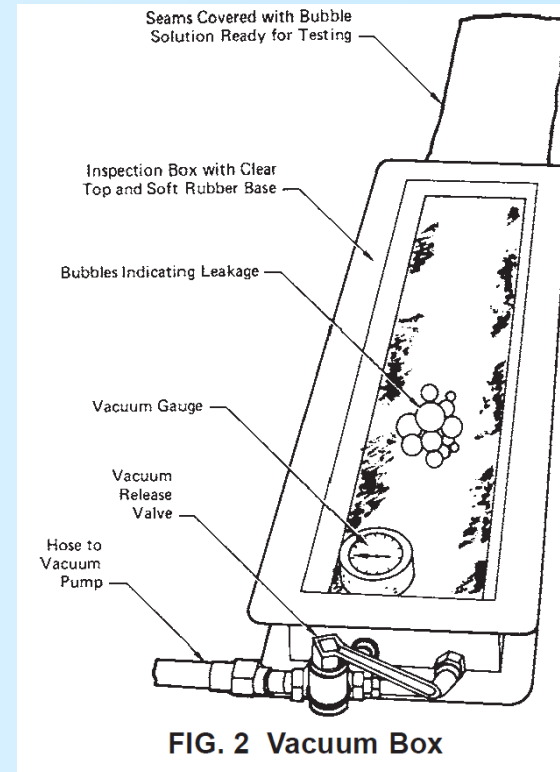
$$\Delta P = \frac{4\gamma\pi r}{\pi r^2} = \frac{4\gamma}{\pi r}$$

Ley de Laplace

Emisión de Burbujas

ASTM E-515: Standard Practice for Leaks Using Bubble Emission Techniques:

9.4 Técnica de vacío - Coloque una caja de vacío (ver fig. 2) sobre el fluido de prueba para burbujas. En la prueba de equipos, tales como pisos y techos de los tanques de almacenamiento, coloque la caja de vacío sobre una sección del cordón de soldadura y haga vacío hasta 3 psi (20.68 kPa) (o lo que la norma aplicable exija) y mantenga durante un tiempo mínimo de 15 s.



Emisión de Burbujas

API STANDARD 650:

Welded Tanks for Oil Storage:

8.6.1 La prueba de vacío se realiza utilizando una caja de prueba de aproximadamente 150 mm (6 in) de ancho por 750 mm (30 in) de largo con una ventana transparente en la parte superior, que proporciona la visibilidad adecuada para ver el área bajo examen.

8.6.3 Se debe usar un vacío parcial de 21 kPa (3 psi, 6 in Hg) a 35 kPa (5 psi, 10 in Hg) para la prueba.

Si el Comprador lo especifica, se realizará una segunda prueba con vacío parcial de 56 kPa (8 psi, 16 in Hg) a 70 kPa (10 psi, 20 in Hg) para la detección de fugas muy pequeñas.



Emisión de Burbujas

ASME Boiler & Pressure Vessel Code

Section V: Nondestructive Examination

Article 10: Leak Testing

Mandatory Appendix II: Bubble Test — Vacuum Box Technique

II-1032 Caja De Vacío. La caja de vacío utilizada debe ser de un tamaño conveniente ... y contener una ventana en el lado opuesto al fondo abierto. ...

II-1033 Fuente del Vacío: El vacío requerido se puede desarrollar en la caja mediante cualquier método conveniente... El manómetro deberá registrar un vacío parcial de al menos 2 psi (4 in Hg) (15 kPa) por debajo de la presión atmosférica o el vacío parcial requerido por la Sección del Código de referencia.



DIAMETROS DE BURBUJAS

Sustancia	Temperatura (°C)	γ (N/m)	$\Delta P = 3$ psi (20.7 Pa)	$\Delta P = 8$ psi (55.2 Pa)
			d (mm)	d (mm)
Aceite de oliva	20	0.032	3.940	1.477
Agua	10	0.0728	8.963	3.361
Agua	60	0.0662	8.150	3.056
Agua	100	0.0589	7.251	2.719
Alcohol etílico	20	0.0223	2.745	1.030
Benceno	20	0.0289	3.558	1.334
Disolución de jabón	20	0.025	3.078	1.154
Glicerina	20	0.0631	7.768	2.913
Helio	-269	0.00012	0.015	0.006
Mercurio	20	0.465	57.247	21.468
Neón	-247	0.00515	0.634	0.238
Oxígeno	-193	0.0157	1.933	0.725
Petroleo	---	0.026	3.201	1.200
Plasma sanguíneo	37	0.073	8.987	3.370
Sangre	37	0.058	7.140	2.678

PODER DEL VACÍO

Y entonces....

¿Cual es el poder del
vacío?

SEGURIDAD



Crear un mundo más seguro mediante el avance del conocimiento científico, técnico y de ingeniería en el campo de las pruebas no destructivas.



Prueba de Fuga LT

Y...



¿Dónde está el límite?

Procedimientos

Normas NASA

<https://standards.nasa.gov/sites/default/files/standards/NASA/A/0/2023-02-22-NASA-STD-7012A-Approved.pdf>

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!
Y ESPECIAL AGRADECIMIENTO A



José Luis Mora Corro
www.mm-ingenieros.com
mmingenieros@msn.com