

MEMORANDO TÉCNICO

Actualizado: Enero 2025

Reporte de Datos de Concentración de Muestreadores Pasivos Beacon

Índice de Captación

En 2016, Beacon encomendó dos estudios consecutivos al Laboratorio de Salud y Seguridad (HSL) en el Reino Unido. Los estudios tuvieron por objetivo determinar y validar experimentalmente los índices de captación cuantitativos del Muestreador Pasivo Beacon basándose en eventos de muestreo de 7 y 14 días, los cuales se consideran períodos de muestreo rutinarios usados en investigaciones pasivas de gas de suelo. Muestreadores de bombeo activo (técnica de referencia) y convencionales, de estándar de la industria, y muestreadores pasivos axiales fueron incluidos en los estudios. Los experimentos se condujeron en el generador de atmósfera estándar de HSL basándose en procedimientos descritos en el ISO 6145-4:2004.

HSL es un centro de excelencia reconocido internacionalmente para el muestreo de Compuesto Orgánico Volátil (COV), y sus métodos para determinar sustancias peligrosas son la fuente de la mayoría de índices de captación publicados en los métodos estándar internacionales de relevancia (p.ej. ISO 16017-2).¹

Los índices de captación cuantitativos para 13 COVs clorados y aromáticos clave fueron determinados y verificados para el Muestreador Pasivo de Beacon para períodos de exposición de 7 y 14 días. En este estudio de seis réplicas, los dispositivos demostraron un excelente desempeño con excelente linealidad y reproducibilidad. Adicionalmente, los índices de captación permanecieron en el rango de 0.1 a 1.0 ml/min, lo cual fue confirmado como el rango recomendado para muestreo de gas de suelo, como se describe

en el estudio financiado federalmente como se informa en ESTCP Reporte ER-200830.² Estos hallazgos confirmaron que el Muestreador Pasivo Beacon es un dispositivo ideal para determinar cuantitativamente la concentración de promedio ponderado en el tiempo (TWA) para los compuestos objetivo del estudio, así como para compuestos de peso molecular y/o volatilidad similares. Para ambos: muestreo de aire y pasivo de gas de suelo.

Por requerimientos del ISO 16017-2, la masa medida (ng) por un muestreador pasivo es convertida a concentración dividiendo la masa (ng) entre el índice de captación del muestreador (ml/min) y entre el período de muestreo (min), todo lo cual es luego multiplicado por un valor de 1,000 para convertir ng/ml a ug/m³.

La ecuación usada para calcular las concentraciones de promedio ponderado en el tiempo se incluye abajo.

$$C = \frac{1000 \times M}{U \times t}$$

Donde: C = concentración (ug/m³)
M = masa (ng)
U = Índice de captación
t = tiempo de muestreo (minutos)

Los compuestos incluidos en el estudio de índice de captación están provistos en la **Tabla 1**, la cual también suministra los índices de captación.

Tabla 1: Compuestos con Índices de Captación Validados

COMPOUND	Uptake Rate (ml/min)
Cloruro de Vinil	0.81
1,1-Dicloroetano	0.33
trans-1,2- Dicloroetano	0.44
1,1-Dichloroethane	0.85
cis-1,2- Dicloroetano	0.53
1,2- Dicloroetano	0.56
1,1,1-Tricloroetano	1.05
Benceno	0.53
Tricloroetano	0.33
Tolueno	0.40
Tetracloroetano	0.41
Etilbenceno	0.85
o-Xileno	0.88

La Ley de Difusión de Gas de Graham se usa para calcular el índice de captación para COVs objetivo que no fueron incluidos en el estudio de índice de captación. La ley de Graham afirma que el índice de difusión de un gas es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su peso molecular. En el estudio de HSL, Beacon incluyó un amplio rango de COVs, desde cloruro de vinil hasta o-xileno para así poder determinar los índices de captación de un extenso rango de compuestos, y ser capaz de hacer una mejor estimación de los índices de captación para otros COVs objetivo. La ecuación usada para calcular los índices de captación, la cual está basada en la Ley de Graham, se encuentra abajo.

$$U_c = \frac{U_k}{\sqrt{\frac{MW_c}{MW_k}}}$$

Donde: U_c = Índice de captación calculado desde un índice de captación

U_k = Índice de captación conocido del estudio (ml/min)

MW_c = Peso molecular del compuesto con índice de captación calculado (g/mol)

MW_k = Peso molecular del compuesto con índice de captación conocido (g/mol)

La **Tabla 2** en la siguiente página provee los índices de captación conocidos y calculados para la lista de compuestos incluidos en la lista estándar de Beacon de compuestos abordados con el Método 8260D o TO-17 de EPA. La Tabla 2 también brinda los pesos moleculares en g/mol para cada compuesto. Los compuestos del estudio de índice de captación usados para calcular los otros COVs objetivo fueron escogidos basándose en pesos moleculares y propiedades químicas similares. Note que los índices de captación calculados para fracciones TPH están basados en los índices de captación calculados promedio para cada alcano individual dentro del rango reportado (p.ej. TPH C5-C8 se basa en el promedio de las tasas de absorción calculadas para compuestos que van desde pentano hasta octano).

La **Tabla 3** brinda el límite de cuantificación (LC) para cada compuesto en la lista de compuestos estándar basado en períodos de muestreo de 1, 3, 7, y 14 días. El LOQ está en o por encima del punto bajo de la curva de calibración inicial para asegurar que los datos reportados son defendibles. Adicionalmente, resultados inferiores al LC, pero mayores al límite de detección (LD) pueden ser reportados como estimados y calificados con una “J” para alcanzar límites de información más bajos. LD para cada compuesto están incluidos en la Tabla 4 ■



El Muestreador Pasivo de Gas de Suelo Beacon

Tabla 2: Índices de Captación para Lista Estándar de Compuestos Objetivo

COMPUESTO	Índice de Captación (ml/min)	Compuesto con índice de captación conocido usado para calcular índice de captación estimado	Peso Molecular (g/mol)
Cloruro de Vinil	0.81		62.5
1,1- Dicloroetano	0.33		97
Cloruro de Metileno	0.35	1,1 Dicloroetano	84.9
1,1,2-Triclorotrifluoretano (Fr.113)	0.89	1,1,1- Tricloroetano	187.38
trans-1,2-Dicloroetano	0.44		96.95
Éter Metil Terbutílico	0.50	Benceno	88.17
1,1-Dicloroetano	0.85		99
cis-1,2-Dicloroetano	0.53		96.95
Cloroformo	0.35	Tricloroetano	119
1,2-Dicloroetano	0.56		99
1,1,1-Tricloroetano	1.05		133.4
Tetracloruro de Carbono	0.43	Tetracloroetano	153.84
Benceno	0.53		78.11
Tricloroetano	0.33		131.4
1,4-Dioxano	0.41	Tolueno	88.11
1,1,2-Tricloroetano	0.33	Tricloroetano	133.4
Tolueno	0.40		92
1,2-Dibromoetano (EDB)	0.39	Tetracloroetano	187.9
Tetracloroetano	0.41		165.8
1,1,1,2-Tetracloroetano	0.41	Tetracloroetano	167.85
Clorobenceno	0.85	o-Xileno	112.6
Etilbenceno	0.85		106
p & m-Xileno	0.88	o-Xileno	106.2
o-Xileno	0.88		106.2
1,2,3-Tricloropropano	0.75	o-Xileno	147.43
Isopropilbenceno	0.83	o-Xileno	120.19
1,3,5-Trimetilbenceno	0.83	o-Xileno	120.2
1,2,4- Trimetilbenceno	0.83	o-Xileno	120.2
1,3-Diclorobenceno	0.75	o-Xileno	147
1,4- Diclorobenceno	0.75	o-Xileno	147
1,2-Diclorobenceno	0.75	o-Xileno	147
1,2,4-Triclorobenceno	0.39	Tetracloroetano	181.46
Naftalina	0.80	o-Xileno	128.16
1,2,3-Triclorobenceno	0.39	Tetracloroetano	181.45
2-Metilnaftaleno	0.76	o-Xileno	142.2
TPH C5-C8	0.52	Basados en el promedio de los índices de captación calculados para alcanos individuales	
TPH C9-C15	0.71		

Tabla 3: Límites de Cuantificación (LCs) basados en Períodos de Exposición

COMPUESTO	CAS	Índice de Captación (ml/min)	1 Día	3 Días	7 Días	14 Días
			LC (ug/m ³)	LC (ug/m ³)	LC (ug/m ³)	LC (ug/m ³)
Cloruro de Vinil	75-01-4	0.81	8.57	2.86	1.22	0.61
1,1-Dicloroetano	75-35-4	0.33	21.04	7.01	3.01	1.50
Cloruro de Metileno	75-09-2	0.35	19.84	6.61	2.83	1.42
1,1,2-Triclorotrifluoreto (Fr.113)	76-13-1	0.89	7.80	2.60	1.11	0.56
trans-1,2-Dicloroetano	156-60-5	0.44	15.78	5.26	2.25	1.13
Éter Metil Terbutílico	1634-04-4	0.50	34.72	11.57	4.96	2.48
1,1-Dicloroetano	75-34-3	0.85	8.17	2.72	1.17	0.58
cis-1,2-Dicloroetano	156-59-2	0.53	13.10	4.37	1.87	0.94
Cloroformo	67-66-3	0.35	19.84	6.61	2.83	1.42
1,2-Dicloroetano	107-06-2	0.56	12.40	4.13	1.77	0.89
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	1.05	6.61	2.20	0.94	0.47
Tetracloruro de Carbono	56-23-5	0.43	16.32	5.44	2.33	1.17
Benceno	71-43-2	0.53	32.76	10.92	4.68	2.34
Tricloroetano	79-01-6	0.33	21.04	7.01	3.01	1.50
1,4-Dioxano	123-91-1	0.41	16.94	5.65	2.42	1.21
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	0.33	21.04	7.01	3.01	1.50
Tolueno	108-88-3	0.40	43.40	14.47	6.20	3.10
1,2-Dibromoetano (EDB)	106-93-4	0.39	18.03	6.01	2.58	1.29
Tetracloroetano	127-18-4	0.41	16.94	5.65	2.42	1.21
1,1,1,2-Tetracloroetano	630-20-6	0.41	17.04	5.68	2.43	1.22
Clorobenceno	108-90-7	0.85	8.17	2.72	1.17	0.58
Etilbenceno	100-41-4	0.85	20.42	6.81	2.92	1.46
p & m-Xileno	108-38-3	0.88	19.73	6.58	2.82	1.41
o-Xileno	95-47-6	0.88	19.73	6.58	2.82	1.41
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	0.75	9.26	3.09	1.32	0.66
Isopropilbenceno	98-82-8	0.83	20.92	6.97	2.99	1.49
1,3,5-Trimetilbenceno	108-67-8	0.83	20.92	6.97	2.99	1.49
1,2,4-Trimetilbenceno	95-63-6	0.83	20.92	6.97	2.99	1.49
1,3-Diclorobenceno	541-73-1	0.75	9.26	3.09	1.32	0.66
1,4-Diclorobenceno	106-46-7	0.75	9.26	3.09	1.32	0.66
1,2-Diclorobenceno	95-50-1	0.75	9.26	3.09	1.32	0.66
1,2,4-Triclorobenceno	120-82-1	0.39	17.72	5.91	2.53	1.27
Naftalina	91-20-3	0.80	8.68	2.89	1.24	0.62
1,2,3-Triclorobenceno	87-61-6	0.39	17.72	5.91	2.53	1.27
2-Metilnaftaleno	91-57-6	0.76	9.14	3.05	1.31	0.65
TPH C5-C8		0.52	6,410	2,137	916	458
TPH C9-C15		0.71	4,010	1,337	573	286

Tabla 4: Límites de Detección (LDs) basados en Períodos de Exposición

COMPUESTO	CAS	Índice de Captación (ml/min)	1 Día	3 Días	7 Días	14 Días
			LD (ug/m3)	LD (ug/m3)	LD (ug/m3)	LD (ug/m3)
Cloruro de Vinil	75-01-4	0.81	4.29	1.43	0.61	0.31
1,1-Dicloroetano	75-35-4	0.33	10.52	3.51	1.50	0.75
Cloruro de Metileno	75-09-2	0.35	9.92	3.31	1.42	0.71
1,1,2-Triclorotrifluoretano (Fr.113)	76-13-1	0.89	3.90	1.30	0.56	0.28
trans-1,2-Dicloroetano	156-60-5	0.44	7.89	2.63	1.13	0.56
Éter Metil Terbutílico	1634-04-4	0.50	13.89	4.63	1.98	0.99
1,1-Dicloroetano	75-34-3	0.85	4.08	1.36	0.58	0.29
cis-1,2-Dicloroetano	156-59-2	0.53	6.55	2.18	0.94	0.47
Cloroformo	67-66-3	0.35	9.92	3.31	1.42	0.71
1,2-Dicloroetano	107-06-2	0.56	6.20	2.07	0.89	0.44
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	1.05	3.31	1.10	0.47	0.24
Tetracloruro de Carbono	56-23-5	0.43	8.16	2.72	1.17	0.58
Benceno	71-43-2	0.53	13.10	4.37	1.87	0.94
Tricloroetano	79-01-6	0.33	10.52	3.51	1.50	0.75
1,4-Dioxano	123-91-1	0.41	8.47	2.82	1.21	0.60
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	0.33	10.52	3.51	1.50	0.75
Tolueno	108-88-3	0.40	17.36	5.79	2.48	1.24
1,2-Dibromoetano (EDB)	106-93-4	0.39	9.02	3.01	1.29	0.64
Tetracloroetano	127-18-4	0.41	8.47	2.82	1.21	0.60
1,1,1,2-Tetracloroetano	630-20-6	0.41	8.52	2.84	1.22	0.61
Clorobenceno	108-90-7	0.85	4.08	1.36	0.58	0.29
Etilbenceno	100-41-4	0.85	8.17	2.72	1.17	0.58
p & m-Xileno	108-38-3	0.88	7.89	2.63	1.13	0.56
o-Xileno	95-47-6	0.88	7.89	2.63	1.13	0.56
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	0.75	4.63	1.54	0.66	0.33
Isopropilbenceno	98-82-8	0.83	8.37	2.79	1.20	0.60
1,3,5-Trimetilbenceno	108-67-8	0.83	8.37	2.79	1.20	0.60
1,2,4-Trimetilbenceno	95-63-6	0.83	8.37	2.79	1.20	0.60
1,3-Diclorobenceno	541-73-1	0.75	4.63	1.54	0.66	0.33
1,4-Diclorobenceno	106-46-7	0.75	4.63	1.54	0.66	0.33
1,2-Diclorobenceno	95-50-1	0.75	4.63	1.54	0.66	0.33
1,2,4-Triclorobenceno	120-82-1	0.39	8.86	2.95	1.27	0.63
Naftalina	91-20-3	0.80	4.34	1.45	0.62	0.31
1,2,3-Triclorobenceno	87-61-6	0.39	8.86	2.95	1.27	0.63
2-Metilnaftaleno	91-57-6	0.76	4.57	1.52	0.65	0.33
TPH C5-C8		0.52	3,339	1,113	477	238
TPH C9-C15		0.71	2,103	701	300	150

¹ISO 16017-2, Aire de Interiores, de ambiente, y de lugar de trabajo - Muestreo y Análisis de compuestos orgánicos volátiles por medio de tubo sorbente/desorción térmica/cromatografía capilar de gas - Parte 2: Muestreo Difusivo, 2003.

²ESTCP Proyecto ER-200830, Desarrollo de Métodos Más Económicos para Monitoreo a Largo Plazo de Intrusión de Vapor de Suelo hacia Aire de Interiores Usando Muestreo Cuantitativo Pasivo Difusivo-Adsorativo, Julio 2014.