

# R A D E L E C



## Manual de Usuario del Sistema E-PERM®

Versión 4.0.2  
11 junio 2026

# Tabla de Contenidos

Introducción al Sistema E-PERM® .....	4
Componentes del Kit Inicial.....	5
Rendimiento de los Sistemas E-PERM® .....	6
Rendimiento Relativo de Diferentes Detectores.....	6
Informe de Auditoría de Calidad Realizado por la USEPA.....	7
Componentes Básicos del Sistema E-PERM® .....	8
Electretos.....	10
Cámara de Iones.....	12
Cámara S.....	14
Cámara L.....	15
Cámara L-OO.....	16
Cámara H.....	17
Lector de Voltaje.....	18
Principio de Funcionamiento de la Cámara de Iones con Electreto.....	20
¿Cómo Medir el Voltaje Superficial de un Electreto?.....	21
Electretos de Referencia.....	23
Configuraciones E-PERM® .....	25
Ejecución de una Prueba de Radón con Cámara de Iones con Electreto.....	27
Herramientas de Análisis.....	30
Programa "Radon Report Manager".....	30
Hojas de Cálculo.....	31
Calculadora.....	31
Creador de Informes Online.....	31
Efectos Ambientales en las Cámaras de Iones con Electretos.....	33
Temperatura.....	33
Humedad Relativa.....	34
Altitud y Presión.....	35
Presencia de Iones.....	36
Rayos X.....	36
Radiación Beta.....	36
Radiación Gamma.....	37
Campos Eléctricos y Magnéticos.....	37
Corrientes de Aire.....	38
Torón.....	38
Suciedad, Polvo y Partículas Suspendidas.....	39
Mantenimiento del Equipo.....	40
Mantenimiento de la Cámara de Iones y el Electreto.....	40
Mantenimiento del Lector de Voltaje.....	41
Actualización de Software y Hojas de Cálculo.....	42



Rango Dinámico.....	43
Análisis de Incertidumbre.....	45
Descarga de Voltaje Inherente.....	48
Factores y Constantes de Calibración.....	49
Constantes A y B.....	50
Constante G.....	51
Límite Inferior de Detección.....	52
Comprensión de los algoritmos para el sistema E-PERM®.....	53
Preguntas Frecuentes.....	57
Solución de Problemas al Lector de Voltaje SPER-1E.....	66
Aplicaciones Adicionales para las Cámaras de Iones con Electretos.....	69
Especificaciones Técnicas del E-PERM® y el SPER-1E.....	70
Lector de Voltaje SPER-1E.....	71
SST.....	72
SLT.....	73
LST.....	74
LLT.....	75
LST-OO.....	76
LMT-OO.....	77
LLT-OO.....	78
HST.....	79
HLT.....	80
Muestra del Informe.....	81
Cadena de Decaimiento del Radón.....	82
Tabla de Estimación del Fondo Gamma.....	83
Glosario.....	84
Referencias.....	91
Epílogo.....	92



# Introducción al Sistema E-PERM®

El Monitor Pasivo de Radón Ambiental con Electreto (E-PERM®, por sus siglas en inglés) de la compañía Rad Elec ha revolucionado la industria del radón con su tecnología patentada de cámara de iones con electreto. Galardonado con el prestigioso Premio Internacional de Ciencia y Tecnología de la Radiación por la Sociedad Nuclear Americana, los sistemas E-PERM®, los cuales son precisos y de bajo costo, han ganado aceptación entre numerosos profesionales del radón en América del Norte y se usan en más de 30 países en todo el mundo.

Un E-PERM® (conocido generalmente como Cámara de Iones con Electreto) es un monitor de ionización pasivo e integrador que consiste en un electreto muy estable montado sobre una cámara pequeña hecha de plástico conductor eléctrico. El electreto, un disco de Teflón® cargado, sirve tanto como fuente de recolección de iones como un sensor integrador de ionización. El gas radón se difunde pasivamente hacia la cámara a través de entradas con filtro, y las partículas alfa emitidas por el proceso de decaimiento ionizan las moléculas de aire. Los iones negativos generados dentro de la cámara son recolectados en el electreto cargado positivamente, lo que causa una reducción de su carga o voltaje superficial. Esta reducción de la carga o voltaje superficial es una función de la concentración de radón, la duración del período de medición y el volumen de la cámara. Este cambio en el voltaje se mide con el lector de voltaje para electretos SPER-1E de Rad Elec. Los resultados se pueden calcular mediante el uso de softwares, hojas de cálculo, herramientas online, o incluso con papel y lápiz. Los informes para los clientes se pueden generar utilizando el software "Radon Report Manager" (RRM).

Los componentes básicos del sistema E-PERM® consisten en electretos, electretos de referencia, cámaras de iones, lector de voltaje, y herramientas de cálculo y análisis. Existen cámaras de diferentes volúmenes y electretos de diferentes sensibilidades para satisfacer una amplia gama de condiciones ambientales y situaciones de medición. Generalmente, los electretos más sensibles (ST) se utilizan para mediciones a corto plazo, mientras que los electretos LT son menos sensibles y son usados para mediciones de larga duración.

Visite nuestra página web en [www.radelec.com](http://www.radelec.com) para ver tutoriales, manuales, y una vasta colección de artículos publicados. Si tiene curiosidad, le animamos a encontrar estos recursos en la sección "Documentation" de nuestra página web. Estos manuales y artículos explican la teoría detrás de las cámaras de iones y proporcionan una serie de intercomparaciones de nuestra tecnología de electretos con otros métodos de medición del gas radón.



# Componentes del Kit Inicial

Cada Kit Inicial E-PERM® incluye lo siguiente:

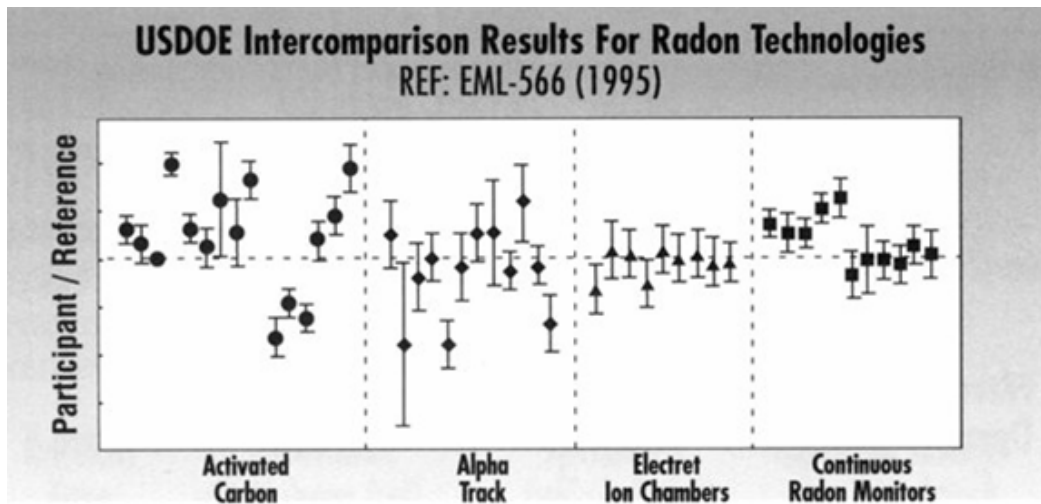
- **1 Lector de Voltaje SPER-1E** (con su estuche protector y desecante)
- **1 Electreto de Calibración Cero**
- **2 Electretos de Referencia** (comprenden un solo juego)
- **6 Electretos de Corto Plazo (ST)**
- **6 Cámaras S**
- **3 Estuches Protectores para Inicio de Medición (Cajas Gemelas)**
- **Software "Radon Report Manager"**
- **Curso de Competencia del Usuario E-PERM®**
- **Manual de Usuario del Sistema E-PERM®**
- **Plan de Garantía de la Calidad**
- **Paquete de 100 Cintillos de ~10 cm (4")**
- **Paquete de 25 Cintillos de ~35 cm (14")**
- **10 Cintas Adhesivas Indicadoras de Manipulación**
- **5 copias de Folletos de Marketing**
- **10 Colgadores de Puerta "Prueba de Radón en Progreso"**

**El propósito de este manual es transmitir la teoría básica y la práctica, realizando mediciones con cámaras de iones con electretos de inicio a fin.**



## Rendimiento de los Sistemas E-PERM®

Los sistemas E-PERM® han demostrado un buen desempeño en estudios independientes. La Intercomparación de 1995 del Departamento de Energía de los Estados Unidos mostró que los sistemas E-PERM® tenían un rendimiento tan bueno como los monitores continuos de radón más caros y superaban a todos los demás dispositivos pasivos.



Una de las pruebas de intercomparación a "ciegas" mejor documentadas fue administrada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) en el marco del Programa de Competencia en Radón (RPP, por sus siglas en inglés). Su informe (EPA 402-F-93-003-1) enumera los resultados acumulativos para el período comprendido entre enero de 1991 y abril de 1997. Los sistemas E-PERM® obtuvieron la tasa de aprobación más alta entre los detectores participantes.

## Rendimiento Relativo de Diferentes Detectores

Tipo de Detector	Carbón Activado	Huellas Alfa	E-PERM® ST	E-PERM® LT	Monitor Continuo de Radón	Líquido Centellante
# de Detectores evaluados	1 164	113	2 206	1 083	670	216
Tasa de Aprobación(%)	81,1%	64,2%	92,3%	89,0%	85,9%	80,0%

Los sistemas E-PERM® representaron más del 50% de los detectores evaluados en el Programa de



Competencia en Radón en la década de 1990 y lograron una tasa de aprobación muy alta. Hubo varias pruebas de intercomparación publicadas en diversas revistas que corroboran estos resultados.

## **Informe de Auditoría de Calidad Realizado por la USEPA**

El 9 de diciembre de 1997, la USEPA, representada por Shawn Price (Coordinador de Garantía de la Calidad del RPP - SC&A), Melinda Ronca-Battista (Especialista Senior de Garantía de la Calidad) y Samuel Poppell (Gerente del programa RPP), realizó una visita a las instalaciones Rad Elec. A continuación se presentan extractos del informe de cinco páginas emitido el 20 de mayo de 1998:

Rad Elec ha dedicado años en identificar, mantener y verificar que los factores de calibración empleados sean los correctos. Esencialmente, la calibración de los sistemas E-PERM® no ha cambiado en varios años. Esto deja solo a los SPER-1 y electretos de referencia en manos de los usuarios para calibrarlos anualmente, lo que significa que los detectores E-PERM® no requieren calibración en manos de los usuarios.

El sistema E-PERM® está tan adecuadamente documentado y es tan confiable que un usuario tendría que cometer un descuido sistemático para obtener resultados consistentemente inválidos. La amabilidad, accesibilidad y dedicación del personal de Rad Elec son las principales razones por las que su producto es tan popular en el mercado actual. Si hay alguna indicación de mala calidad, el usuario puede encontrar el problema investigando sus procedimientos y comparándolos con las recomendaciones del fabricante. Los evaluadores de Radón interesados en la calidad harían bien en examinar el sistema E-PERM® para ver cómo se ajusta a sus necesidades.

**¡Verificado en 1998 y vigente hasta el día de hoy!**



## Componentes Básicos del Sistema E-PERM®

El sistema E-PERM consta de cinco componentes:

- Un **electreto**, un disco de Teflón® electrostáticamente cargado para la recolección de iones.
- Una **cámara de iones** construida con plástico conductor, donde un electreto puede montarse.
- Un **lector de voltaje** para medir el voltaje superficial de los electretos.
- **Electretos de Referencia**, que aseguran que el lector de voltaje funcione correctamente.
- **Software y hojas de cálculo** para estimar la concentración de radón y generar informes.

## Componentes del Sistema E-PERM®



Estos componentes son necesarios para realizar mediciones de radón de corto y de largo plazo, y pueden usarse en ambientes interiores o exteriores. Cuando un electreto es instalado sobre una cámara de iones, esta configuración se denomina E-PERM® y también se conoce como cámara de iones con electreto (EIC, por sus siglas en inglés).

**Un sistema E-PERM® es un electreto de cualquier sensibilidad, instalado en una cámara de iones de cualquier volumen.**

Los principios técnicos de la medición de radón en interiores usando el sistema E-PERM® han sido detallados en dos publicaciones en la revista Health Physics. Estos artículos citados a continuación están disponibles para su [visualización online](#) y/o descarga en la página web de Rad Elec.

Health Physics, Vol. 54, No. 1 (January), pp. 47-56, 1988  
 Printed in the U.S.A. © 1988 Health Physics Society

● Paper

AN ELECTRET PASSIVE ENVIRONMENTAL <sup>222</sup>Rn MONITOR BASED ON IONIZATION MEASUREMENT

P. Kotrappa,\* J. C. Dempsey,\* J. R. Hickey and L. R. Stief†  
 Plastic Coating Inc., 619 South Union Street, Olean, NY 14750

(Received 5 December 1986; accepted 2 August 1987)

**Abstract**—The electret passive environmental <sup>222</sup>Rn monitor (E-PERM) is an extension of electret dosimeters used for measurement of α and γ radiation. An E-PERM consists of a small cup or canister, having an electret at the bottom, and a filtered inlet at the top. The <sup>222</sup>Rn gas entering through the filter and the decay products formed inside the cup generate ions which are collected by the electret. The reduction of charge (or surface potential) on the electret is a measure of time integrated <sup>222</sup>Rn exposure. An E-PERM of 230-ml. volume with an electret of 0.23 μm thickness gave a surface potential drop of 2.5 V for 27 Bq m<sup>-3</sup> (1.0 pCi l<sup>-1</sup>). The electret voltage was measured with a specially built surface potential voltmeter. This sensitivity was found adequate for a 1-wk measurement of <sup>222</sup>Rn in homes. For longer term measurements, an E-PERM of 60-ml. volume and an electret of 31-μm thickness was developed which gave a surface potential drop of 2.6 V for 27 Bq m<sup>-3</sup> (1.0 pCi l<sup>-1</sup>). Other combinations of chamber volume and electret thickness gave responses between these two values. The surface potential of electrets made from Teflon® EEP were shown to stay stable even under extreme conditions of relative humidity. The ion collection process in E-PERMs was also shown to be independent of humidity down to an electret surface potential of 100 V.

**1. INTRODUCTION**

AN ELECTRET (Se80) is a piece of dielectric material exhibiting a quasi-permanent electrical charge. The charge of the electret produces a strong electrostatic field capable of collecting ions of opposite sign. Until recently, electrets have been regarded as curious analogues of magnets, worthy only of academic interest. However, with the development of high dielectric, fluorocarbon polymers such as Teflon, electrets have become reliable electronic components capable of maintaining constant electrostatic fields even under high temperature and humidity conditions (Ft75).

Marvin (Ma55) was the first to suggest that the reduction of charge on the electret was due to the collection of ions of opposite sign from the surrounding gas, and he proposed the use of an electret in a closed chamber as a γ dosimeter. His idea was not practical at that time because, as Wolfson (Wo61) soon showed, the charge was not stable in carnauba wax which was the best electret material available at the time. Recently, however, Basser and Range (Ba78) used a pair of thin Teflon electrets of opposite charges to collect and measure the ions produced

inside an ionization chamber. They showed that the radiation dose calculated from this measurement, agreed well with the actual dose received by the chamber. They also demonstrated that the performance was insensitive to variations in humidities and temperatures in the range normally encountered in the environment. The dose information on their electrets was retained without loss over a period of more than 1 y. This study laid a sound scientific basis for the further development of electret dosimeters.

The next innovation in electret ion chamber development was a single electret dosimeter, reported by Kotrappa et al. (Ko82b). These workers showed that the drop in surface potential of their single electret dosimeter also behaved according to established ion chamber theory, and they went on to demonstrate its use as a personal dosimeter (Ko85). Similar work was carried out later by Pretzsch (Pr84a). The theoretical aspects of electrostatic fields in such ionization chambers were worked out by Faltner (Fa83).

Kotrappa (Ko84) also used this technique to measure the potential energy concentration of <sup>222</sup>Rn decay products. Pretzsch (Pr86) recently adapted the method for measurement of <sup>210</sup>Pb concentration in a flow-through chamber. Kotrappa et al. (Ko85) found a rough correlation between the reduction of the surface voltage on a polycarbonate covered electret and the cumulative <sup>222</sup>Rn exposure in a passive chamber arrangement. They also observed that this charge reduction did not appear to be sensitive to humidity change.

\* Currently with Rad-Elec, Inc., P.O. Box 310, Gettysburg, MD, 20884.  
 † Patent pending.  
 ‡ Teflon® EEP fluorocarbon, manufactured by E. I. du Pont de Nemours and Co. (Inc.), Wilmington, DE 19886.

Kotrappa, P., et al. "An Electret Passive Environmental <sup>222</sup>Rn Monitor Based on Ionization Measurement." *Health Physics*, Volume 54, No. 1, January 1988, pp. 47-56.

Kotrappa, P., et al. "A Practical E-PERM® (Electret Passive Environmental Radon Monitor) System for Indoor <sup>222</sup>Rn Measurement." *Health Physics*, Volume 58, No. 4, April 1990, pp. 461-467.

Existe una extensa colección de artículos de investigación publicados en la página web de Rad Elec. ¡Te animamos a explorarlos!

Health Physics, Vol. 58, No. 4 (April), pp. 461-467, 1990  
 Printed in the U.S.A. © 1990 Health Physics Society

● Paper

A PRACTICAL E-PERM™ (ELECTRET PASSIVE ENVIRONMENTAL RADON MONITOR) SYSTEM FOR INDOOR <sup>222</sup>Rn MEASUREMENT\*

P. Kotrappa, J. C. Dempsey, R. W. Ramsey and L. R. Stief†  
 Rad Elec. Inc., 5530 S Spectrum Drive, Frederick, MD 21703

(Received 21 March 1989; accepted 15 November 1989)

**Abstract**—The technical and scientific basis for the measurement of indoor <sup>222</sup>Rn concentration using an E-PERM™ (Electret passive environmental radon monitor) has been described in our earlier work. The purpose of this paper is to describe further development of a practical and convenient system that can be used readily for indoor <sup>222</sup>Rn measurement. The ion chamber is now made of electrically conducting plastic to minimize the response from natural <sup>222</sup>Rn γ radiation. A spring-loaded chamber method is used to cover and uncover the electret from outside the chamber. The electret voltage reader has been modified to improve the accuracy and the ease in operation. The calibration, performance, error analysis, and lower limits of detection for these standardized versions of E-PERMs are also described.

**INTRODUCTION**

THE SCIENTIFIC and technical basis for the measurement of <sup>222</sup>Rn using an E-PERM™ has already been described in an earlier publication (Kotrappa et al. 1988).

Presently, we would like to describe two standardized versions of E-PERMs which are commercially available to perform short-term and long-term measurements of indoor <sup>222</sup>Rn. (For further discussion in the paper, Ra means <sup>222</sup>Rn unless otherwise mentioned.) Both versions have passed a series of tests conducted by the U.S. Environmental Protection Agency. These units differ substantially from the units described in our earlier work.

An electret is a charged Teflon® disk carrying a quasi-permanent electric charge. The charge of the electret produces a strong electrostatic field capable of collecting ions of opposite sign. The amount of charge that an electret carries is characterized by its surface potential, diameter, and thickness.

An E-PERM™ consists of a small chamber having an electret at the bottom and a filtered inlet at the top. Radiation from Rn gas entering the chamber and the decay products formed inside the chamber generate ions that are collected by the electret. An E-PERM™ functions as an integrating ionization chamber, wherein the electret serves not only as a source of an electrostatic field but also as a quantitative sensor. The drop in surface voltage of the electret over a known time period is a measure of

time-integrated ionization during that time interval. These data can be converted readily into Ra concentration. The desired sensitivity, dynamic range, and statistical accuracies can be programmed into the design parameters of an electret ion chamber to get an optimum performance for a specific Ra measurement situation.

**DESIGN FEATURES OF E-PERM™ CHAMBER**

Our earlier study indicated that it is desirable to use a low-Z (atomic number) material for the ion chamber to minimize the response to the natural environmental γ radiation. Accordingly, the present E-PERM™ chambers and the electret holders are made of electrically conducting plastic. It was also indicated in our study that a mechanism must be provided to keep the electret covered in order to eliminate undesired background during storage or transport. The cup-up arrangement described in that work proved to be somewhat complicated for homeowner use. To overcome this deficiency, a novel spring-loaded piston mechanism was adopted to turn the instrument on and off (Fig. 1 shows this feature). When the E-PERM is not in use or when it is in transit, the electret cover is kept down very close to the electret. This effectively cuts off the electret field to the interior of the chamber and shuts off the E-PERM™. The electret cover is attached to a screwcap on top of the E-PERM™ that is tightened to lock the electret cover. When the E-PERM™ is used, the screwcap is unscrewed and a spring lifts the electret cover up and away from the electret and holds it there to turn the E-PERM™ to the "on" position.

The filtered inlet is necessary to allow Rn into the chamber while excluding Rn progeny or environmental

\* E-PERM™ is a trademark of the product manufactured by Rad Elec. Inc., Frederick, MD 21703.  
 † Teflon® is a trademark of the product manufactured by E. I. du Pont de Nemours and Co., Wilmington, DE 19886.



## Electretos

El electreto usado en el sistema E-PERM® es un disco de Teflón® que ha sido eléctricamente cargado y sometido a procedimientos especiales para estabilizar la carga en diferentes niveles de humedad y temperatura. Este disco dieléctrico de Teflón® está colocado dentro de un soporte que permite instalarse sobre una cámara de iones; esta combinación se denomina cámara de iones con electreto (comercializada como E-PERM®). El electreto produce un campo electrostático dentro de la cámara de iones, capaz de atraer iones cargados negativamente generados por el decaimiento del radón y su progenie dentro de la cámara. La carga de un electreto disminuye gradualmente a medida que se recolectan los iones, lo que provoca que el voltaje superficial del electreto disminuya proporcionalmente a la concentración de radón, el volumen de la cámara de iones y el tiempo de exposición.

Rad Elec fabrica tres tipos de electretos con diferentes características, identificados con etiquetas únicas. Los Electretos ST tienen alta sensibilidad y son usados principalmente en mediciones de corto plazo (generalmente de dos a siete días), estos están identificados por sus

etiquetas de color **azul**. Los Electretos MT tienen una sensibilidad entre los ST y LT, se han optimizado para mediciones de 91 días y están identificados por sus etiquetas de color **guinda**. Por último, los electretos LT son mucho menos sensibles que los MT y ST, son usados principalmente para mediciones a largo plazo que duran de tres meses a un año, y están identificados por sus etiquetas de color **rojo**.



### Corto Plazo (ST)



### Mediano Plazo (MT)



### Largo Plazo (LT)

Los números de serie de los electretos ST empiezan con S, los electretos MT empiezan con M y los electretos LT empiezan con L.

Los nuevos electretos se producen con más de 700 voltios y generalmente pueden ser utilizados hasta que el voltaje caiga por debajo de 100, lo que resulta en un rango de voltaje utilizable mayor a 600 voltios. Electretos con voltajes menores a 100 muestran un campo electrostático muy débil, lo que no es tan consistente en la recolección de iones. Sin embargo, estos electretos de voltaje bajo pueden funcionar como excelentes fondos o de tránsito (recomendados para buenas prácticas de Garantía de la Calidad y Control de Calidad) y cuando están completamente descargados pueden ser devueltos a Rad Elec a cambio de un crédito.

**La superficie de los electretos nunca debe ser tocada. Esto causa una pérdida de voltaje y problemas de estabilidad.**

**La superficie del electreto nunca debe ser tocada.** Permitir que cualquier cosa toque la superficie del electreto causará pérdida de voltaje y posiblemente conducirá a problemas de estabilidad. Cada

**Nunca se debe usar una lata de aire comprimido para limpiar un electreto.**

**Estas contienen propulsores y refrigerantes que descargarán el electreto.**

electreto se envía con su propia "tapa protectora" que se puede enroscar sobre el electreto y evitar una descarga accidental de voltaje. Las tapas protectoras son perfectas para almacenar electretos durante largos períodos de tiempo.

**Es muy importante mantener la superficie del electreto limpia.** Rad Elec recomienda usar nitrógeno de grado industrial o un compresor de aire libre de aceite para "soplar" rutinariamente la superficie del

electreto, además de limpiar las cámaras de iones y las tapas protectoras. Al limpiar el electreto de esta manera, no toque la superficie del electreto con la boquilla o pistola de

**Mantenga el electreto limpio, no toque la superficie del electreto, y lea el voltaje inicial y final a temperaturas similares.**

aire. Rad Elec recomienda limpiar el electreto después de su lectura de voltaje final (y/o antes de su lectura de voltaje inicial). Cuando se utiliza a una presión apropiada de aproximadamente ~350 kPa (50 PSI), tanto el nitrógeno como los compresores de aire libre de aceite han demostrado ser un método seguro y confiable para limpiar las cámaras de iones.

**En lugar de un cilindro de nitrógeno, puedes usar un compresor de aire libre de aceite para limpiar las cámaras de iones. Es importante que el compresor esté libre de aceite.**

Idealmente, los electretos deberían leerse en un ambiente controlado como una



oficina o laboratorio. Las lecturas de voltaje inicial y final deben realizarse aproximadamente a la misma temperatura (dentro de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  o  $\pm 10^{\circ}\text{F}$ ). Si los electretos están fríos o calientes cuando se termina la medición, es importante darles tiempo (una hora o dos) para que vuelvan a la temperatura ambiente antes de realizar la lectura de voltaje.

## Cámara de Iones

Las cámaras de iones están construidas con plástico conductor y vienen en una variedad de volúmenes bien definidos. Cuando se coloca un electreto en una cámara de iones, se denomina E-PERM<sup>®</sup> (comúnmente denominado como **cámara de iones con electreto**). En esta configuración, el electreto sirve como un sensor debido a su campo electrostático; este campo atrae iones producidos por el decaimiento del radón. A medida que se recolectan los iones, el voltaje superficial del electreto disminuye en proporción a la concentración de radón y el tiempo de exposición. La disminución del voltaje se mide usando un lector de voltaje para electretos SPER-1E.

El radón es un gas radioactivo e inerte. A medida que se difunde hacia la cámara de iones a través de entradas con filtro, las partículas alfa emitidas por el decaimiento de radón provocan ionización, lo que genera iones negativos y positivos en el aire. Cuando este decaimiento ocurre dentro del volumen de una cámara eléctricamente conductora, los iones negativos son atraídos hacia la

superficie del electreto cargado positivamente. El electreto lleva una carga positiva y, por lo tanto, atrae iones cargados negativamente en el aire circundante mientras repele los iones cargados positivamente hacia las paredes internas de la cámara eléctricamente conductora, lo que permite neutralizarlos.



La mayoría de las cámaras de iones requiere una corrección de altitud por encima de un cierto umbral, debido a una disminución de la presión atmosférica a medida que aumenta la altitud. La disminución de la presión atmosférica incrementa la distancia entre los átomos y las moléculas de aire, esto disminuye el número de iones generados en un volumen determinado, por lo que se debe aplicar una corrección matemática. Este umbral se sitúa por encima de 1219 metros o 4000 pies sobre el nivel del mar para las Cámaras S, y de más de 61 metros o 200 pies sobre el nivel del mar para las Cámaras L y L-OO. Las cámaras H no requieren una corrección de altitud. Los factores de corrección de altitud son discutidos más adelante en este manual.

Rad Elec fabrica cámaras de iones de diversos volúmenes, lo que permite abarcar un amplio rango de tiempos de exposición y sensibilidades. Las cámaras con volúmenes más grandes permiten un incremento en el número de iones generados debido al decaimiento de radón. Cuando se usa en conjunto con uno de los tres tipos de electretos, los evaluadores de radón pueden ensamblar una configuración E-PERM® personalizada que permite medir con precisión el radón para un protocolo específico (que varía desde unas horas hasta más de un año).



## Cámara L-OO

## Cámara S

La cámara S tiene un volumen de 210 mL con un mecanismo de encendido/apagado en forma de tapa rosca con resorte. Cuando la tapa rosca se enrosca completamente, el electreto cargado no medirá radón y no perderá voltaje por ionización. Esto se debe a un mecanismo de pistón que cubre la superficie del electreto, reduciendo el volumen de la cámara a casi cero y evitando que se mida cualquier ionización.

El interior de la cámara debe inspeccionarse antes de cada uso para asegurarse de que los filtros no estén sueltos y que la cámara este libre de polvo, fibras y de cualquier suciedad o residuo ambiental. Al inspeccionar la cámara, golpéela suavemente sobre una mesa para expulsar suciedad o residuos, esto también es útil para determinar si el filtro está flojo. La cámara también debe limpiarse con nitrógeno o un compresor de aire libre de aceite para eliminar la suciedad o cualquier partícula de polvo. Cuando la Cámara S no esté en uso, guárdela en una bolsa Tyvek® o Ziploc®, como en la que se enviaron al momento de comprarlas.

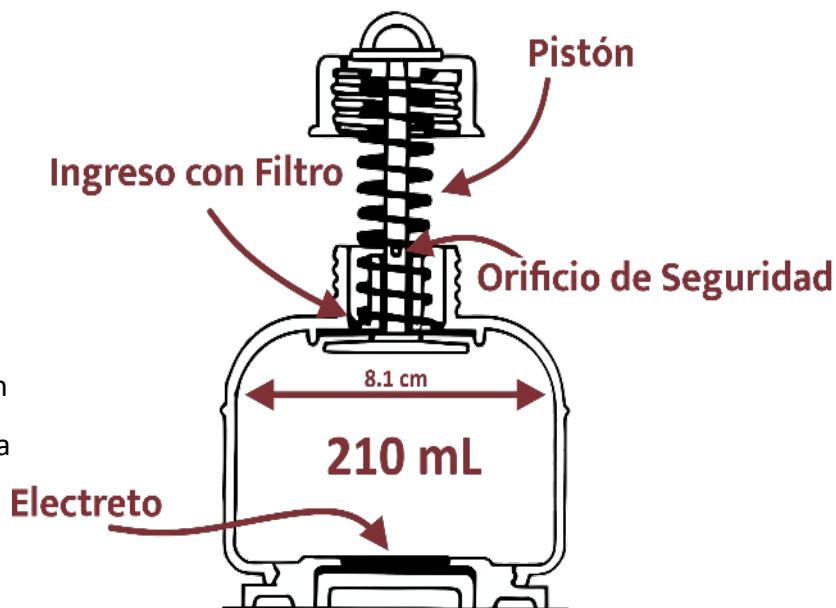
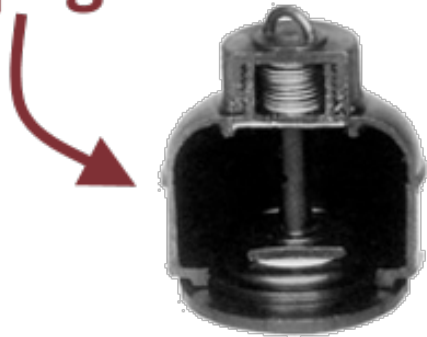


Diagrama de la Cámara S

Apagado



Encendido



¿Por qué se denomina Cámara S?  
"S" es la abreviatura de  
"Standard" (estándar).

## Cámara L



## Cámara L

La cámara L es una cámara de iones de bajo volumen (58 ml). No tiene un mecanismo de encendido/apagado, lo que significa que los electretos deberán montarse sobre la cámara en el sitio de prueba o utilizarlos justo después de montar los electretos sobre la cámara.

Debido a la ausencia de un mecanismo de encendido/apagado, las cámaras de iones con electreto que utilizan la cámara L deben utilizarse lo antes posible después de leer y montar el electreto. También se debe

medir la lectura de voltaje final tan pronto como sea posible después del período de exposición, a menos que se retire el electreto de la cámara L y se almacene en su tapa protectora.

El tiempo total de demora sin exposición (la suma del período de demora antes y después del período de exposición previsto) debe ser inferior al 5% del período total de exposición.

Esto garantiza que la radiación

ionizante de fondo medida durante los períodos de demora (por ejemplo,

durante el tránsito si se envía) se

minimice en comparación con el período de exposición mucho más largo.



## Diagrama de la Cámara L

El interior de la Cámara L debe inspeccionarse antes de cada uso. Si se encuentra polvo y/o suciedad dentro de la cámara, se puede limpiar con nitrógeno de grado industrial o un compresor de aire libre de aceite. Para mantener limpia la cámara L antes de su uso, Rad Elec recomienda almacenarla y

transportarla dentro de una bolsa Ziploc® o Tyvek® (o, alternativamente, montar un electreto descargado).

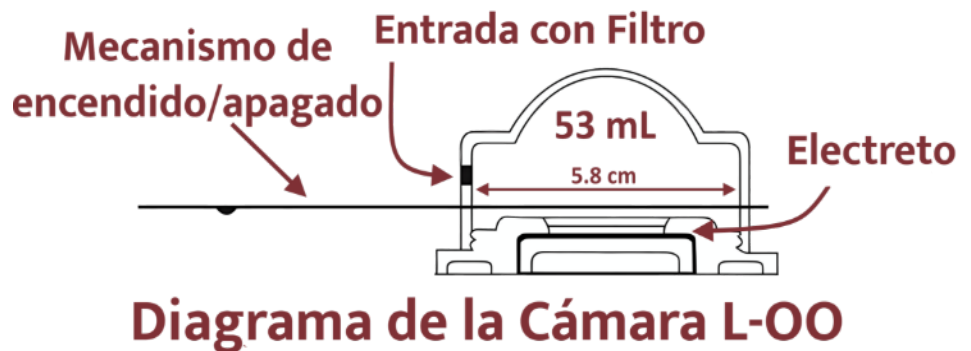
Debido a su menor volumen relativo, la cámara L tiende a usarse para mediciones más largas, generalmente con rangos que van de 91 a 365 días.

**¿Por qué se denomina Cámara L?  
"L" es la abreviatura de "low-volume" (volumen pequeño).**



## Cámara L-OO

La cámara L-OO es una cámara de bajo volumen (53 ml) con un mecanismo deslizante de encendido/apagado, que permite exponer (encender) o cubrir (apagar) las cámaras de iones con electretos que utilizan cámaras L-OO mediante el uso del mecanismo deslizante. Este mecanismo permite un control mucho más preciso sobre las fechas/horas de inicio y finalización eliminando la necesidad de montar electretos mientras están en el campo. Al igual que la Cámara L, el volumen más pequeño (en relación con las Cámaras S y H) reduce la cantidad total de ionización dentro de la cámara. Esto da como resultado que la cámara L-OO generalmente se use durante períodos más prolongados, generalmente entre 30 y 365 días (dependiendo del tipo de electreto).



Para utilizar el mecanismo deslizante de encendido/apagado, monte el electreto en el fondo de la cámara L-OO. Tire del mecanismo deslizante a la posición APAGADO (como se muestra a continuación), con el orificio de seguridad visible. Coloque un mecanismo de bloqueo (como un clip o un cintillo) en uno de los orificios de seguridad para garantizar que el dispositivo no se abra accidentalmente hasta que la exposición esté lista para comenzar. Para iniciar la prueba, tire del mecanismo deslizante a la posición ENCENDIDO (como se muestra a continuación). El orificio de seguridad no será visible cuando la cámara L-OO esté en la posición ENCENDIDO. Utilice un mecanismo de bloqueo para asegurar el mecanismo deslizante en la posición ENCENDIDO. Para detener la prueba, primero corte o retire el mecanismo de bloqueo y luego tire del mecanismo deslizante hacia la posición APAGADO. Asegure la cámara L-OO en la posición APAGADO con un mecanismo de bloqueo de su elección.



## Cámara H

La Cámara H es una cámara de gran volumen (960 mL). Siendo la cámara de iones más grande fabricada actualmente por Rad Elec, la Cámara H es ideal para realizar mediciones rápidas. Cuando se combina con un electreto de corto plazo (ST), esta configuración puede medir concentraciones extremadamente bajas de radón con un alto grado de precisión; tal configuración sería una buena elección para controlar el radón ambiental, o para mediciones de muy corta duración.

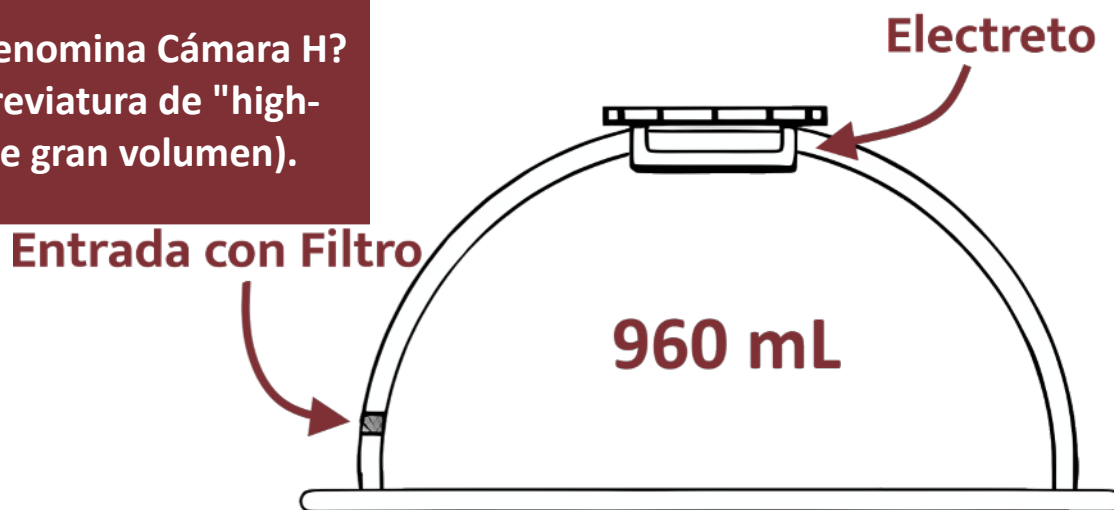


## Cámara H

No hay ningún mecanismo de encendido/apagado en la Cámara H, lo que significa que el electreto debe montarse en la cámara inmediatamente antes de comenzar la medición. De manera similar, al final de la exposición, el electreto debe retirarse inmediatamente y almacenarse en su tapa protectora.

Al igual que con todas las demás cámaras, la Cámara H debe ser inspeccionada antes de cada uso. Debe estar libre de polvo o fibras antes de ser montada con un electreto. Si se encuentra polvo dentro de una Cámara H, puede ser expulsado utilizando nitrógeno (o un compresor de aire libre de aceite). Cuando no esté en uso, la Cámara H debe almacenarse en una bolsa Ziploc®.

¿Por qué se denomina Cámara H?  
"H" es la abreviatura de "high-volume" (de gran volumen).



## Diagrama de la Cámara H



## Lector de Voltaje



El lector de voltaje SPER-1E se utiliza para medir el voltaje (potencial superficial) de un electreto. El lector SPER-1E es un voltímetro de alta precisión y sin contacto. Debe manejarse con cuidado y cuando no esté en uso, el lector debe almacenarse en su estuche de almacenamiento.

La parte frontal del lector SPER-1E incluye la pantalla, el receptáculo para el electreto, el obturador y la palanca del obturador. La pantalla muestra indicaciones, información de diagnóstico y lecturas de voltaje. El receptáculo para el electreto es la abertura circular donde se coloca el electreto para realizar la medición. El obturador se encuentra debajo

**El sensor detrás del obturador es muy sensible y se daña fácilmente. Mantenga el obturador cerrado excepto cuando realice lecturas. No toque ni permita que ningún objeto toque la placa del sensor ubicada detrás del obturador.**

del receptáculo y protege el sensor interno cuando el lector no está en uso. La palanca del obturador se encuentra en la parte inferior derecha; al tirar suavemente de ella hacia usted, se abre el obturador y el instrumento se enciende o inicia una lectura. El sensor detrás del obturador es muy sensible y se daña fácilmente, por lo que el obturador debe permanecer cerrado excepto cuando se estén realizando lecturas.

El estuche de transporte contiene un desecante para mantener el lector libre de humedad. A medida que el desecante absorbe la humedad del ambiente, sus cristales cambiarán de color lentamente. Rad Elec recomienda verificar regularmente el desecante para evaluar el color de los cristales. Cuando sea necesario, el desecante puede ser renovado colocándolo en un horno a una temperatura específica (típicamente alrededor de 110° C / 225° F) durante unas horas. Instrucciones más detalladas estarán escritas en el envase del desecante.

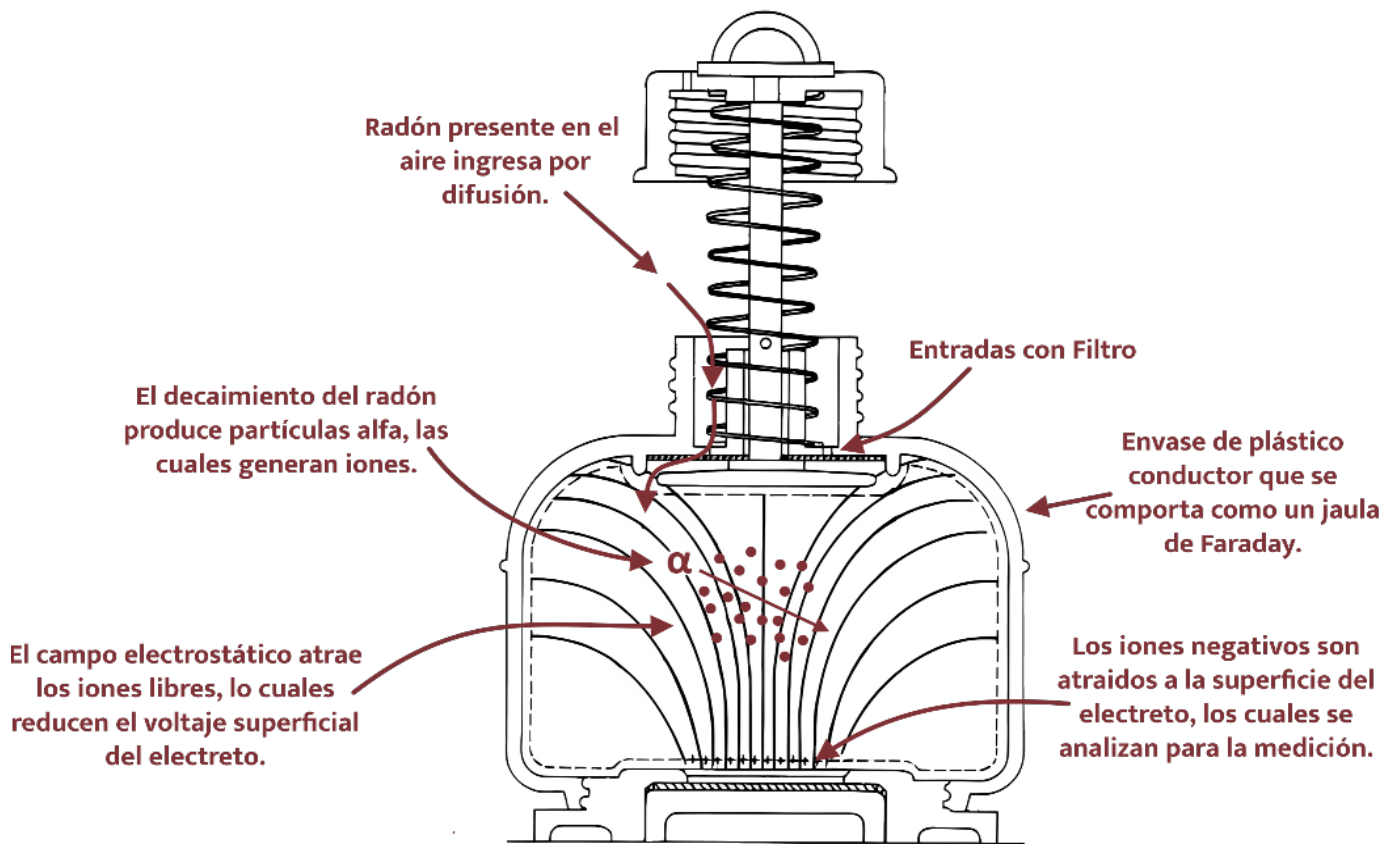
**El lector de voltaje debe calibrarse anualmente.** Durante este proceso, Rad Elec realizará mantenimiento rutinario en el lector, cambiará las baterías y calibrará las lecturas en varios rangos de voltaje conocidos y rastreables. Al final de este proceso, Rad Elec certificará los voltajes de los electretos de referencia asociados con el lector y emitirá un certificado de calibración. [Los formularios de calibración](#) se pueden encontrar en el sitio web de Rad Elec. Tenga en cuenta que hay un cargo por este servicio de calibración.

Aunque la manera adecuada de leer un electreto se discutirá más adelante en este manual, el método es fácil de entender. Utilizando el lector de voltaje SPER-1E, se mide el voltaje superficial de un electreto antes y después de una prueba de radón. A medida que la cámara de iones con electreto se expone al radón, el voltaje superficial se reduce. Esta reducción en el voltaje superficial es una medida de la concentración de radón integrada en el tiempo dentro del ambiente.

**Lector de Potencial Superficial para  
Electreto (SPER, por sus siglas en  
inglés)**



# Principio de Funcionamiento de la Cámara de Iones con Electreto



El gas radón (**no la progenie** presente en el aire) se difunde a través de las entradas filtradas hacia una cámara de iones con electreto. Esta difusión continúa hasta que la concentración de radón dentro de la cámara se aproxime al equilibrio con la concentración de radón en el exterior (típicamente en una habitación). La radiación emitida por la desintegración del radón y su progenie formada dentro de la cámara ioniza el aire, lo que produce iones positivos y negativos.

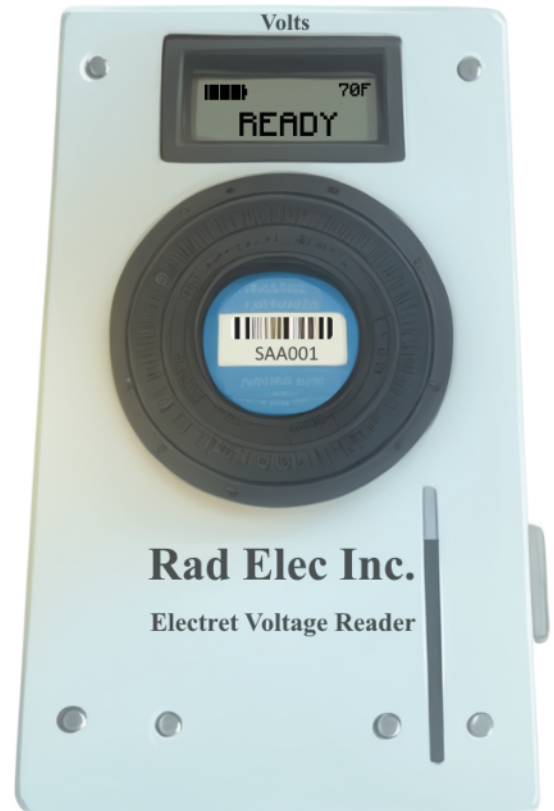
La superficie del electreto cargada positivamente atrae los iones negativos (aniones) generados durante la ionización. A medida que los aniones alcanzan la superficie del electreto, la carga superficial del electreto se reduce. Los iones positivos (cationes) son empujados hacia las paredes interiores de la cámara de iones, donde se disipan.

La reducción en el voltaje superficial del electreto permite estimar la concentración de radón.

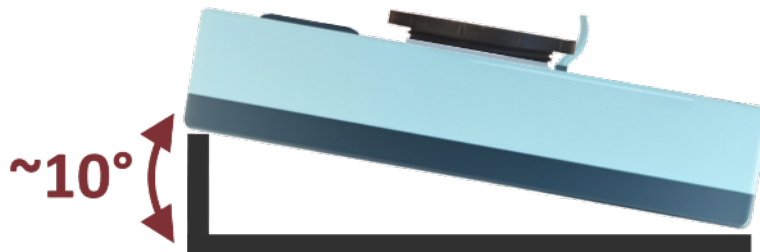
## ¿Cómo Medir el Voltaje Superficial de un Electreto?

Comprender y emplear la técnica adecuada para medir el voltaje superficial de un electreto es, sin duda, la parte más importante para llevar a cabo una medición exitosa usando cámara de iones con electretos. En general, hay algunos puntos clave a tener en cuenta: medir el voltaje del electreto varias veces para garantizar una lectura precisa, y emplear una técnica apropiada y consistente.

**1** Retira el electreto de su tapa protectora o de la cámara de iones y colócalo boca abajo sobre el receptáculo circular ubicado en el lector SPER-1E. Tira de la palanca en el lector para encenderlo y deja que encienda en unos segundos. Durante el inicio, el SPER-1E mostrará información de diagnóstico (como la condición de la batería y la temperatura ambiente en Fahrenheit). Después de que se muestre esta información de diagnóstico, la pantalla mostrará "READY".



**2** Gira el electreto de manera que el número de serie esté paralelo (y alineado) con la etiqueta "Electret Voltage Reader" grabada en el SPER-1E. Para mayor consistencia, Rad Elec recomienda mantener el lector en su estuche. Apóyalo contra la espuma dentro del estuche para que quede inclinado aproximadamente a un ángulo de  $10^\circ$ . Esto asegura que la gravedad haga que el electreto se incline ligeramente hacia ti, para mantener la consistencia.





3

Coloca una tapa protectora sobre el electreto, que cubrirá el número de serie. Coloca suavemente el dedo índice en la parte superior central de la tapa protectora y tira de la palanca con la otra mano con un movimiento relativamente consistente. Suelta suavemente la palanca una vez que aparezca un número en la pantalla.

4

El número central de la pantalla del SPER-1E es el voltaje actual del electreto. La condición de la batería se muestra en la parte superior izquierda de la pantalla, y un número de tres dígitos muy pequeño en la esquina superior derecha es el tiempo (ms) que tomó para tirar completamente de la palanca.

5

Después de esperar unos segundos, repite la medición tirando de la palanca nuevamente.

Cuando aprendas a leer electretos, Rad Elec recomienda repetir este proceso cuatro o cinco veces.

**Normalmente debería tomar entre 300 y 500 milisegundos para tirar completamente la palanca.**

6

Retira el electreto del lector SPER-1E y protégelo colocando su tapa protectora o montándolo a una cámara que tenga un mecanismo de encendido/apagado. Si es necesario leer electretos adicionales, repite los pasos del 1 al 5 para obtener el número deseado de lecturas.

7

¡Felicidades! Has leído el voltaje de un electreto. El lector SPER-1E se apagará automáticamente después de unos minutos de inactividad. Mientras aprendes, Rad Elec recomienda repetir este proceso cuatro o cinco veces, para asegurarte que estás midiendo el voltaje consistentemente.

## Electretos de Referencia

Los electretos de referencia son una parte importante para garantizar que tu lector de voltaje SPER-1E esté midiendo con precisión el voltaje superficial de tus electretos. Dos electretos de referencia (que conforman un par) además de un electreto especializado de "calibración cero" se asignan a cada lector de voltaje, y se certifican de nuevo cada vez que se calibra el lector de voltaje. Los electretos de referencia son electretos especializados de bajo voltaje que son extremadamente estables y cuyos voltajes son rastreables al certificado de calibración del lector SPER-1E. El propósito de estos electretos de referencia es confirmar que el lector de voltaje SPER-1E está funcionando dentro de sus parámetros calibrados.



**Los Electretos de Referencia nunca serán usados en mediciones de radón.**

Los electretos de referencia **no deben usarse para pruebas o mediciones de radón**; su único propósito es asegurar que tu lector de voltaje esté midiendo los voltajes correctamente. Los electretos de referencia deben medir dentro de  $\pm 3$  voltios de sus voltajes certificados. El electreto de calibración

cero debe medir dentro de  $\pm 3$  voltios de cero.

Debe mantenerse un registro semanal de los electretos de referencia y de calibración cero y utilizarse como parte de tu Plan de Aseguramiento de Calidad y Control de Calidad (QA/QC, por sus siglas en inglés). Registra las lecturas de voltaje de los electretos de referencia y de calibración cero como lo harías con un electreto regular. Si las lecturas semanales se mantienen dentro de los límites aceptables mencionados anteriormente ( $\pm 3$  voltios), puedes estar seguro de que tu lector de voltaje SPER-1E está funcionando correctamente.

**Para asegurarse de que el lector de voltaje esta midiendo correctamente, los electros de referencia y de calibración cero deben mantenerse dentro de  $\pm 3V$  del voltaje certificado.**

Cuando leas los electretos de referencia, si uno, pero no ambos, de los electretos se desvía significativamente (más de 3 voltios) de su voltaje certificado, entonces se puede inferir que el lector



SPER-1E sigue funcionando correctamente. Es probable que uno de los electretos de referencia se haya descargado debido a un toque accidental o a partículas ambientales (como polvo o fibras). Si esto ocurre, limpia el electreto con nitrógeno (o un compresor de aire libre de aceite) y monitorea durante los próximos días hasta que se estabilice. Si un electreto de referencia cae por debajo de 100 voltios, debería ser intercambiado por un nuevo electreto de referencia.

**¡Las lecturas rutinarias de los electretos de referencia y de calibración cero te permiten tener confianza en tus pruebas de radón!**

Sin embargo, si ambos electretos de referencia se desvían significativamente de sus voltajes certificados (más de 3 voltios), puede ser necesario calibrar o reparar el lector de voltaje SPER-1E. Por favor, ponte en contacto con Rad Elec, y estaremos encantados de ayudarte a resolver este asunto.

Los electretos de referencia y de calibración cero no deben usarse como reemplazo de una calibración real. Estos electretos proporcionan sólo un punto de referencia para el lector SPER-1E y no deben interpretarse como un método de calibración de sí mismos. Durante el proceso oficial de calibración, el lector de voltaje SPER-1E se calibra en un rango de voltaje mucho más amplio.

**Sin embargo, los electretos de referencia y de calibración cero no sirven como sustituto de una calibración.**



## Configuraciones E-PERM®

Los sistemas E-PERM® constan de dos componentes independientes e intercambiables: un **electreto** y una **cámara de iones**. Cuando se combinan en una configuración específica, el sistema E-PERM® resultante (cámara de iones con electreto) exhibe una sensibilidad que lo hace ideal para ciertas pruebas de radón. Cada una de estas configuraciones tiene un patrón de denominación que agrega el tipo de electreto después del tipo de cámara. Por ejemplo, una Cámara S equipada con un electreto ST se le denomina SST, y una Cámara H equipada con un electreto LT se le denomina HLT.

El pequeño detalle de este patrón de denominación involucra a las Cámaras L-OO (con el mecanismo de encendido/apagado), a las que se agrega el sufijo -OO al final de la configuración del sistema E-PERM®. Por ejemplo, a una Cámara L-OO equipada con un electreto ST se le denomina LST-OO. Los diversos nombres de las configuraciones de los sistemas E-PERM® pueden ser desafiantes incluso para aquellos que han utilizado cámaras de iones con electretos durante años, así que no te preocupes si parece confuso al principio.

La sensibilidad resultante de una configuración del sistema E-PERM® es una función tanto de su tipo de electreto como del volumen de la cámara de iones. Los volúmenes de cámara de iones más grandes permiten que ocurra una mayor cantidad de ionización simultánea, lo que resulta en una medición más sensible. De manera similar, los tres tipos de electreto se dividen en sus respectivas sensibilidades (que a su vez es una función del grosor del Teflón®). El electreto ST es el tipo de electreto más sensible porque tiene el disco de Teflón® más grueso, mientras que el electreto LT es el menos sensible porque está construido con una capa de Teflón® muy delgada.



Las configuraciones de los sistemas E-PERM® con una sensibilidad total más grande se verán más afectadas por el decaimiento del radón. Esto significa que las configuraciones muy sensibles, como la HST (Cámara H + electreto ST), están destinadas a medir un ambiente estándar durante un corto período de tiempo (8 a 24 horas). Alternativamente, la configuración HST se puede utilizar para medir un ambiente de baja concentración durante unos días.

Por otro lado, las configuraciones de los sistemas E-PERM® con una sensibilidad total baja se ven menos afectadas por el decaimiento del radón en un momento dado. La configuración menos sensible es la LLT-OO (Cámara L-OO + electreto LT). La configuración LLT-OO generalmente se usa durante alrededor de un año, aunque también se puede usar durante un período de tiempo más corto cuando se esperan concentraciones altas de radón.

Para la mayoría de las pruebas de radón realizadas en los Estados Unidos, la SST (Cámara S + electreto ST) es la configuración más prevalente. Esto se debe a que la abrumadora mayoría de las pruebas de radón en los Estados Unidos están expuestas durante dos a cuatro días. En Canadá (y en muchos otros países del mundo), se hace un mayor énfasis en la caracterización del radón durante varios meses; tales pruebas a largo plazo normalmente utilizarían una configuración LST-OO, SLT o LMT-OO. Si una prueba de radón se extendiera durante 6 a más de 12 meses, entonces una configuración LLT-OO sería la configuración más apropiada para usar.

A continuación se enumeran las nueve configuraciones de E-PERM®. Aunque hay una superposición significativa entre los períodos de exposición típicos, esta tabla ejemplifica la notable versatilidad de las cámaras de ionización de electretos.

Configuraciones E-PERM®	Tipo de Cámara	Tipo de Electreto	Exposición Típica	Código del Dispositivo NRSB	Código del Dispositivo NRPP	Listado en C-NRPP
SST	S	ST	2 a 7 días	51203	ES-8212	Sí
SLT	S	LT	30 a 120 días	51202	ES-8211	Sí
LST	L	ST	30 a 91 días	--	EL-8230	No
LLT	L	LT	180 a 365 días	51201	EL-8210	Sí
LST-OO	L-OO	ST	30 a 91 días	--	--	Sí
LMT-OO	L-OO	MT	91 a 180 días	--	ES-8236	Sí
LLT-OO	L-OO	LT	180 a 365 días	51201	EL-8210	Sí
HST	H	ST	6 a 24 horas	--	--	No
HLT	H	LT	7 a 14 días	--	--	No



# Ejecución de una Prueba de Radón con Cámara de Iones con Electreto

Después de aprender sobre los diversos componentes que conforman el Sistema E-PERM®, es hora de aprender cómo usarlos para llevar a cabo una prueba de radón. Esta sección proporcionará instrucciones paso a paso desde el principio hasta el final, aunque requerirá que estés familiarizado con los diversos componentes del sistema y su operación (que se han

descrito anteriormente en este manual).

**Esta sección describe cómo llevar a cabo una medición, pero las instrucciones se pueden aplicar a cualquier cantidad de detectores**

**Rad Elec recomienda practicar algunas pruebas en casa para ayudar a aumentar tu confianza.**

**1** En tu oficina o laboratorio, toma una lectura de voltaje para dos electretos. Este valor se llama **voltaje inicial**. La técnica específica para leer electretos se detalla en un capítulo anterior, [¿Cómo Medir el Voltaje Superficial del Electreto?](#)

**2** Después de leer los electretos, móntalos cuidadosamente en sus cámaras de iones si tienen un mecanismo de encendido/apagado. Si no tienen ese mecanismo, enrosca las tapas protectoras para cada electreto.

**No toque la superficie del electreto en ningún momento**

**3** Coloca los E-PERM® (cámaras de ionización de electretos) en una caja gemela resistente a manipulaciones, un estuche protector para inicio de medición o una bolsa de Tyvek®. Empaca unos cuantos cintillos de seguridad en este contenedor; pueden ser utilizados para asegurar los detectores en un lugar de tu elección para evitar manipulaciones.

**Pruebas de radón de corto plazo (2 a 90 días) requiere cumplir las condiciones de edificio cerrado a lo largo de la prueba.**



4

Al llegar al lugar de medición, asegúrate de cumplir las condiciones de edificio cerrado para mediciones a corto plazo. Si el período de prueba es menor a cuatro días, las condiciones de edificio cerrado debieron mantenerse al menos 12 horas antes de comenzar la prueba. Informa a los ocupantes de la prueba de radón y de las condiciones requeridas.

5

Lleva los E-PERM® al nivel habitable más bajo del lugar de la prueba y elige un lugar de medición apropiado para los detectores. Si estás utilizando cámaras de iones con un mecanismo de encendido/apagado, abre las cámaras de iones; de lo contrario, monta los electretos en sus respectivas cámaras. Registra la **fecha/hora de inicio** además de la **ubicación**.

**Si una prueba de corta duración tiene una duración mínima de 96 horas, no se requieren condiciones de edificio cerrado antes de la prueba.**

6

Cierra la caja gemela de seguridad, el estuche protector o la bolsa de Tyvek®. Si estás utilizando una caja gemela de seguridad, asegúrate de que las cámaras de iones de electretos estén colocados hasta el fondo de la caja (para asegurar que el émbolo no se hunda accidentalmente cuando se cierre la tapa de la caja). Si hay ocupantes en el lugar de la prueba, se recomienda asegurar los detectores con precintos de seguridad para evitar manipulaciones.

7

Exponer los detectores durante el período deseado (más de 48 horas). Si el sitio está ocupado, comenta los requisitos para una prueba de radón a corto plazo con los ocupantes y considera dejarles un acuerdo de no interferencia (cumplimiento) que pueda ser revisado y firmado.

8

Al regresar al lugar de la prueba al final de la prueba, realiza una rápida vigilancia del sitio para asegurarte de que se cumplan las condiciones de edificio cerrado (y que cualquier indicador de manipulación esté intacto). Localiza y cierra las cámaras de iones con electretos. Si no estás utilizando cámaras de iones con un mecanismo de encendido/apagado, retira cuidadosamente los electretos de las cámaras de iones y guárdalos en sus tapas protectoras.

9

Escriba la **fecha/hora de finalización** inmediatamente después de que se cierren las cámaras o los electretos deben guardarse en su tapa protectora.

10

Leer los **voltajes finales** al regresar a la oficina o laboratorio.



11

Después de asegurarte de que las superficies de los electretos y las cámaras estén limpias, devuélvelos al almacenamiento ya sea montándolos en las cámaras de iones cerradas o colocándolos en sus tapas protectoras.

12

Para analizar la prueba de radón, calcula los resultados ingresando la información pertinente en el software "Radon Report Manager", una hoja de cálculo oficial de Rad Elec, o herramientas online como el [Creador de Informes Online](#) o la [Calculadora](#).

**Si es necesario, limpie los electretos *después* de leer los voltajes finales y *antes* de guardarlos**



## Herramientas de Análisis

Rad Elec ofrece varias herramientas para analizar cámaras de iones con electretos, cada una de las cuales se describirá en esta sección. Una ventaja importante de los sistemas E-PERM<sup>®</sup> es la libertad para elegir su propio enfoque. Debido a que todos nuestros algoritmos están publicados, es posible crear sus propias hojas de cálculo o aplicaciones que estén más finamente personalizadas para sus necesidades específicas.

Se debe tener mucho cuidado al crear sus propias hojas de cálculo o aplicaciones, ya que incluso un solo paréntesis mal colocado puede causar errores al calcular la concentración de radón. Si desea que revisemos su hoja de cálculo o aplicación, comuníquese con Rad Elec y haremos nuestro mejor esfuerzo para revisar su trabajo.

Con esto en mente, Rad Elec recomienda usar nuestros métodos analíticos oficiales, como se describe a continuación.

### Programa "Radon Report Manager"

El programa para informes de Radón (RRM, por sus siglas en inglés) es el software analítico principal de Rad Elec para cámaras de iones con electretos, aunque también puede generar informes de pruebas de radón utilizando una amplia variedad de metodologías de prueba (incluyendo carbón activado, centelleo líquido, detectores de trazas y monitores continuos de radón). Además de generar informes de pruebas de radón, el RRM también realiza un seguimiento de sus obligaciones de QA/QC y de los requisitos de informes estatales.

El RRM es la herramienta de análisis más completa de Rad Elec y se actualiza regularmente. No hay tarifas de suscripción y la aplicación puede funcionar sin conexión a Internet. Aunque el programa "Radon Report Manager" se ejecuta en sistemas operativos Microsoft Windows<sup>®</sup>, el personal de soporte técnico de Rad Elec estará encantado de ayudar si desea instalarlo en macOS o Linux.

Va más allá del alcance de este documento discutir todas las características y operaciones del programa "Radon Report Manager". Basta decir que el software RRM puede generar docenas de informes y puede adaptarse a las necesidades individuales de su empresa. Hay una muestra de un informe



estándar de prueba de radón generado desde el RRM al final de este manual. Si desea obtener más información, el manual del software se puede encontrar en la sección de [Manuales](#) del sitio web de Rad Elec.

## Hojas de Cálculo

Las hojas de cálculo ofrecen un método rápido y confiable para analizar sus resultados, ya sea un solo sistema E-PERM® o miles. Las hojas de cálculo son ideales cuando los profesionales del radón no necesitan generar informes de pruebas de radón y no necesitan recordatorios o orientación en las obligaciones de QA/QC. Las hojas de cálculo se pueden descargar del sitio web de Rad Elec y se publican en formatos Microsoft [XLSX](#) y Open/LibreOffice [ODS](#) .

Rad Elec también crea hojas de cálculo para funciones más especializadas, como:

- **Flujo de Radón**, para medir la tasa de exhalación de radón desde el suelo u otra superficie.
- **Radón en agua**, para medir la concentración de radón en muestras de agua.
- **Gamma de Fondo**, para medir la radiación gamma de fondo ambiental.
- **Torón**, para medir el isótopo del radón de la cadena de decaimiento del torio.
- Y más...

## Calculadora

La venerable [Calculadora](#) ha sido un pilar en el sitio web de Rad Elec durante muchos años. Mientras haya internet disponible, esta herramienta en línea se puede utilizar para calcular los resultados de las pruebas de los sistemas E-PERM®. Sin embargo, no generará un informe de prueba de radón y los resultados no se guardarán después de navegar fuera de la página. Además, la Calculadora sirve como una forma conveniente de analizar sus resultados rápidamente cuando te desplazas.

## Creador de Informes Online

El Creador de Informes online (ORC, por sus siglas en inglés) de Rad Elec es una plataforma basada en la nube para calcular los resultados de sus pruebas de radón. Al igual que la Calculadora, requiere un



navegador conectado a Internet. El ORC le permite generar informes de prueba de radón personalizados, enviarlos por correo electrónico a usted mismo (o a sus clientes) y guardar estos resultados de forma remota en una base de datos para que pueda acceder a ellos más tarde. Aunque es más complejo que la Calculadora, también es significativamente más personalizable y poderoso.



# Efectos Ambientales en las Cámaras de Iones con Electretos

Aunque las superficies de electretos son vulnerables a la descarga debido a toques accidentales o suciedad, una cámara de iones con electretos correctamente ensamblada es bastante duradera y resistente a una amplia gama de efectos ambientales. Para usar cámaras de iones con electretos con éxito, es importante comprender los efectos de diferentes condiciones ambientales en el sistema E-PERM®. Esta sección describirá las siguientes condiciones con mayor detalle:

- **Temperatura**
- **Humedad**
- **Altitud y Presión**
- **Presencia de Iones**
- **Rayos X**
- **Radiación Beta**
- **Radiación Gamma**
- **Campos Electromagnéticos**
- **Corrientes de Aire**
- **Torón**
- **Partículas Suspendidas en el Aire**
- **Suciedad y Polvo**

## Temperatura

Las mediciones E-PERM® no se ven afectadas por las variaciones de temperatura habituales que se encuentran en hogares o entornos exteriores. Han sido utilizadas con éxito por la USEPA para realizar mediciones de radón ambiental al aire libre durante todas las estaciones del año en los cincuenta estados. Estas y otras pruebas controladas han demostrado que el efecto de la temperatura es insignificante en la precisión de las cámaras de iones con electretos.

**Los electretos pueden medir el radón en una amplia gama de temperaturas, tanto en entornos interiores como exteriores.**

**Los electretos deben leerse en entornos controlados tanto para sus lecturas iniciales como finales de voltaje.**

Sin embargo, debe tener en cuenta las variaciones de temperatura que pueden ocurrir al leer el voltaje de un electreto. Debido a los diferentes coeficientes de expansión del Teflón® y del soporte conductor, la superficie del electreto tiende su curvatura tenga una ligera forma cóncava o convexa



cuando la temperatura cambia sustancialmente. Esto hace que la superficie del electreto se mueva ligeramente más cerca o más lejos del sensor en el lector de voltaje SPER-1E, lo que puede resultar en

un pequeño cambio en las lecturas de voltaje (típicamente unos pocos voltios).

**Si los electretos se han dejado afuera durante la noche en invierno (o dentro de un vehículo durante el verano), simplemente llévelos a un ambiente "controlado" y espere una hora o dos antes de leerlos.**

La variación de voltaje puede ser de hasta 1-2 voltios por cada diferencia de 4° C (10° F) entre dos lecturas. Este cambio de voltaje debido a la temperatura no es permanente y volverá a la normalidad cuando el electreto se equilibre en un ambiente controlado (generalmente en aproximadamente una hora). En otras palabras, si un electreto está anormalmente caliente o frío, simplemente espere una hora para que vuelva a la temperatura ambiente antes de leer el voltaje.

## Humedad Relativa

Incluso los niveles más altos de humedad relativa encontrados en hogares o en entornos no afectan a las cámaras de iones con electretos. De hecho, los sistemas E-PERM® se utilizan rutinariamente para realizar mediciones de radón en agua en entornos con una humedad relativa del 100%. Si los electretos se exponen en entornos donde se permite la formación de condensación en sus superficies cargadas, es importante ejercer extrema precaución al recuperar estos detectores. Deben transportarse en tapas protectoras y luego abrirse en un ambiente controlado (preferiblemente con una concentración de radón baja conocida) y permitir que se sequen durante una hora.

A pesar de la inmunidad a la humedad relativa con las cámaras de iones con electretos, lo mismo no se puede decir del lector de voltaje SPER-1E. El SPER-1E es un instrumento electrónico sensible y debe mantenerse seco para medir correctamente el voltaje de la superficie del electret.

**Para todos los propósitos, las cámaras de iones con electretos son inmunes a los niveles altos de humedad. Lo mismo no puede decirse del lector de voltaje SPER-1E. ¡No lo deje caer al agua!**



## Altitud y Presión

**Las Cámaras H podrían requerir corrección de altitud en el Monte Everest o en el Espacio. No estamos completamente seguros, porque aún no se han realizado estudios relacionados.**

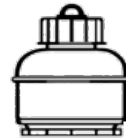
Las cámaras de iones con electretos se ven afectadas por cambios significativos en la altitud. El mecanismo de este cambio se debe a cambios en la presión barométrica (que disminuye a medida que aumenta la altitud). A medida que la presión barométrica disminuye, las moléculas en el aire se dispersan más, y esta dispersión reduce ligeramente las posibilidades de ionización.

Este cambio se observa más fácilmente en las cámaras de volumen más bajo como las cámaras L y L-OO; como tal, estas cámaras requieren correcciones de altitud por encima de 61 metros (200 pies). Las cámaras S, con un volumen de 210 mL, no requieren ninguna corrección de altitud por debajo de 1 219 metros (4 000 pies). Las cámaras H, con un volumen de 960 mL, no requieren ningún factor de corrección de altitud en altitudes habitables.

Las cámaras de iones con electretos no se ven afectadas significativamente por los cambios de presión barométrica provocados por la mayoría de las tormentas.

Sin embargo, los huracanes pueden causar cambios enormes en la presión barométrica (lo que también afectará la tasa de flujo de radón desde el suelo), por lo que probablemente sea mejor esperar hasta después de que haya pasado un huracán antes de realizar una prueba de radón.

### Cámara S



Para Altitudes <= 1219 metros

$$\text{ElevCF} = 1$$

Para Altitudes > 1219 metros

$$\text{ElevCF} = 0,79 + \left( \frac{6 \times 3,28084 \times \text{Altitud (metros)}}{100000} \right)$$

### Cámara L / L-OO



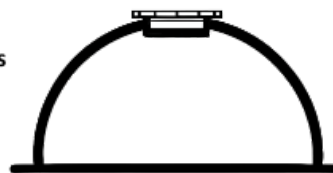
Para Altitudes <= 61 metros

$$\text{ElevCF} = 1$$

Para Altitudes > 61 metros

$$\text{ElevCF} = 1,005 + \left( \frac{4,5526 \times 3,28084 \times \text{Altitud (metros)}}{100000} \right)$$

### Cámara H



Para todas las Altitudes

$$\text{ElevCF} = 1$$

Sin Corrección por Altitud



## Presencia de Iones

Los iones siempre estarán presentes en cada habitación o ubicación donde se realiza la medición o prueba. A veces, se pueden encontrar grandes concentraciones de iones debido a la presencia de

**Los iones ambientales, y los que se crean artificialmente son bloqueados por los filtros de las cámaras de iones.**

generadores de iones artificiales o llamas abiertas. Los iones ambientales, además de los creados por generadores de iones artificiales o llamas de gas, son detenidos completamente por las entradas con filtro ubicadas dentro de las cámaras de iones con electretos. Además de evitar que los iones entren en los sistemas E-PERM®, estas entradas también evitan que la progenie del radón contribuya a la pérdida de voltaje del electret.

## Rayos X

Las cámaras de iones con electretos son sensibles a los iones producidos por radiación ionizante penetrante, como los rayos X. Específicamente, los sistemas de rayos X que a menudo son utilizados por la seguridad del aeropuerto y para revisar equipaje, pueden causar una descarga sustancial del voltaje de la superficie del electreto (a veces se descargarán unos cuantos voltios). Si está transportando cámaras de iones con electretos como equipaje facturado al viajar, asegúrese de leer sus electretos después de llegar a su destino. Esto ayudará a garantizar la precisión de sus mediciones.

## Radiación Beta

La investigación ha demostrado que las cámaras de iones con electretos pueden verse afectadas por emisores de radiación beta cercanos. Las partículas beta viajan aproximadamente un metro en el aire, aunque esta distancia puede verse afectada por la energía de la partícula y la densidad del aire. En la mayoría de los casos, un emisor beta no podrá afectar una cámara de iones con electretos si está a más de unos pocos pies de distancia, porque no tendrá suficiente energía para penetrar la carcasa exterior de la cámara de iones. Aunque los entornos extremadamente polvorientos con concentraciones elevadas de progenie de radón producirán radiación beta, estos escenarios raros no es probable que produzcan un sesgo significativo.



## Radiación Gamma

Los sistemas E-PERM® son sensibles a la radiación gamma, que es otra forma de radiación ionizante. A diferencia de los rayos X, la única fuente de radiación gamma en la mayoría de los sitios de medición es la radiación de fondo natural. Esto tendrá un efecto menor, aunque medible, en las cámaras de iones con electretos. Las herramientas analíticas de Rad Elec corregirán automáticamente el gamma en función de los promedios estatales; si está calculando los resultados manualmente, entonces la [tabla de estimación del fondo gamma](#) al final de este manual proporcionará una compilación de los niveles promedio de gamma de fondo por estado o provincia.

Si se sospecha la presencia de alguna otra fuente de gamma, aparte de los niveles normales de fondo, esta puede ser fácilmente medida y posteriormente corregida. Se puede realizar una medición discreta de gamma sellando un sistema E-PERM® dentro de una bolsa de Mylar® aluminizado (u otro material que el radón no pueda penetrar) y usándolo junto a cámaras de iones con electretos usadas de manera estándar. El radón no podrá pasar a través de la barrera de Mylar® aluminizado; sin embargo, el gamma no será atenuado.

## Campos Eléctricos y Magnéticos

La mayoría de los campos eléctricos y magnéticos externos no tienen absolutamente ningún efecto sobre las cámaras de iones electretos. Los sistemas E-PERM® están contruidos de plástico eléctricamente conductor, lo que crea una jaula de Faraday que protege el electreto de los campos electromagnéticos ambientales externos (EMFs, por sus siglas en inglés).

**Los EMFs de alta frecuencia incluyen gamma y rayos X. Estas son radiaciones ionizantes y se consideran riesgos para la salud. La exposición a los EMFs de alta frecuencia también descargará electretos.**

Los campos electromagnéticos ocurren tanto naturalmente (nuestro planeta genera un campo electromagnético que nos ayuda a protegernos de la radiación cósmica) como artificialmente (desde señales de WiFi hasta ondas de radio). Estos EMFs de frecuencia más baja, como los producidos por teléfonos celulares, líneas eléctricas, ondas de radio, enrutadores de red, entre otros, no tendrán ningún efecto sobre las cámaras de iones con electretos. En todo el espectro electromagnético, solo las frecuencias más altas



(que incluyen gamma y rayos X) caen en la categoría de radiación ionizante. Además de ser un riesgo para la salud, esta radiación descargará los electretos.

La investigación ha demostrado que los campos magnéticos extremadamente fuertes (10 000+ Gauss) parecen tener un efecto sobre la radiación beta. Dependiendo de la orientación del campo magnético, este efecto puede aumentar o disminuir las señales beta. Esto es en gran medida teórico, ya que estas condiciones (campos magnéticos fuertes con un emisor de radiación beta) no suelen existir naturalmente.

## Corrientes de Aire

Las corrientes de aire no tienen efecto sobre los sistemas E-PERM® para detectar la concentración promedio de radón en un ambiente, incluso en una corriente de aire en movimiento. Esto ha sido confirmado mediante mediciones cuidadosas dentro y fuera de un túnel en el que el flujo de aire estaba significativamente elevado.

## Torón

El torón ( $^{220}\text{Rn}$ ) es un isótopo del radón; y al igual que el radón, es un gas radiactivo que forma parte de una larga cadena de decaimiento. Sin embargo, en contraste con la vida media del radón de 3,8 días, la vida media del torón es de solo 55,6 segundos. En la mayoría de los entornos, esta vida media más corta limita la distancia que el torón puede recorrer, lo que significa que generalmente está presente solo en concentraciones muy pequeñas dentro de una vivienda.

**El torón es un gas radioactivo ionizante (al igual que el radón). Sin embargo, su corta vida media generalmente significa que no alcanza altas concentraciones dentro de las viviendas.**

Aunque la respuesta al torón varía ligeramente entre las diferentes cámaras de iones, los sistemas E-PERM® típicamente solo detectan entre un 3% y un 5% del torón en un entorno dado. Para todos los propósitos, esto significa que un sistema E-PERM® estándar no podrá medir una concentración de torón estadísticamente significativa. Si desea medir la concentración de torón de un entorno específico, Rad Elec fabrica cámaras especializadas de Radón-Torón (RT) que permiten un tiempo de respuesta mucho más rápido; cuando se usan junto con cámaras estándar, este permite la caracterización de



concentraciones de torón.

## Suciedad, Polvo y Partículas Suspendidas

La suciedad, el polvo y otras partículas en el aire no afectan a una cámara de iones con electretos correctamente colocada. Esto se debe a las entradas con filtros, que evitan que las partículas (además de la progenie del radón) entren en la cámara de iones. En resumen, esto significa que una cámara de iones con electretos no se ve afectada por partículas en el aire, suciedad y polvo en el entorno de prueba. Sin embargo, si planea realizar pruebas en condiciones extremadamente sucias o al aire libre, Rad Elec recomienda usar bolsas de Tyvek® para ayudar a proteger sus sistemas E-PERM® en estos entornos.

**Bajo ninguna circunstancia se deben usar latas de aire comprimido para limpiar las superficies de los electretos.**

Al leer los electretos, es importante tener en cuenta la suciedad y el polvo en el aire. La superficie del electreto cargada positivamente atraerá polvo en las inmediaciones, lo que significa que es vulnerable a ensuciarse cuando está expuesta al ambiente abierto (es decir, cuando no está cargada en una cámara de iones). Si esta suciedad se acumula en la superficie del electreto o dentro de la cámara de iones, podría descargar el electreto durante la exposición o el envío; esto conduciría a un sesgo positivo falso en la estimación de la concentración de radón.



## Mantenimiento del Equipo

Al igual que con cualquier otro equipo, el mantenimiento rutinario y el cuidado adecuado garantizarán que su sistema E-PERM® mida con precisión el radón durante muchos años. Idealmente, el mantenimiento preventivo debe realizarse de manera regular; estos intervalos variarán según el componente específico. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el equipo de Rad Elec está diseñado para ser duradero; esto significa que deberíamos poder manejar cualquier reparación si sus instrumentos o equipos resultan dañados debido a un accidente o mal funcionamiento.

**Rad Elec sigue calibrando los lectores de voltaje SPER-1 que fueron fabricados en 1990. Siempre y cuando su equipo reciba el cuidado y mantenimiento adecuados, durará décadas. Nos enorgullece fabricar equipos que resisten el paso del tiempo.**

## Mantenimiento de la Cámara de Iones y el Electreto

**Al leer este manual, se debe entender que un compresor de aire libre de aceite puede servir como un reemplazo adecuado para un cilindro de nitrógeno.**

Es importante inspeccionar tanto los electretos como las cámaras de iones entre cada uso, para asegurarse de que la superficie del electreto esté limpia y de que la cámara de iones esté libre de residuos.

También vale la pena inspeccionar las entradas con filtros, para asegurarse de que el filtro esté intacto.

Para las Cámaras S, se debe verificar el resorte abriendo el émbolo y asegurándose de que estire.

La inspección de limpieza se realiza mejor después de haber realizado las lecturas de voltaje finales. Para limpiar los electretos, Rad Elec recomienda usar nitrógeno (que es un gas noble inerte) expulsado a través de una pistola de aire. Alternativamente, se puede emplear un compresor de aire sin aceite; es importante que el compresor de aire esté libre de aceite. Si se rocía



aceite en la superficie de un electreto, el electreto se desestabilizará y se arruinará. Bajo ninguna circunstancia se deben usar latas de aire comprimido, ya que los refrigerantes y propelentes comprimidos pueden congelar el vapor de agua en la superficie del electreto.

## Mantenimiento del Lector de Voltaje

En su mayor parte, el mantenimiento preventivo del lector de voltaje SPER-1E comprende las siguientes prácticas:

- Mantenga el lector en su estuche de almacenamiento cuando no esté en uso, preferiblemente en un ambiente controlado con baja humedad.
- Revise el desecante cada pocos meses. Los cristales de gel de sílice son visibles a través de la ventana en la parte superior del recipiente: aparecen azules cuando están secos y se vuelven rosados o blancos a medida que absorben humedad. Si es necesario, coloque el desecante en el horno, normalmente a 110 °C / 225 °F durante unas horas, aunque las instrucciones específicas estarán escritas en el recipiente del desecante. Hornear el desecante renovará su vida útil.
- Si aparece un mensaje de "BATT LO", retire cuidadosamente la cubierta de la batería en la parte inferior del lector SPER-1E para reemplazar las baterías.
- Una vez cada pocos meses, limpie suavemente el receptáculo metálico circular con un paño de algodón.
- Lea los electretos de referencia y de calibración cero al menos una vez por semana (o cada vez que utilice el lector), para asegurarse de que los electretos estén dentro de  $\pm 3$  voltios de sus voltajes certificados.

Es importante enviar el lector de voltaje a Rad Elec para el servicio de calibración anual. Durante este servicio, Rad Elec actualizará el firmware del lector (si es necesario), cambiará las baterías, reemplazará el

desecante, realizará una limpieza del estuche del lector y calibrará el instrumento con una fuente de voltaje certificado por el NIST. Después, los electretos de referencia tendrán sus voltajes certificados.

**Al enviar la unidad a Rad Elec para su calibración, incluya el lector, su juego de electretos de referencia y de calibración cero.**



## Actualización de Software y Hojas de Cálculo

Es una buena idea consultar periódicamente con Rad Elec para asegurarse de que su software y hojas de cálculo estén actualizados. Un buen momento para verificar actualizaciones es cada vez que realice la calibración anual del lector, o en cualquier otro intervalo durante el año que sea conveniente. La actualización de su software es fácilmente posible poniéndose en contacto con Rad Elec en [info@radelec.com](mailto:info@radelec.com), o llamando a nuestra oficina. ¡Estaremos encantados de enviarle las últimas versiones del software y las hojas de cálculo!



## Rango Dinámico

En el contexto de las cámaras de ionización con electreto, el rango dinámico es la cantidad total de radiación ionizante a lo largo del tiempo (es decir, la concentración total máxima de radón) que una configuración específica del sistema E-PERM® es capaz de medir. La base para este cálculo y estimación de estos parámetros se discute en "[A Practical E-PERM System for Indoor <sup>222</sup>Rn Measurement](#)", que fue publicado originalmente en Health Physics.

Para calcular el rango dinámico, primero debemos conocer todo el rango de voltaje utilizable de un electreto, que va desde aproximadamente 100 voltios hasta 750 voltios. Esto también se denomina como la vida útil del electreto. El límite inferior de este rango (aproximadamente 100 voltios) se alcanza porque la recolección de iones se vuelve menos eficiente a medida que el electreto pierde voltaje. Por el contrario, en rangos de voltaje extremadamente altos (aproximadamente mayor a 780 voltios), puede ocurrir multiplicación de iones dentro de la cámara de iones. Ambos extremos pueden crear sesgos en las mediciones de radón, y por lo tanto, definen el rango de voltaje utilizable del electreto o su vida útil.

**En resumen, el rango dinámico es la vida útil efectiva y medible de un electreto cargado en una cámara de iones.**

**Al medir el radón, por favor absténgase de usar electretos con voltajes iniciales *por debajo* de 100 voltios. Esto se debe a que las curvas de calibración comienzan a perder precisión por debajo de este umbral.**

Esto establece el rango dinámico de la concentración integrada de radón (típicamente expresada en Bq/m<sup>3</sup>-Días) que cada configuración del sistema E-PERM® puede medir a lo largo de la vida útil de un electreto. **El rango dinámico de un electreto disminuirá junto con su voltaje**, similar a una batería que pierde su energía almacenada. Un

electreto que ha perdido gran parte de su rango dinámico sigue siendo perfectamente capaz de medir con precisión el radón, siempre que su voltaje medio a lo largo de una exposición permanezca por encima del límite inferior de su rango dinámico.

Un ejemplo de un rango dinámico aplicado es el siguiente. Para una configuración SST (Cámara S +



Electreto ST), el rango dinámico es de aproximadamente 12 650 Bq/m<sup>3</sup>-Días. Esto significa que un SST con un electreto nuevo de 750 voltios caería a 100 voltios cuando esté expuesto a 12 650 Bq/m<sup>3</sup> durante 24 horas, agotando la totalidad de su rango dinámico. Alternativamente, este mismo electreto también caería de 750 a 100 voltios si estuviera expuesto a 1 265 Bq/m<sup>3</sup> durante 10 días, o a 12,65 Bq/m<sup>3</sup> durante 100 días (todos los cuales alcanzan el mismo rango dinámico de 12 650 Bq/m<sup>3</sup>-Días).

Aunque estos rangos dinámicos se han derivado utilizando décadas de datos, son representativos de valores ideales. Serán estimaciones muy precisas para la gran mayoría de las evaluaciones de radón a corto plazo, pero tanto la radiación gamma de fondo como la descarga de voltaje inherente de un electreto reducirán estos valores de rango dinámico con el tiempo. En resumen, los rangos dinámicos presentados en la siguiente tabla representan modelos ideales, sus rangos dinámicos del "reales" serán un poco menores.

<b>Configuración del Sistema E-PERM®</b>	<b>Volumen de la Cámara (mL)</b>	<b>Rango Dinámico (Bq/m<sup>3</sup>-Días)</b>	<b>Rango Dinámico (pCi/L-Días)</b>
<b>SST</b>	210	12 650	342
<b>SLT</b>	210	146 900	3 970
<b>LST</b>	58	64 860	1 753
<b>LLT</b>	58	785 880	21 240
<b>LST-OO</b>	53	79 590	2 151
<b>LMT-OO</b>	53	269 690	7 289
<b>LLT-OO</b>	53	979 575	26 475
<b>HST</b>	960	2 150	58
<b>HLT</b>	960	26 120	706

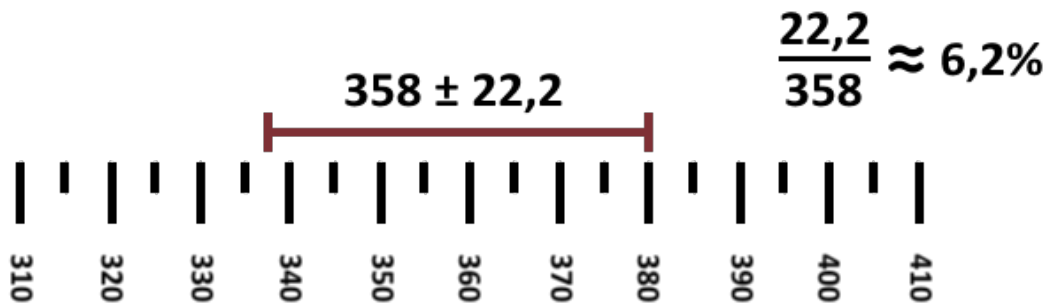


# Análisis de Incertidumbre

Para bien o para mal, la incertidumbre es un componente central de nuestro universo. Es una estimación del error de cualquier medición dada; en otras palabras, ¿qué tan lejos está esta medida específica de la real? Nunca podemos estar al 100% seguros de que nuestras mediciones de radón, o cualquier medición realizada a lo largo de toda la historia humana, sean una representación precisa de *lo que se midió*. Al calcular la incertidumbre de una medida específica de radón, podemos entender qué tan cerca estamos de la realidad (es decir, *lo medido*, o la concentración de radón).

**La incertidumbre es una estimación del rango de valores posibles donde se puede encontrar el valor real.**

La incertidumbre se expresa de dos maneras: como un porcentaje o como un valor absoluto. Ambas expresiones de incertidumbre representan un rango alrededor del valor medido. Por ejemplo, supongamos una concentración de radón de 358 Bq/m<sup>3</sup> con una incertidumbre resultante de 22,2 Bq/m<sup>3</sup>. Esto se expresaría típicamente como un valor absoluto, por lo que los resultados se informarían como 358 ± 22,2 Bq/m<sup>3</sup>. Esto significa que la concentración real de radón podría ser tan baja como 335,8 Bq/m<sup>3</sup>, tan alta como 380,2 Bq/m<sup>3</sup>, o cualquier valor intermedio. Con esto en mente, calcular la incertidumbre en realidad genera más confianza en los resultados medidos (porque ahora se conoce el rango de valores posibles).



Después de calcular la incertidumbre en este ejemplo específico, podemos estar seguros de que nuestra concentración de radón medida difiere aproximadamente un 6% de la concentración *real* de radón. Este valor porcentual se puede calcular dividiendo la incertidumbre absoluta por la concentración de radón medida. La incertidumbre se calcula automáticamente al usar cualquiera de las herramientas analíticas de Rad Elec, pero esta sección profundiza en las matemáticas detrás de este proceso.



Hay tres fuentes de incertidumbre, o error, en las mediciones usando cámaras de iones con electretos:

1

La incertidumbre asociada con las imperfecciones de los componentes del sistema. Esto incluye una ligera incertidumbre de fabricación en los volúmenes de la cámara, el grosor del electreto y otros parámetros del componente. Esto ha sido medido experimentalmente como aproximadamente un 5%, por lo que se considera una constante.

$$\text{Incertidumbre del Sistema} = \pm 5\% \quad (\text{E1})$$

2

La incertidumbre en la lectura del voltaje del electreto. Puede haber una incertidumbre de hasta un voltio tanto en las lecturas iniciales como finales de voltaje. El error en la diferencia de las dos lecturas es la raíz cuadrada de dos (la suma bruta de la incertidumbre total del voltaje), que se divide con el valor absoluto de la diferencia entre los voltajes iniciales y finales ( $\Delta V$ ).

$$\text{Incertidumbre por Lectura de Voltaje} \quad (\text{E2}) = \pm \left( \frac{\sqrt{1+1}}{(\text{Voltaje Inicial} - \text{Voltaje Final})} \times 100 \right) \%$$

3

La incertidumbre asociada con el valor gamma de fondo. El error máximo introducido por los promedios de gamma de fondo listados por la EPA para cada estado puede introducir un error de aproximadamente 3,7 Bq/m<sup>3</sup> (0,1 pCi/L), y se calcula como una fracción de la concentración de radón medida. Al igual que los dos componentes de error anteriores, la Incertidumbre Gamma de Fondo (E3) se calcula como un porcentaje.

**Incertidumbre por Fondo Gamma**  
(E3)

$$\text{Unidades SI} \quad \pm \left( \frac{3,7}{\text{Radón (Bq/m}^3\text{)}} \times 100 \right) \%$$

$$\text{Unidades US} \quad \pm \left( \frac{0,1}{\text{Radón (pCi/L)}} \times 100 \right) \%$$

Estos tres componentes de incertidumbre se pueden combinar para crear la **incertidumbre total**, o error total, de una medición de radón específica con el sistema E-PERM®. Se puede determinar calculando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las tres componentes de error. Esto se muestra en la siguiente ecuación.



$$\text{Incertidumbre Total} = \pm \sqrt{\left(\text{Incertidumbre del Sistema}\right)^2 + \left(\text{Incertidumbre por Lectura de Voltaje}\right)^2 + \left(\text{Incertidumbre por Fondo Gamma}\right)^2} \%$$

Como se muestra arriba, la incertidumbre total se calcula como un porcentaje; si desea un valor absoluto, este porcentaje se puede multiplicar por la concentración de radón medida.

Quando se calcula como un porcentaje, la incertidumbre total aumentará naturalmente a medida que la concentración de radón medida se acerque a cero.

Caresana, M., et al. "Uncertainties Evaluation for Electrets Based Devices Used in Radon Detection." *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 113, No. 1, 18 April 2005, pp. 64-69.

Radiation Protection Dosimetry Advance Access published November 30, 2004

Radiation Protection Dosimetry (2005), Page 1 of 6  
doi:10.1093/rpd/nch242

**UNCERTAINTIES EVALUATION FOR ELECTRETS BASED DEVICES USED IN RADON DETECTION**

M. Caresana<sup>1</sup>, F. Campi, M. Ferrarini, L. Garibó and A. Forti  
Dipartimento di Ingegneria Nucleare, Politecnico di Milano, via Ponzio 34/3, 20133 Milano, Italy

Received July 24 2004, amended September 15 2004, accepted October 26 2004

In recent years uncertainty evaluation in measurements has achieved great importance. National and international standards offer guidelines to evaluate uncertainties, but these procedures are, with some, not well understood by the operators. This is because of the fact that a detailed uncertainty evaluation is not an easy operation and a standard rule to apply in all cases is not available. Every measurement procedure has its own uncertainty evaluation. In this work, attention is focused upon the electret ion chamber (EIC), widely used in radon concentration measurement. Measurements of gamma radiation sensitivity are performed in a secondary standard calibration laboratory and measurement of radon concentration sensitivity is performed in a radon chamber (RC) in volume. Raw data are employed to evaluate the calibration factors and the combined uncertainties are determined. The aim of the work is to give a practical method to assess the uncertainty of a radon measurement.

**INTRODUCTION**

Electret ion chambers (EIC)<sup>(1-4)</sup> can be used both as gamma doseimeters and radon concentration meters. In the first case, the radon contribution to the signal (electret potential lowering) can be suppressed simply by hermetically sealing the detector in a radon-proof bag. In the second case, there is no practical method of suppressing the gamma radiation contribution to the signal. So this contribution is usually transformed into a 'radon equivalent concentration' (REC) arising from background gamma radiation, and represents a noise affecting the signal due to radon concentration. A complete characterization of these devices requires a measurement both of gamma radiation sensitivity and radon concentration sensitivity. The uncertainty associated with the gamma radiation and radon concentration calibration factors are evaluated according to ISO guidelines.<sup>(5)</sup>

**MATERIALS AND METHODS**

Electret ion chambers are supplied by Rad Elex Inc. They are available in eight different configurations. Two different charged Teflon discs, named short-term (ST), with high sensitivity, and long-term (LT) electrets, with low sensitivity, can be associated with four different chambers named D (10 cm<sup>3</sup>), L (CO 2m<sup>3</sup>, Si200 cm<sup>3</sup>) and H (1000 cm<sup>3</sup>). Only the most widely used configurations were tested, that is, S chamber with short-term electret (SST), S chamber with long-term electret (SLT), chamber with long-term electret (LLT), L chamber with long-term electret (LLT), L chamber with short-term electret (LST) D chamber with short-term electret (DST) and H chamber with short-term electret (HST).

Electrets, in the six configurations listed above, were irradiated in a conventionally true air kerma values. Irradiations were performed in a secondary standard calibration laboratory using a <sup>60</sup>Co source and a collimated beam. The standard uncertainty associated with the conventionally true air kerma values is 2%.

Irradiation was organised as shown in Table 1. The air kerma values are selected to obtain a voltage drop of ~40-50 V for each irradiation. The number of irradiations are selected in order to achieve a discharge down to ~100 V. Below this voltage value the ion chamber is out of the saturation range.

**Table 1. Organization of gamma irradiation.**

Configuration	Air kerma delivered (mG)	Number of measurements useful for data analysis	Number of electrets used
SST	0.07	31	3
SLT	1.5	27	3
LLT	2.5	36	3
LST	0.2	26	3
DST	1	62	3
HST	0.012	51	3

<sup>1</sup>Corresponding author: maria.caresana@polimi.it

1

Radiation Protection Dosimetry © Oxford University Press 2004, all rights reserved



## Descarga de Voltaje Inherente

Los electretos están sujetos a múltiples etapas de inmunización y normalización a lo largo del proceso de fabricación para estabilizar su carga superficial. Sin embargo, hay una ligera degradación del voltaje con el tiempo. En muchos aspectos, esta propiedad es similar a la pérdida intrínseca de voltaje de una batería cuando se almacena durante un largo período; esta **Descarga de Voltaje inherente** (IVD, por sus siglas en inglés) es en gran medida uniforme para cada tipo de electreto, y se incluye en los algoritmos para calcular el radón.

Dado que es un valor tan pequeño, la descarga de voltaje intrínseca puede ser en su mayoría ignorada para exposiciones a corto plazo; sin embargo, se vuelve cada vez más importante para mediciones a largo plazo, donde la falta de consideración de la IVD durante muchos meses afectaría la precisión.

En resumen, la IVD se tiene en cuenta en los algoritmos de los sistemas E-PERM®. Siempre y cuando esté utilizando el software o las hojas de cálculo de Rad Elec para calcular sus resultados, no tendrá que preocuparse por su efecto en sus concentraciones de radón.

**La descarga de voltaje inherente es comparable pérdida lenta de voltaje de una batería cuando se almacenan por períodos largos.**



**0,066667**  
**Voltios por Día**

**ST**



**0,066667**  
**Voltios por Día**

**MT**



**0,022223**  
**Voltios por Día**

**LT**

**El IVD está incluido en nuestros algoritmos, ¡No debería preocuparse!**

# Factores y Constantes de Calibración

Cada configuración del sistema E-PERM® tiene su propio conjunto de constantes de calibración, que se derivan de la sensibilidad del electreto y el volumen de la cámara de iones. Cuando se usa en conjunto con el **voltaje promedio (MPV, por sus siglas en inglés)** de un electreto específico a lo largo de una medición, se puede calcular el **factor de calibración** específico (**CF, por sus siglas en inglés**). Esta sección explicará el papel de estas constantes de calibración, que se dividen en tres constantes: **A, B y G**.

A menos que planees crear tu propia hoja de cálculo o aplicación de cálculo, o simplemente tengas mucha curiosidad (y te guste la matemática), esta sección no es necesaria para entender. ¡El software y las hojas de cálculo de Rad Elec manejarán todos los factores de calibración!

Configuración del Sistema E-PERM®	Constante A	Constante B	Constante G
SST	0,314473	0,260619	0,087
SLT	0,031243	0,021880	0,087
LST	0,124228	0,040676	0,12
LLT	0,010189	0,003372	0,12
LST-OO	0,074671	0,037557	0,12
LMT-OO	0,013497	0,012499	0,12
LLT-OO	0,011965	0,002079	0,12
HST	7,2954	0,004293	0,07
HLT	0,60795	0,000358	0,07

Por favor, ten en cuenta que las configuraciones HST y HLT todavía utilizan los antiguos factores de calibración lineales (sin usar el logaritmo natural).

$$\text{EIC CF} = A + \left( B \times \ln \left( \frac{IV + FV}{2} \right) \right) \quad \text{EIC CF} = A + \left( B \times \left( \frac{IV + FV}{2} \right) \right)$$



Donde...

- A = Constante A
- B = Constante B
- ln = Logaritmo Natural (log<sub>e</sub>)
- IV = Voltaje Inicial
- FV = Voltaje Final



## Constantes A y B

Las constantes A y B se utilizan junto con el voltaje promedio (MPV) para calcular el factor de calibración (CF). El MPV es el promedio de los voltajes inicial y final de un electreto dado a lo largo de un período de exposición; se puede calcular como se muestra en la siguiente ecuación. Esto significa que el MPV deberá recalcularse para cada electreto en cada prueba de radón.

$$\text{Voltaje Promedio (MPV)} = \frac{(\text{Voltaje Inicial} + \text{Voltaje Final})}{2}$$

A diferencia del MPV, que es independiente de la configuración del sistema E-PERM® y debe calcularse de nuevo para cada prueba de radón, las constantes A y B permanecerán iguales mientras la configuración (SST, LMT-OO, LST, entre otras) no cambie. Después de calcular el MPV, las constantes A y B se pueden colocar en la siguiente ecuación para generar el factor de calibración específico (CF).

$$\text{Factor de Calibración (CF)} = A + (B \times \ln(\text{MPV}))$$

**¡Por favor, recuerda trabajar desde los paréntesis internos hacia afuera!. Calcula el MPV antes de adquirir su logaritmo natural, y luego multiplica este valor por la Constante B. Después de hacer todo esto, suma la Constante A para llegar al CF final.**

Por favor, ten en cuenta que  $\ln$  es el logaritmo natural y debe aplicarse al voltaje promedio. Aplicar el logaritmo natural al MPV nos permite trazar, con mayor precisión, la curva de una propiedad interesante del electreto donde es ligeramente más fácil extraer un voltio de un electreto altamente cargado (700+ voltios) y ligeramente más difícil extraer un voltio de un electreto de baja tensión (~100 voltios). En resumen, cuanto mayor sea el voltaje de un electreto, más fácil será descargarlo.



Usando la tabla al final de esta sección para encontrar las constantes A y B, calcula el factor de calibración para tu configuración específica siguiendo el orden adecuado de operaciones. ¡Felicidades! Has calculado el factor de calibración, pero ¿qué significa realmente este valor? El factor de calibración (CF) es un valor que representa la cantidad de voltaje perdido por cada 24 horas por pCi/L, y es un valor fundamental cuando se utilizan cámaras de iones con electreto para medir la concentración de radón.

## Constante G

El único propósito de la constante G es corregir la contribución gamma de fondo ( $\gamma$ ) a la medición de radón. Las cámaras de iones de bajo volumen (como la cámara L-OO) estarán ligeramente más influenciadas por la gamma de fondo que las cámaras más grandes (como la cámara H). Para calcular la corrección total de gamma requerida, simplemente multiplica la constante G apropiada por el gamma de fondo promedio estimado en microroentgens por hora ( $\mu\text{R/hr}$ ).

El producto resultante es la contribución gamma a la medición de radón en picocuries por litro (pCi/L), que debe restarse del resultado de la medición. Ten en cuenta que este enfoque asume unidades US, aunque es completamente posible calcular la contribución gamma cuando se utilizan unidades del SI. Para hacer esto, asegúrate de seguir los consejos de conversión a continuación.

Los pasos exactos para integrar la constante G en los resultados de medición finales se ilustran en la sección de [Compresión de los algoritmos para el sistema E-PERM®](#) más adelante en el manual.

### Contribución del Fondo Gamma

$$\text{Unidades SI (Bq/m}^3\text{)} = \frac{\text{nGy/hr} \times \text{G}}{8,696}$$

$$\text{Unidades US (pCi/L)} = \mu\text{R/hr} \times \text{G}$$



## Límite Inferior de Detección

En el contexto de las cámaras de iones con electreto, el **Límite Inferior de Detección** (LLD, por sus siglas en inglés) se define como la concentración de radón que se puede medir con una incertidumbre total (o error) del 50%. El LLD también se conoce como la Concentración Mínima Medible (MMC, por sus siglas en inglés) con un 50% de incertidumbre. Cuando la incertidumbre total supera el 50%, se pierde la capacidad de distinguir si la pérdida de voltaje del electreto se debe al radón u otro fenómeno. Este límite se alcanza cuando la concentración de radón medida es menor que las incertidumbres totales involucradas en la medición; afortunadamente, este valor es bastante bajo.

El LLD es una función de la configuración del sistema E-PERM® y la duración de la exposición. En general, el LLD disminuye a medida que aumenta el período de exposición; esto significa que se pueden medir con precisión valores más pequeños aumentando el tiempo de exposición.

Configuración	Días	Concentración de Radón con Diferentes Incertidumbres						Incertidumbre Específica	
		50%		25%		10%		148 Bq/m <sup>3</sup>	100 Bq/m <sup>3</sup>
		Bq/m <sup>3</sup>	pCi/L	Bq/m <sup>3</sup>	pCi/L	Bq/m <sup>3</sup>	pCi/L	(4,0 pCi/L)	(2,7 pCi/L)
SST	2	9,6	0,26	30,4	0,82	132,2	3,57	9,34%	11,93%
	7	7,6	0,20	16,0	0,43	7,6	0,20	5,99%	6,87%
SLT	30	8,4	0,23	21,9	0,59	8,4	0,23	7,96%	9,85%
	120	7,5	0,20	15,4	0,42	7,5	0,20	5,77%	6,51%
LST	30	7,5	0,20	15,8	0,43	50,3	1,36	6,06%	6,94%
	120	7,4	0,20	15,1	0,41	43,1	1,17	5,62%	6,27%
LLT	365	7,5	0,20	15,5	0,42	47,8	1,29	5,97%	6,78%
LST-OO	30	7,6	0,20	16,0	0,43	54,2	1,46	6,27%	7,25%
	91	7,5	0,20	15,2	0,41	43,9	1,19	5,67%	6,34%
LMT-OO	91	7,5	0,20	15,8	0,43	52,8	1,43	6,29%	7,23%
LLT-OO	365	7,5	0,20	15,6	0,42	50,0	1,35	6,14%	7,01%
HST	1	7,9	0,21	17,7	0,48	62,6	1,69	6,46%	7,65%
	2	7,5	0,20	15,7	0,42	47,6	1,29	5,82%	6,61%
HLT	7	8,8	0,24	23,8	0,64	96,9	2,62	7,84%	9,80%
	14	7,7	0,21	16,9	0,46	57,0	1,54	6,23%	7,28%

Todos los valores asumen un voltaje promedio (MPV) de 450, un nivel de gamma de fondo de 87 nGy/hr (10 µR/hr), y ninguna corrección de altitud.



# Comprensión de los algoritmos para el sistema E-PERM®

Aunque se proporcionan varias herramientas de análisis (como el software, plataformas en línea y hojas de cálculo) para facilitar el cálculo de las concentraciones de radón, esta sección está destinada a aquellos que desean comprender exactamente cómo derivar la concentración de radón a partir de una exposición con el sistema E-PERM®. Rad Elec recomienda tener precaución al incorporar estos algoritmos en tus propias plataformas de software, ya que incluso un solo paréntesis mal colocado puede producir resultados incorrectos. Sin embargo, estos algoritmos se presentan para aquellos con el deseo y la curiosidad de llevar el proceso de cálculo por sí mismos.

**Estos algoritmos pueden ser incorporados en tus propias plataformas de software o hojas de cálculo.**

**1** Busca las Constantes de Calibración (A, B y G) para la configuración del sistema E-PERM® deseada. La siguiente tabla muestra las Constantes de Calibración (A y B) además de la Constante de Conversión Gamma (G). Las Constantes de Calibración (A y B) se derivan de una configuración específica del sistema E-PERM® durante su proceso de caracterización, mientras que la Constante de Conversión Gamma (G) se basa completamente en la cámara de iones.

Configuración del Sistema E-PERM®	Constante A	Constante B	Constante G
SST	0,314473	0,260619	0,087
SLT	0,031243	0,021880	0,087
LST	0,124228	0,040676	0,12
LLT	0,010189	0,003372	0,12
LST-OO	0,074671	0,037557	0,12
LMT-OO	0,013497	0,012499	0,12
LLT-OO	0,011965	0,002079	0,12
HST	7,2954	0,004293	0,07
HLT	0,60795	0,000358	0,07



2

Busca el valor estimado de Fondo Gamma (BG, por sus siglas en inglés) donde se realizó la prueba. La [Tabla de Fondo Gamma](#) se puede encontrar al final de este manual.

- El valor de BG es la radiación gamma de fondo ambiental que debe convertirse en unidades imperiales de micro-roentgens por hora ( $\mu\text{R/hr}$ ). La radiación gamma ambiental se puede medir o estimar. Debido al impacto generalmente menor de la radiación gamma en los resultados del sistema E-PERM<sup>®</sup>, estimar el fondo gamma es perfectamente aceptable. Si se sospecha que el entorno de prueba local exhibe niveles elevados de gamma, se pueden usar el sistema E-PERM<sup>®</sup> para medir el fondo gamma.

**Si estás utilizando un valor en el SI (nGy/hr) para tu fondo gamma, divídelo por 8,696 para convertirlo a  $\mu\text{R/hr}$ .**

3

Calcula el número de días en el período de exposición a tres decimales. Por ejemplo, si el período de exposición es de 2 días y 3.5 horas, entonces:

$$D = 2 + \frac{3,5}{24} = 2,146$$

4

Calcula el Factor de Calibración (EIC CF). El EIC CF se define como la disminución del voltaje del electreto cuando un electreto específico y una cámara específica están expuestos durante un día a una concentración de  $37 \text{ Bq/m}^3$  ( $1,0 \text{ pCi/L}$ ) de radón. El EIC CF para los sistemas E-PERM<sup>®</sup> está relacionado de forma logarítmica con el voltaje del electreto en un rango de aproximadamente 100 a 750 voltios, y se utiliza una fórmula de corrección automática para desarrollar el factor de calibración real apropiado para el voltaje promedio (o promedio) a lo largo del período de exposición. Ten en cuenta que las configuraciones de la Cámara H todavía utilizan un factor de calibración lineal más antiguo, como se indica a continuación.

$$\text{EIC CF} = A + (B \times \ln\left(\frac{IV + FV}{2}\right)) \quad \text{EIC CF} = A + (B \times \left(\frac{IV + FV}{2}\right))$$



Donde...

A = Constante A

B = Constante B

$\ln$  = Logaritmo Natural ( $\log_e$ )

IV = Voltaje Inicial

FV = Voltaje Final



5

Busca la altitud del sitio de prueba, que debe convertirse en pies. Esto se puede encontrar fácilmente en línea. Ahora calcula el Factor de Corrección de Altitud (ElevCF, por sus siglas en inglés). El ElevCF solo se aplica en ciertas circunstancias. Al usar las Cámaras L o L-OO, se aplica un factor de corrección solo a altitudes de más de 61 metros (200 pies). Al usar Cámaras S, se aplica un factor de corrección solo a altitudes iguales o superiores a 1 219 metros (4 000 pies). Las Cámaras H no se ven afectadas por las altitudes habitables, por lo que no se requiere ningún factor de corrección.

### Cámara S



Para Altitudes <= 1219 metros

$$\text{ElevCF} = 1$$

Para Altitudes > 1219 metros

$$\text{ElevCF} = 0,79 + \left( \frac{6 \times 3,28084 \times \text{Altitud (metros)}}{100000} \right)$$

### Cámara L / L-OO



Para Altitudes <= 61 metros

$$\text{ElevCF} = 1$$

Para Altitudes > 61 metros

$$\text{ElevCF} = 1,005 + \left( \frac{4,5526 \times 3,28084 \times \text{Altitud (metros)}}{100000} \right)$$

### Cámara H



Para todas las Altitudes

$$\text{ElevCF} = 1$$

*Sin Corrección por Altitud*

**Si estás utilizando metros para tu altitud, multiplica este valor por 3,281 para convertirlo a pies.**



6

Calcula la concentración de radón (RnC, por sus siglas en inglés). Utilizando las variables y constantes calculadas en los Pasos #1 al #5, estás listo para calcular la concentración de radón usando la siguiente fórmula. Si se va a informar la concentración en unidades del SI (Bq/m<sup>3</sup>), entonces la ecuación debe multiplicarse por 37.

**Concentración de Radón (Bq/m<sup>3</sup>) =**

$$\left( \left( \frac{(IV - FV) - (IVD \times \text{Días})}{EIC \text{ CF} \times \text{Días}} \right) - \left( \overset{\text{nGy/hr}}{\gamma \times G} \right) \right) \times (\text{ElevCF}) \times 37$$

**Concentración de Radón (pCi/L) =**

$$\left( \left( \frac{(IV - FV) - (IVD \times \text{Días})}{EIC \text{ CF} \times \text{Días}} \right) - \left( \overset{\text{HR/hr}}{\gamma \times G} \right) \right) \times (\text{ElevCF})$$

**Donde...**

**IV = Voltaje Inicial**

**FV = Voltaje Final**

**IVD = Descarga de Voltaje Inherente**

**Días = Duración de la Exposición**

**EIC CF = EIC Factor de Calibración**

**γ = Estimación o Medición Gamma**

**G = Constante G**

**Elev CF = Factor de Corrección de Altitud**

0,066667 para electreto ST

0,066667 para electreto MT

0,022223 para electreto LT

**Recuerda trabajar de adentro hacia afuera, resolviendo las secciones dentro de los paréntesis más internos primero.**

**Cuando utilices ecuaciones que hayas formulado por ti mismo, siempre confirma tus resultados con una hoja de cálculo o aplicación oficial.**

## Preguntas Frecuentes

### ¿Cómo debo almacenar el lector SPER-1E y los sistemas E-PERM®?

Cada lector SPER-1E viene con un estuche protector. Junto con el lector, este estuche tiene suficiente espacio para contener un desecante, dos electretos de referencia y un electreto de calibración cero. Este estuche protector es el lugar perfecto para almacenar, enviar y viajar con su lector de voltaje SPER-1E. Rad Elec recomienda almacenar el lector en su estuche protector cuando no esté en uso, para mantenerlo seco y limpio. Esta práctica es especialmente importante cuando el ambiente tiene una humedad elevada.

Cuando no estén en uso, los electretos deben almacenarse en sus tapas protectoras. Si las tapas protectoras no son prácticas, está perfectamente bien almacenar los electretos montados en las cámaras de iones siempre y cuando la cámara esté en posición "apagada". Idealmente, los electretos deben almacenarse en un ambiente controlado como un hogar u oficina. Si esto no es posible, es importante llevar los electretos adentro y dejar que se equilibren con un ambiente controlado durante una o dos horas antes de leerlos.

**¡La consistencia y estabilidad en las lecturas de los electretos son muy importantes! Si tiene dificultades, estaremos encantados de ayudar.**

### ¿Qué debo hacer si las lecturas de voltaje del electreto siguen variando?

Aunque puede haber algunas razones por las que los electretos parecen "variar" de un voltaje a otro, el primer paso es asegurarse de tener una técnica de lectura adecuada. Esto se describe en la sección **¿Cómo Medir el Voltaje Superficial de un Electreto?** en Superficie anteriormente en el manual.

Si el electreto aún varía, ¡el siguiente paso es limpiarlo! Use una boquilla con nitrógeno para desprender cualquier suciedad que se haya acumulado en el electreto, teniendo cuidado de no tocar su superficie. Además, limpie el lector SPER-1E con un paño de algodón impregnado de alcohol isopropílico; después, use nitrógeno para eliminar cualquier fibra o suciedad que haya quedado. Durante este proceso, por favor mantenga la tapa del lector cerrada y no toque la placa del detector sensible.

Si ya descartó todos los posibles causantes, a veces la lectura del voltaje parecerá "variar" durante períodos de humedad muy alta si el lector no se almacena en un ambiente seco. Si sospecha que la alta humedad es la causa, por favor guarde el lector en su estuche junto con un desecante funcionando durante una o dos horas; alternatively, puede trasladar el lector de voltaje SPER-1E a un ambiente menos húmedo.

Si aún enfrenta desafíos con lecturas estables, ¡llámenos al (+1.800.526.5482) o envíenos un correo electrónico! ¡Estaremos encantados de ayudar!



### ¿Cómo puedo estar seguro de que mi lector de voltaje está funcionando correctamente?

Para confirmar que su lector está funcionando correctamente, lea sus electretos de referencia y de calibración cero. Si los electretos de referencia están dentro de  $\pm 3$  voltios de sus voltajes certificados, y el electreto de calibración cero está dentro de  $\pm 3$  voltios de cero, entonces acaba de demostrar que su lector de voltaje está funcionando correctamente.

Si solo un electreto de referencia se desvía de su voltaje certificado, entonces el lector de voltaje aún está funcionando correctamente; el electreto de referencia anómalo está sucio o fue descargado inadvertidamente al tocarlo.

Sin embargo, si ambos electretos de referencia se desvían en  $\pm 3$  voltios de sus voltajes certificados, es posible que su lector de voltaje necesite ser calibrado o reparado. Por favor, contacte a Rad Elec y estaremos encantados de ayudar.

Tenga en cuenta que estas lecturas de electretos de referencia y de calibración cero proporcionan solo un punto de referencia y no deben interpretarse como un método de calibración, que caracteriza su lector en un amplio rango de voltajes.

### ¿Con qué frecuencia debo reemplazar las baterías en el lector de voltaje?

No muy a menudo. Si la batería está baja, notará que el icono de la batería en la pantalla se reduce gradualmente.



Cuando el voltaje de la batería sea lo suficientemente bajo, aparecerá una advertencia de "BAJA BATERÍA" cuando encienda el lector de voltaje. Esto significa que debería reemplazar las dos baterías alcalinas AA lo antes posible. Esto se puede hacer fácilmente volteando el lector y liberando suavemente el panel de la batería con un destornillador de cabeza plana. Además, Rad Elec reemplazará sus baterías como parte del servicio de calibración anual.

### ¿Con qué frecuencia debe calibrarse mi lector de voltaje?

Su lector debe calibrarse anualmente, junto con sus electretos de referencia y de calibración cero. Hay una etiqueta de calibración en la parte posterior de su lector, que le indicará cuándo debe hacerse la próxima calibración.

El [formulario de calibración](#) se puede encontrar en nuestro sitio web en la sección "Customer Forms".



Puesto que los electretos básicamente lucen iguales cuando están cubiertos, ¿cómo puedo identificar los de corto plazo (ST), mediano plazo (MT) y largo plazo (LT) entre sí?

Hay una etiqueta de color en la parte inferior de cada electreto. El **azul** es para corto plazo (ST), el **guinda** es para mediano plazo (MT) y el **rojo** es para largo plazo (LT).



**ST**

**MT**

**LT**

Además, el identificador serial único del electreto comenzará con una letra que indica su tipo.

**¿Recibiría una descarga eléctrica si tocara la superficie del electreto?**

No, no sentirá ninguna descarga al tocar la superficie del electreto. Aunque la superficie de un electreto nuevo tiene más de 700 voltios, nunca puede dar una descarga debido a la resistencia extremadamente alta de la superficie del electreto, que está hecha de politetrafluoroetileno (Teflón).

Sin embargo, tocar un electreto hará que se descargue, perdiendo potencialmente cientos de voltios. Deje de lado un electreto tocado durante 15 minutos y luego lea su voltaje nuevamente.

**¿Qué tan duradero es el electreto?  
¿Qué sucede si se cae o se lanza?**

Los electretos son bastante duraderos siempre y cuando se almacenen en sus tapas protectoras y puedan resistir un choque mecánico moderado (es decir, caer de una mesa sobre una alfombra). Se debe evitar un choque mecánico violento, como lanzarlo contra el pavimento o una pared.

Si un electreto experimenta un choque mecánico violento o sacudida, Rad Elec recomienda medir su voltaje nuevamente antes de usarlo.

**¿Qué debo hacer con los electretos que tienen menos de 100 voltios?**

Los electretos con menos de 100 voltios no deben ser usados para mediciones adicionales porque el campo electrostático más débil no es tan consistente en la recolección eficiente de iones. Sin embargo, estos electretos son excelentes fondos o de tránsito. Alternativamente, estos electretos agotados pueden ser devueltos a Rad Elec a cambio de crédito en la tienda.

Por favor, no use ninguna empresa de terceros que ofrezca recargar electretos, porque estos electretos recargados no pasan por los rigurosos (¡y de meses!) procesos de control de calidad. Estos electretos de terceros "recargados" ya no están aprobados para su uso con los sistemas E-PERM®.



### ¿Cómo sé que mis electretos son estables y de buena calidad?

Rad Elec tiene un proceso de control de calidad muy exhaustivo a través del cual cada electreto debe pasar. Cada electreto se somete a un procedimiento de estabilización multifacético. Además, para garantizar una calibración correcta, se verifica un número estadísticamente significativo de electretos en nuestra cámara de radón acreditada por el NRSB. Se proporciona un Certificado de Calidad de Electretos al comprador con la información de control de calidad de Rad Elec para cada electreto.

Además del proceso de control de calidad de Rad Elec, se recomienda realizar pruebas "drift" adicionales según su propio plan de control de calidad. Los electretos ST y MT no deben descargarse más de 6 voltios por mes, y los electretos LT no deben descargarse más de 4 voltios por mes cuando se miden durante un período de tres meses.

**Una prueba "drift" es una manera perfecta de asegurar que sus electretos sean estables. Básicamente, es una prueba de fondo extendida que debe realizarse en su hogar, oficina o laboratorio.**

### ¿Qué debo hacer si accidentalmente dejo caer un electreto abierto durante una lectura?

Es posible que el electreto haya entrado en contacto con suciedad u otros residuos en la caída, que se depositarán en la superficie del electreto cargado. Si es así, podría haber una caída sustancial de voltaje.

Limpie cualquier suciedad en el electreto usando nitrógeno, teniendo cuidado de no tocar la superficie del electreto con la boquilla de gas. Para estar seguro, Rad Elec recomienda realizar una prueba "drift" en este electreto para asegurarse de que permanezca estable.

### ¿Puedo almacenar electretos en sus cámaras de iones?

¡Sí! Puede almacenar un electreto en una cámara S o L-OO porque estas cámaras de iones tienen un mecanismo de encendido/apagado. Asegúrese de que la cámara de iones esté en la posición "apagado" al almacenar electretos.

No puede almacenar un electreto en cámaras H o L porque no tienen mecanismos de encendido/apagado.



**Sé que no debo usar electretos por debajo de 100 voltios, pero ¿qué debo hacer si mi lectura final de voltaje está por debajo de este umbral?**

Siempre que su lectura final de voltaje esté por encima de cero, no tiene absolutamente nada de qué preocuparse. Con nuestros factores de calibración logarítmicos actuales, el voltaje promedio puede ser tan bajo como 50 voltios.

Si su lectura final es cero voltios, informe la concentración final de radón como igual o superior a su valor. Por ejemplo, si el resultado fue de 125 Bq/m<sup>3</sup>, entonces informe los resultados como  $\geq 125$  Bq/m<sup>3</sup>.

**¿La etiqueta envuelta alrededor de la Cámara S sirve para algún propósito particular? ¿Se puede quitar o reemplazar?**

Sí, esta etiqueta envuelta tiene un propósito; mantiene unidas las porciones superior e inferior de la Cámara S. No retire esta etiqueta, aunque puede agregar una adicional encima de ella (por ejemplo, si desea personalizar su sistema E-PERM® con el nombre de su empresa). Aunque no debe retirarse, la etiqueta se puede reemplazar si se rasga o daña de otra manera. Póngase en contacto con Rad Elec, y le ayudaremos.

**¿Qué debo hacer si mi lectura final de voltaje está por debajo de cero voltios?**

El radón (y cualquier otra radiación ionizante) no puede reducir el voltaje del electreto por debajo de cero voltios. Sin embargo, tocar la superficie del electreto cargado puede hacer que el voltaje superficial caiga en negativo. Desafortunadamente, una lectura de voltaje negativo significa que sus resultados son inválidos.

**¿Cuál es la vida útil de un electreto?**

Si se almacena adecuadamente, la vida útil del electreto es de muchos, muchos años (por no decir décadas).

**¿Cómo puedo evitar que alguien manipule los sistemas E-PERM®?**

Hay varias prácticas antimanipulación que se pueden usar. Rad Elec recomienda usar sus sistemas E-PERM® en cajas antimanipulación, estuches protectores o bolsas de Tyvek® que se pueden asegurar con cintillos.

También hay pequeños agujeros en las cámaras S y L-OO que se pueden asegurar con cintillos, asegurando que las cámaras no se puedan cerrar sin cortar el cintillo.



### ¿Se pueden reparar las Cámaras S si desarrollan problemas con el tiempo?

La mayoría de los componentes de la Cámara S se pueden reparar de manera muy asequible, y todas nuestras cámaras de iones tienen una vida útil extremadamente larga. Por ejemplo, el filtro de progenie y la etiqueta envuelta se pueden reemplazar por un cargo mínimo.

Después de muchos años de uso, los hilos en la cámara de iones pueden comenzar a desgastarse. En este punto, es posible que la cámara deba ser reemplazada. Sin embargo, cuando se utilizan de manera responsable, las cámaras de iones durarán una década o más.

### ¿Hay un límite de tiempo de exposición para los sistemas E-PERM®?

No en el sentido tradicional, aunque el tiempo de exposición final para cualquier prueba específica es cuando el electreto está completamente descargado. En otras palabras, si su electreto llega a cero voltios, solo puede estar seguro de que la exposición de radón *es al menos* el valor calculado, y muy probablemente mayor.

En los Estados Unidos, las mediciones de radón a corto plazo requieren un período de exposición mínimo de 48 horas.

### ¿Cuál es la sensibilidad de los sistemas E-PERM®?

No hay una respuesta simple para esta pregunta. Dado que los sistemas E-PERM® son detectores de integración, pueden usarse durante cualquier período de tiempo para lograr la sensibilidad necesaria.

En general, aumentar la sensibilidad se puede lograr aumentando la duración de la exposición y/o el volumen de la cámara de iones. Si hay necesidad de medir concentraciones extremadamente bajas de radón con alta sensibilidad, se debe usar una configuración sensible del sistema E-PERM® (SST o HST), y/o se debe extender el período de exposición.

Para obtener más información, consulte las secciones de **Rango Dinámico** y **Análisis de Incertidumbre** en este manual.

### ¿Cuál es el Límite Inferior de Detección de los sistemas E-PERM®?

El LLD varía según la configuración del sistema E-PERM® y el período de exposición, pero generalmente está entre 7 y 10 Bq/m<sup>3</sup> (aproximadamente 0,2 a 0,3 pCi/L).

Para una respuesta más detallada, consulte la sección de **Límite Inferior de Detección** del manual.



**¿Se puede usar la configuración SLT para mediciones de radón a corto plazo?**

Sí, pero solo en entornos con concentraciones de radón elevadas sospechadas o conocidas. Si no está seguro de los niveles de radón, es preferible usar una configuración SST para una prueba estándar de radón a corto plazo.

Por ejemplo, cuando las concentraciones de radón están por encima de  $1\ 850\ \text{Bq/m}^3$  ( $50\ \text{pCi/L}$ ), se puede usar un SLT para caracterizar este entorno con precisión en tan solo dos días. Sin embargo, en entornos con concentraciones bajas de radón, el SLT simplemente no es lo suficientemente sensible para medir con precisión el radón después de solo dos días. Esto se debe a que el electreto solo perdería unos pocos voltios, y la incertidumbre de la medición resultante sería alta.

Esta es la razón por la que típicamente no debemos usar configuraciones del sistema E-PERM® de baja sensibilidad (como un LLT-OO o SLT) para una prueba de dos días. Si estos electretos solo pierden uno o dos voltios, no podemos estar seguros de si la pérdida de voltaje se debe al radón o a otro factor como la técnica de lectura, un electreto sucio u otro factor contribuyente desconocido.

**¿Se puede usar la configuración SST para mediciones de radón a largo plazo?**

Sí, pero solo en entornos con una concentración baja de radón. Si no está seguro o espera concentraciones elevadas, no se recomienda usar una configuración SST para pruebas de radón a largo plazo.

Por ejemplo, un SST perdería aproximadamente 600 voltios cuando se expone durante 90 días en un entorno con  $100\ \text{Bq/m}^3$  ( $\sim 2,5\ \text{pCi/L}$ ). Sin embargo, un SLT solo perdería aproximadamente 50 voltios en el mismo entorno, lo que lo hace mucho más adecuado para mediciones a largo plazo.

**El nivel de radón ambiental de  $\sim 15\ \text{Bq/m}^3$  ( $0,4\ \text{pCi/L}$ ), listado en Una Guía del Ciudadano sobre el Radón y publicado por la EPA, fue determinado usando sistemas E-PERM® SST. Las cámaras de iones con electretos son uno de los pocos dispositivos que pueden medir el radón a concentraciones bajas en entornos exteriores en un amplio rango de temperaturas y humedades.**

**¿Puedo medir el radón en una casa desocupada que no tiene calefacción o refrigeración?**

Sí, se puede usar un sistema E-PERM® en entornos no controlados (e incluso al aire libre en condiciones extremas). Sin embargo, es importante recordar que muchos estados y protocolos de prueba requieren que el termostato se ajuste a ciertos rangos. Por último, recuerde que las lecturas de voltaje inicial y final deben tomarse a temperaturas similares.



**¿Puedo usar un sistema E-PERM® al lado de un televisor, computadora o teléfono?**

Sí, sí y sí. La radiación emitida por estos dispositivos tiende a estar regulada por los gobiernos federales, y no se les permite emitir niveles medibles de radiación ionizante (lo que sería un riesgo para la salud). Un sistema E-PERM® también es una jaula de Faraday. Como tal, no hay un efecto medible cuando se coloca junto a dispositivos electrónicos.

**¿Puedo realizar una medición de radón con sistema E-PERM® en un área altamente polvorienta, como en una fábrica de muebles o planta de procesamiento de papel?**

Sí, aunque Rad Elec recomienda usar los sistemas E-PERM® en bolsas de Tyvek®, que crearán una barrera protectora adicional contra la suciedad, el polvo y otras partículas ambientales.

**¿Puedo usar un sistema E-PERM® en un área donde se esté utilizando un generador de iones?**

Sí. Las cámaras de iones tienen entradas con filtros que evitan que los iones externos entren en las cámaras y descarguen el electreto.

**¿Puedo usar los sistemas E-PERM® encima de una encimera de granito o mesa de billar?**

No, no es una buena idea porque el granito y la pizarra pueden ser radiactivos (principalmente como emisores gamma). Esto crearía un sesgo positivo localizado en sus resultados. Es mejor jugar seguro y usar los sistemas E-PERM® en otro lugar.

**Entiendo que los sistemas E-PERM® responden a los rayos gamma y X. ¿Puedo llevarlos a través de la seguridad del aeropuerto o transportarlos como equipaje facturado?**

Los sistemas E-PERM® se envían por todo el mundo, y en la mayoría de los casos no se ven afectados por los controles de seguridad. Al transportar o enviar cámaras de iones con electretos, asegúrese de que estén en tapas protectoras o cámaras de iones cerradas.

En los últimos años, ha habido informes creíbles de que transportar los sistemas E-PERM® en el equipaje facturado a través de aeropuertos puede exponerlos a sistemas de rayos X de gabinete y/o otras pruebas adicionales que han causado una pérdida significativa de voltaje en los electretos.

Curiosamente, este fenómeno no se ha observado al transportar los electretos en equipaje de mano. Hasta que se adquieran datos adicionales, Rad Elec recomienda transportar los sistemas E-PERM® en su equipaje de mano cuando sea posible, y **confirmar los voltajes después de llegar a su destino.**

**¿Puedo usar sistemas E-PERM® donde haya una alta gamma de fondo debido a la presencia de fuentes de radiación externas?**

Si sospecha niveles elevados de fondo gamma, entonces debe realizar una medición de fondo gamma. Esto se puede hacer relativamente fácilmente sellando un sistema E-PERM® dentro de una bolsa de Mylar® aluminizada, que bloqueará el radón mientras permite el ingreso de la radiación gamma.



### ¿Qué es una medición falsa positiva de radón?

Una lectura falsa positiva significa que su valor medido *es más alto* que el valor real.

### ¿Qué es una medición falsa negativa de radón?

Una lectura falsa negativa significa que su valor medido *es más bajo* que el valor real. Las lecturas falsas negativas pueden ser peligrosas porque los ocupantes recibirán una dosis más alta de radiación de lo que indica el valor medido.

### Si se introducen errores, ¿los sistemas E-PERM® Tienden a sesgar sus resultados positiva o negativamente?

Cuando se cometen errores con los sistemas E-PERM®, introducen valores falsos positivos. Esto se debe a que es muy difícil introducir voltaje en el electreto, mientras que es mucho más fácil descargar accidentalmente el voltaje superficial. Si se toca o se deja caer el electreto, o si su superficie está sucia, hay una alta probabilidad de que una pérdida adicional de voltaje cause un sesgo falso positivo.

Raramente, las lecturas falsas negativas con los sistemas E-PERM® son posibles al dejar accidentalmente la cámara de iones en una posición cerrada, al cerrar parcialmente la cámara (más comúnmente al "aplastar" accidentalmente con una tapa de caja antimanipulación), o a través de errores de entrada de datos.

### ¿Qué distingue a los detectores integradores de radón de otros dispositivos?

Los detectores integradores de radón responden a todos los cambios en la concentración de radón durante el período de medición, y no están sesgados al principio, en medio o al final de un período de exposición. Estos pueden estar expuestos durante períodos más largos si las concentraciones de radón son bajas, y durante un período más corto si las concentraciones de radón son elevadas. Ejemplos de detectores integradores de radón incluyen cámaras de iones con electretos, detectores de trazas y monitores continuos de radón.

Ejemplos de detectores de radón que no son dispositivos de integración incluyen al carbón activado y viales de centelleo líquido. Aunque estos detectores pueden ser muy precisos, adsorben (y desorben) radón durante todo su período de detección; esto significa que tienden a sesgar sus mediciones hacia la última parte del período de exposición.

**Si tiene alguna otra pregunta que le gustaría que se respondiera y/o se agregue a esta sección de preguntas frecuentes, envíenos un correo electrónico a [info@radelec.com](mailto:info@radelec.com) o llame a nuestra oficina al **+1.800.526.5482**.**



## Solución de Problemas al Lector de Voltaje SPER-1E

**"BATT LO" aparece en la pantalla.**

Esto significa que es momento de reemplazar las baterías. Gire cuidadosamente el SPER-1E y ubique el panel de baterías. Probablemente tendrá que liberar el panel con un destornillador plano. Retire las baterías usadas y reemplácelas por dos baterías alcalinas AA nuevas.

**No aparece nada en la pantalla.**

Tirar de la palanca del obturador debería encender el lector. Si no se enciende, es posible que las baterías estén muertas o falten. Si reemplazar las baterías no resuelve el problema, comuníquese con Rad Elec. Su lector necesita ser reparado.

**El lector de voltaje no se apaga después de dos minutos.**

Este síntoma indica un defecto en el interruptor que se encarga de apagar automáticamente el lector. Aunque el lector aún se puede usar, las baterías morirán mucho más rápido debido a este problema. Comuníquese con Rad Elec para repararlo.

**Mis lecturas no son reproducibles y/o fluctúan. ¿Qué puedo hacer para tener lecturas estables?**

Si estás seguro de que estás utilizando una técnica de lectura adecuada (como en la sección [¿Cómo Medir el Voltaje Superficial de un Electreto?](#)), entonces el siguiente paso es asegurarse de que el receptáculo del electreto esté limpio. El receptáculo del electreto es la apertura metálica circular en el lector de voltaje SPER-1E donde se encuentra el electreto. Puede ensuciarse, y a la vez evitar el contacto sólido con el electreto, así que debes limpiarlo con un hisopo de algodón que haya sido humedecido con alcohol isopropílico.

Utiliza el hisopo de algodón para limpiar alrededor del receptáculo del electreto en el SPER-1E, eliminando cualquier residuo de la superficie. Después, sopla el receptáculo con nitrógeno y asegúrate de que no queden pelusas o fibras. **No abras la compuerta y espongas el interior del lector mientras limpias el receptáculo del electreto.**

Siguiendo los consejos anteriores deberías poder obtener lecturas reproducibles. Si tus lecturas siguen fluctuando, asegúrate de que el lector no haya estado al aire libre en el calor o el frío, y llévalo a un área con control de clima donde la humedad sea inferior al 75%. Por favor, intenta mantener el lector dentro de su estuche protector, y hornea el desecante cada pocos meses para asegurarte de que esté minimizando la humedad dentro del estuche protector.



**Al leer un electreto de referencia, su voltaje difiere en más o menos de 3 voltios de su voltaje certificado.**

Si solo un electreto de referencia se desvía de su voltaje certificado, entonces el lector está perfectamente bien. Si ambos electretos se desvían de sus voltajes certificados, entonces es posible que el lector haya sido golpeado (o haya experimentado un trauma mecánico significativo). En este escenario, puede intentar reemplazar las baterías para ver si hace alguna diferencia, pero es probable que el SPER-1E necesite ser enviado a Rad Elec para reparaciones. Por favor, póngase en contacto con Rad Elec.

**¿Necesito "calibrar a cero" mi lector de voltaje SPER-1E cada vez que lo enciendo?**

No. Sin embargo, las lecturas frecuentes de electretos de referencia y calibración cero ayudan a asegurar que su equipo esté funcionando correctamente.

**El lector de voltaje SPER-1E está emitiendo un sonido agudo de silbido.**

Este sonido indica que la palanca del obturador no ha vuelto a su posición inicial. A veces esto puede suceder porque el riel de deslizamiento metálico está frenando el movimiento de la palanca del obturador. Intente mover suavemente la palanca hacia adelante y hacia atrás, lo que normalmente lo desbloqueará y permitirá que la palanca vuelva a su posición de inicio.

Es importante mover suavemente la palanca del obturador de vuelta a su posición inicial, de lo contrario, el lector permanecerá encendido y agotará las baterías.

**El desecante en mi estuche protector ha cambiado de color.**

Esto significa que el desecante ha absorbido una gran cantidad de humedad y necesita ser reactivado. Esto se puede hacer colocándolo en un horno a una temperatura baja (generalmente alrededor de 110 °C / 225 °F) durante varias horas. Las instrucciones específicas están escritas en el recipiente de metal del desecante.



**Aparece "ER FAST" en la pantalla.**

Esto normalmente significa que la palanca del obturador se jaló demasiado rápido. Espere unos segundos e intente jalar la palanca nuevamente con suavidad. El movimiento para abrir la palanca debe ser suave y constante; esta maniobra debe tomar aproximadamente medio segundo de principio a fin. Después de que la palanca del obturador llegue al final de su recorrido y el voltaje aparezca en la pantalla, puede soltar suavemente la palanca para que vuelva a su posición de reposo.

**Aparece "ER OPEN" en la pantalla.**

Esto significa que la palanca del obturador se mantuvo abierta demasiado tiempo. Para corregirlo, suelte la palanca y permita que vuelva a la posición cerrada. Jale la palanca nuevamente para iniciar una nueva lectura. Una vez que la lectura aparezca en la pantalla, suelte la palanca con suavidad, pero con prontitud, para evitar este mensaje.

**Aparece "ERSLIDE" en la pantalla.**

Esto significa que hubo un error al jalar la palanca del obturador. Para corregirlo, jale suavemente la palanca hacia atrás. Mantenga la palanca en posición abierta mientras la pantalla muestra **READING**. Cuando aparezca el valor de voltaje en la pantalla, suelte la palanca.

**Aparece "ER SLOW" en la pantalla.**

Esto significa que la palanca del obturador se jaló muy lento. Espere unos segundos e intente jalar la palanca nuevamente un poco más rápido. El movimiento debe ser suave y constante, y debe tomar aproximadamente 500 milisegundos, o medio segundo, de principio a fin.



# Aplicaciones Adicionales para las Cámaras de Iones con Electretos

Las cámaras de iones con electretos son muy versátiles y pueden emplearse para medir otros tipos de radiación ionizante. La siguiente lista ilustra algunas de estas aplicaciones aparte de medir el radón en el aire:

- Medición instantánea de radón
- Medición de radón en agua
- Detección de radón usando electretos para diagnóstico de mitigación
- Mediciones de radiación gamma ambiental
- Concentración de  $^{226}\text{Rn}$  en el suelo
- Monitor de radón para dosimetría personal
- Medición del flujo de radón no perturbado desde el suelo y otras superficies
- Sistema E-PERM<sup>®</sup> modificado para medición pasiva de radón
- Sistema E-PERM<sup>®</sup> modificado para medición pasiva de tritio en el aire
- Concentración de tritio en agua y contaminación en superficies
- Sistema E-PERM<sup>®</sup> modificado para medición de radiación alfa de una superficie contaminada
- Un sistema de calibración para integrar sistemas E-PERM<sup>®</sup> utilizando el Estándar de Emisión de Radón del NIST
- Sistema E-PERM<sup>®</sup> modificado para medición pasiva de contaminación por uranio y plutonio en suelos
- Medición de exhalación de radón en encimeras de granito y materiales de construcción
- Medición de la concentración de progenie de radón en el aire
- Electretos para medir la concentración de iones en el aire
- Cámara de radón validada al estándar de exhalación de radón del NIST.
- Medición de radón en gas natural (en gasoductos), butano, etano y propano.

**Por favor, contáctenos si tiene alguna pregunta sobre estas aplicaciones adicionales.**



# Especificaciones Técnicas del E-PERM<sup>®</sup> y el SPER-1E

Esta sección contiene las especificaciones técnicas de cada configuración E-PERM<sup>®</sup>, así como del lector de voltaje SPER-1E. Su propósito es proporcionar un resumen conciso pero detallado de los distintos electretos y cámaras de ionización, junto con las dimensiones del voltímetro, sus componentes de medición, sus interfaces de entrada/salida y sus interfaces de usuario.

## Electretos

- El electreto es un disco de Teflón<sup>®</sup> que está cargado eléctricamente y estabilizado por los procesos de fabricación patentados de Rad Elec. Está montado en un soporte de plástico conductor de electricidad y cubierto por una tapa de protección.
- Carga superficial inicial de más de 700 voltios.
- Un electreto no debe usarse con un voltaje inicial por debajo de 100 voltios, pero su voltaje final puede ser inferior a este umbral. Los factores de calibración logarítmica se mantienen válidos hasta un voltaje medio (MPV) de 50.
- La descarga de voltaje inherente del electreto ST y MT no debe exceder los 6 voltios por mes (1,5 voltios por semana) cuando se mide después de 28 días. La descarga de voltaje inherente del electreto LT no debe exceder los 4 voltios por mes cuando se mide durante un período de tres meses.
- Utilizable en todas las aplicaciones de los sistemas E-PERM<sup>®</sup>.

## Cámaras de Iones

- Construidas de plástico conductor de electricidad y pueden ser reutilizadas indefinidamente.
- Los electretos se pueden enroscar en cada cámara.
- La cámara L-OO tiene un volumen de 53 mL con un mecanismo de encendido/apagado
- La cámara L tiene un volumen de 58 mL.
- La cámara S tiene un volumen de 210 mL con un mecanismo de encendido/apagado.
- La cámara H tiene un volumen de 960 mL.

## Electretos de Referencia

- Electretos altamente estables que han sido certificados con un voltaje conocido por Rad Elec.
- Utilizados para verificar que el lector de voltaje SPER-1E funcione correctamente.

## Rendimiento

- Cuando se utilizan de acuerdo a los procedimientos recomendados (uso, desmontaje, análisis, mantenimiento y calibración), se espera que los sistemas E-PERM<sup>®</sup> proporcionen una excelente precisión (incertidumbre total inferior al 10%).

**Por favor, consulte nuestros otros manuales para obtener información técnica sobre la medición de radón en agua, suelo y gas natural.**



# Lector de Voltaje SPER-1E

## Estructura Física

Dimensiones	110,5 mm x 189 mm x 40,5 mm (4,35" x 7,44" x 1,6")
Material del lector	ABS de alto impacto
Masa + baterías	633 g (22,3 oz)

## Componentes de Medición

Electrodo (campo eléctrico)	Cobre de alta pureza
Receptáculo del electreto	Aluminio 6061

## Error

Medición de Voltaje del Electreto	$\pm 1$ voltio a escala completa
-----------------------------------	----------------------------------

## Condiciones Típicas de Operación

Temperatura	0 a 40 °C (32 a 104 °F)
Humedad Relativa	$\leq 75\%$ (sin condensación)
Lugar de Uso	Interiores
Altitud Máxima	$\leq 5 180$ m (17 000 ft)
Grado de Contaminación	2

## Interfaz de Usuario

Tipo de Pantalla	LCD Alfanumérica de 7 dígitos
Lectura de Voltaje de Electreto	$\leq 1 600$ Voltios
Encendido (ON)	Palanca del obturador
Apagado (OFF)	Apagado automático después de 2 minutos de inactividad
BATT LO	Voltaje de batería $\leq 2,25$ V
ER FAST	La palanca se jaló muy rápido
ER OPEN	El obturador se mantuvo abierto mucho tiempo
ERSLIDE	Error al abrir el obturador
ER SLOW	La palanca se jaló muy lento
ER WAIT	La lectura anterior aún no se borra

## Interfaces de entrada/salida (I/O)

Mini-USB	No habilitado / No usar
PS/2	No habilitado / No usar
RS-232 / Serial	Imprime la lectura de voltaje del electreto

## Fuente de Alimentación

Entrada	90 ~ 264 VCA
Salida	6 VCC, 2,5 A
Conector tipo Barril	1,35 mm ID x 3,5 mm OD x 10 mm L (0,05" ID x 0,14" OD x 0,39" L)
Polaridad	Centro Positivo
Baterías	2 x AA, 1,5 VCC, alcalinas

## Accesorios Incluidos

Electretos de Referencia (2)	Potencial estable típico de 250 V
Electreto de Calibración Cero	Potencial de 0 V, para calibración cero del lector
Recipiente del Desecante	Gel de sílice
Estuche Protector	Acolchado, ABS de alto impacto

**Si el SPER-1E se utiliza de una manera no especificada en este manual, las funciones de seguridad del equipo pueden verse comprometidas.**





## Cámara S

# SST

Electreto ST en Cámaras S

### Especificaciones Técnicas

#### Metodología y Propósito

La cámara integradora de iones con electreto (210 ml) optimizada para mediciones de radón a corto plazo que abarcan de 2 a 7 días.

#### Rango Máximo

Aproximadamente 12 580 Bq/m<sup>3</sup>-Días (340 pCi/L-Días) con electretos nuevos.

#### Concentración Mínima Medible

9,61 Bq/m<sup>3</sup> (0,26 pCi/L) a los 2 días

7,58 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 7 días

#### Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)

9,34% a los 2 días

5,99% a los 7 días

#### Error Esperado

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 30,42 Bq/m<sup>3</sup> (0,82 pCi/L) a los 2 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 132,24 Bq/m<sup>3</sup> (3,57 pCi/L) a los 2 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,95 Bq/m<sup>3</sup> (0,43 pCi/L) a los 7 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 50,52 Bq/m<sup>3</sup> (1,37 pCi/L) a los 7 días

#### Respuesta al Torón

Menos de 3%

#### Respuesta a la Radiación Gamma

16,28 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (5 µR/hr), contabilizado como correcciones en los cálculos

#### No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío



## Corto Plazo (ST)





## Cámara S

# SLT

Electreto LT en Cámaras S

## Especificaciones Técnicas



## Largo Plazo (LT)

### Metodología y Propósito

La cámara integradora de iones con electreto (210 ml) optimizada para mediciones de radón que abarcan de 30 a 120 días.

### Rango Máximo

Aproximadamente 146 900 Bq/m<sup>3</sup>-Días (3 970 pCi/L-Días) con electretos nuevos.

### Concentración Mínima Medible

8,39 Bq/m<sup>3</sup> (0,23 pCi/L) a los 30 días

7,49 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 120 días

### Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)

7,96% a los 30 días

5,77% a los 120 días

### Error Esperado

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 21,89 Bq/m<sup>3</sup> (0,59 pCi/L) a los 30 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 97,44 Bq/m<sup>3</sup> (2,63 pCi/L) a los 30 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,43 Bq/m<sup>3</sup> (0,42 pCi/L) a los 120 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 45,84 Bq/m<sup>3</sup> (1,24 pCi/L) a los 120 días

### Respuesta al Torón

Menos del 3%

### Respuesta a la Radiación Gamma

16,28 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (5 µR/hr), contabilizado como correcciones en los cálculos

### No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío





## Cámara L

# LST

Electreto ST en Cámaras L

## Especificaciones Técnicas



## Corto Plazo (ST)

### Metodología y Propósito

La cámara integradora de iones con electreto (58 ml) optimizada para mediciones de radón que abarcan de 30 a 91 días.

### Rango Máximo

Aproximadamente 64 861 Bq/m<sup>3</sup>-Días (1 753 pCi/L-Días) con electretos nuevos.

### Concentración Mínima Medible

7,53 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 30 días

7,44 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 91 días

### Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)

6,06% a los 30 días

5,62% a los 91 días

### Error Esperado

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,75 Bq/m<sup>3</sup> (0,43 pCi/L) a los 30 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 50,30 Bq/m<sup>3</sup> (1,36 pCi/L) a los 30 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,14 Bq/m<sup>3</sup> (0,41 pCi/L) a los 91 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 43,14 Bq/m<sup>3</sup> (1,17 pCi/L) a los 91 días

### Respuesta al Torón

Menos del 3%

### Respuesta a la Radiación Gamma

22,2 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (contabilizado como correcciones en los cálculos)

### No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío





## Cámara L

## LLT

Electreto LT en Cámaras L

### Especificaciones Técnicas



## Largo Plazo (LT)

### Metodología y Propósito

La cámara integradora de iones con electreto (58 ml) optimizada para mediciones de radón a largo plazo que abarcan de 91 a 365 días.

### Rango Máximo

Aproximadamente 785 880 Bq/m<sup>3</sup>-Días (21 240 pCi/L-Días) con electretos nuevos.

### Concentración Mínima Medible

8,41 Bq/m<sup>3</sup> (0,23 pCi/L) a los 91 días

7,49 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 365 días

### Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)

10,12% a los 91 días

5,97% a los 365 días

### Error Esperado

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 24,58 Bq/m<sup>3</sup> (0,66 pCi/L) a los 91 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 151,28 Bq/m<sup>3</sup> (4,09 pCi/L) a los 91 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,48 Bq/m<sup>3</sup> (0,42 pCi/L) a los 365 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 47,75 Bq/m<sup>3</sup> (1,29 pCi/L) a los 365 días

### Respuesta al Torón

Menos del 3%

### Respuesta a la Radiación Gamma

22,2 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (5 µR/hr), contabilizado como correcciones en los cálculos

### No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío





## Cámara L-00

# LST-00

Electreto ST en Cámaras L-00



## Corto Plazo (ST)

### Especificaciones Técnicas

#### Metodología y Propósito

La cámara integradora de iones con electreto (53 ml) con mecanismo de encendido/apagado optimizada para mediciones de radón que abarcan de 30 a 91 días.

#### Rango Máximo

Aproximadamente 2,151 pCi/L-Días (79,587 Bq/m<sup>3</sup>-Días) con electretos nuevos.

#### Concentración Mínima Medible

7,57 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 30 días

7,45 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 91 días

#### Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)

6,27% a los 30 días

5,67% a los 91 días

#### Error Esperado

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 16,05 Bq/m<sup>3</sup> (0,43 pCi/L) a los 30 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 54,15 Bq/m<sup>3</sup> (1,46 pCi/L) a los 30 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,20 Bq/m<sup>3</sup> (0,41 pCi/L) a los 91 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 43,86 Bq/m<sup>3</sup> (1,19 pCi/L) a los 91 días

#### Respuesta al Torón

Menos del 3%

#### Respuesta a la Radiación Gamma

22,2 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (5 µR/hr), contabilizado como correcciones en los cálculos

#### No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío





## Cámara L-00

# LMT-00

Electreto MT en Cámaras L-00



## Mediano Plazo (MT)

### Especificaciones Técnicas

#### Metodología y Propósito

La cámara integradora de iones con electreto (53 ml) con mecanismo de encendido/apagado optimizada para mediciones de radón que abarcan de 91 días.

#### Rango Máximo

Aproximadamente 269 693 Bq/m<sup>3</sup>-Días (7 289 pCi/L-Días) con electretos nuevos.

#### Concentración Mínima Medible

8,48 Bq/m<sup>3</sup> (0,23 pCi/L) a los 30 días

7,53 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 91 días

7,49 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 120 días

#### Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)

10,37% a los 30 días

6,29% a los 91 días

6,00% a los 120 días

#### Error Esperado

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 25,50 Bq/m<sup>3</sup> (0,69 pCi/L) a los 30 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 158,46 Bq/m<sup>3</sup> (4,28 pCi/L) a los 30 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,81 Bq/m<sup>3</sup> (0,43 pCi/L) a los 91 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 52,76 Bq/m<sup>3</sup> (1,43 pCi/L) a los 91 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,50 Bq/m<sup>3</sup> (0,42 pCi/L) a los 120 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 48,18 Bq/m<sup>3</sup> (1,30 pCi/L) a los 120 días

#### Respuesta al Torón

Menos del 3%

#### Respuesta a la Radiación Gamma

22,2 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (5 µR/hr), contabilizado como correcciones en los cálculos

#### No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío





## Cámara L-00

# LLT-00

Electreto LT en Cámaras L-00



## Largo Plazo (LT)

### Especificaciones Técnicas

#### **Metodología y Propósito**

La cámara integradora de iones con electreto (53 ml) con mecanismo de encendido/apagado optimizada para mediciones de radón a largo plazo.

#### **Rango Máximo**

Aproximadamente 979 575 Bq/m<sup>3</sup>-Días (26 475 pCi/L-Días) con electretos nuevos.

#### **Concentración Mínima Medible**

8,81 Bq/m<sup>3</sup> (0,24 pCi/L) a los 91 días

7,51 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 365 días

#### **Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)**

11,65% a los 91 días

6,14% a los 365 días

#### **Error Esperado**

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 30,61 Bq/m<sup>3</sup> (0,83 pCi/L) a los 91 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 195,24 Bq/m<sup>3</sup> (5,28 pCi/L) a los 91 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,61 Bq/m<sup>3</sup> (0,42 pCi/L) a los 365 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 49,99 Bq/m<sup>3</sup> (1,35 pCi/L) a los 365 días

#### **Respuesta al Torón**

Menos del 3%

#### **Respuesta a la Radiación Gamma**

22,2 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (5 µR/hr), contabilizado como correcciones en los cálculos

#### **No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)**

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío





**Cámara H**

## HST

Electreto ST en Cámaras H

### Especificaciones Técnicas



**Corto Plazo  
(ST)**

#### Metodología y Propósito

La cámara integradora de iones con electreto (960 ml) optimizada para mediciones de radón altamente sensibles a corto que abarcan de 1 a 2 días. Un rango dinámico bajo significa que se debe tener especial cuidado para garantizar que el electreto no se descargue.

#### Rango Máximo

Aproximadamente 2 146 Bq/m<sup>3</sup>-Días (58 pCi/L-Días) con electretos nuevos.

#### Concentración Mínima Medible

7,88 Bq/m<sup>3</sup> (0,21 pCi/L) al primer día

7,54 Bq/m<sup>3</sup> (0,20 pCi/L) a los 2 días

#### Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)

6,46% al primer día

5,82% a los 2 días

#### Error Esperado

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 17,72 Bq/m<sup>3</sup> (0,48 pCi/L) al primer día

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 62,61 Bq/m<sup>3</sup> (1,69 pCi/L) al primer día

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 15,70 Bq/m<sup>3</sup> (0,42 pCi/L) a los 2 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 47,57 Bq/m<sup>3</sup> (1,29 pCi/L) a los 2 días

#### Respuesta al Torón

Menos del 5%

#### Respuesta a la Radiación Gamma

12,95 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (5 µR/hr), contabilizado como correcciones en los cálculos

#### No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío





**Cámara H**

## HLT

Electreto LT en Cámaras H

### Especificaciones Técnicas



**Largo Plazo  
(LT)**

#### **Metodología y Propósito**

La cámara integradora de iones con electreto (960 ml) optimizada para mediciones de radón a corto plazo que abarcan de 7 a 14 días.

#### **Rango Máximo**

Aproximadamente 26 122 Bq/m<sup>3</sup>-Días (706 pCi/L-Días) con electretos nuevos.

#### **Concentración Mínima Medible**

8,84 Bq/m<sup>3</sup> (0,24 pCi/L) a los 7 días

7,74 Bq/m<sup>3</sup> (0,21 pCi/L) a los 14 días

#### **Error Total Esperado a 148 Bq/m<sup>3</sup> (4,0 pCi/L)**

7,84% a los 7 días

6,23% a los 14 días

#### **Error Esperado**

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 23,82 Bq/m<sup>3</sup> (0,64 pCi/L) a los 7 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 96,88 Bq/m<sup>3</sup> (2,62 pCi/L) a los 7 días

Menos del 25% de error para concentraciones mayores a 16,89 Bq/m<sup>3</sup> (0,46 pCi/L) a los 14 días

Menos del 10% de error para concentraciones mayores a 56,95 Bq/m<sup>3</sup> (1,54 pCi/L) a los 14 días

#### **Respuesta al Torón**

Menos del 5%

#### **Respuesta a la Radiación Gamma**

12,95 Bq/m<sup>3</sup> @ 43,48 nGy/hr (5 µR/hr), contabilizado como correcciones en los cálculos

#### **No Afectado Por (bajo condiciones normales típicamente encontradas en viviendas)**

Temperatura

Flujo de Aire

Luz Solar

Iones Ambientales

Polvo Ambiental

Humedad no condensante (menos de 100% de la humedad relativa)

Campos magnéticos (hasta 10 000 Gauss)

Voltajes (hasta 5 000 voltios)

Golpes durante la manipulación y envío



# Muestra del Informe



555 Bismuth Blvd.  
Frederick, MD 21704  
(555) 555-5555

## Radon Test Report

November 09, 2023  
Batch #: 110923-1

**Customer:**  
New Customer  
123 Main Street  
Frederick MD 21704

**Test Site:**  
123 Main Street  
Frederick MD 21704

E-PERM® Electret Ion Chambers were used for radon screening measurements that were conducted at the above referenced test site by: ABC Radon Testing Company

The Results are as follows:

Serial	Type	Location	Test Start Date	Test End Date	Results (pCi/L)
SAA001	SST	Basement	09-Nov-2023 12:00 PM	11-Nov-2023 12:53 PM	5.5
SAA002	SST	Basement	09-Nov-2023 12:00 PM	11-Nov-2023 12:53 PM	5.8
<b>Average Radon Concentration in:</b>			<b>Basement</b>		<b>5.6 pCi/L</b>
SAA003	SST	Game Room	09-Nov-2023 12:07 PM	11-Nov-2023 01:03 PM	3.3
<b>Average Radon Concentration in:</b>			<b>Game Room</b>		<b>3.3 pCi/L</b>
SAA004	SST	Upper Bedroom	09-Nov-2023 12:15 PM	11-Nov-2023 01:09 PM	1.1
<b>Average Radon Concentration in:</b>			<b>Upper Bedroom</b>		<b>1.1 pCi/L</b>

**Deployed By:** Radon Technician  
**Retrieved By:** Radon Technician  
**Analyzed By:** Radon Technician  
**Reader S/N:** E0001      **Reader Calibration Due:** 02-Nov-24  
**Conditions:** Requirements for Closed-Building Met  
**Tampering:** None Observed  
**Weather:** No Abnormal Weather Conditions  
**Vents:** Not Applicable / Fan Not Applicable  
**Mitigation:** No System Installed

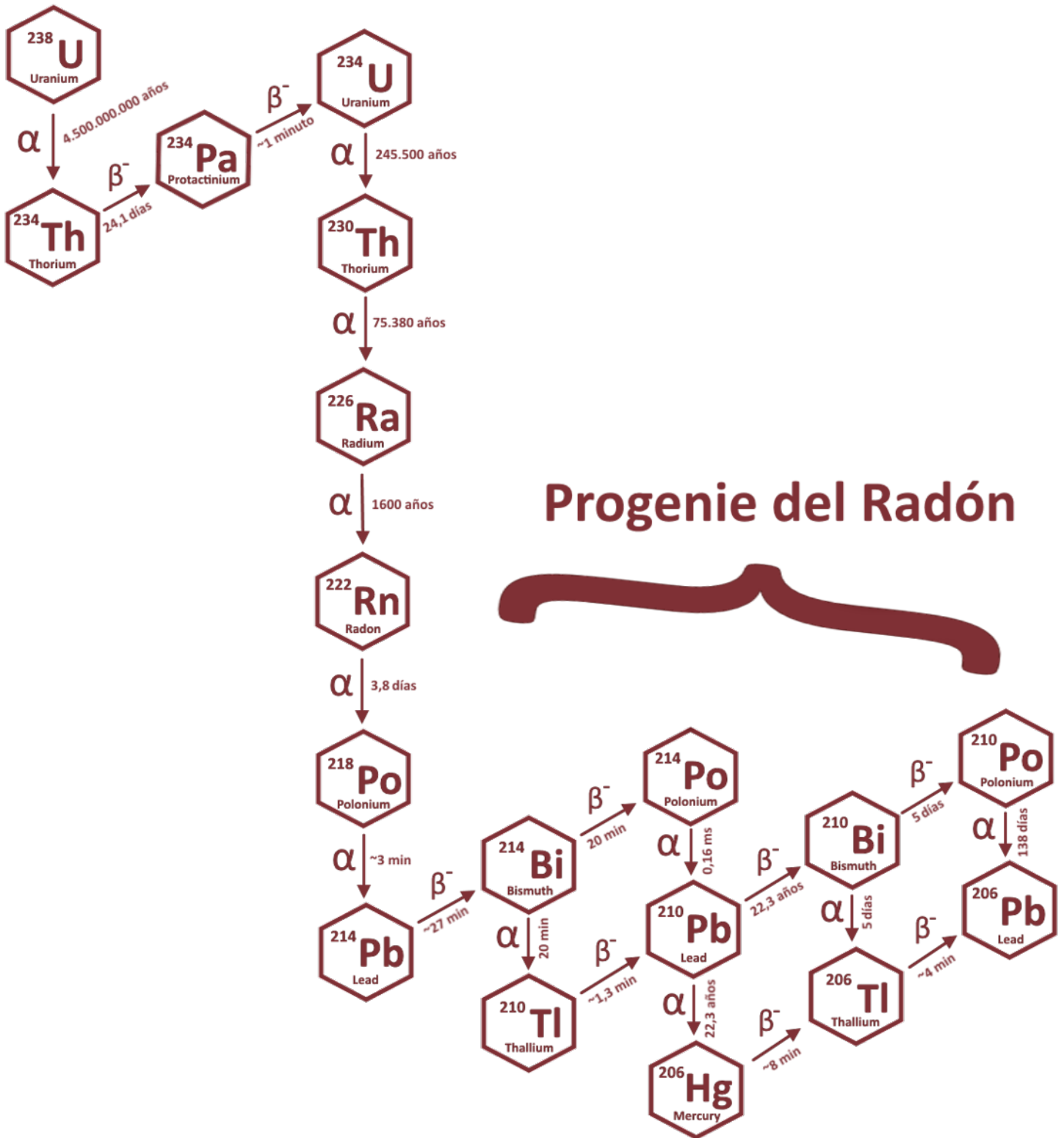
### Radon Health Risk Information

Radon is the second leading cause of lung cancer after smoking. The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) and the Surgeon General strongly recommend that further action be taken when a home's radon test results are 4.0 pCi/L or greater. The national average indoor radon level is about 1.3 pCi/L. The higher the home's radon level, the greater the health risk to you and your family. Reducing your radon levels can be done easily, effectively and fairly inexpensively. Even homes with very high radon levels can be reduced below 4.0 pCi/L. Please refer to the EPA website at [www.epa.gov/radon](http://www.epa.gov/radon) for further information to assist you in evaluating your test results or deciding if further action is needed.

Signature: Sample Signature      Date: 07-Dec-2023



# Cadena de Decaimiento del Radón



## Tabla de Estimación del Fondo Gamma

Estado	$\mu\text{R/hr}$	nGy/hr		Estado	$\mu\text{R/hr}$	nGy/hr
Alabama	6,5	56,6		Montana	8,6	74,8
Alaska	7,3	63,5		Nebraska	7,7	67,0
Arizona	8,0	69,6		Nevada	7,6	66,1
Arkansas	6,5	56,6		New Hampshire	7,4	64,4
California	6,6	57,4		New Jersey	7,1	61,8
Colorado	11,8	102,7		New Mexico	10,4	90,5
Connecticut	7,8	67,9		New York	7,3	63,5
District of Columbia	6,4	55,7		North Carolina	6,9	60,0
Delaware	6,1	53,1		North Dakota	7,8	67,9
Florida	5,3	46,1		Ohio	7,3	63,5
Georgia	7,0	60,9		Oklahoma	7,6	66,1
Hawaii	7,3	63,5		Oregon	7,4	64,4
Idaho	8,7	75,7		Pennsylvania	6,6	57,4
Illinois	7,1	61,8		Rhode Island	7,0	60,9
Indiana	7,4	64,4		South Carolina	6,7	58,3
Iowa	7,5	65,3		South Dakota	7,8	67,9
Kansas	7,7	67,0		Tennessee	6,9	60,0
Kentucky	7,3	63,5		Texas	6,1	53,1
Louisiana	5,4	47,0		Utah	9,3	80,9
Maine	7,5	65,3		Vermont	7,4	64,4
Maryland	6,2	53,9	Virginia	6,4	55,7	
Massachusetts	7,3	63,5	Washington	7,4	64,4	
Michigan	7,4	64,4	West Virginia	7,7	67,0	
Minnesota	7,4	64,4	Wisconsin	7,5	65,3	
Mississippi	5,4	47,0	Wyoming	10,4	90,5	
Missouri	7,4	64,4				
Provincia	$\mu\text{R/hr}$	nGy/hr		Provincia	$\mu\text{R/hr}$	nGy/hr
Alberta	8,6	74,8		Nunavut	7,6	66,1
British Columbia	8,0	69,6		Ontario	7,4	64,4
Manitoba	7,6	66,1		Prince Edward Island	7,5	65,3
New Brunswick	7,5	65,3		Quebec	7,5	65,3
Newfoundland & Labrador	7,5	65,3		Saskatchewan	8,2	71,3
Nova Scotia	7,5	65,3		Yukon	8,0	69,6
Northwest Territories	8,4	73,1				



## Glosario

Término	Definición
<b>Cámara de Iones</b>	Una cámara de iones está construida de plástico eléctricamente conductor y posee un volumen bien definido que sirve para que ocurra la ionización cuando se combina con un electreto. Cuando se monta un electreto en una cámara de iones, se crea una <b>cámara de iones con electreto</b> . A medida que aumenta el volumen de una cámara de iones, también lo hace su sensibilidad al radón. Rad Elec fabrica varios modelos diferentes de cámaras de iones.
<b>Cámara de Iones con Electreto (EIC)</b>	Un monitor de ionización integradora pasiva que consiste en un electreto estable montado dentro de una cámara de iones que está construida de plástico eléctricamente conductor. Al momento de montar un electreto en una cámara, se convierte en una cámara de iones con electreto. Sinónimo de sistema E-PERM®.
<b>Cámara H</b>	Una cámara de iones grande (960 mL). Se emplea casi exclusivamente para períodos de exposición muy cortos, o en entornos donde se necesita medir con precisión concentraciones bajas de radón. También se puede modificar para ser un monitor de flujo para mediciones de flujo de radón al aire libre. No se ve afectada por la elevación.
<b>Cámara L</b>	Una cámara de iones pequeña (58 mL). Se utiliza comúnmente para períodos de exposición más largos.
<b>Cámara L-OO</b>	Una cámara de iones pequeña (53 mL). Un mecanismo deslizante de encendido y apagado permite que esta cámara de iones inicie y detenga las exposiciones fácilmente. Se utiliza comúnmente para períodos de exposición más largos.
<b>Cámara S</b>	Una cámara de iones de tamaño mediano (210 mL). Una tapa con resorte permite que se inicien y detengan fácilmente las exposiciones. Se utiliza comúnmente para períodos de exposición más cortos que van desde unos pocos días hasta varias semanas.
<b>Campo de Electromagnético (EMF)</b>	Una región localizada de propiedades eléctricas y magnéticas distintas producidas por el movimiento de carga eléctrica. Ocurre debido a fuentes tanto naturales (el campo magnético de la Tierra) como artificiales (redes eléctricas). Las frecuencias desde las más bajas a medias (ondas de radio, señales WiFi, microondas) son radiación no ionizante y no afectan a las cámaras de iones con electreto.
<b>Concentración de Radón</b>	La cantidad de radón presente en un entorno. En los Estados Unidos, generalmente se mide en pCi/L, mientras que el resto del mundo lo mide en Bq/m <sup>3</sup> .



<b>Concentración Mínima Medible (MMC)</b>	La concentración más baja de radón que se puede medir dentro de un cierto rango de incertidumbre (típicamente del 10%, 25% y 50%). Con una incertidumbre del 50%, esto es sinónimo del <b>Límite Inferior de Detección</b> .
<b>Condiciones de Edificio Cerrado</b>	La práctica de asegurar que todas las puertas, ventanas y aberturas permanezcan cerradas durante una prueba de radón a corto plazo (definida como cualquier prueba que dure menos de 91 días). Todas las pruebas de radón a corto plazo deben mantener condiciones de edificio cerrado durante la prueba o medición de radón. Para las pruebas de radón que son más cortas que 96 horas, las condiciones de edificio cerrado deben mantenerse 12 horas antes de comenzar la prueba.
<b>Descarga de Voltaje Intrínseca (IVD)</b>	La tasa de descarga de voltaje latente (o pasiva) para electretos, incluso cuando se almacenan. Este es un valor muy pequeño, que varía de 0,022223 (LT) a 0,066667 (ST) voltios por día. Las constantes IVD se incluyen en los algoritmos para los EIC.
<b>Desecante</b>	Un contenedor cuyo trabajo es absorber la humedad del aire, manteniendo así una humedad muy baja en un ambiente dado. Hay un desecante en el estuche de almacenamiento del lector de voltaje SPER-1E. Debe ser revisado cada pocos meses y ocasionalmente "recargado" horneándolo a baja temperatura durante unas pocas horas.
<b>Duplicado</b>	Un duplicado es una práctica de aseguramiento de la calidad en la que se usa simultáneamente una cámara de iones con electreto junto con otro dispositivo de medición de radón (es decir, en el mismo lugar con fechas/horas de inicio y finalización idénticas). Los duplicados miden la precisión y deben representar el 10% (1 de cada 10) del total de detectores usados.
<b>E-PERM®</b>	Un acrónimo de Monitor Pasivo de Radón Ambiental con Electreto. Ver <b>Cámara de Iones con Electreto</b> .
<b>E-RPISU®</b>	Un acrónimo de Unidad de Muestreo Integrado de Progenie de Radón con Electreto. Es un instrumento fabricado por Rad Elec que se utiliza para medir la concentración de radón, la progenie de radón y la relación de equilibrio de un entorno dado.
<b>EIC</b>	Ver <b>Cámara de Iones con Electreto</b> .
<b>Electreto</b>	Un disco de Teflón® que ha sido cargado eléctricamente y procesado de manera que permanezca estable en una amplia gama de humedades y temperaturas. Cuando se monte en una cámara de iones, atraerá iones y perderá voltaje (lo que permite medir la concentración de radón). Rad Elec fabrica tres tipos distintos de electretos, cada uno con su propia sensibilidad.



<b>Electreto de Calibración Cero</b>	Un electreto con una superficie de acero inoxidable que no tiene voltaje. Siempre debería leer aproximadamente cero voltios. Junto con los electretos de referencia, el electreto de calibración cero puede usarse para asegurar que su lector de voltaje SPER-1E esté funcionando correctamente.
<b>Electreto LT</b>	Electreto de largo plazo indicado con una etiqueta roja y cuyos números de serie comienzan con la letra "L". Estos electretos son aproximadamente 10 veces menos sensibles que los electretos de corto plazo, lo que los hace ideales para exposiciones y/o entornos de radiación ionizante de larga duración. Dependiendo de la configuración específica del sistema E-PERM®, un Electreto LT puede ser usado desde unos pocos meses hasta un año o más. Se pueden emparejar con todas las cámaras de iones de Rad Elec.
<b>Electreto MT</b>	Electreto de medio plazo indicado con una etiqueta guinda y cuyos números de serie comienzan con la letra "M". Estos electretos tienen una sensibilidad aproximadamente entre un electreto de largo plazo (LT) y uno de corto plazo (ST). Actualmente <i>solo</i> se puede emparejar con una cámara L-OO y se utiliza para pruebas de radón que duran aproximadamente tres meses hasta alrededor de un año.
<b>Electreto ST</b>	Electreto de corto plazo indicado con una etiqueta azul y cuyos números de serie comienzan con la letra "S". Estos electretos son muy sensibles y pueden producir una caracterización de alta resolución del entorno de radiación ionizante en un período de exposición corto, que típicamente va de dos a 90 días. Se pueden emparejar con todas las cámaras de iones de Rad Elec.
<b>Electretos de Referencia</b>	Electretos de baja tensión que se fabrican para ser extremadamente estables. Dos electretos de referencia se emparejan con un lector de voltaje SPER-1E. Debido a que sus voltajes están certificados, se pueden usar para garantizar que el lector funcione correctamente. Son exclusivamente para fines de QA/QC; no se pueden usar para medir radón.
<b>Factor de Calibración (CF)</b>	Un valor que se deriva de la configuración específica un sistema E-PERM y del voltaje promedio de una exposición específica. Después de ser calculado, el factor de calibración representa la pérdida de voltaje específica de una cámara de iones con electreto por picocurie por litro (pCi/L) cada 24 horas.
<b>Fracción no Adherida</b>	La cantidad de progenie (generalmente polonio-218) que no se ha adherido a partículas grandes (como polvo) en el entorno. Es altamente difusivo y tiene propiedades que lo hacen distinto de la fracción adherida.



<b>Gamma (<math>\gamma</math>)</b>	El fondo gamma ( $\gamma$ ) es una forma altamente penetrante de radiación electromagnética ionizante que debe estimarse o medirse para las mediciones de la cámara de iones con electreto.
<b>Guia USEPA</b>	La USEPA originalmente estableció un umbral público para la exposición a la progenie del radón en 0,02 WL ("Working Level"), con un límite correspondiente de 4,0 pCi/L para el gas de radón. Este umbral asumió una proporción de equilibrio del 50%. La USEPA posteriormente modificó el nivel de orientación a 0,016 WL (que asume una proporción de equilibrio del 40%) para reflejar más precisamente los modelos actuales sobre los efectos para la salud atribuibles al gas de radón.
<b>HLT</b>	Una configuración del sistema E-PERM® que comprende un electreto a largo plazo (LT) montado en una Cámara H.
<b>HST</b>	Una configuración del sistema E-PERM® que comprende un electreto a corto plazo (ST) montado en una Cámara H.
<b>Incertidumbre</b>	Un rango que representa los posibles valores verdaderos con una probabilidad declarada. Con esto en mente, el rango de incertidumbre indica la confiabilidad de una medición específica.
<b>Jaula Faraday</b>	Un recinto utilizado para proteger algo contra campos electromagnéticos (EMFs). En el contexto de las cámaras de iones con electreto, las cámaras de iones están construidas de plástico eléctricamente conductor que protege al electreto de los EMFs externos.
<b>Lector</b>	Nombre corto para el voltímetro SPER-1E, que se utiliza para leer electretos. Ver <b>SPER-1E</b> .
<b>Límite Inferior de Detección (LLD)</b>	Los límites matemáticos de la metodología de detección, por debajo de los cuales la incertidumbre total supera el 50%. Esta es la concentración de radón más baja que se puede medir y suele estar alrededor de $\sim 8$ Bq/m <sup>3</sup> (0,2 pCi/L) para las diversas configuraciones del sistema E-PERM®.
<b>LLT</b>	Una configuración del sistema E-PERM® que comprende un electreto LT montado en una Cámara L. Debido a que no tiene un mecanismo de encendido/apagado, el electreto debe montarse en la Cámara L poco antes de su uso.
<b>LLT-OO</b>	Una configuración del sistema E-PERM® que comprende un electreto LT montado en una Cámara L-OO. Esta es la configuración menos sensible y está destinada a pruebas de radón extremadamente largas (de 6 meses a más de un año).
<b>LMT-OO</b>	Una configuración del sistema E-PERM® que comprende un electreto MT montado en una Cámara L-OO. Esta configuración está optimizada para exposiciones de 91 días.



<b>LST</b>	Una configuración del sistema E-PERM® que comprende un electreto ST montado en una Cámara L. Debido a que no tiene un mecanismo de encendido/apagado, el electreto debe montarse en la Cámara L poco antes de su uso.
<b>LST-OO</b>	Una configuración del sistema E-PERM que comprende un electreto ST montado en una Cámara L-OO. Esta configuración suele usarse durante unas semanas hasta un mes.
<b>LT</b>	Ver <b>Electreto LT</b> .
<b>Malla de Alambre</b>	El filtro de malla de alambre (integrado en la cabeza del filtro de la cámara de la progenie) se utiliza al medir la fracción no adherida. Cuando se realiza una prueba de la fracción no adherida, se recomienda usar un E-RPISU® estándar (con el papel de filtro normal) junto con el E-RPISU® de malla de alambre.
<b>Nivel de Acción</b>	El umbral de concentración ambiental en el que se recomienda la mitigación (u otra acción remedial apropiada). En los Estados Unidos, la USEPA ha establecido un nivel de acción de 4,0 pCi/L para el gas radón y 0.016 WL para la progenie. La USEPA recomienda considerar la mitigación si la concentración ambiental está entre 2,0 y 4,0 pCi/L, y estima que la concentración promedio de radón en interiores es aproximadamente de 1,3 pCi/L.
<b>Plate Out</b>	La progenie de radón (que, a diferencia del radón, son sólidos) puede adherirse a objetos físicos en el entorno. Si la progenie se adhiere a paredes, pisos, muebles o filtros, está efectivamente en modo "plated out" (y ya no se considera un riesgo para la salud, ya que no hay posibilidad de inhalarlo).
<b>Progenie</b>	Los productos debido al decaimiento natural del radón con una vida media combinada de aproximadamente 50 minutos; a diferencia del radón, todos son sólidos. Si se inhalan, existe una probabilidad significativa de que se incrusten en los pulmones. Los principales riesgos para la salud a corto plazo de la progenie del radón son el Polonio-218 (con una vida media de aproximadamente 3 minutos) y el Polonio-214 (con una vida media de menos de un segundo).
<b>QA/QC</b>	Garantía de la calidad y Control de calidad. QA/QC es la práctica de asegurarse de que su negocio de pruebas de radón cumpla con los estándares de la industria mediante la realización de controles rutinarios (como el uso de "duplicados", "tránsito" y pruebas pico) e identificando cualquier posible problema. La Garantía de la calidad está orientado al proceso (para evitar problemas antes de que ocurran), mientras que el control de calidad está más orientado al producto (para identificar y corregir problemas después de que hayan ocurrido).



<b>Radón</b>	Un gas inerte, noble y radiactivo que es parte de la cadena de decaimiento del uranio con una vida media de aproximadamente 3,8 días; a temperaturas y presiones terrestres, es notable por ser el único gas en esta cadena de descomposición, ya que de otro modo sería sólida. El radón es invisible e inodoro, y no se puede detectar sin métodos de prueba adecuados. Es la segunda causa principal de cáncer de pulmón después del tabaquismo.
<b>Rango Dinámico</b>	La concentración total de radón que una cámara de iones con electreto específica puede medir a lo largo de su vida útil (con un rango que va de 100 a 750 voltios). A medida que el voltaje superficial de un electreto disminuye, su rango dinámico también disminuirá. El rango dinámico se expresa típicamente en pCi/L-Días.
<b>Relación de Equilibrio (ER)</b>	La proporción de progenie en un entorno que se puede inhalar. Si la Relación de Equilibrio es del 15%, esto significa que el 15% de la progenie ambiental está efectivamente "aerosolizada" (adherida a partículas en el aire) y se puede inhalar, mientras que el 85% restante se ha adherido a las paredes del entorno, muebles, filtros, etc. La RE se expresa como un porcentaje; generalmente se asume que está entre el 40 y el 50%.
<b>SLT</b>	Una configuración del sistema E-PERM® que comprende un electreto LT montado en una Cámara S.
<b>SPER-1E</b>	El SPER-1E es la generación actual del Lector de Electretos de Voltaje Superficial. Comúnmente llamado "lector", este instrumento es un voltímetro de alta precisión y sin contacto utilizado para medir el potencial superficial del electreto (voltaje).
<b>SST</b>	Una configuración del sistema E-PERM que comprende un electreto ST montado en una Cámara S.
<b>ST</b>	Ver <b>Electreto ST</b> .
<b>Tapa Protectora</b>	Una tapa con rosca que se puede enroscarse en los electretos para almacenarlos durante largos períodos de tiempo. Cada electreto viene con su propia tapa protectora, aunque estas tapas son intercambiables entre todos los electretos.
<b>Tránsito</b>	"Tránsito" es una práctica de aseguramiento de la calidad en la que se prepara una cámara de iones con electreto para su uso, pero se deja en la posición cerrada. Por esto, no perderá voltaje debido al radón. Básicamente, esta es una práctica de aseguramiento de la calidad para asegurar que su análisis sea capaz de medir la ausencia de radón. Los de tránsito deben representar el 5% (1 de cada 20) del total de detectores usados.



<b>Voltaje Final (FV)</b>	La carga superficial de un electreto medida por un lector de voltaje SPER-1E <i>después</i> de ser usado para una prueba específica de radón. Se necesitan tanto los valores IV como FV para calcular la concentración de radón.
<b>Voltaje Inicial (IV)</b>	La carga superficial de un electreto medida por un lector de voltaje SPER-1E <i>antes</i> de ser usado para una prueba específica de radón. Se necesitan tanto los valores IV como FV para calcular la concentración de radón.
<b>Voltaje Superficial</b>	La carga eléctrica positiva presente en la superficie de un electreto. Este valor generalmente oscila entre 0 y 750, aunque Rad Elec recomienda retirar los electretos cuyos potenciales superficiales hayan caído por debajo de 100 voltios. También llamado <b>carga superficial</b> .
<b>"Working Level" (WL)</b>	La unidad utilizada para mostrar la concentración de productos de decaimiento radioactiva del radón en un entorno dado. ¡Esto es diferente de la concentración de radón!
<b>"Working Level" Neto</b>	El "working level" neto representa la concentración de la progenie radioactiva después de que se haya restado el ruido de fondo (como el de los rayos gamma y el radón). Este es el valor que representa con mayor precisión la concentración de progenie en un entorno dado.



## Referencias

- Caresana, M., et al. "Uncertainties Evaluation for Electrets Based Devices Used in Radon Detection." *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 113, Issue 1, 18 April 2005, pp. 64-69.
- Kotrappa, P., and L.R. Stieff. "Elevation Correction Factors for E-PERM Radon Monitors." *Health Physics*, Volume 62, No. 1, January 1992, pp. 82-86.
- Kotrappa, P., et al. "A Practical E-PERM® (Electret Passive Environmental Radon Monitor) System for Indoor <sup>222</sup>Rn Measurement." *Health Physics*, Volume 58, No. 4, April 1990, pp. 461-467.
- Kotrappa, P., et al. "Advanced Calibration Equations for E-PERM® Electret Ion Chambers." *Proceedings of the 2013 International Radon Symposium*, September 2013, pp. 10-19.
- Kotrappa, P., et al. "An Advanced E-PERM® System for Simultaneous Measurement of Concentrations of Radon Gas, Radon Progeny, Equilibrium Ratio and Unattached Radon Progeny." *Proceedings of the 2003 International Radon Symposium – Volume II*, October 2003.
- Kotrappa, P., et al. "An Electret Passive Environmental <sup>222</sup>Rn Monitor Based on Ionization Measurement." *Health Physics*, Volume 54, No. 1, January 1988, pp. 47-56.
- Kotrappa, P., et al. "Performance of Electret Ionization Chambers in Magnetic Field." *Health Physics*, Volume 90, No. 4, April 2006, pp. 386-389.
- Sun, Kainan, et al. "Field Comparison of Commercially Available Short-Term Radon Detectors." *Health Physics*, Volume 91, No. 3, September 2006, pp. 221-226.
- Vargas, A., and X. Ortega. "Influence of Environmental Changes on Integrating Radon Detectors: Results of an Intercomparison Exercise." *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 123, Issue 4, March 2007, pp. 529-536.
- Welch, Lawrence E., et al. "Evaluating the E-PERM RT Chamber for Use Measuring Rn-220 in a Cave Environment." *Radon and Vapor Intrusion Symposium, 2022 Indoor Environments (AARST)*.

**Por favor, revisa la sección Publicaciones de nuestro sitio web. Hay una cantidad considerable de documentos de investigación y artículos sobre cámaras de iones con electretos.**



## Epílogo

Si llegaste hasta aquí, gracias por leer el Manual del Usuario del Sistema E-PERM®. Este manual sirve como nuestro documento principal y es muy importante para nosotros en Rad Elec elaborar una guía que esté bien organizada y sea útil. Todos estamos dedicados a escuchar las sugerencias de nuestros clientes, así que contáctenos si tiene algún comentario para mejorar este manual y/o nuestro sistema de medición.

Esperemos que encuentre a las cámaras de iones con electretos como una metodología precisa, versátil y altamente adaptable para las pruebas de radón. Si desea aprender más sobre las diversas aplicaciones e investigaciones detrás de las cámaras de iones con electretos, lo invitamos a visitar la sección [Publications](#) de nuestra página web.

¡Por favor contáctenos si tiene alguna pregunta, inquietud, o ideas brillantes!

