

# **FOLLETO 73**

## *Equipos de Monitoreo Atmosféricos Para Cloro*

**Edición 9 – Marzo, 2021**

**CHLORINE INSTITUTE PAMPHLET 73**

The Chlorine Institute 1300 Wilson Boulevard, Suite 525, Arlington, VA 22209



## Tabla de Contenidos

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.1. ALCANCE.....	3
1.2. PROGRAMA DE GESTIÓN DEL INSTITUTO DEL CLORO.....	3
1.3. DEFINICIONES Y ACRÓNIMOS.....	3
1.4. RENUNCIA DE RESPONSABILIDADES.....	7
1.5. APROBACIÓN.....	8
1.6. REVISIONES.....	8
1.7. METODOLOGÍA.....	8
1.8. REPRODUCCIÓN.....	8
<b>2. REGULACIONES</b> .....	<b>9</b>
<b>3. ALERTA PARA TRABAJADORES/COMUNIDADES</b> .....	<b>9</b>
<b>4. DISEÑO DEL SISTEMA</b> .....	<b>10</b>
4.1. OBJETIVO.....	10
4.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES.....	10
4.3. INTERFAZ CON EL OPERADOR.....	11
<b>5. SELECCIÓN DEL MONITOR DE CLORO</b> .....	<b>12</b>
5.1. REQUISITOS/CAPACIDADES.....	12
5.2. TIPOS DE MONITORES.....	13
5.3. TECNOLOGÍA DE LOS SENSORES.....	14
5.4. PRECISION Y FIABILIDAD.....	16
5.5. MEDIO AMBIENTE.....	17
5.6. CONFIABILIDAD.....	18
<b>6. INSTALACIÓN</b> .....	<b>20</b>
6.1. TIPOS DE SEÑAL.....	20
6.2. CABLEADO Y SUMINISTRO DE ENERGIA.....	21
6.3. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES.....	21
6.4. UBICACIÓN DE LOS SENSORES.....	22
<b>7. MANTENIMIENTO</b> .....	<b>23</b>
<b>8. CALIBRACIÓN</b> .....	<b>23</b>
<b>9. PROCEDIMIENTO RECOMENDADO DE EVALUACIÓN</b> .....	<b>26</b>
9.1. CONSIDERACIONES.....	26
9.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	26

<b>10. REFERENCIAS .....</b>	<b>27</b>
10.1.    REFERENCIAS DEL INSTITUTO DEL CLORO .....	27
10.2.    PUBLICACIONES VARIAS.....	28
<b>APÉNDICE A - ENCUESTA DE MONITORES DEL CLORO 2020 .....</b>	<b>29</b>
<b>APÉNDICE B - LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECKLIST) DEL FOLLETO 73 .....</b>	<b>33</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ALCANCE

Este folleto está destinado a ayudar en la selección, instalación, mantenimiento, calibración y operación segura de los monitores fijos de cloro. Los monitores personales están fuera del alcance de este folleto.

### 1.2. PROGRAMA DE GESTIÓN DEL INSTITUTO DEL CLORO

El Instituto del Cloro existe para apoyar a la industria del cloro-álcali en el proceso de producción, distribución y uso seguros, compatibles con el medio ambiente y sostenibles de sus productos químicos.

Los miembros del Instituto del Cloro se comprometen a adoptar las iniciativas de seguridad y gestión del Cl, incluidos los folletos, las listas de comprobación y el intercambio de incidentes, que ayudarán a los miembros a conseguir una mejora cuantificable. Para más información sobre el programa de gestión del Instituto, visite la página web del Cl en [www.chlorineinstitute.org](http://www.chlorineinstitute.org)

### 1.3. DEFINICIONES Y ACRÓNIMOS

A continuación, se definen los términos utilizados en este folleto:

precisión	Corrección absoluta de la respuesta del analizador.
monitor de alarma	Detecta la presencia de cloro y activa una alarma si la concentración supera un límite preestablecido.
aire ambiente	Gas atmosférico que controla el analizador de cloro.
amperométrico	Sensor de tipo electrolítico que utiliza electrodos contadores y sensores para detectar el gas cloro.
aire respirable	Aire que ha sido probado y certificado como de calidad para su uso con fines respiratorios o de asistencia a la respiración.
zona respiratoria	La altura por encima de una superficie para caminar que el personal de la zona obtendría su aire para respirar.
CAER	<b>Community Awareness and Emergency Response Program</b> <i>Programa de concienciación comunitaria y respuesta a emergencias</i>
calibración	Procedimiento por el cual el monitor se ajusta a una concentración conocida para permitir resultados significativos.

---

cloro	Cloro como Cl <sub>2</sub> y sus especies de oxiácidos; HOCl, ClO <sub>2</sub> , etc.
colorimétrico	Método de análisis que utiliza un colorímetro como detector.
coulometrica	Metodología que utiliza un potencial inicialmente fijo aplicado a través de electrodos en contacto con un electrolito de soporte para detectar el gas cloro.
CPVC	Policloruro de vinilo clorado
corriente	Flujo de electrones
Enlace en cadenas	Una forma de conectar los cables del transmisor o del monitor que es similar al cableado en serie.
DCS	Sistema de Control Distribuido
difusión	Movimiento de gas a través de una membrana, electrolito, filtro u otro medio de soporte.
Modelo de dispersión	Técnica utilizada para identificar la posible ruta de migración de las emisiones de cloro. Esta información puede ser útil para determinar las ubicaciones óptimas de los monitores de cloro de punto fijo.
Sistema de control distribuido	Sistema informático que utiliza las salidas de los monitores para realizar otra función, como activar alarmas, realizar cálculos de concentración, etc.
electroquímico	Metodología que utiliza un electrolito y electrodos para la detección de cloro.
electrólisis	Normalmente una solución saturada de KBr, KCl, CaBr <sub>2</sub> o KI en la que se colocan los electrodos.
EPA	<b>Environment Protection Agency (U.S.)</b> <i>Agencia de Protección del Medio Ambiente</i>
EPCRA	<b>Emergency Planning and Community Right to Know Act, Title III - Superfund Amendments and Reauthorization Act (40 CFR 355).</b> <i>Ley de Planificación de Emergencias y Derecho a Saber de la Comunidad</i>
monitor fijo	Monitor de cloro utilizado para identificar las emisiones de gas de cloro en un lugar predeterminado.
Sensor líquido	Sensor de tipo electroquímico con electrolito líquido.
Emisión fugitiva	Liberación de gas de equipos presurizados debido a fugas

---

	y liberaciones involuntarias, fuente como una brida.
Sensor de gel	Sensor de tipo electroquímico con electrolito de gel.
HART	<b>Highway Addressable Remote Transducer</b> <i>Transductor remoto direccionable de carretera</i>
Detección de fuga	Identificación de una emisión de cloro.
microprocesador	Un ordenador que evalúa los resultados de los monitores de cloro y realiza tareas adicionales con los resultados, como el cálculo del volumen
NCASI	The <b>National Council for Air and Stream Improvement, Inc.</b> <i>Consejo Nacional para la Mejora del Aire y las Corrientes</i>
Interferencia negativa	Respuesta no deseada de un monitor de cloro que hace que el resultado sea inferior al valor real.
NIST	<b>National Institute of Standards and Technology (U.S.),</b> Instituto Nacional de Normas y Tecnología (EE. UU) la agencia tecnológica federal que trabaja con la industria para desarrollar y aplicar tecnología, medidas y normas
Ley de Ohm	Voltaje = corriente x resistencia.
oxidación	Pérdida de electrones.
oxidante	En relación con los monitores de cloro: ozono, dióxido de cloro, flúor, bromo, yodo, óxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno.
OSHA	<b>Occupational Safety and Health Administration (U.S.)</b> <i>Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo (EE.UU.)</i>
PEL	<b>Permissible Exposure Limit</b> <i>Límite de exposición admisible</i>
Monitor de cloro perimetral	Monitor de detección de cloro con sensores situados alrededor de una parte o de toda una planta en funcionamiento.
Monitor personal	Placa de monitorización del personal o monitor de cloro tipo bomba que se lleva encima para detectar el cloro.
fotoeléctrico	Método de análisis que utiliza un detector fotoeléctrico.
Punto fuente	Término utilizado para describir una fuente de fuga

---

	potencial que está siendo monitoreada.
Interferencia positiva	Respuesta no deseada de un monitor de cloro que hace que el resultado sea mayor que el valor real.
potenciométrica	Metodología en la que se desarrolla un potencial de electrodo entre electrodos sensibles a los iones.
ppm	Parte por millón
precisión	Repetibilidad de la respuesta del monitor de cloro a la misma concentración de gas cloro.
Mantenimiento preventivo	Mantenimiento realizado de forma rutinaria para aumentar el rendimiento de un sistema de vigilancia.
PSM	<b>Process Safety Management</b> <i>Gestión de la seguridad de los procesos</i>
PVC	Policloruro de vinilo
Calibración cualitativa	Prueba realizada para garantizar que el monitor responde al gas cloro.
reductor	Un reactivo químico capaz de reducir el cloro, por ejemplo, el sulfuro de hidrógeno, el cloruro de hidrógeno y el dióxido de azufre.
Humedad relativa	Relación entre la cantidad real de vapor de agua presente en el aire y la cantidad máxima posible a la misma temperatura.
confiabilidad	La cantidad relativa de tiempo que un monitor funciona sin necesidad de mantenimiento o calibración.
resistencia	Propiedad de un material que se opone al flujo de la corriente eléctrica.
RMP	<b>Risk Management Program</b> <i>Programa de gestión de riesgos</i>
Punto de muestreo	Localización del lugar de monitoreo del sensor de cloro
autocomprobación	Opción que permite al monitor verificar su funcionamiento.
semiconductor	En particular, un compuesto de óxido metálico patentado que se utiliza en los sensores de cloro de estado sólido.
sensor	Sonda o dispositivo que detecta el cloro.



---

Estado solido	Tipo de semiconductor de óxido metálico utilizado para la detección de cloro.
monitor de fuente de cloro	Monitor de cloro utilizado para identificar emisiones de cloro gaseoso de una fuente en particular, como una válvula, una chimenea de ventilación, etc.
espectrómetro	Metodología que utiliza un espectrómetro como detector.
velocidad de respuesta	Tempo en el que el sensor se expone por primera vez al cloro hasta que alcanza el 90% de su respuesta.
monitor de gases de chimenea	Un monitor utilizado para detectar las concentraciones de cloro en una chimenea de venteo.
monitor de encuesta	Instrumento portátil utilizado para comprobar las concentraciones de cloro en lugares específicos.
transmisor	Dispositivo que envía una salida a otro dispositivo en el que se puede controlar.
UHF	<b>Ultra High Frequency</b> <i>Frecuencia ultra alta</i>
VHF	<b>Very High Frequency</b> <i>Muy alta frecuencia</i>
voltimétrico	Metodología que utiliza un potencial fijo aplicado a través de dos electrodos dentro de un electrolito para la detección de cloro.
4-20 mA	Los lazos de corriente de 4-20 mA se utilizan habitualmente para la señalización electrónica, con los dos valores de 4 & 20 mA que representan el 0-100% del rango de medición o control. Estos lazos se utilizan tanto para transportar la información del sensor desde la instrumentación de campo, como para llevar las señales de control a los dispositivos de modulación del proceso, como una válvula.

#### 1.4. RENUNCIA DE RESPONSABILIDADES

La información en este manual proviene de fuentes que se consideran confiables. El Chlorine Institute y sus miembros, conjunta y solidariamente, no garantizan ni asumen ninguna responsabilidad en relación con esta información. Además, no se debe suponer que se incluyen todos los procedimientos aceptables, o que circunstancias especiales pueden no justificar procedimientos modificados o adicionales. El usuario debe tener en cuenta que los cambios en la tecnología o los reglamentos pueden requerir modificaciones en las recomendaciones contenidas en este documento. Se deben de tomar los pasos apropiados para garantizar que la información sea la más actualizada cuando esta se utilice. Estas recomendaciones

no deben de confundirse con los requerimientos federales, estatales, municipales, o de seguros, ni con las normas de nacionales de seguridad. **ACLARACIÓN:** La versión en español es una traducción de la versión original en inglés, esta traducción solo sirve con fines informativos. En caso de discrepancia prevalecerá la versión en inglés

#### 1.5. APROBACIÓN

El Equipo Temático de Salud, Medio Ambiente, Seguridad y Protección del Instituto aprobó este folleto el 24 de marzo de 2021.

#### 1.6. REVISIONES

Las sugerencias de revisión deben dirigirse al Secretariado del Instituto por escrito a [secretary@CL2.com](mailto:secretary@CL2.com)

Modificaciones significativas en la edición actual

Este folleto se ha actualizado para incluir los resultados de la encuesta sobre el uso de monitores de cloro de 2020. Se ha añadido orientación adicional a las siguientes secciones:

- Sección 2, Normativa - NFPA 72, actualizada en 2019 incluye los requisitos de diseño aplicables al cloro.
- Sección 5.3.3, Sensores electroquímicos - información sobre la vida útil típica y la vida operativa de los sensores.
- Sección 6.1.3, Transmisión por radio - información sobre la alineación del protocolo de transmisión por radio.

Se han realizado otros cambios menores de aclaración.

#### 1.7. METODOLOGÍA

Se encuestó a los miembros del Instituto del Cloro para determinar qué tipo de monitores se utilizan actualmente, qué métodos se emplean para el mantenimiento y la calibración, las condiciones ambientales a las que están sometidos los monitores y dónde están ubicados. Se encuestó a los productores, reenvasadores y usuarios de cloro; la mayoría procedía de instalaciones de Estados Unidos, pero también se informó de algunas instalaciones internacionales.

#### 1.8. REPRODUCCIÓN

El contenido de este folleto no debe ser copiado para su publicación, en todo o en parte, sin la autorización previa del Instituto.

---

## 2. REGULACIONES

A la fecha de publicación, no existen normas federales en Estados Unidos que obliguen a la instalación de monitores de cloro ambiental. Sin embargo, las normas estatales y locales pueden exigir el uso de monitores para situaciones específicas. Dentro de los Estados Unidos, la elección de instalar sistemas de monitorización es una consideración individual de la empresa, sujeta a la normativa local y estatal.

En las jurisdicciones que han adoptado los códigos de la NFPA (Asociación Nacional de Protección contra Incendios), la versión 2019 de la NFPA 72 incluye ahora requisitos para el diseño, la instalación y el rendimiento de los detectores de gas relacionados con la seguridad vital (además de los detectores de gas de incendio de CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a los que se hacía referencia anteriormente). El código normativo define los criterios para cuando los detectores de gas para todas las aplicaciones de detección de gas que se utilizan como dispositivos de iniciación en un sistema de señalización de incendios o un sistema combinados. Por lo tanto, los detectores de cloro, cuando se utilizan para notificar y activar acciones de mitigación de la seguridad de la vida a través de un sistema de gas & fuego conforme a la NFPA72, se regularían de acuerdo con el capítulo 17, cláusula 17.10 de este código. (Se hace una excepción en el código para los sensores de cloro utilizados únicamente para el propósito de los equipos de control de procesos). La Agencia de Protección Medioambiental ha recomendado en su informe al Congreso, "Revisión de los sistemas de emergencia" (10.2.3), que se anime a la industria a realizar investigaciones para desarrollar y perfeccionar sistemas de monitorización de detección química rentables y fiables que no requieran una calibración frecuente. Durante el Programa de Énfasis Especial de 1986, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) interrogó a los fabricantes de cloro sobre el uso previsto de los monitores de cloro para la seguridad laboral.

Además, las instalaciones que producen, utilizan o manipulan cloro pueden verse afectadas por una o ambas normas de gestión de la seguridad de los procesos para productos químicos altamente peligrosos (PSM) de la OSHA (10.2.1) o por el requisito de prevención de emisiones accidentales de la EPA; programas de gestión de riesgos (RMP) (10.2.4).

Dependiendo de los factores específicos del emplazamiento, el uso de monitores de cloro ambiental puede ayudar a la instalación a cumplir los requisitos de uno o ambos reglamentos. El uso de monitores de cloro ambiental también puede ayudar a una instalación a aplicar medidas de seguridad.

Cada entidad debe revisar los detalles de los reglamentos aplicables y determinar las medidas necesarias para el cumplimiento en su(s) instalación(es).

## 3. ALERTA PARA TRABAJADORES/COMUNIDADES

Los monitores de cloro han demostrado ser dispositivos eficaces de detección de fugas. Muchos miembros del Instituto del Cloro han instalado sistemas perimetrales, sistemas de fuente o una combinación de ambos para proporcionar una alerta temprana de fugas para el personal de la planta y la comunidad circundante.

Aunque los monitores del perímetro y de la fuente no pretenden sustituir la supervisión de exposición personal, pueden desempeñar un papel importante en un programa general de seguridad de la planta. Las alertas tempranas de fugas pueden permitir al personal de la planta tomar las precauciones de seguridad apropiadas y mitigar la liberación de sustancias químicas; los monitores de cloro no están destinados a prevenir una liberación, por lo que no deben contarse como una capa de protección para una consecuencia de peligro del proceso. Los datos de los monitores de cloro en la fuente también pueden utilizarse en los programas de higiene industrial para identificar las áreas de la planta en las que puede ser necesario un control adicional de la exposición del personal o controles de ingeniería.

La detección temprana de las liberaciones de sustancias químicas es también una parte extremadamente importante de cualquier Programa de Concienciación de la Comunidad y Respuesta a Emergencias (CAER). El descubrimiento temprano de las liberaciones de sustancias químicas permite la notificación rápida a la comunidad y la discusión oportuna de la respuesta de emergencia apropiada. El intercambio de información entre la industria y la comunidad es un requisito de la Ley de Planificación de Emergencias y Derecho a Saber de la Comunidad, Título III de la Superfund Amendments and Reauthorization Act (EPCRA). Los monitores de cloro en el perímetro y en la fuente pueden desempeñar un papel importante en los programas de seguridad del personal y de la comunidad de una planta.

#### **4. DISEÑO DEL SISTEMA**

##### **4.1. OBJETIVO**

Los sistemas de monitorización de cloro ambiental, tal y como los utilizan las empresas miembros del Chlorine Institute, están diseñados para la detección de fugas de emisiones fugitivas y fuentes puntuales. Los detectores de cloro ambiental pueden identificar las fugas para ayudar a proteger al personal operativo y a la comunidad de la exposición al cloro. Los detectores de área fijos, no están destinados a controlar la exposición del personal ni a cuantificar las fugas en ausencia de otros datos. Si se colocan adecuadamente, los monitores de cloro ambiental pueden ayudar a la detección temprana de una fuga para minimizar el riesgo para el personal y el medio ambiente.

##### **4.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES**

Los detectores de cloro ambiental pueden utilizarse para la vigilancia del perímetro o para la vigilancia de fuentes puntuales. La información del estudio de ubicación de las instalaciones suele utilizarse para determinar la ubicación de los monitores/sensores. Muchas aplicaciones combinan monitores perimetrales y monitores fuente. Los monitores perimetrales pueden ubicarse utilizando varios métodos que se detallan en la sección 6.4. Los sensores se distribuyen normalmente alrededor de las fuentes con mayor potencial de emisiones, como las zonas de carga/descarga, los compresores o los depuradores. Los monitores perimetrales pueden dar una indicación de las posibles ubicaciones de las fuentes de emisión cuando se combinan con información meteorológica sobre la velocidad

---

y la dirección del viento. Los sensores pueden colocarse a veces en los conductos de entrada de aire para proteger a los trabajadores en una estructura cerrada.

#### 4.3. INTERFAZ CON EL OPERADOR

Un sistema de control del cloro sirve como dispositivo de alerta temprana para facilitar las decisiones relativas a las fugas. No pretende, ni puede, proporcionar concentraciones exactas de cloro durante un incidente. Un sistema de monitorización continua puede ayudar al personal de explotación a identificar antes, un incidente, proporcionando una indicación de la ubicación y alguna idea de su gravedad. El uso de un valor de concentración puede ayudar a proporcionar un nivel general de cloro en la zona para ayudar en las medidas de respuesta, los requisitos del equipo de protección del personal y la necesidad de evacuación.

Prácticamente todos los sistemas de monitorización del cloro ambiental activan alarmas en los paneles de control, indicadores o pantallas del sistema de control de distribución. Las concentraciones detectadas se muestran normalmente para cada sensor. La indicación de la concentración de gas puede ser tan simple como un secuenciador y un indicador multipunto o puede implicar un indicador separado para cada punto. Existen microprocesadores que interconectan los controladores de los sensores para transmitir señales de vídeo a monitores de visualización en color. Las salidas de los controladores también pueden transmitirse a impresoras o registradores gráficos. Existen sistemas completos de medición continua controlados por microprocesador que pueden registrar, alarmar, marcar el tiempo y almacenar los datos de cada sistema. Deben estudiarse los requisitos de indicación y almacenamiento para seleccionar un sistema que satisfaga las necesidades actuales y la futura expansión. También hay que tener en cuenta la necesidad de disponer de baterías para medir e informar de las condiciones durante un corte de energía.

Varias plantas introducen los datos de monitorización en un ordenador con capacidad de modelización de la dispersión. Basándose en las concentraciones de cloro y en los datos meteorológicos conocidos, el modelo puede estimar el tamaño de la liberación y predecir el impacto a favor del viento. Es muy importante que los usuarios entiendan las limitaciones y los supuestos del modelo. Algunos sistemas de modelización de la dispersión pueden diseñarse para proporcionar capacidades de apoyo a los sistemas de detección, y otros pueden diseñarse para ayudar a cuantificar una fuga. Se puede encontrar más información sobre la modelización de la dispersión en el Folleto 74 del CI (10.1). Las respuestas claramente definidas de los operadores a la identificación de problemas son una parte importante de un sistema eficaz de monitoreo del cloro. Las responsabilidades del programa de monitoreo se dividen frecuentemente entre el personal de operación, mantenimiento, supervisión/administración y seguridad. Cada grupo debe disponer del nivel de información adecuado para permitir una acción informada y coordinada. Las consideraciones importantes son un plan de acción o un plan de respuesta a emergencias, el mantenimiento preventivo para garantizar el correcto funcionamiento del equipo de monitorización y la formación.

## 5. SELECCIÓN DEL MONITOR DE CLORO

### 5.1. REQUISITOS/CAPACIDADES

La industria del cloro necesita un monitor de cloro de bajo mantenimiento que proporcione una indicación repetible y fiable de la presencia de cloro en el aire ambiente. El monitor de cloro ideal tendría las siguientes características

- a. Ser altamente específico para el cloro.
- b. Detectar el cloro en rangos molestos, así como indica la magnitud de las grandes excursiones.
- c. Rápida respuesta y tiempo de recuperación.
- d. Lecturas precisas y estables.
- e. Funcionar en condiciones ambientales variables.
- f. Auto chequeo con mínimos requisitos de mantenimiento.
- g. Calibrarse fácilmente.
- h. Coste razonable.

En la actualidad, no existe un monitor de cloro ideal para su uso en el entorno de la planta. Un monitor de campo continuo debe funcionar en una amplia variedad de condiciones ambientales. Debido al gran número de aplicaciones y requisitos diferentes, los fabricantes deben hacer concesiones en el desarrollo de los monitores de cloro. La industria del cloro debe evaluar los efectos de estos compromisos en aplicaciones específicas. El número de instalaciones sin éxito sirve de advertencia para aquellos que procedan sin una planificación adecuada. Considere los siguientes ejemplos:

- El monitor no específico

Cuando se demostró en la oficina, este monitor respondió al cloro. Sin embargo, cuando se instaló en el campo, el monitor también respondía a las interferencias y los operarios pronto perdieron la confianza en el sistema e hicieron caso omiso de las alarmas.

- El monitor de alto mantenimiento

En este caso, se apostó por un monitor de cloro y se instaló el sistema. Como la calibración y el mantenimiento eran caros y requerían mucho tiempo, el sistema se descuidó y dejó de ser fiable.

- El monitor sin mantenimiento

Se suponía que este sistema no requería mantenimiento. Sin embargo, este sistema nunca se probó. El sistema no indicaba fugas, no recibía mantenimiento y no daba falsas alarmas. Por desgracia, el sistema tampoco detectaba el cloro.

Es alentador observar el número de instalaciones de control del cloro ambiental que han tenido éxito en el sector, tal y como indican los resultados de la encuesta de

---

control del cloro. Un sistema exitoso detecta y aproxima de forma fiable, la concentración de una emisión de cloro. También ayuda a estimar la duración de la emisión. Combinados con la información de los instrumentos meteorológicos, estos datos permiten identificar rápidamente la fuente de la emisión de cloro.

Las instalaciones de control del cloro tienen éxito cuando, el personal responsable ha definido adecuadamente sus requisitos y ha completado su evaluación. Para definir completamente los requisitos del sistema, deben tener en cuenta al hacer su selección, la precisión requerida, las posibles interferencias, el entorno ambiental, la fiabilidad requerida y los medios de calibración. Siempre que sea posible, los técnicos de mantenimiento deben participar en las fases de prueba. Un nivel adecuado de pruebas y mantenimiento garantiza el buen funcionamiento continuo del sistema.

## 5.2. TIPOS DE MONITORES

Se suelen utilizar cuatro tipos de monitores para detectar el cloro en el aire ambiente: el monitor personal, el monitor de análisis o estudio, el monitor de punto fijo y el monitor de gas de chimenea. A continuación, se analizan brevemente.

### 5.2.1. Monitor Personal

El monitor personal está diseñado para controlar la exposición de un individuo al cloro durante el transcurso de un día. A menudo se lleva con una correa en el hombro o un cinturón, o incluso se lleva en el bolsillo de la camisa. Este tipo de equipo está fuera del alcance de este folleto.

### 5.2.2. Monitor del estudio

El monitor de estudio está diseñado como instrumento portátil para comprobar la presencia de cloro en lugares específicos. El monitor de sondeo podría utilizarse de forma semipermanente como monitor de un solo punto durante una tarea específica. Este tipo de instrumento no es adecuado para un sistema de punto fijo y no se considera en este folleto.

### 5.2.3. Monitor de punto fijo

El monitor de punto fijo es la opción principal para la supervisión del perímetro y la supervisión de la fuente. Está diseñado para ser ubicado permanentemente donde se desea monitorear/alarmar el cloro ambiental. Los monitores de punto fijo están disponibles en configuraciones de punto único y multipunto y en tipos de sólo alarma y de indicación de concentración.

El monitor de sólo alarma se utiliza para detectar la presencia de cloro y activar una alarma si la concentración supera un límite preestablecido. Estas unidades no proporcionan ninguna indicación de la concentración de cloro presente, sólo de que supera el punto establecido. Este tipo de dispositivo es bastante común en instalaciones de un solo punto y en instalaciones de usuarios con una pequeña cantidad de equipos de manipulación de cloro. Los monitores que sólo emiten

alarmas, tienen un valor limitado en una aplicación de monitorización perimetral multipunto, ya que no dan ninguna indicación sobre la concentración de cloro presente.

El tipo de monitor que indica la concentración es el más utilizado para la supervisión de la fuente y el perímetro del cloro. Este monitor transmite una salida proporcional a la concentración de cloro detectada.

#### 5.2.4. Monitor de gas de chimenea

El monitor de gas de chimenea se utiliza en aplicaciones de gas de chimenea. Debido a la gran variedad de condiciones de las chimeneas, este tipo de monitores son de aplicación muy específica. Muchas veces se puede utilizar un monitor de aire ambiente en este servicio, pero se requiere una evaluación detallada.

### 5.3. TECNOLOGÍA DE LOS SENSORES

La tecnología de los sensores de cloro ha avanzado en varios frentes. La metodología utilizada por los sensores puede ser de estado sólido, colorimétrica y electroquímica.

#### 5.3.1. Sensores de estado sólido

La tecnología de los sensores de estado sólido utiliza un elemento de estado sólido, continuo y de difusión. Un semiconductor de óxido metálico patentado se encuentra en el circuito del sensor y actúa como una resistencia. Cuando el cloro se difunde en el sensor, es absorbido por el semiconductor, haciendo que su resistencia eléctrica aumente. Este cambio de resistencia es proporcional a la concentración de cloro. Cuando el cloro desaparece, el sensor vuelve a su nivel de resistencia original.

Esta tecnología ha sido especialmente problemática por los gases de interferencia, la lentitud en la eliminación después de la exposición y la necesidad de recalibrar después de una dosis significativa de cloro. Dado que el sensor de estado sólido se basa en las características eléctricas del semiconductor de óxido metálico, la exposición a altas concentraciones de cloro corroerá o modificará permanentemente el semiconductor, por lo que será necesario recalibrar las nuevas características del semiconductor de óxido metálico.

Esta tecnología de sensores de estado sólido promete ser un monitor muy eficaz si se pudieran resolver los problemas. Las ventajas de este sensor son su bajo mantenimiento y su larga vida útil. En la actualidad, su uso para detectar el cloro ha sido muy limitado. Algunas de las empresas que respondieron a la encuesta del Instituto del Cloro utilizan sensores de estado sólido.

#### 5.3.2. Sensor colorimétrico

La tecnología colorimétrica utiliza un reactivo propio que se expone al cloro. Como resultado de esta exposición, se desarrolla una mancha o cambio de color que es proporcional a la concentración. Este cambio de color puede determinarse



---

visualmente, fotoeléctricamente o por espectrometría. Esta tecnología tiene una utilidad limitada en la supervisión de la fuente de cloro ambiental o del perímetro debido a la complejidad del hardware. Podría aplicarse utilizando un instrumento central que extrajera muestras de muchos lugares diferentes dentro de una instalación. Esto no proporcionaría información en tiempo real ni una indicación continua en cada punto.

### 5.3.3. Sensor electroquímico

Los monitores electroquímicos de cloro son los más utilizados y aceptados de las tecnologías disponibles. Los sensores electroquímicos de gas miden la concentración de un gas objetivo oxidando o reduciendo el gas objetivo en un electrodo y midiendo la corriente resultante. Esta tecnología utiliza varias formas de sensores electroquímicos llenos de líquido o de gel. Los sensores electroquímicos de gas se diferencian según el parámetro de la ley de Ohm que sea la variable dependiente. Los sensores electroquímicos pueden describirse como amperométricos o potenciométricos.

El sensor amperométrico utiliza una solución electrolítica o un gel electrolítico con electrodos de detección y contador para detectar el gas cloro. El electrolito contiene especies capaces de ser oxidadas por el cloro ( $\text{CaBr}_2$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{KBr}$  o  $\text{KI}$ ). Se aplica un potencial fijo (voltimétrico) o un potencial inicialmente fijo (culombimétrico) a través de los electrodos en contacto con el electrolito.

Cuando está presente el cloro, este reduce en el cátodo y se genera una corriente. La cantidad de corriente está relacionada con la concentración formadas de las especies oxidadas, y también con la concentración de cloro gaseoso. Esta técnica se denomina amperométrica, ya que el amperaje necesario para reducir las especies oxidadas por el anolito constituye la señal analítica.

En los sensores potenciométricos, se desarrolla un potencial de electrodo entre los electrodos selectivos de iones. El potencial es una función lineal de la concentración de los iones o especies formadas por la oxidación del electrolito y está relacionado con la concentración de gases oxidantes en la muestra.

La tecnología de los métodos anteriores está patentada. Debido a la falta de información específica sobre el diseño, es imposible asignar características de rendimiento (tiempos de respuesta, linealidad, reacción a los gases de interferencia, etc.) a las diferentes categorías de diseño electroquímico. Se aconseja realizar pruebas de campo y evaluar el diseño real del sensor utilizando el procedimiento presentado en la Sección 9.

Normalmente, los sensores duran dos años, dependiendo del entorno de funcionamiento. Sin embargo, los usuarios deben consultar al fabricante. La mayoría de los sensores electroquímicos tienen una vida útil típica de seis meses desde su fabricación, siempre que se almacenen en condiciones ideales ( $68^\circ\text{F}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ). Sin embargo, una pequeña parte de este periodo se consume durante la fabricación del instrumento y el envío al cliente. Es importante comprobar con el fabricante la vida útil y seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a la inspección, las pruebas y la calibración de los sensores.

#### 5.4. PRECISION Y FIABILIDAD

En la evaluación de los monitores de cloro perimetral, es importante recordar que el objetivo es encontrar un monitor adecuado para la monitorización atmosférica. Las especificaciones de precisión de los distintos monitores de cloro están en el rango de +/- 2% a 3% de la escala completa. La fiabilidad es una función tanto del método de análisis utilizado como de la validez de la técnica de calibración. No sería descabellado esperar que una precisión de +/- 1 ppm con un rango de cloro de 0 a 10 ppm (+ 10%) sea aceptable en el campo. Los límites de exposición del personal al cloro más bajos pueden requerir sensores más precisos. También requerirían métodos de calibración más precisos. Una opción para los lugares que requieren precisión en un amplio rango podría ser colocar varios sensores con diferentes rangos dentro de la misma vecindad.

La precisión también depende del rango de detección del sensor. La mayoría de los fabricantes ofrecen sensores con rangos de cloro de 0-5 ppm o 0-10 ppm, que serían satisfactorios para los usos de supervisión perimetral. Algunos de los sensores tienen un rango máximo de 0-3 ppm. Este rango puede limitar la recogida de datos útiles si los monitores se van a utilizar para complementar los sistemas informáticos de modelado de dispersión de gases. Por otro lado, un rango bajo puede ser deseable para la monitorización de áreas si se pretende que las concentraciones de alarma sean de 0.5 a 1.0 ppm.

En un estudio realizado por The National Council for Air and Stream Improvement, Inc. (NCASI) (10.2.2), se observó que, con pocas excepciones, no había diferencias significativas en el rendimiento de los monitores de cloro probados. Llegaron a la conclusión de que, "el rendimiento de la desviación del cero y del span o de todos los instrumentos probados era similar, y ninguno de los instrumentos mostraba un rendimiento del desvío del cero o del span que pudiera considerarse excesivo a la luz del uso previsto de estos instrumentos" (10.2.2).

##### 5.4.1. Interferencias químicas

Cada planta es única en cuanto a su ubicación y a las posibles interferencias en el aire. Para que el monitor tenga valor, debe ser altamente específico para el cloro. Todos los monitores de cloro están sujetos a las interferencias de otros gases. Dado que la mayoría de los sensores responden a oxidantes o reductores, los gases fuertemente oxidantes como el ozono, el dióxido de cloro, el flúor, el bromo, el yodo, el óxido de nitrógeno, el dióxido de nitrógeno y otros, pueden ser una interferencia positiva (causando errores en el lado alto), mientras que los gases reductores como el sulfuro de hidrógeno, el cloruro de hidrógeno y el dióxido de azufre pueden ser una interferencia negativa (causando errores en el lado bajo). Por ejemplo, el dióxido de cloro tiene un potencial de oxidación suficiente para producir reacciones en algunos monitores hasta 10 veces superiores a las del cloro en la misma concentración. Además, los productos químicos de interferencia pueden reaccionar en el propio sensor. En los sensores que utilizan un electrolito reductor, la elección del ion reductor puede evitar algunas interferencias.

---

Los fabricantes suelen proporcionar una tabla de interferencias químicas conocidas y sus niveles. Sin embargo, se recomienda encarecidamente realizar pruebas específicas en el lugar. Entre las especies que no suelen figurar en la lista, pero que se sabe que causan problemas, se encuentran los humos de la pintura, los gases de escape de los motores de combustión y los disolventes.

#### 5.4.2. Velocidad de Respuesta y Efecto Memoria

Una característica importante del monitor de cloro, es la capacidad de indicar rápidamente la presencia de cloro. De hecho, en muchas aplicaciones, la velocidad de respuesta es más importante que la precisión absoluta. Por ejemplo, puede ser más importante que el operador sea avisado de que una cantidad significativa de cloro está presente en la zona dentro de los 20 segundos siguientes a su liberación, que saber que exactamente si 4,7 a 5,3 ppm de cloro están presentes después de un retraso de 3 minutos. Muchos de los sensores disponibles difieren en la velocidad de respuesta y esto debería ser un criterio a la hora de seleccionar una unidad. El estudio del NCASI descubrió diferencias en los tiempos de respuesta en función de la frecuencia de exposición del sensor al cloro. Varias unidades mostraron un tiempo de respuesta muy prolongado después de haber sido expuestas únicamente al aire limpio durante un período de 24 horas.

Otro factor que interviene en la velocidad de respuesta es la velocidad de la muestra que pasa por el sensor. El sensor del tipo de difusión requiere el movimiento del aire para proporcionar una muestra de aire representativa. Si el sensor está situado en aire quieto o en un lugar cerrado, puede haber un agotamiento local del cloro, debido a la reacción del sensor. Este problema puede aliviarse mediante el uso de una bomba de muestreo.

La bomba de muestreo garantiza que una muestra representativa siga pasando por el sensor. Las bombas de muestreo también permiten que el sensor se despeje rápidamente o vuelva a la normalidad después de una exposición al cloro. Cuando se utilizan bombas de muestreo, el tubo utilizado debe ser compatible con el flujo de la muestra. El material de la tubería debe ser evaluado para asegurar que cualquier absorción de cloro u otros materiales se tenga en cuenta en el resultado de la lectura.

#### 5.5. MEDIO AMBIENTE

Las personas que respondieron a la encuesta sobre los equipos de control del cloro abarcaban una amplia gama de ubicaciones geográficas y, por tanto, una amplia gama de temperaturas ambientales extremas. Las temperaturas varían desde los -40 grados Fahrenheit (-40 Celsius) en las localidades del norte, hasta los bajos 100 en el sur. Al mismo tiempo, la humedad y las condiciones de corrosión también varían entre las plantas. Un monitor adecuado para su instalación en Luisiana puede no ser adecuado para Canadá.

### 5.5.1. Temperatura

Los cambios de temperatura afectan a la velocidad de difusión y a la reactividad del cloro en cierta medida en todos los monitores. Las desviaciones de intervalo inducidas por la temperatura del 10 al 20% con una muestra de cloro de 1 ppm no son inusuales en los sensores de tipo de difusión.

Reconociendo la necesidad de un servicio a baja temperatura, los fabricantes han modificado sus sensores para aumentar el rango de temperatura de funcionamiento. Esto se consigue mediante el uso de electrolitos de diferente potencia, agentes anticongelantes o un calentador añadido. El uso de agentes anticongelantes o de electrolitos de diferente potencia puede afectar a las características del sensor.

### 5.5.2. Humedad

El efecto de la humedad varía entre los distintos monitores. La humedad relativa parece tener algún efecto en todos los sensores electroquímicos. La mayoría de los sensores son adecuados para un rango de humedad relativa del 20% al 90%. Los sensores que utilizan un electrolito líquido experimentan una evaporación acelerada del electrolito en condiciones de baja humedad. El resultado es que los sensores tendrán que ser rellenados más a menudo. Un fabricante sugiere una comprobación semanal del electrolito cuando la humedad relativa cae por debajo del 45%. Las condiciones de alta humedad también pueden afectar al electrolito líquido. Un fabricante advirtió que el electrolito puede gotear del sensor en condiciones de alta humedad.

La humedad también puede afectar a los sensores rellenos de gel. Aunque la química no se entiende completamente, la respuesta de algunos sensores disminuye drásticamente con la reducción de la humedad. Algunos pierden completamente la respuesta cuando la humedad relativa cae por debajo del 20%. Es importante tener en cuenta esta pérdida de respuesta al utilizar sensores electroquímicos y al calibrar los instrumentos. Los sensores destinados a instalaciones más húmedas deberían utilizar una técnica de calibración con aire húmedo en lugar de un gas seco.

### 5.5.3. Efectos eléctricos

Los sensores y los equipos electrónicos asociados, pueden verse afectados por las interferencias eléctricas. Si el equipo de control va a funcionar en condiciones de fuerte interferencia de radiofrecuencia o va a estar expuesto a fuertes campos eléctricos (por ejemplo, salas de celdas de cloro), es necesario realizar una investigación adecuada y consultar al proveedor.

## 5.6. CONFIABILIDAD

A menudo, la mejor manera de evaluar la fiabilidad de un sistema es adquirir experiencia operativa con la unidad. Varios de los sistemas de monitorización ya han sido instalados en plantas miembros del Instituto del Cloro. La experiencia de

---

estas plantas se ha resumido en la encuesta de los miembros, que se presenta en el Apéndice A.

Algunas características de los monitores se han diseñado para aumentar su fiabilidad. Se han realizado modificaciones para mejorar el rendimiento del instrumento, pero a veces con una complejidad añadida. Algunas de estas características se comentan a continuación.

#### 5.6.1. Autochequeo

La fiabilidad es un factor importante a la hora de seleccionar un monitor perimetral. El monitor no es algo que vaya a estar expuesto al cloro todos los días, pero debe funcionar cuando sea requerido. Cuando una sonda electroquímica se desgasta o falla, deja de responder. Es posible que el fallo no se manifieste hasta que se calibre o se compruebe el sensor. Algunos fabricantes han reconocido la necesidad de una autocomprobación para verificar el funcionamiento y esto se convierte en un punto de venta importante.

Hay diferencias entre la forma en que se prueban o autocomprueban los sensores. Algunos fabricantes utilizan un "cero vivo", en el que la señal del sensor debe estar siempre por encima de una línea de base. Si la lectura cae por debajo de esta línea de base, la sonda necesita electrolito o algún tipo de mantenimiento. Otro fabricante somete manualmente el sensor a una sacudida de 2 voltios mediante un botón de prueba para simular una reacción de cloro. Esto se utiliza para probar el sensor y la electrónica. Otro fabricante ha llegado a incluir un generador de gas en el cabezal del sensor que se enciende automáticamente cada 12 o 24 horas. Varios fabricantes ofrecen una prueba electrónica. Esto comprueba la línea del sensor y la electrónica del sistema. No indica si el sensor responde o no. Esto tiene un valor limitado a menos que la electrónica sea bastante complicada. Otros sistemas ofrecen lo que describen como autodiagnóstico. El autodiagnóstico puede ser engañoso porque no identifica todos los tipos de fallos. La mayoría de los sensores basados en una señal de dos hilos de 4 20 mA no tienen autocomprobación. La prueba debe ser realizada manualmente por un técnico.

#### 5.6.2. Mejoras en el diseño del sensor

Al igual que con muchas facetas del monitor de cloro ambiental, el diseño del sensor es un compromiso entre muchos elementos. Se agregan membranas a los sensores electroquímicos para reducir la tasa de evaporación del electrolito y aumentar la selectividad del sensor al cloro. La sonda de relleno de gel se desarrolló para eliminar el reemplazo de electrolitos. La tendencia a alejarse del reemplazo de electrolitos debería significar una mejora en la confiabilidad porque este es un tema menos de preocupación para el personal de mantenimiento. Se agregaron bombas de muestra para garantizar el flujo de muestra en aire quieto y para reducir los efectos de las condiciones ambientales en la respuesta de la sonda. Las bombas de muestreo son un elemento de mantenimiento adicional, pero se han utilizado en muchos equipos analíticos. Se convierten en un problema en climas fríos, ya que se requiere más un calentador para la bomba que para el sensor.

## 6. INSTALACIÓN

### 6.1. TIPOS DE SEÑAL

Los monitores/sensores de cloro están disponibles utilizando muchos tipos de transmisión de señales. Los más comunes son los bucles de corriente analógica de 4-20 mA, los datos digitales, las señales de tensión analógica de bajo nivel específicas de los sensores de cada fabricante y las transmisiones de radio VHF/UHF. Los sensores y la electrónica se utilizan por separado para mantener los componentes electrónicos delicados fuera del campo. A continuación, se describen algunas características importantes de cada tipo.

#### 6.1.1. Lazo de corriente de 4-20 mA

Este sistema utiliza una señal analógica de dos hilos de 4-20 mA (estándar industrial). Esto puede permitir la máxima intercambiabilidad entre sistemas de diferentes fabricantes. La calibración del sensor puede ser realizada por un técnico en el campo o en el taller. Los sistemas pueden conectarse a multiplexores y sistemas DCS. Las condiciones ambientales cambiantes pueden afectar a las lecturas. La capacidad de autocomprobación y comprobación es limitada. Este tipo de sistema requiere una planificación cuidadosa cuando las longitudes de los cables son largas.

#### 6.1.2. Datos digitales

Los datos digitales permiten transferir muchos parámetros del sistema (alarmas, puntos de ajuste, etc.). Es posible realizar autocomprobaciones de las condiciones del sistema y de la integridad de los datos, así como diagnósticos remotos, que están disponibles para advertir el fin de vida del sensor. La información de la supervisión de la salud del sensor, transmitida a un controlador central puede permitir el mantenimiento programado a tiempo y evita la pérdida inesperada de disponibilidad del detector. Los sistemas pueden conectarse en cadena para minimizar la instalación del cableado. El protocolo de datos suele ser específico del fabricante, lo que limita la intercambiabilidad. Este tipo de transmisión de datos suele requerir un cable especial y, por lo general, una corriente alterna de 120 voltios en el campo. Con los sistemas no redundantes, puede perderse el sistema completo si falla un solo componente.

#### 6.1.3. Radio Transmisión

Las señales de transmisión por radio suelen ser rentables para grandes instalaciones y a largas distancias. Se pueden transmitir grandes cantidades de datos digitales en poco tiempo. Las transmisiones por radio son muy fiables si se utilizan radios/módems de calidad. Se necesita energía en cada lugar de transmisión.

La tecnología inalámbrica más destacada hasta la fecha utiliza radios DSSS compatibles con IEEE 802.15.4 y opera en la banda de radio ISM de 2,4 GHz (IEEE 802.15.4 admite varias bandas). Dos estándares que utilizan la tecnología de radio IEEE 802.15.4 [2] son IEC62591-1 (WirelessHART) [1] y ANSI/ISA100.11a-2011

---

(ISA100.11a) [3]. Los monitores diseñados para funcionar en la misma red deben seguir el mismo protocolo inalámbrico.

## 6.2. CABLEADO Y SUMINISTRO DE ENERGIA

El tipo de sistema seleccionado determina el tipo de cableado necesario. Las señales digitales o de baja tensión suelen requerir cables y soportes especiales. La mayoría de los sistemas se ven afectados por los picos y sobretensiones de la línea eléctrica, así como por las descargas de rayos directas e indirectas. Deben tomarse precauciones como el filtrado de la fuente de alimentación y la supresión del ruido en todas las fuentes de alimentación. Los sistemas montados sobre el terreno, en zonas abiertas, deben estar protegidos por los pararrayos y sistemas de toma de tierra recomendados por el código eléctrico.

Los sistemas con componentes electrónicos independientes suelen requerir una corriente alterna de 120 voltios AC si se encuentran en una sala de control. Se pueden utilizar sistemas de batería de reserva. Los sensores/sistemas de dos hilos montados en campo se alimentan a través de las líneas de señal con 24 50 voltios de CC. Otros sistemas que necesitan alimentación de campo requieren 24 voltios de CC o 120 voltios de CA/CC y pueden ser difíciles de suministrar a largas distancias. Una solución puede ser suministrar CA de 120 voltios en el lugar de trabajo, convirtiendo a CC según sea necesario.

Las recientes mejoras tecnológicas permiten el uso de sensores autónomos que utilizan energía solar con batería de reserva y otras tecnologías de captación de energía, como la vibración y el diferencial de temperatura. Estos sensores eliminan la necesidad de una fuente de alimentación eléctrica.

## 6.3. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

Las instalaciones de cloro-álcali son por naturaleza ambientes corrosivos. Este entorno corrosivo es duro para los equipos electrónicos. En las instalaciones de área fijas, los equipos centralizados se pueden colocar en un entorno controlado. Sin embargo, los sensores y transmisores deben estar en los puntos de muestreo y, por lo tanto, están sujetos a condiciones corrosivas y temperaturas y humedad extremas. La mayoría de los sensores con electrónica integral están equipados con recintos diseñados para proteger contra dicha exposición.

El equipo sensor de cloro expuesto debe estar construido con materiales resistentes a la corrosión. Se recomiendan plásticos como PVC, CPVC, etc. Evite el uso de aluminio, especialmente para pequeños detalles como conductos o conectores de cables que los fabricantes suelen pasar por alto. Se debe prestar especial atención a las conexiones de señal/alimentación del sensor. Las conexiones de metal que utilizan la mayoría de los fabricantes de sensores deben impermeabilizarse y pintarse para evitar la corrosión. Un buen método para proteger las conexiones de la señal del sensor es usar un compuesto dieléctrico de silicio, como Dow Corning DC-4, para "potenciar" los conectores del cable. Los sensores se pueden proteger del agua, la suciedad y las roturas fabricando cubiertas/carcasas de plástico o

tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio. Cualquier protección utilizada alrededor del sensor debe seguir las recomendaciones de instalación del fabricante. La determinación de los materiales de construcción apropiados en la etapa de selección de la adquisición de monitores de cloro puede reducir en gran medida los futuros requisitos de mantenimiento.

Una preocupación adicional es la clasificación eléctrica. Revise la clasificación eléctrica de la ubicación del sensor. Los sensores están disponibles en construcción a prueba de explosiones o intrínsecamente segura para uso en áreas eléctricamente peligrosas.

#### 6.4. UBICACIÓN DE LOS SENSORES

Se suele tener en cuenta la dirección predominante del viento a la hora de determinar la ubicación de los sensores. Otro método que puede utilizarse para ubicar los sensores perimetrales es la modelización de la dispersión. La modelización de la dispersión también puede utilizarse para evaluar la eficacia de las ubicaciones y alturas seleccionadas para la detección de las emisiones de cloro procedentes de diversas fuentes. Las condiciones atmosféricas, la velocidad y la dirección del viento, las ubicaciones de los edificios y las tasas de liberación en las fuentes especificadas se introducen en los modelos de dispersión más comúnmente empleados. La posibilidad de que una determinada emisión pueda pasar desapercibida en las ubicaciones de los sensores seleccionados puede evaluarse mediante modelos de dispersión. Los resultados del modelo de dispersión pueden sugerir sensores adicionales o la reubicación de los sensores para detectar una determinada emisión. Es necesario estudiar el área de proceso y el entorno adyacente para determinar la ubicación óptima del sensor. Factores como: 1) la distancia a la fuente; 2) la densidad del gas; 3) los detalles de la planta y la elevación; 4) la ventilación; 5) la velocidad y dirección del viento; y 6) las instalaciones y poblaciones vecinas deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la ubicación de los sensores. Al determinar la ubicación de los sensores deben tenerse en cuenta las siguientes directrices.

- a. Coloque el sensor en la zona de respiración.
- b. Localice el sensor donde las corrientes de aire predominantes contengan la máxima concentración de gas.
- c. Coloque los sensores cerca de las fuentes potenciales de escape de gas.
- d. Los sensores tienen limitaciones de temperatura ambiente. Instale el sensor en un lugar que se mantenga dentro del rango especificado.
- e. Evite las vibraciones al ubicar el sensor.
- f. Asegúrese de que los sensores estén accesibles para su calibración y mantenimiento.
- g. Proteja los sensores de la inmersión o del contacto directo con el agua.



- 
- h. Proporcionar cubiertas contra el polvo para los sensores en entornos polvorientos.
  - i. Asegúrese de que se cumplen los códigos aplicables al instalar los sensores y el cableado.

## 7. MANTENIMIENTO

Los requisitos de mantenimiento de los monitores de cloro ambiental varían considerablemente. Se puede llegar a una conclusión lógica de que los sistemas más complejos requieren más mantenimiento. Sin embargo, este no es necesariamente el caso de los monitores de cloro. La NCASI realizó un estudio de diferentes tipos de monitores de cloro y concluyó que "los instrumentos de extracción de muestras no requerían necesariamente más mantenimiento que los instrumentos basados en sensores de difusión" (10.2.2). El tipo de mantenimiento que requiere un monitor depende del principio, por ejemplo, los instrumentos de extracción de muestras requieren mantenimiento de la bomba, los sensores requieren la limpieza de las superficies de los sensores y los instrumentos químicos húmedos requieren la reposición de reactivos.

El nivel de capacitación que reciben los técnicos sobre la operación de los monitores de cloro afectará directamente la calidad del mantenimiento que recibe un sistema. En la mayoría de los casos, el fabricante del monitor es capaz de brindar capacitación técnica y práctica para los técnicos de mantenimiento. También es útil incluir técnicos durante las fases de prueba del monitor para obtener su opinión. Los servicios de mantenimiento contratados están disponibles con algunos fabricantes. Un encuestado utiliza un contratista para realizar calibraciones trimestrales en sus analizadores.

Se debe realizar un mantenimiento preventivo para garantizar la confiabilidad y el funcionamiento adecuado de los monitores de cloro, incluida cualquier batería de respaldo o sistema de suministro de energía. Algunos tipos de baterías, incluidas las baterías de plomo-ácido, pueden generar hidrógeno. Si la batería está dentro de un recinto y se genera hidrógeno, podría producirse una explosión. Se deben seguir las pautas del fabricante para el mantenimiento preventivo. El fabricante a menudo puede asesorar sobre el inventario de piezas de repuesto que debe almacenarse.

## 8. CALIBRACIÓN

La calibración de los monitores de cloro es un factor muy importante para el rendimiento general del sistema. El objetivo de la calibración del monitor es proporcionar resultados significativos sobre los niveles de cloro ambiental en una zona determinada. En teoría, la calibración es simple: el cloro se mide con el monitor y con una muestra estándar. En la práctica, sin embargo, rara vez es sencillo

calibrar un monitor de cloro de forma correcta y precisa. El mayor problema de la calibración es la generación del estándar de cloro.

Muchos problemas están relacionados con la dependencia de la respuesta del sensor a la humedad. Además, la temperatura y las diferentes condiciones atmosféricas, concretamente los cambios de presión barométrica, pueden afectar a la respuesta del sensor. Por estas razones, tanto los métodos cuantitativos como los cualitativos se utilizan ampliamente para la calibración y la verificación de la funcionalidad de los monitores de cloro ambiental, aunque la prueba de función cualitativa se utiliza con más frecuencia.

Las calibraciones cuantitativas se realizan para determinar la concentración de cloro en el aire. Estos métodos determinan la exactitud, o la corrección absoluta, de la respuesta de un monitor al cloro. Además, las calibraciones cuantitativas pueden evaluar el tiempo de respuesta de los sensores, normalmente 120 segundos o menos. Los métodos de calibración cuantitativa incluyen el uso de gas de cloro preparado y estándar NIST en cilindros, generadores de cloro electrolítico portátiles y monitores autocalibrados. Hay otros métodos disponibles, como las ampollas de cloro estándar NIST y los dispositivos de permeación de cloro, pero los encuestados no utilizaron dichos métodos. Estos métodos se enumeran en orden de popularidad de uso según los resultados de la reciente encuesta sobre equipos de monitorización del cloro ambiental. A continuación, se analiza cada método de calibración y sus limitaciones.

El cilindro de gas normalizado es el método más utilizado. Se prepara un cilindro especialmente revestido para contener cloro en el rango de concentración de 0-10 ppm con nitrógeno como equilibrio. La parte de detección del monitor se expone al cloro y el intervalo del monitor se ajusta para que sea igual a la concentración de gas en el cilindro. Este método también asume que las condiciones ambientales y las interferencias no tienen ningún efecto sobre la respuesta del monitor, lo que puede ser o no ser así. Algunos encuestados purgan el gas de cloro estándar a través de agua ácida antes de exponerlo al sensor en un intento de corregir los efectos de la humedad.

Otra técnica de calibración utiliza una ampolla que contiene cloro y una bolsa de muestreo de gas. El contenido de la ampolla se vacía en la bolsa y la mezcla de gas resultante es igual a una concentración conocida. Esta técnica puede utilizarse sobre el campo y tiene la ventaja de que permite utilizar el gas al que normalmente está expuesto el sensor en la preparación del gas patrón.

Un producto que se ha introducido recientemente en el mercado es el generador de cloro electrolítico portátil. Este dispositivo funciona como una célula de cloro en miniatura para generar gas de cloro. Dado que su disponibilidad es reciente, la información sobre su uso satisfactorio es limitada. Una empresa encuestada ha tenido un alto grado de experiencia y éxito con este método.

Los dispositivos de permeación de cloro también se utilizan para calibrar los monitores de cloro. El cloro líquido, sellado en un tubo de permeación, se calienta a una temperatura constante. Este permea las paredes del tubo a una velocidad constante. Se prepara una concentración conocida de cloro haciendo pasar un flujo

---

predeterminado de gas por el tubo. Esta técnica se realiza con mayor frecuencia en un laboratorio o taller de mantenimiento, aunque existen dispositivos de permeación portátiles. El tiempo necesario para equilibrar el tubo de permeación y la necesidad de mantener un flujo y una temperatura constantes son las limitaciones de este método.

Según los encuestados, la frecuencia de la calibración y las comprobaciones cualitativas varía. La mayoría de los usuarios de monitores de cloro calibran semestralmente y verifican la calibración/funcionalidad mensualmente. Utilizan técnicas cuantitativas para comprobar la calibración y calibrar, y utilizan técnicas cualitativas para verificar la funcionalidad de sus monitores.

Hay mucho margen de mejora en el ámbito de la calibración de los monitores de cloro. Los encuestados solicitan de forma abrumadora el desarrollo de mejores técnicas de calibración. Algunos monitores requieren dos técnicos para realizar la calibración, uno en el sensor remoto y otro cerca de la electrónica. Los problemas debidos a las condiciones ambientales surgen cuando los monitores se calibran en condiciones de laboratorio y luego se instalan en el campo. Es difícil simular las condiciones de campo en un estándar de cloro. Las dificultades surgen cuando se intenta preparar un estándar de cloro en el campo.

Algunos proveedores ofrecen ahora sensores inteligentes precalibrados que se pueden comprar a intervalos regulares para que el usuario tenga acceso a sensores recién calibrados en un programa de mantenimiento preventivo regular.

Las verificaciones cualitativas comprueban el hecho de que un monitor responde al gas cloro, pero no validan la precisión de las respuestas. Una verificación cualitativa puede llevarse a cabo exponiendo el monitor al gas cloro que se genera cuando se mezcla cuidadosamente una solución de hipoclorito (lejía) con ácido. También están disponibles los estándares de gas cloro NIST y las ampollas de cloro para su uso como prueba cualitativa. Los monitores equipados con circuitos de autocalibración son muy populares. Se inicia un modo de calibración desde el módulo de control y el monitor se calibra electrónicamente. Esta función no está disponible en todos los monitores. Hasta que se adquiera más experiencia con la autocalibración, ésta debe considerarse una prueba cualitativa.

Las comprobaciones cualitativas de la función de verificación deben utilizarse junto con las comprobaciones y calibraciones de mantenimiento preventivo programadas. La frecuencia de las comprobaciones de calibración/calibración de mantenimiento preventivo debe basarse en las recomendaciones del fabricante. La frecuencia de las comprobaciones de funcionamiento cualitativas debe basarse en la fiabilidad de todos los componentes del sistema. La frecuencia de las comprobaciones de funcionamiento entre las calibraciones de mantenimiento preventivo programadas debe ser mayor que la tasa de fallos de todos y cada uno de los componentes del sistema.

Hay que tener en cuenta los impactos no intencionados aguas abajo durante la calibración. Esto puede incluir un sensor que pueda disparar una alarma de planta

o una alarma comunitaria audible durante el proceso de calibración. Debe existir un sistema para evitar disparos y/o alarmas innecesarias.

## 9. PROCEDIMIENTO RECOMENDADO DE EVALUACIÓN

La selección real de un monitor de cloro ambiental adecuado para una planta se basará en una serie de criterios. Probablemente, uno de los más influyentes será la experiencia previa de funcionamiento satisfactorio en instalaciones similares. Ponerse en contacto con otros usuarios de sistemas prometedores para determinar qué se hizo para que el sistema tuviera éxito es muy beneficioso. Realice una prueba piloto en un solo punto o en un pequeño número de puntos de su instalación antes de comprometerse con un sistema completo. Con la rápida evolución de la tecnología, mañana podría haber una mejor.

### 9.1. CONSIDERACIONES

Las siguientes consideraciones afectarán significativamente a la elección del fabricante del sensor:

- a. ¿Los sensores serán autónomos, informarán a un panel de control central o directamente a un sistema informatizado? ¿El sistema se dedicará al cloro o se suministrarán sensores para otros gases?
- b. ¿Se encuentra la instalación en una zona rural, industrial o residencial?
- c. ¿Cuáles son las temperaturas y humedades extremas previstas?
- d. ¿De qué recursos de mantenimiento dispone la planta que puedan dedicarse al mantenimiento de este sistema?
- e. ¿Tiene el posible proveedor representantes locales con stock de repuestos y taller de reparación?

### 9.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Al evaluar y seleccionar un posible sistema de control del cloro deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- a. El monitor debe tener un nivel demostrado de fiabilidad basado en instalaciones anteriores.
- b. El monitor debe ser altamente específico para el cloro, con un mínimo de interferencias.

- 
- c. El monitor debe tener una respuesta y un tiempo de limpieza rápidos.
  - d. El monitor debe tener límites de detección apropiados teniendo en cuenta el PEL de la OSHA y el valor medio ponderado en el tiempo de la ACGIH para el cloro.
  - e. El monitor debe funcionar dentro de los rangos de temperatura y humedad previstos.
  - f. El monitor ideal debe requerir un mantenimiento mínimo.
  - g. El monitor debe ser fácil de calibrar, mantener y probar su funcionamiento.
  - h. El sistema de monitorización debe ser fácil de instalar.
  - i. Hay que tener en cuenta la capacidad de alimentación y la clasificación eléctrica.
  - j. Todos los componentes de campo del monitor, incluida la caja, deben ser adecuados para su instalación en un lugar peligroso y estar clasificados para la exposición al cloro.
  - k. Puede ser necesario considerar la facilidad de interfaz con un sistema informático.
  - l. Cuando se considere un sistema de monitorización por ordenador, deberá evaluarse la notificación de alarmas (incluidas las horas de inicio y parada), el almacenamiento de los valores históricos del monitor y la información sobre el viento, la tendencia de la concentración del monitor y la información sobre el viento, y la capacidad de recuperar datos del sistema.
  - m. Información necesaria para estimar rápidamente la cantidad de cloro liberado y notificar las liberaciones potencialmente superiores a 10 libras a las agencias locales, estatales y federales.

Pueden desarrollarse criterios adicionales para cumplir los requisitos de cada aplicación específica. Se podría asignar una prioridad a cada criterio y evaluar cada sistema potencial según sus criterios. De este modo, se puede seleccionar un sistema de vigilancia adecuado.

## 10. REFERENCIAS

### 10.1. REFERENCIAS DEL INSTITUTO DEL CLORO

Las siguientes publicaciones se mencionan específicamente en el folleto 73 de CI. Las últimas ediciones de las publicaciones del CI pueden obtenerse en <http://www.chlorineinstitute.org>

**Folleto #****Título**

74

*Guidance on Estimating the Area Affected by a Chlorine Release*, ed. 7; Pamphlet 74; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **2019**.

*Guía para estimar el área afectada por una liberación de cloro*, ed. 7; Folleto 74; El Instituto del Cloro: Arlington, VA, 2019.

**10.2. PUBLICACIONES VARIAS**

10.2.1. Code of Federal Regulations. Title 29, Section 1910.119. Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals.

*Código de Regulaciones Federales. Título 29, Sección 1910.119. Gestión de Seguridad de Procesos de Productos Químicos Altamente Peligrosos.*

10.2.2. NCASI Technical Bulletin 485, "Laboratory and Field Examination of Several Area, Survey and Personal Workplace Atmosphere Chlorine Monitors". The National Council for Air and Stream Improvements, Inc., Cary, NC March 1986.

*Boletín técnico 485 de NCASI, "Examen de laboratorio y de campo de varios monitores de cloro de atmósfera de área, encuesta y personal en el lugar de trabajo". The National Council for Air and Stream Improvements, Inc., Cary, NC, marzo de 1986.*

10.2.3. The United States Environmental Protection Agency, "Review of Emergency Systems; Report to Congress, Section 305(b) Title III Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986," Washington, DC, June, 1988.

*La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, "Revisión de los Sistemas de Emergencia; Informe al Congreso, Sección 305(b) Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo del Título III de 1986", Washington, DC, junio de 1988.*

10.2.4. Code of Federal Regulations. Title 40, Section 68. Chemical Accident Provisions.

*Código de Regulaciones Federales. Título 40, Artículo 68. Disposiciones sobre Accidentes Químicos*

---

**APÉNDICE A - ENCUESTA DE MONITORES DEL CLORO 2020**

Se realizó una encuesta para determinar qué monitores se utilizan actualmente entre los miembros del Instituto del Cloro. Respondieron 35 personas, entre ellas productores de cloro (54%), envasadores de cloro (17%), fabricantes de hipoclorito de sodio (9%), instalaciones de tratamiento de agua (6%) e instalaciones de usuarios de cloro (14%). Los encuestados respondieron a preguntas sobre el tipo de monitores en uso, el entorno ambiental, la ubicación de los monitores, los ajustes del monitor, los programas de mantenimiento y los programas de calibración. Los resultados son los siguientes.

**TIPO DE MONITORES EN USO**

- 3M
- Analytical Technologies
- Bacharach
- Detcon
- Draeger
- Gas Tech
- Gastronics
- General Monitors
- Honeywell
- Mil-ram
- MSA
- Rosemount
- Scott Bacharach (includes Enterra and EIT (Exidyne))
- Scott Safety
- Sensidyne
- Teledyne

**TEMPERATURA AMBIENTE**

Las temperaturas exteriores promedio variaron desde bajo cero hasta más de 91 grados F (32 grados C). La mayoría de los encuestados cayeron entre 41 y 91+ grados F (5-32 grados C) como temperatura promedio anual.

## HUMEDAD AMBIENTE

La mayoría de los encuestados indicó que sus monitores de cloro estuvieron expuestos a una humedad relativa moderada (41 - 80%) o alta (81 - 100%) relativa

## TRANSMISIÓN DE LECTURAS DE CLORO

Los miembros del CI transmiten las lecturas de cloro de diferentes maneras, como se indica en la tabla siguiente:

<b>Tabla A.1 Método de transmisión de datos del monitor de cloro</b>	
Visualización local solamente, las lecturas no se transmiten.	3%
Cableado desde el sensor hasta el ordenador o la sala de control.	86%
Transmisión inalámbrica del sensor al ordenador o a la sala de control.	3%
Mezcla de algunas señales cableadas y otras transmitidas de forma inalámbrica.	9%

## CONFIGURACIÓN DE LA LÓGICA DE PARADA

Los monitores de cloro cumplen diferentes funciones en diferentes ubicaciones e instalaciones

<b>Tabla A.2 Propósito funcional del monitor de cloro</b>	
Todos los monitores son solo para fines de alarma/alerta.	26%
Algunos monitores son solo para fines de alarma/alerta; otros monitores pueden parar automáticamente el proceso.	44%
Todos los monitores forman parte del sistema de parada de emergencia.	29%

Para aquellas instalaciones que utilizan monitores de cloro como parte de la lógica de parada, los ajustes de alarma varían de 0,5-10 ppm para alarmas altas y de 0,9-10 ppm para alarmas altas Terédine. Cada instalación debe determinar sus propios ajustes de alerta, alarma y parada. Esta determinación se basa en la ubicación de la instalación y los vecinos que la rodean, los requisitos reglamentarios locales/estatales/provinciales, la proximidad a los edificios ocupados dentro de la instalación y el historial operativo.



---

**LOCALIZACIÓN DE MONITORES DE CLORO**

Los encuestados indicaron que, al elegir las ubicaciones de los monitores de cloro, se tuvieron en cuenta varias consideraciones:

- Puntos potenciales de fuga (conexiones, salida de la chimenea, etc.) basados en el análisis de riesgos. Los análisis de riesgos pueden incluir tanto la seguridad como la protección.
- Proximidad a equipos que contienen cloro, tanto de almacenamiento como de funcionamiento.
- Ubicaciones de monitores redundantes para verificar las lecturas.
- Dirección del viento.
- Historial de incidentes en las instalaciones.
- Proximidad a las operaciones de descarga.
- Aportaciones del gobierno local, estatal y/o provincial sobre la ubicación de los monitores en el perímetro.
- Proximidad a equipos críticos.
- Proximidad a los conductos de entrada de aire que podrían transportar el cloro de un lugar a otro.
- Proximidad a la zona de carga, incluidas las zanjas situadas debajo de las básculas para cargar el cloro.
- Resultados de los esfuerzos de modelización de la dispersión.

Todas las instalaciones encuestadas instalaron monitores dentro del área de operaciones. Además, alrededor de un tercio de las instalaciones tienen monitores en la línea de la cerca y un pequeño porcentaje ha instalado monitores fuera de sus instalaciones.

Dado que el cloro es más pesado que el aire, se debe tener cuidado al determinar la altura instalada de los monitores de cloro. Todas las instalaciones encuestadas colocaron sus monitores a seis pies (1,8 metros) o menos del nivel del suelo.

### **MANTENIMIENTO DE LOS MONITORES**

Para los encuestados, la frecuencia de mantenimiento de los monitores de cloro varía, desde semanal hasta mensual, trimestral, bianual o anual. Algunos realizan el mantenimiento en función de las necesidades. Dependiendo de la instalación, este trabajo lo realizan empleados de mantenimiento de la empresa o contratistas externos.

### **CALIBRACIÓN DE LOS MONITORES**

Los encuestados utilizan diversos métodos de calibración. Algunos monitores se autocalibran. Para otros, la calibración se realiza mediante el uso de gas de cloro estándar o un generador de cloro electrolítico portátil. La frecuencia de calibración varía, desde la necesaria hasta la mensual o la anual, siendo la más común la trimestral. Durante la calibración, la mayoría de los encuestados anulan la lógica de disparo de la planta. Un poco menos de un tercio no anula la lógica de disparo. Casi una quinta parte de los monitores encuestados no están vinculados a la lógica de disparo, lo que hace innecesaria la derivación. Dependiendo de la instalación, este trabajo lo realizan los empleados de mantenimiento de la empresa, los contratistas y/o el fabricante del monitor de cloro.

### **CAPACIDADES DE DIAGNÓSTICO AVANZADAS**

Alrededor de una cuarta parte de los encuestados emplea capacidades de diagnóstico avanzadas (p. ej., HART o Highway Addressable Remote Transducer). De aquellos que usan capacidades de diagnóstico avanzadas, la mayoría usa los datos para modificar los programas de mantenimiento preventivo. Otros usan los datos para modificar el programa de reemplazo.

**APÉNDICE B - LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECKLIST) DEL FOLLETO 73**

Esta lista de verificación está diseñada para destacar los temas principales para alguien que ya ha leído y comprendido el folleto. Tomar las recomendaciones de esta lista sin entender los temas relacionados puede llevar a conclusiones inapropiadas.

Marque con una tilde (✓) la casilla correspondiente:

Si	No	N/A		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. ¿Se considera la posibilidad de utilizar los datos de los monitores de cloro como parte de un programa de Concientización Comunitaria y Respuesta a Emergencias (CAER)?	{4}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. ¿Se han colocado los sensores teniendo en cuenta los posibles lugares de emisión y los patrones meteorológicos?	{5.2}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. ¿Se ha tenido en cuenta el suministro de energía a los monitores de cloro en caso de que falle la fuente de alimentación principal?	{6.2}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. ¿Se han tomado medidas para comprender y corregir los efectos de las sustancias químicas de interferencia en el rendimiento de los monitores de cloro?	{6.4}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. El monitor de cloro seleccionado, ¿tiene un rendimiento fiable en el entorno ambiental?	{6.5}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. ¿Se han colocado los sensores de cloro de forma que se tengan en cuenta las plantas/poblaciones vecinas, los cambios de altitud y la velocidad/dirección del viento?	{7.4}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. ¿Están los técnicos de mantenimiento de los monitores de cloro capacitados para realizar el mantenimiento según lo indicado por el fabricante?	{8}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8. ¿Se seleccionan las baterías para minimizar el potencial de explosión?	{8}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9. ¿Se realizan pruebas de funcionamiento de verificación cualitativa a intervalos más frecuentes que la tasa de fallos?	{8}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10. ¿Se calibran los sensores?	{9}
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11. ¿Se ha realizado una evaluación exhaustiva para seleccionar el monitor de cloro más adecuado para una instalación determinada?	{10, 6.4}