

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS QUE UTILICEN GAS CLORO

José Luis Escobar Villagrán¹
Oscar Pérez Ovilla²
Hugo A. Guillén Trujillo³

RESUMEN

El presente es el primero de dos artículos que tienen por objetivo analizar y predecir los posibles accidentes químicos relacionados con gas cloro que pudieran existir como consecuencia de una mala operación o funcionamiento de la unidad de cloración en una planta de tratamiento de aguas.

Para alcanzar el objetivo es necesario, en primer término, identificar el área y los eventos que lleven a una situación de riesgo dentro de una planta de tratamiento de aguas que maneje cloro en forma de gas para el proceso de desinfección, mediante una técnica apropiada. Se eligió el método HAZOP (Hazard and Operability) debido a que es lo suficientemente flexible y con un aceptable grado de complejidad para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos continuos o batch, equipos individuales, etc, en comparación con otras técnicas. La descripción de la técnica y su aplicación se desarrolla en este trabajo. Asimismo, se ha incluido un cuadro que resume las diferentes técnicas de identificación de riesgos existentes y los usos de las mismas.

Una vez identificados y analizados los posibles escenarios que involucran fugas o pérdidas de contenido de gas cloro en la unidad de cloración, se realizaron diferentes simulaciones para predecir la dirección y distancia a la cual el cloro implicaba peligro potencial para la salud. Para realizar la simulación, fue necesario calcular en primer término la velocidad o cantidad con la que el contaminante se fuga para después conocer la dispersión de éste en el ambiente con base en los modelos de dispersión Gaussiana de tipo continuo y puff. Los modelos y resultados de la simulación de la fuga de gas cloro serán presentados en un trabajo posterior.

ANTECEDENTES/INTRODUCCIÓN.

Las plantas de tratamientos de aguas residuales y para consumo humano incluyen, en su última fase de tratamiento, la desinfección del agua. Esta puede realizarse mediante diversos agentes desinfectantes tales como el cloro, el ozono, la luz ultravioleta, etc. Sin embargo, el agente desinfectante más utilizado en México para el tratamiento de volúmenes considerables de agua es el gas cloro, por tratarse de un agente de menor costo.

El almacenamiento de tales volúmenes de cloro representan un peligro potencial para la instalación y sus alrededores ya que de presentarse una fuga de cloro, por su naturaleza tóxica, bastan 30 ppm en el aire para causar daños inmediatos a la vida o salud humana (IDLH, por sus siglas en inglés) o estar expuestos a una concentración de 50 ppm en un período de 30 minutos a 1 hora para presentar efectos peligrosos en la salud (TLV, por sus siglas en inglés).

¹ Profesor titular del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

² Estudiante de la Maestría en Ingeniería Hidráulica Ambiental de la UNACH

³ Director General de Investigación de Posgrado de la UNACH y Profesor Investigador de la Facultad de Ingeniería de la UNACH

Según el listado de sustancias altamente riesgosas expedido en el diario Oficial de la Federación el lunes 4 de mayo de 1992, el cloro en estado gaseoso almacenado en cantidades mayores a un kilogramo en actividades industriales o comerciales se considera como una sustancia altamente peligrosa.

Asimismo, La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en su artículo 147 establece que quienes realicen actividades altamente riesgosas deberán presentar un estudio de riesgo para evaluación de los peligros potenciales que presenta la instalación para los trabajadores que ahí laboran y sus alrededores y de esta manera tomar las medidas necesarias para llevar a cabo el control de una posible emergencia.

El presente trabajo tiene dos objetivos. En su primera parte se identifican y analizan los peligros potenciales generados por el almacenamiento, manejo y uso de gas cloro en las plantas de tratamiento de aguas, utilizando para ello una de las metodologías que normalmente se utilizan para el análisis de riesgos en plantas químicas y, en una segunda parte, se analizan los escenarios de mayor riesgo a través de modelos que permiten simular el comportamiento del gas cloro en el entorno y establecer las medidas preventivas, correctivas y de combate a la emergencia en caso de ocurrir un evento de esta naturaleza.

Descripción de una unidad típica de cloración de una planta de tratamiento de aguas

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales generalmente constan de las siguientes etapas: pre-tratamiento, tratamiento (primario y secundario), sistemas de desinfección (a base de gas cloro) y tratamiento de lodos, de las cuales se describirá brevemente el sistema de cloración por ser el lugar en donde existe el mayor riesgo químico. Es importante señalar que pueden existir diferentes arreglos según el tamaño y necesidades de la planta, sin embargo, en la mayoría de los casos, se encuentran presentes los elementos antes mencionados.

Un sistema de cloración mediante gas cloro se compone principalmente de los siguientes elementos: tanques o cilindros de cloro (existen de 68 y 908 Kg de capacidad), cabezales para conectar los tanques de gas cloro al sistema, válvulas para cambio automático de cilindros (switch-over), válvulas reguladoras de vacío para el suministro de gas cloro a los gabinetes de cloración que consisten básicamente en un sistema de medición y control del flujo y presión del cloro para mantener la concentración de cloro requerida en el agua. Mediante eyectores se mezcla el gas cloro con una pequeña corriente de agua a presión para finalmente poner en contacto esta corriente clorada con el agua a tratar en uno o varios tanques de contacto provistos de deflectores que darán los tiempos de retención suficientes para asegurar la desinfección del agua.

Por otra parte, para el control de la concentración de cloro en el efluente, generalmente se cuenta con un sistema de monitoreo, localizado en los tanques de contacto, que retroalimenta esta información al gabinete de cloración para su control.

Asimismo, el sistema de cloración puede contar con alarmas por alto y bajo vacío para los casos de sobre-presión en líneas o pérdida repentina de vacío, y un sistema de venteo en el

regulador de vacío. Además, el sistema cuenta con válvulas de no-retroceso en los eyectores para evitar flujo inverso y válvulas de seccionamiento en cabezales y equipo de cloración.

Descripción de la técnica de Identificación de Riesgos

Existen varias técnicas de Identificación de Riesgos (IR), de las cuales, 12 son las más utilizadas y recomendadas (ver la referencia 2 para mayores detalles), según las circunstancias en que se empleen. Así por ejemplo, algunas técnicas son eficientes hablando a grandes rasgos de los peligros inherentes de grandes plantas o procesos complejos. Otras son elecciones excelentes para realizar análisis detallados de un amplio rango de riesgos durante las etapas de diseño de un proceso dado o de una operación rutinaria. Finalmente, otro tipo de técnicas se utiliza bajo situaciones especiales que requieren un análisis de detallado de una o varias situaciones específicas de riesgo. La Tabla 1.1 resume los usos típicos para 12 técnicas de Evaluación de Riesgo.

Tabla 1. Usos típicos para las técnicas de Evaluación de Riesgo

	Inspección de Seguridad	Checklist	Clasificación relativa	PHA ¹	Que pasa-Si	Que pasa-Si / Checklist	HAZOP ²	FMEA ³	Árbol de Fallas	Árbol de eventos	Causas y consecuencias	Fiabilidad humana
Investigación y Desarrollo												
Diseño conceptual												
Operación de planta piloto												
Ingeniería de detalle												
Construcción / arranque												
Operación rutinaria												
Expansión o modificación												
Investigación del incidente												
Retiro												



Comúnmente usada



Raramente usada o inapropiada

¹ Análisis Preliminar de Riesgo (PHA)

² Análisis de Riesgo y Operabilidad

³ Modo de Fallo y Análisis de Efectos

Para el desarrollo de este trabajo, se eligió la técnica HAZOP (Hazard and Operability) debido a que es lo suficientemente flexible y con un aceptable grado de complejidad para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos continuos o por lotes, equipos individuales, etc, en comparación con otras técnicas. Esta técnica fue iniciada en los sesentas en la división Mond de ICI. De ahí se extendió a todo ICI y posteriormente a Inglaterra y toda Europa.

La técnica HAZOP consiste básicamente en estimular la imaginación del grupo de analistas de riesgo, a través de proponer o imaginar desviaciones de las condiciones normales de operación utilizando para ello palabras clave (Ver Tabla 2), que permiten la búsqueda e identificación sistemática de peligros potenciales en cada uno de los puntos de análisis.

Tabla 2. Palabras clave originales de ICI para la técnica HAZOP

Palabra clave	Significado
No	Negación
Menos (menor)	Decremento cuantitativo
Mas (mayor)	Incremento cuantitativo
Parte de	Decremento cualitativo
Tanto como	Incremento cualitativo
Inverso	Oposición lógica a lo establecido
Otro	Sustitución completa

Por otra parte, los parámetros del proceso más comunes que pueden ser analizados mediante esta técnica son:

Flujo	Tiempo	Frecuencia	Mezclado
Presión	Composición	Viscosidad	Adición
Temperatura	pH	Voltaje	Separación
Nivel	Velocidad	Información	Reacción

APLICACIÓN DE LA TÉCNICA HAZOP AL SISTEMA DE CLORACION

Por tratarse de una planta de tratamiento de aguas residuales, la identificación y jerarquización del área de mayor riesgo químico se basa fundamentalmente en el volumen y peligrosidad del material almacenado, así como de las operaciones realizadas en cada una de ellas. Por el tipo de instalación a analizar, la sección de cloración presenta el mayor riesgo químico, debido a que en esta área es donde se almacenará el volumen total de cloro de la planta en tanques de 68 o 908 kg y se realizan las operaciones de cambio de tanques de cloro, suministro de gas al equipo de dosificación de cloro y a líneas de conducción a eyectores y tanques de contacto de cloro.

En las otras áreas relacionadas al proceso de tratamiento de aguas residuales, de mantenimiento y administrativas, no son utilizadas sustancias químicas peligrosas, por lo que normalmente no son consideradas para la identificación detallada de riesgos.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, la identificación detallada de riesgos se debe orientar básicamente al área de cloración, para lo cual, un grupo de especialistas de la Westinghouse Hanford Company (WHC), Battelle Columbus, los Laboratorios Pacific Northwest (PNL) y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (ver referencia 1) propone 6 nodos para su análisis detallado (Figura 1), de los cuales, dos de ellos implican operaciones de retiro de cilindros vacíos y reposición. El régimen de operación en esta área es del tipo continuo, sin embargo se realizan algunas operaciones periódicas.

- Nodo 1. Suministro de gas cloro a rotámetro.
- Nodo 2. Suministro de gas cloro del cilindro de almacenamiento al regulador
- Nodo 3. Suministro de gas cloro del cilindro a la línea de vacío
- Nodo 4. Suministro de gas cloro al eyector
- Nodo 5 y 6. Procedimiento para el retiro de cilindro vacío y reposición.

Por otra parte, en el análisis se consideró las posibilidades de eventos externos que provoquen un riesgo potencial, tal como un incendio en los alrededores de la planta, aunque esta situación en particular tiene una baja probabilidad de ocurrencia.

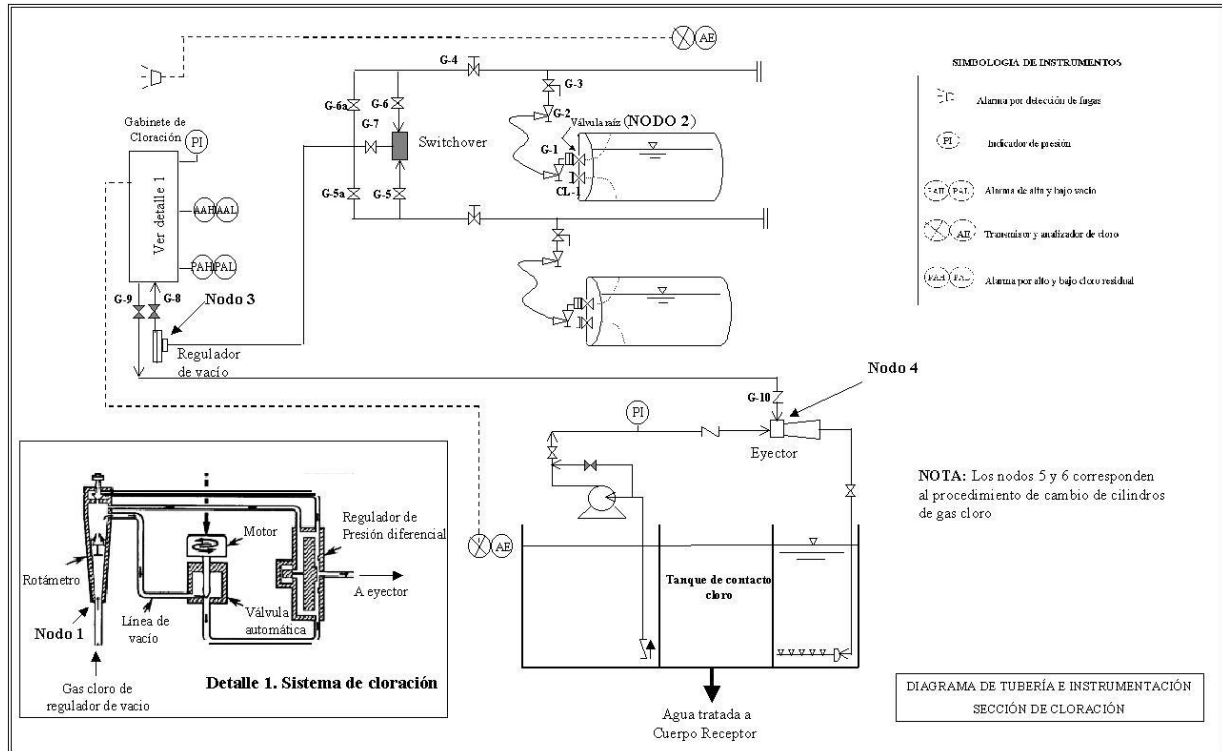


Figura 1. Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) de la sección de Cloración.

RESULTADOS

Una vez identificados los nodos sujetos a análisis, se procedió a aplicar la técnica HAZOP a través de las diferentes palabras claves en cada nodo y seleccionando un grupo de variables características del proceso de cloración susceptibles a sufrir desviaciones que pueden conducir a una condición de riesgo. El grupo de variables seleccionadas fue: flujo, temperatura y presión.

Para el análisis de los nodos 5 y 6, por tratarse de una operación periódica de tipo manual, se tomaron en cuenta todos los pasos de procedimiento que normalmente se lleva a cabo para el cambio de cilindros vacíos y reposición, considerando principalmente errores de tipo humano que pueden conducir a un evento de riesgo.

Como resultado de la aplicación de la técnica a los diferentes nodos se obtuvieron 89 desviaciones posibles del comportamiento normal de la planta. Sin embargo solo 8 desviaciones conducen a 4 eventos posibles de riesgo, los cuales se presentan a continuación:

No. de Nodo	Palabra clave	Desviación	Causas posibles	Consecuencias	Medidas de seguridad con que se cuenta	Comentarios/recomendaciones
1	Otro (cont.)	Aire en el eyector	Ruptura de tubería (PVC o acero) Falta de mantenimiento, especialmente en la línea de PVC	Fuga de Cl ₂ (por orificios mayores a un diámetro de 3/8 de pulgada) Daños y muertes potenciales en las cercanías del edificio de cloración e instalaciones cercanas	El regulador cierra al haber pérdida de vacío MITIGACIÓN: Alarma de Cl ₂ diseñada para fugas. Respuesta a la emergencia en el lugar del percance.	Poco probable. Hay suficiente protección. Verificar que en edificio adyacente se cuente con procedimiento de respuesta a emergencias.
3	Más	Flujo mayor	Falla en el regulador	Fuga de Cl ₂ a través de la válvula de venteo del regulador. Peligro potencial de lesionados/muertes cerca del edificio de cloración y áreas cercanas	Ninguna. MITIGACIÓN: Alarma de Cl ₂ (local y remota). Respuesta de emergencia en el lugar del percance.	La causa parece tener una baja probabilidad de ocurrencia. Pueden implementarse mecanismos de control tal como el corte remoto de Cl ₂ del cilindro.
5	Otro	Cilindro equivocado	El mecánico selecciona el cilindro equivocado	El mecánico desconecta el cilindro en desuso con fuga completa del contenido del cilindro Peligro potencial para daños y muertes cerca del edificio de cloración y edificios cercanos	1) Se cuenta con un procedimiento escrito para el cambio de cilindros 2) Alarma de bajo-vacío y alarma de cloro	Protección suficiente Existen sistemas de etiquetado incorporados al procedimiento de desconexión
5	Parte de	Instalación incompleta	Parcialmente enganchado	El cilindro se cae y se daña, resultando en una fuga de cloro	Verificar los radios calculados en caso de fuga de cloro desde el cilindro	Baja probabilidad de ocurrencia

Los eventos anteriormente analizados conducen básicamente a cuatro escenarios posibles que involucran fugas o pérdidas de contenido de gas cloro:

- I. Fisura o ruptura de líneas de conducción.
- II. Fuga de cloro en línea de venteo.
- III. Fuga de cloro a través de válvula (raíz) en el cilindro contenedor.
- IV. Fuga de cloro debido a ruptura catastrófica de un contenedor de 1 tonelada de cloro.

Los escenarios I, II y III conducen a la formación continua de una pluma de gas cloro que se difunde en la atmósfera y cuyo origen es el orificio de escape, mientras que el escenario IV implica la formación instantánea de una nube de gas cloro (evento puff) que viaja en la atmósfera con la totalidad de la masa contenida en el cilindro antes de su ruptura.

CONCLUSIONES

Como resultado de la aplicación de la técnica HAZOP para el análisis e identificación de riesgos aplicados a una planta de tratamiento de aguas, se concluye que independientemente de la tecnología, medidas de control y seguridad aplicadas, existen riesgos inherentes al proceso de cloración con gas que son plausibles de presentarse, por lo que es necesario, en cualquiera de sus etapas del proyecto (diseño, construcción y operación) la aplicación de cualquier técnica de identificación conocida con el objeto de aplicar medidas preventivas, correctivas y de respuesta a la emergencia en caso de accidentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Example Process Hazard Analysis of a Department of Energy Water Chlorination Process, U. S. Department of Energy, 1993, Washington D.C.
2. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1992.
3. Chlorine Manual, The Chlorine Institute, New York, USA.
4. Curso de Capacitación en Materia de Riesgo Ambiental, Corporación Radian, S.A. de C.V., México, D.F., Febrero de 1993.
5. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.
6. Guidelines for Process Equipment Reliability Data, Center for Chemical Process Safety, AIChE, New York.
7. Control de Riesgos de Accidentes Mayores, Oficina Internacional del Trabajo, Ediciones Alfaomega, 1996, México D.F.