

**ANÁLISIS DEL RIESGO TECNOLÓGICO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE MORRORICO
DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P**

FABIO ALEXANDER MORALES MUÑOZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2006

**ANÁLISIS DEL RIESGO TECNOLÓGICO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE MORRORICO
DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P**

FABIO ALEXANDER MORALES MUÑOZ

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

Directora

ING. ANA MARIA BETANCUR HERNÁNDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
MARCO JURIDICO.....	18
DESARROLLO METODOLOGICO.....	21
1. DELIMITACIÓN Y CARATERIZACIÓN DEL SISTEMA.....	22
1.1 MARCO DE REFERENCIA.....	22
1.2 FUNCIÓN PRINCIPAL DEL SISTEMA Y SUS PROCESOS.....	24
1.2.1 Descripción del proceso.....	28
1.3 ELEMENTOS PRINCIPALES A SER CONSIDERADOS.....	34
1.4 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SISTEMA.....	35
1.5 IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO.....	36
1.6 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL SISTEMA	37
2. DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y TOXICOLÓGICOS DEL CLORO GASEOSO.....	38
2.1 EFECTOS DEL CLORO EN EL HOMBRE Y EL MEDIO AMBIENTE.....	40
2.2 EL CLORO EN EL AGUA.....	44
2.3 OTROS USOS DEL CLORO.....	48
3. ESTIMACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA.....	49

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EVENTOS INICIANTES Y LAS CAUSAS QUE LOS ORIGINAN.....	49
3.2 ESTIMACIÓN DE OCURRENCIA DE EVENTOS INICIANTES.....	59
3.3 IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS AMENAZANTES.....	59
3.3.1 Metodología.....	60
3.4 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS DONDE PUEDEN OCURRIR LOS EVENTOS AMENAZANTES.....	62
3.5 ESTIMACIÓN DE LA OCURRENCIA DE LOS EVENTOS AMENAZANTES.....	64
4. ESTIMACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS.....	65
4.1 ANÁLISIS/EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE DAÑO O VULNERABILIDAD.....	65
4.1.1 Evaluación de la vulnerabilidad por la nube asfixiante.....	66
4.1.2 Principales elementos vulnerables.....	69
4.2 CALIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CONSECUENCIAS DE INTERÉS.....	73
4.3 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CUANTIFICACIÓN DE DAÑO.....	74
5. VALORACIÓN FINAL DEL RIESGO.....	76
6. CONCLUSIONES.....	82
7. RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Presión de vapor vs. Temperatura.....	28
TABLA 2. Características particulares del sistema.....	35
TABLA 3. Propiedades físicas y químicas del cloro.....	39
TABLA 4. Efectos del cloro sobre la salud a diferentes concentraciones.....	43
TABLA 5. Causas de los eventos iniciantes por modos de falla.....	50
TABLA 6. Selección de causas.....	51
TABLA 7. Calificación de causas.....	56
TABLA 8. Simbología para conectores lógicos y símbolos de eventos.....	60
TABLA 9. Ocurrencia del evento amenazante.....	64
TABLA 10. Concentración del gas vs. Distancia y tiempo.....	67
TABLA 11. Orientación estadística del viento.....	69

TABLA 12. Número de predios y personas que se encuentran dentro del radio de afectación.....	72
TABLA 13. Calificación y selección de las categorías de consecuencias de interés.....	73
TABLA 14. Cuantificación de afectación a personas.....	74
TABLA 15. Cuantificación de contaminación ambiental (aire, flora, fauna).....	75
TABLA 16. Cuantificación de pérdidas económicas.....	75
TABLA 17. Cuantificación de pérdidas de imagen.....	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Proceso de dosificación de cloro.....	24
FIGURA 2. Zona de almacenamiento de los contenedores.....	25
FIGURA 3. Válvulas en contenedor de cloro de 907 Kg.....	27
FIGURA 4. Detalle de filtro, caballete metálico y tuberías.....	29
FIGURA 5. Detalle de los cloradores.....	30
FIGURA 6. Panel de control del clorador.....	31
FIGURA 7. Diagrama del detector de escapes de cloro.....	33
FIGURA 8. Identificación de riesgos en el proceso.....	36
FIGURA 9. Matriz de selección de causas.....	58
FIGURA 10. Árbol de falla.....	61
FIGURA 11. Árbol de eventos.....	63
FIGURA 12. Radio de afectación por fuga de cloro.....	71
FIGURA 13. Matriz de evaluación del riesgo para fugas mayores.....	77
FIGURA 14. Matriz de evaluación del riesgo para fugas parciales.....	80

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACCIDENTE: Un evento amenazante, inevitable intencionado o no intencionado que cause daño sobre las personas y/o bienes y/o medio ambiente.

AFECTACIÓN: Producir alteración. Hacer impresión una cosa en otra.

AMENAZA: Condición física, química o natural con el potencial de causar consecuencias no deseables o daños sobre la población, la propiedad o el medio ambiente en general. Se expresa en términos de la frecuencia de ocurrencia del evento peligroso dentro del lapso específico de tiempo en un lugar determinado. (Ej.: gas cloro, gasolina).

ANÁLISIS DEL RIESGO TECNOLÓGICO: Conjunto de procedimientos cualitativos/cuantitativos, desarrollados en forma sistemática, que permiten evaluar las amenazas, consecuencias y la vulnerabilidad, asociadas con los productos manejados en un proyecto o instalación en términos de su magnitud, frecuencia, intensidad y localización.

CLORADOR: Aparato diseñado para permitir la inyección adecuada de cloro en los sistemas de tratamiento microbiológico del agua.

COMPENSACIÓN: Decreto 1753/94 – Capítulo 1 – Artículo 1°. Actividad dirigida a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones y localidades por los impactos o afectos negativos que no puedan ser evitados, corregidos o satisfactoriamente mitigados.

CONTAMINACIÓN: Ley 23/73 – Artículo 4°. Alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o particulares.

CONTENEDOR: Recipiente metálico diseñado exclusivamente para el almacenamiento y manejo de cloro líquido con una capacidad nominal de 907 Kg.

DAÑO: Pérdida económica, social, ambiental o grado de destrucción causada como consecuencia de un evento.

EMERGENCIA MAYOR - FUGA MAYOR: Escapes de cloro de alta magnitud por pérdida de fusibles, vástagos de válvulas, rotura de contenedores.

EMERGENCIA MEDIA - FUGA MEDIA: Escapes de cloro de baja magnitud por válvulas de contenedores (salida, rosca, empaques), bases de fusibles. Rotura de mangueras de entrada al dosificador.

EMERGENCIA MENOR - FUGA MENOR: Escapes en puntos de unión o conexión en instalaciones. Escapes en accesorios del dosificador.

ESCAPE: Liberación accidental (no prevista) de un producto gaseoso contenido en un recipiente o recinto físico, ajeno a la operación formal.

ESCENARIO DEL EVENTO AMENAZANTE: Área física o localización geográfica bajo condiciones meteorológicas y características específicas, donde se presenta el evento amenazante.

EVENTO AMENAZANTE: Suceso potencial final de desarrollo de la amenaza (Ej.: escape del cloro gas, incendio del chorro de gasolina).

EVENTO INICIANTE: La pérdida de material o energía contenida en un recipiente.

INDEMNIZAR: Resarcir de un daño o perjuicio.

MITIGACIÓN: Decreto 1753/94 – Capítulo 1 – Artículo 1°. Actividades dirigidas a atenuar y minimizar los impactos y efectos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el entorno humano y natural.

REMEDIACIÓN: Poner remedio al daño, repararlo. Corregir o enmendar una cosa.

RESTAURACIÓN: Recuperación y adecuación morfológica y ecológica de un área o región afectada por las actividades que hayan introducido modificaciones considerables al paisaje y efectos graves a los recursos naturales.

VULNERABILIDAD: Evalúa en el sistema y área de influencia los elementos físicos, biológicos, ambientales, económicos y de imagen que puedan ser afectados, y como pueden ser afectados por uno o varios accidentes.

RESUMEN

TITULO*: ANÁLISIS DEL RIESGO TECNOLÓGICO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE MORRORICO DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P.

AUTOR: FABIO ALEXANDER MORALES MUÑOZ**

PALABRAS CLAVES: Cloro, Fuga de cloro, Riesgo, Análisis del riesgo, daños a la salud, amenaza, vulnerabilidad.

DESCRIPCIÓN: Un estudio para determinar el nivel de riesgo tecnológico generado por la repentina fuga de cloro gas ha sido efectuado en la planta de tratamiento de agua potable de Morrорico la cual se encuentra localizada en la ciudad de Bucaramanga.

* Trabajo de Grado.

** Escuela de Ingeniería Química, Especialización en Ingeniería Ambiental , Directora: Ingeniera Ana Maria Betancur Hernández

El análisis del riesgo es un conjunto de procedimientos desarrollados en forma sistemática, que permite evaluar las amenazas, consecuencias y la vulnerabilidad, asociadas con los productos manejados en una instalación en términos de su magnitud, frecuencia, intensidad y localización.

Para tal efecto se describe y se caracteriza el sistema actual, la localización de los eventos amenazantes en las instalaciones y sus áreas de influencia, y la evaluación del posible efecto o consecuencias sobre las personas y el medio ambiente de acuerdo a unas simulaciones realizadas para la dispersión de cloro gaseoso liberado en forma masiva e instantánea. Adicionalmente se realizó el cálculo de la frecuencia de ocurrencia de estos eventos amenazantes y la probabilidad de sus consecuencias sobre unos elementos vulnerables para obtener finalmente el valor cuantitativo del riesgo.

Entre otras situaciones se encontró que en la eventualidad de escape de la totalidad del gas almacenado en el contenedor quedarían por lo menos 4000 personas expuestas, las cuales estarían a una distancia de 420 metros de la fuente de emisión a una concentración de 20 ppm. Por tal motivo es necesario implementar las instalaciones con modernos equipos como neutralizadores de cloro, software, estaciones metereológicas y demás que junto a un personal bien capacitado se logre disminuir el riesgo, dado que las posibles consecuencias lo ameritan.

SUMMARY

TITLE*: ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL RISK OF THE CHLORING FOR THE WATER TREATMENT PLANT OF MORRORICO OF THE METROPOLITAN AQUEDUCT OF BUCARAMANGA S.A. E.S.P.

AUTHOR: FABIO ALEXANDER MORALES MUÑOZ**

KEY WORDS: Chlorine, chlorine leak, risk, analysis of risk, health damages, vulnerability.

DESCRIPTION: One study to determine the technological risk level generated for the sudden chlorine gas leak has been done in the water treatment plant of Morrорico which is located in Bucaramanga city.

* Graduation work

** Chemical engineering school, environmental engineering specialization, Director:
Ana Maria Betancur Hernández

The analysis of the risk is a whole of procedures developed in a systematical, way which allows to evaluate the menace, consequences and vulnerability, associated to the products handled in one installation in terms of its magnitude, frequency, intensity and localization.

Because of this, the current system, localization of threatening events in its installations and its influential areas are described and characterized, as well as its evaluation of the possible effect or consequence on people and environmental according to some simulations mode for the chlorine gas dispersion freed instantly massively. Additionally, the calculation of the occurrence frequency of these threatening elements was done. In the same way those related to the probability of its consequences about some vulnerable elements to finally obtain the quantitative value of the risk.

Among other situations, it has been found that in an unexpected leak of the totality of the gas stored in the container, there would be at least 4000 people exposed, who would be in a distance of 420 meters from the fountain emission in a concentration of 20 ppm. Because of this, it is necessary to implement the installations with modern equipment such as neutralizers of chlorine, software, meteorological stations and others, due to the fact that the possible consequences worth it.

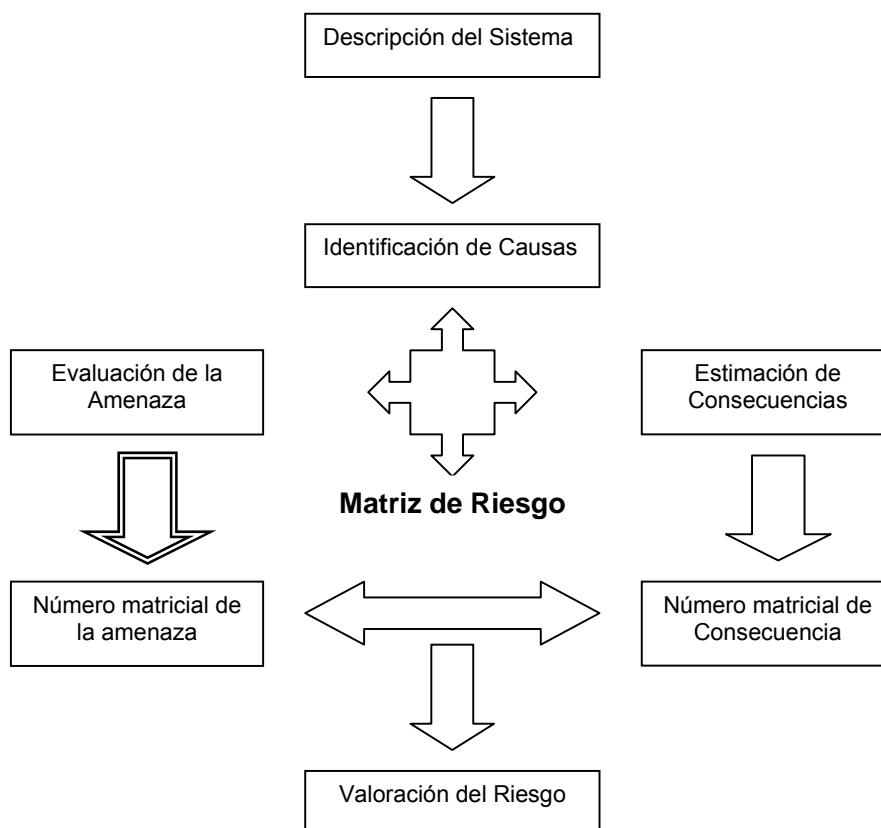
INTRODUCCIÓN

La necesidad de conocer el riesgo que presenta el sistema de cloración de la planta de tratamiento de Morrórico se origina en la medida en que fue aumentando la densidad poblacional en las zonas adyacentes y que se encuentran incluidas en el radio de afectación ante la amenaza de exposición de cloro.

Aunque en este sistema de cloración no ha ocurrido ninguna emergencia grave por fuga de cloro desde que fue creada, es importante evaluar las amenazas, consecuencias y la vulnerabilidad, asociadas con los productos manejados en términos de su magnitud, frecuencia, intensidad y localización.

Es así como el presente trabajo tiene como objetivos la identificación y caracterización del sistema, el análisis de la amenaza, los eventos iniciantes y amenazantes, los escenarios donde pueden ocurrir, sus posibles causas y la frecuencia. Evaluar las consecuencias que podrían generar los eventos amenazantes sobre los elementos vulnerables de acuerdo a los resultados de unas simulaciones realizadas para la dispersión de cloro gaseoso liberado en forma masiva e instantánea para finalmente valorar cuantitativamente el riesgo como consecuencia de los eventos amenazantes

Como guía metodológica de la forma en que llegaremos a la valoración del riesgo se presenta a continuación el siguiente diagrama:



Es importante recalcar que la información con la que finalmente llegamos a la valoración del riesgo fue la que se pudo observar en el sitio y la brindada por personal perteneciente al área operativa del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P., de acuerdo a valores estadísticos que se manejan y a la experiencia de muchos años de trabajo.

MARCO JURIDICO DEL LOS ANÁLISIS DEL RIESGO

FUENTE	AÑO	ARTICULO	CONTENIDO
Ley 23	1973		Ley ambiental. Definición de daño ambiental.
Ley 46	1988		Sistema Nacional para la Prevención y atención de desastres.
Decreto 919	1989	8	Sistema Nacional PAD. Todas las entidades públicas o privadas encargadas de la prestación de servicios públicos, que ejecuten obras civiles de gran magnitud o que desarrollen actividades industriales o de cualquier naturaleza que sean peligrosas o de alto riesgo, así como las que específicamente determine la Oficina Nacional para la Atención de Desastres, deberán realizar análisis de vulnerabilidad, que contemplen y determinen la probabilidad de la presentación de desastres en sus áreas de influencia, o que puedan ocurrir con ocasión de sus actividades.
Directiva Presidencial 33	1991		Componente de emergencias en planes de desarrollo regional y local.

FUENTE	AÑO	ARTICULO	CONTENIDO
Constitución Política Nacional	1991	8	Obligación del Estado y las personas a proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.
		78	Control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad.
		79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.
		80	Manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.
		332	El Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables.
		360	Condiciones para la explotación de los recursos naturales no renovables.
Ley 99	1993		Creación del Ministerio del Medio Ambiente y del Sistema Nacional Ambiental SINA
Decreto 2150	1995		Plan de manejo ambiental.
Decreto 99	1998		Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres.
Decreto 2053	1999	Ministerio Relaciones Exteriores	“Por el cual se promulga el “convenio No. 174 sobre la prevención de accidentes industriales mayores”, adoptado en la 80 reunión de la Conferencia General de la Organización Internacional del trabajo en Ginebra el 22 de Junio de 1993”.
Decreto 350	1999		Por el cual se dictan disposiciones para hacer frente a la emergencia económica, social y ecológica causada por el terremoto ocurrido el 25 de enero de 1999.

FUENTE	AÑO	ARTICULO	CONTENIDO
Decreto 619 Plan de Ordenamiento Territorial	2000	86	"Todas las entidades públicas y privadas que ejecuten obras de gran magnitud que tengan a su cargo el manejo de redes de infraestructura o que desarrollen actividades industriales o de cualquier naturaleza que generen amenazas de origen tecnológico, así como las que específicamente determine la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE deberán realizar análisis de riesgos que contemplen y determinen la probabilidad de ocurrencia de desastres y contar con los respectivos planes de emergencia y contingencia. Dichos planes deberán contener como mínimo las medidas de prevención y mitigación y todas aquellas que deban tomarse para la atención de emergencias, indicando los recursos técnicos y humanos necesarios para su implantación y el esquema de coordinación a adoptar entre las entidades y organismos llamados a intervenir"
Decreto 1728	2002	Ministerio del Medio Ambiente	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99/93 sobre la Licencia Ambiental.

DESARROLLO METODOLOGICO

Para la ejecución del presente trabajo fue necesaria la revisión de aspectos teóricos del riesgo, del gas cloro y de sus consecuencias en el hombre por medio de textos y artículos con temas relacionados al objeto del proyecto. Adicionalmente con la información brindada por técnicos y operadores de la planta de morrorico se analizaron todos los aspectos que involucran el funcionamiento y la seguridad de la misma ante posibles fugas.

Para la evaluación de la amenaza fue necesaria la identificación de eventos iniciantes y sus causas, y la identificación y estimación de ocurrencia de los eventos amenazantes.

Para la evaluación de las consecuencias se utilizó un modelo de dispersión de cloro gaseoso liberado en forma masiva e instantánea. Por medio del registro diario que tiene la CDMB de la dirección de los vientos en la estación de la UIS y al radio de afectación de 420 mts se hizo un recorrido de campo para determinar el número de residencia y de habitantes. El riesgo se valoro como el producto de las dos anteriores.

DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

Para la realización del análisis del riesgo es necesario la caracterización de los elementos que van a ser analizados, con el objeto de enmarcar el proceso de cloración dentro del contexto de referencia que se pretende analizar. Esta caracterización incluye:

1.1 MARCO DE REFERENCIA

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. es una compañía prestadora de servicios públicos domiciliarios cuyos clientes principales son todas las personas visitantes y residentes de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón. Está ubicada en la zona nor.-oriental del Área Metropolitana de Bucaramanga, en la Diagonal 32 No. 30 A - 51 entre la Avenida Quebrada Seca y la Calle 32 parte baja del Barrio Morrhico de la ciudad de Bucaramanga.

Esta planta de tratamiento tiene una capacidad de 400 l/s y fue diseñada para tratar las aguas provenientes del sistema Río Tona. Funciona simultáneamente

con las plantas la Flora también del sistema Río Tona, la planta de Bosconia del sistema del Río Surata y la planta de Floridablanca la cual trata las aguas de la hoya del Río Frío.

La planta de Morrорico se encuentra en un proceso de modernización. Ya se construyeron parte de las instalaciones donde funcionan las oficinas Administrativa, Operativa y Comercial de la Compañía de Acueducto Metropolitano, las cuales se diseñaron en el centro de un hermoso parque con gran variedad de flora y fauna y que es visitado diariamente por muchas personas e instituciones que encuentran en él un lugar de descanso, recreación y deporte, y que sirve de la misma forma como pulmón a los residentes de los barrios Morrорico, Albania, Los Pinos, Álvarez, a los estudiantes de la Academia Militar General Santander, de la Universidad Cooperativa de Colombia, y otros, los cuales están localizados muy cerca del área de influencia de este lugar.

El proyecto a futuro incluye entre otros aspectos la construcción y optimización de la planta en general, incluyendo el sistema de cloración existente el cual seguirá estando a cargo de la gerencia de operaciones.

Una de las preocupaciones principales que ha tenido la compañía con respecto a los procesos que realizan en la planta de tratamiento de Morrорico ha sido el sistema de cloración debido al crecimiento de la ciudad y la construcción de asentamientos humanos muy cercanos al área de influencia de este sitio, que en la eventualidad de alguna emergencia podría generar consecuencias muy graves a las personas que entren en contacto con este gas.

Es así como se define el marco de referencia, para el cual se quieren valorar los resultados finales, desde el punto de vista de pérdida de vidas humanas, tanto funcionarios de la planta como personal ajeno a la misma, deterioro del medio ambiente, que se traduce en pérdidas económicas y de imagen para la compañía.

1.2 FUNCIÓN PRINCIPAL DEL SISTEMA Y SUS PROCESOS:

La función principal del sistema de cloración es el de desinfectar el agua que se trata en la planta de Morrórico y reforzar el cloro del agua que se trata en la planta de Bosconia cuando la concentración del cloro libre residual sea bajo. A continuación se presenta el diagrama del proceso de dosificación de cloro:

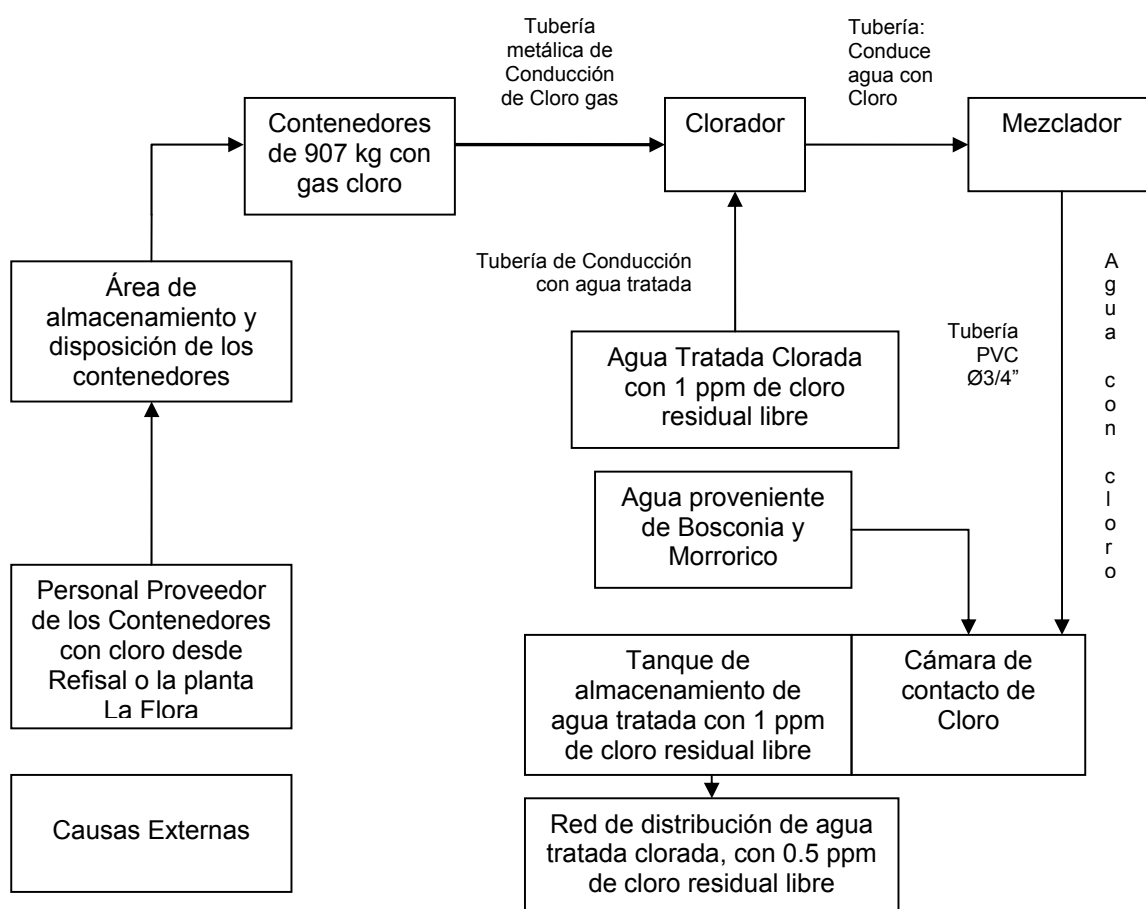


FIGURA 1.

El sistema de cloración es relativamente pequeño ya que todos sus componentes se hallan ubicados en un cuarto de 3 mts de largo por 4 mts de ancho y 2.8 mts de

alto. Está diseñado para almacenar tres contenedores de 907 Kg de los cuales dos se hallan generalmente conectados al sistema y el otro es de reserva mientras se hace la recarga del que va quedando vacío (ver figura 2).

De los dos tambores conectados al sistema uno se encuentra con la válvula abierta permitiendo el paso del gas hacia el sistema y el otro permanece con la válvula cerrada hasta que se disponga su utilización.



FIGURA 2.

Los contenedores o tambores son reaprovisionados desde de la planta de Cloro-soda Brinsa (antigua refisal) y son dispuestos en la planta de la Flora ya que el acceso a la planta de Morrórico no permite la entrada de vehículos de gran

tamaño y a medida que son requeridos se envía un vehículo a La Flora con un contenedor vacío y se cambia por uno lleno.

Una vez llega el contenedor hasta el área de descarga de Morrórico, este es sujetado por un transportador espacial o grúa manual y se desplaza por unos rieles metálicos que se hallan instalados en la parte superior del recinto hasta la zona de almacenamiento y/o disposición, en donde quedan apoyados ligeramente por encima del nivel del piso gracias a unas cunas metálicas en las cuales descansan y evitan que los contenedores rueden y se golpeen.

Los tambores desocupados o los que están en stock son protegidos por unos capuchones o tapones metálicos. Así mismo existen avisos de cuales son los que están llenos, en uso y cuales no.

El promedio mensual del consumo de cloro en la planta, por lo general es de 1361 Kg./mes, o sea 45.4 Kg./día, dependiendo del clima. La planta posee por lo general 3 cilindros que suman un total de 2721 Kg, gas suficiente para 60 días.

Los contenedores son recipientes de acero de alta resistencia, los cuales tienen una capacidad de 907 Kg. Son manufacturados de acuerdo con la especificación DOT 106 A 500 X, con extremos cóncavos, diámetro de 30 pulgadas y longitud de 83 pulgadas. La tara oscila entre 1300 a 1650 libras. Estos son inspeccionados periódicamente con el fin de garantizar que se encuentren en óptimas condiciones de uso.

Los tambores poseen dos válvulas sin fusible localizadas en la misma cara, las cuales están conectadas a unos tubos e ductores ubicados en sentido opuestos que llegan próximos a la pared, los cuales van al interior del contenedor.

Estos se deben mantener acostados de tal forma que cuando las válvulas están en dirección perpendicular al piso, la superior descargará gas y la inferior líquido. Las válvulas de los tambores son similares a las de los cilindros, diferenciándose en que no poseen fusible, también existen dos tamaños de válvula de $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada NGT y cinco tamaños de rosca: B1, B2, B3, B4 y B5., y deben tener la orientación que se presenta en la figura 3.

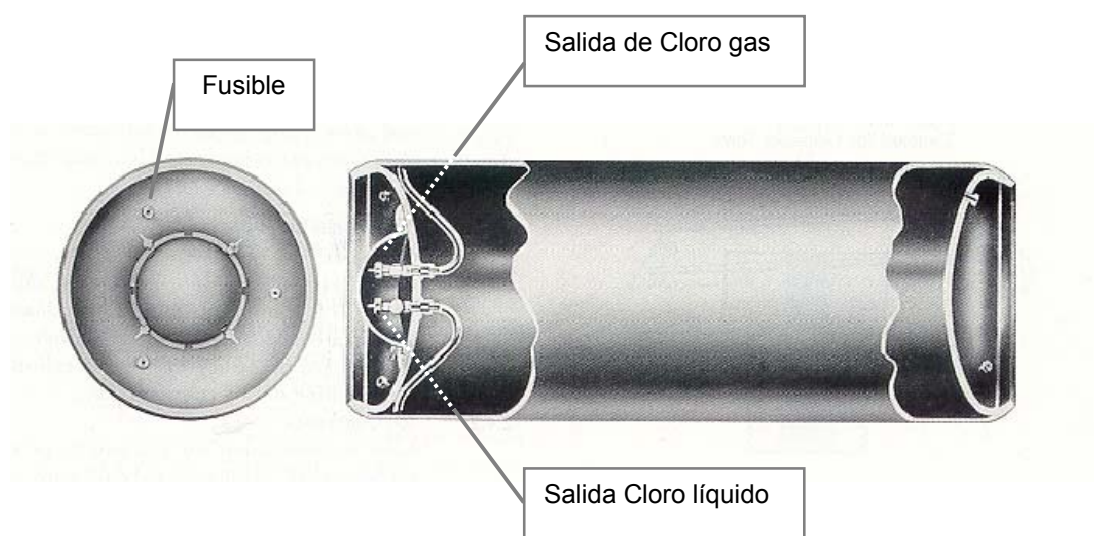


FIGURA 3. - Válvulas en Contenedor de Cloro de 907 Kg.

Todos los contenedores que suministran cloro están equipados con algún tipo de mecanismo para alivio de presión. Los fusibles se ubican en el recipiente, generalmente tres por cada casquete a 1200. Los fusibles, de tipo metálico, están diseñados para fundirse entre 70 y 74 °C. De esta forma alivian las presiones internas y evitan rupturas violentas de los recipientes en caso de incendios o exposiciones a altas temperaturas.

Dentro del envase el cloro líquido se encuentra en equilibrio con el vapor. Estas condiciones pueden variar de acuerdo a lo observado en la tabla No. 1, la cual

detalla la presión de vapor del cloro a diferentes valores de Temperatura de acuerdo a las características de este gas.

Temp. (°C)	Presión (Kg/cm ³)
-6,67	1,97
4,44	3,31
15,56	5,05
26,67	7,27
37,78	10,04
60,00	17,51
82,22	28,10

TABLA 1.

1.2.1 Descripción del proceso:

Desde el yugo de la válvula superior del contenedor es conectado un tubo de cobre flexible adecuado para 500 psi y en cada empalme se colocan dos empaques de plomo los cuales por sus características de manejabilidad al ser aprisionados no permiten que se presenten algún tipo de fuga.

Este tubo llega a una válvula de control, situada en un caballete metálico, la cual nos permite manejar el paso del cloro cuando se va a cambiar algún contenedor, cuando se van a realizar mantenimientos o cuando se presentan fugas en el sistema.

Cabe anotar que siempre hay dos contenedores llenos conectados cada cual a su respectiva válvula de control, la única diferencia es que solo uno tiene el paso de gas abierto hacia el sistema y por seguridad siempre permanece una llave en el vástago de la válvula durante el tiempo que este en uso, lo mismo que debe

permanecer una llave 106 en la válvula del contenedor del cual se este extrayendo el gas. Esta llave es estándar por un extremo para todas las partes de la válvula y por el otro para los fusibles y capuchones.

De allí el cloro gaseoso pasa a una tubería de $\text{Ø } 3/4''$ que esta fabricada de una aleación entre acero y carbono el cual es un material muy resistente a la corrosión. Este es conducido hasta un pequeño filtro o trampa el cual no permite el paso de partículas sólidas o impurezas que se puedan desprender de los contenedores o de la tubería y que pueden afectar algún mecanismo del clorador.

Este filtro, el caballete metálico y la tubería por donde se conduce el gas se puede detallar de mejor forma en la figura No. 4.



FIGURA 4.

Este conducto baja hasta el piso y se entierra un trayecto de aproximadamente 2 mts, hasta llegar a un punto por debajo de los cloradores donde nuevamente sale a la superficie. Allí el gas es transportado por varias derivaciones antes de llegar al clorador. La primera esta conectada a un manómetro que nos esta indicando permanentemente la presión actual del gas en el contenedor. La otra ramificación nos permite disponer del gas hasta cualquiera de los dos cloradores existentes (Ver figura No. 5).

Antes de llegar a los cloradores existen dos válvulas de regulación, una para cada clorador las cuales nos permiten graduar el paso del gas a la presión con que trabaja el sistema que se vaya a poner en funcionamiento. Desde esta válvula el gas es transportado por una manguera que se conecta al clorador. Una vez allí se inicia el proceso de adición del gas al agua tratada.



FIGURA 5. Detalle de cloradores

El sistema de cloración está diseñado para permitir la inyección adecuada de cloro en los sistemas de tratamiento microbiológico del agua. Este controla e indica el régimen del gas bajo vacío por medios simples para fijar el nivel de entrada del mismo en cualquier valor dentro del rango del sistema. Posteriormente este se mezcla con agua tratada que es proporcionada directamente de la planta.

El agua empleada pasa a través del inyector y produce un vacío el cual succiona el gas desde el contenedor, y una vez juntos pasan a una pequeña cámara donde son mezclados. Las partes se detallan en la figura No. 6.

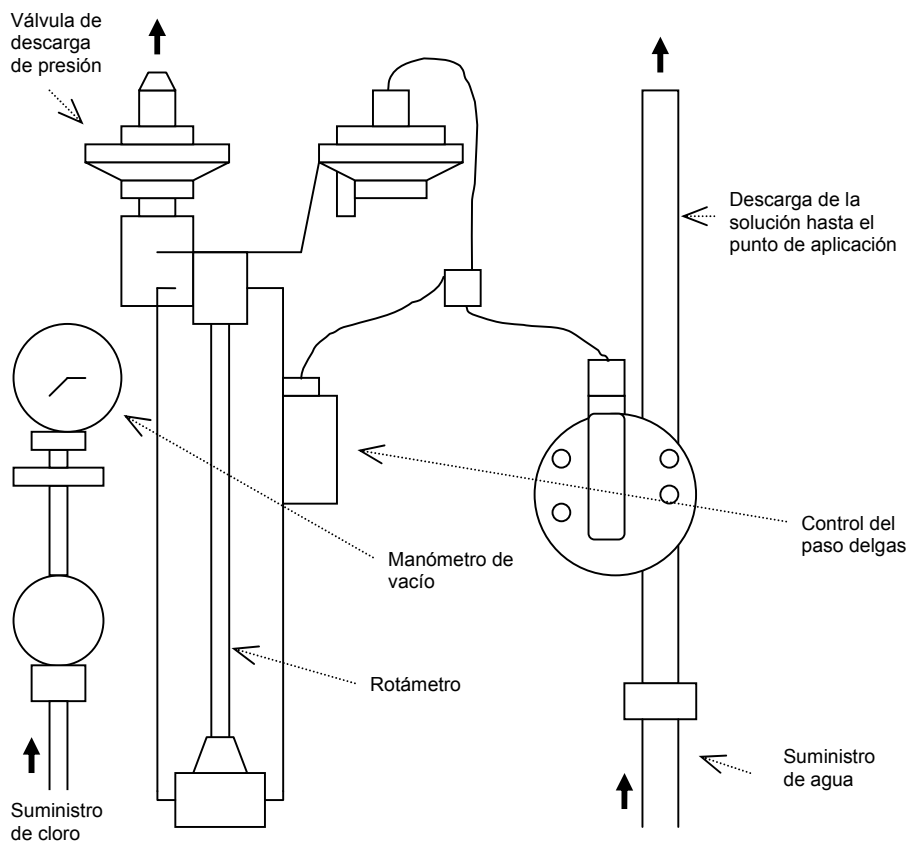


FIGURA 6. Panel del control del clorador.

Dentro del inyector existe una válvula de cheque con moviendo vertical y un diafragma con el fin de prevenir un retroceso del agua que pueda afectar el contenedor del gas. La apropiada operación del inyector depende de la presión de entrada la cual es suficientemente más alta que la presión de descarga.

En el acontecimiento poco probable que la válvula permita el paso del gas bajo presión, existe una válvula de descarga de presión que permite que este gas sea expulsado.

El gas pasa a través del rotámetro (indicador del nivel de entrada) que hace que el flotador indique la rata de flujo (libras por día). Este régimen de flujo es controlado por la posición del orificio por medio de la operación combinada de la válvula de regulación y un regulador del vacío.

Adicionalmente a lo descrito, el sistema de cloración de morrorico cuenta con un equipo detector de escapes el cual es el encargado de accionarse al presentarse alguna fuga de cloro. Este consta de un receptor ubicado bajo los cloradores, un sensor/transmisor y el sensor de inspección que se detallan en la figura No. 7. En la práctica el sensor ensamblado es instalado cerca de las fuentes potenciales de gases o emisiones. El receptor envía la señal proveniente desde el sensor/transmisor al visualizador digital de la concentración de gas, activando las alarmas y otros mecanismos de seguridad

El detector de escapes de gas esta diseñado para ser usado en la detección y monitoreo de los gases Cloro (Cl_2), Amoniaco (NH_3), Dióxido de Azufre (SO_2) y Ozono (O_3) en el ambiente. Este equipo activa alarmas audio visuales en el evento que la concentración de estos gases exceda los niveles para los cuales se han programado. En caso del equipo instalado en Morrorico, la advertencia de

alarma ante cualquier escape de cloro se seleccionó en 5 ppm con el fin de tomar una acción más inmediata.

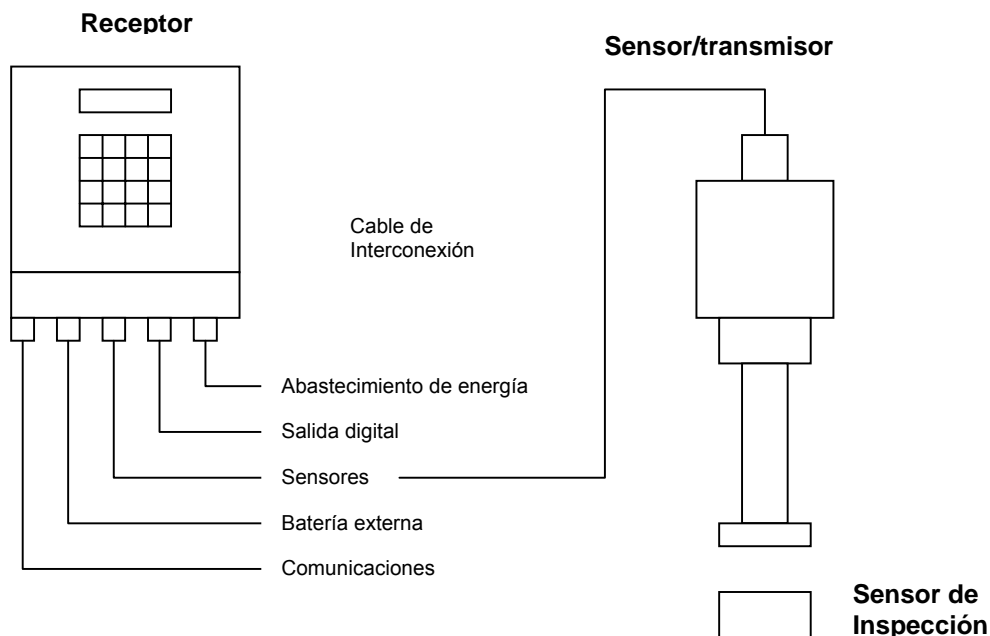


FIGURA 7. Diagrama del detector de escapes de cloro

Una vez adicionado el cloro en la dosis requerida al agua tratada esta es transportada desde cada clorador por medio de una tubería de PVC Ø 3/4" que va inicialmente sujeta a la pared, así como se pudo detallar en la figura No. 6.

Estos dos conductos confluyen en una sola línea de PVC Ø 3/4" la cual se conecta finalmente a un tubo de acero que transporta el agua tratada proveniente de la misma planta de Morrорico y de la planta de Bosconia Allí se genera el primer contacto. Desde este punto la concentración de cloro se disuelve a medida que va siendo transportada. Posteriormente se llega al tanque de almacenamiento y es distribuida por la red de agua tratada clorada a los diferentes barrios o distritos ubicados en la ciudad de Bucaramanga.

1.3 ELEMENTOS PRINCIPALES A SER CONSIDERADOS:

Los elementos del sistema de cloración de la planta de Morrórico considerados e identificados dentro del proceso por representar mayor riesgo de accidente o por ser los más susceptibles a generar algún tipo de emergencia son: los contenedores y sus componentes (fusibles, nicles, etc.) y las líneas de conducción del flujo.

Estos componentes se encuentran ubicados en el área inicial del proceso, en donde los elementos son manipulados utilizando la fuerza del hombre y por sistemas mecánicos como llaves, grúas y otros, que prestan pocas garantías de seguridad y que en un momento dado pueden fallar por algún error humano, de construcción o material. Así mismo son los que presentan mayor riesgo por estar en continuo contacto con el gas cloro.

Una fuga desde el contenedor tendría consecuencias muy graves ya que habrá ocurrido una descarga completa del cloro gas o se generaría una emisión de gran parte del mismo hacia el ambiente antes de que se lograra realizar la reparación del mismo. Lo mismo podría ocurrir si se presentara una fractura de la conexión del niple.

Si la fuga ocurriera desde el fusible, el gas también escaparía a alta presión mientras se logra arreglar, puesto que se necesita que la persona encargada del reparo cuente con todo el equipo de seguridad personal y que se sustituya la pieza de manera rápida y efectiva.

Las tuberías representan un riesgo pero ya en menor escala puesto que para su control existen diferentes válvulas que controlan el paso del cloro y en la mayor

parte de su recorrido se encuentran protegidas bajo tierra y los tramos que se encuentran a la vista están identificadas y muy bien aseguradas a los caballetes metálicos.

1.4 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SISTEMA:

Para determinar las características propias del sistema de cloración de Morrórico que lo diferencian de otros sistemas similares se presenta a continuación un comparativo entre los quipos que operan en la actualidad para la cloración del agua en las plantas de la Flora, Floridablanca, y Bosconia.

	MORRORICO	FLORIDA	BOSCONIA	LA FLORA
Edad de las instalaciones			Más de 25 años	Más de 35 años
Capacidad de tratamiento (l/s)	400	650	2000	1000
Tecnología	Clorador sensores	Clorador Sensores	Transporte de contenedores	Transporte de contenedores
Ventilación	Regular	Buena	Regular	Buena
Estado de los equipos	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Capacidad de almacenamiento contenedores	3	8	15 o más	15 o más

TABLA 2.

1.5 IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO:

De acuerdo a las diferentes variables de daño o emergencia que se pueden generar, de las condiciones de ubicación de los equipos, manipulación y transporte, del estado de cada una de los componentes que se observaron y se analizaron a lo largo de este trabajo y a la experiencia que aportaron operarios y funcionarios de la misma planta, se pudo determinar que las áreas o sectores de la operación que ofrecen mayor amenaza de accidente en el sistema de cloración de la planta de tratamiento de agua potable de Morrórico son las que se presentan a continuación. Para efectos del desarrollo de la monografía el análisis del riesgo se hace a partir de escapes mayores o menores que se pueden presentar en los elementos referidos y consecuentemente estos escapes están relacionados con la determinación de fugas parciales o escape de la totalidad del gas del contenedor.

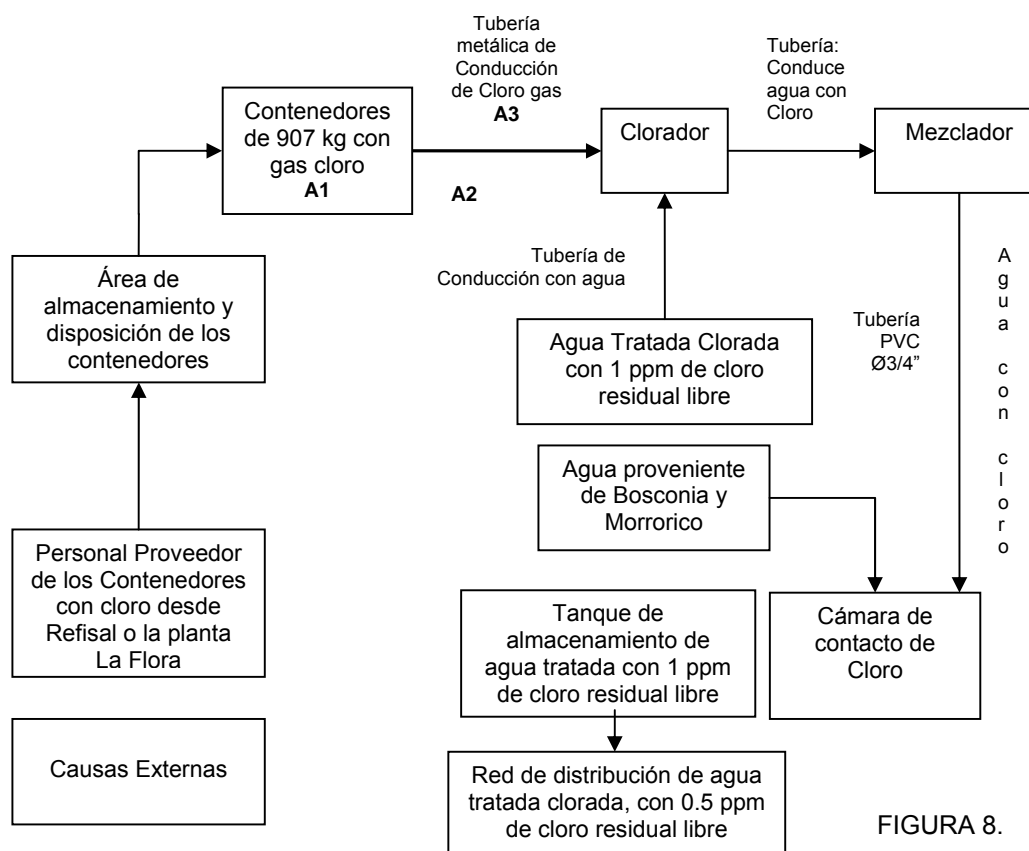


FIGURA 8.

A1: El área de almacenamiento de los contenedores en stock y del contenedor que se encuentra en uso.

A2: La válvula de salida del gas de los contenedores la cual se tiene que accionar al momento de su instalación.

A3: La línea de conducción del gas cloro desde los contenedores hasta los cloradores, incluyendo las válvulas que se encuentran en su mismo recorrido.

Lo anterior no quiere decir que los demás componentes o áreas del sistema no generen algún grado de riesgo, por el contrario todos generan un peligro igual o mayor ya que se está manejando el mismo componente tóxico. Lo que sucede es que algunas de sus partes en el desarrollo de sus procesos tienen mayor probabilidad de accidente por la forma en que deben ser manejados, por sus condiciones de seguridad y el menor estado de protección con que cuentan.

1.6 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA DEL INFLUENCIA DEL SISTEMA:

La ciudad de Bucaramanga y en particular la zona de influencia del sistema se encuentran en una zona de vida de bosque seco tropical con una temperatura promedio anual de 24°C. La precipitación oscila entre 500 a 1000 mm dependiendo de la época del año. El viento corre en dirección noroeste y noreste la mayor parte del año así como se detallará más adelante. La altura media es de 1070 msnm.

DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y TOXICOLÓGICOS DEL CLORO GASEOSO

El cloro es el undécimo elemento más abundante en la litosfera, es incluso más abundante que el carbono. Junto con el sodio forma un compuesto esencial para la vida: la sal (cloruro sódico). La primera célula viva se desarrolló hace unos 3.000-4.000 millones de años en la fuente de toda materia orgánica: el mar. La sal es vital para nuestro organismo (sin sal no podemos vivir), por lo que ha sido desde la antigüedad una sustancia muy apreciada.

El cloro, como componente de la sal, se encuentra presente en la sangre y tejidos de los mamíferos. Los leucocitos de nuestro sistema inmunológico usan cloro para destruir a los microorganismos invasores, mediante un mecanismo enzimático (mieloperoxidasa) en el que tiene lugar la liberación de hipoclorito, conocido desinfectante. También forma parte de la molécula del ácido clorhídrico, el cual tiene un papel vital en el proceso digestivo de los mismos (destruye los gérmenes de la comida y asegura que la pepsina rompa las proteínas).

El agua es el vehículo más importante para la transmisión de enfermedades gastrointestinales, principalmente de fiebre tifoidea y paratifoidea, salmonelosis, disenterías, cólera y parasitosis; la forma más eficiente para prevenir éstas

infecciones es la desinfección del agua, y la forma mas económica es el uso de cloro. A continuación se presenta la ficha técnica con las principales características del cloro:




Propiedades Químicas y Físicas del Cloro				
Característica	Descripción		Característica	Descripción
Nombre	Cloro (99.5%)		Presión de Vapor	53.51 psi
Sinónimos	Cloro Molecular, Dicloro, Bertolito		Electronegatividad	3,16 (Pauling)
Número Naciones Unidas	UN: 1017		Peso Molecular	70.90
Número CAS	7782-50-5		Conductividad Térmica	0.0089 W/(m*K)
Serie Química	Halógenos		Estructura Cristalina	Ortorrómica
Peso Atómico	35,4527 uma		1er Potencial de Ionización	1251,2 kJ/mol
Valencia	+1, -1, 3, 5, 7.		Configuración Electrónica	[Ne]3s ² 3p ⁵
Densidad	3,214 kg/m ³		Radio Atómico	79 pm
Aspecto General	Amarillo Verdoso		Radio Covalente	99 pm
Estado de la Materia	Gas (No magnético)		Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C	638
Punto de Fusión	-101,0 °C		Densidad Relativa de Vapor (Aire = 1)	2.5
Punto de Ebullic.	-34,7 °C		IDLH	30 ppm

TABLA 3.

La mayor parte del cloro es producida por la electrólisis de una disolución ordinaria de sal, obteniéndose hidróxido de sodio como subproducto. Este se transporta como líquido en botellas de acero. En condiciones normales de temperatura,

presión y en su estado puro el cloro es un gas de color amarillo verdoso de olor penetrante, desagradable y venenoso formado por moléculas diatómicas. Es extremadamente reactivo, por lo que en la naturaleza no lo encontramos en estado puro sino combinado, formando mayoritariamente sales metálicas, de las cuales la más abundante es el cloruro sódico.

El 0,045 % de la corteza terrestre está compuesta por combinaciones de cloro, que representa el 2,9 % de los océanos. Dicha reactividad, conjuntamente con sus características particulares (elevado poder oxidante, abundante, económico), lo convierten en una sustancia de un interés técnico y económico extraordinario, que en numerosos casos es insustituible o bien de muy difícil sustitución.

El cloro existe como gas o líquido, es inflamable no explosivo, (reacciona violentamente con muchos compuestos orgánicos, amoníaco y partículas metálicas, originando peligro de fuego). Puede ser convertido a líquido bajo presión o bajas temperaturas. El cloro seco, gas o líquido, con 150 ppm o menos de agua, a temperaturas ordinarias no reacciona con acero carbón, cobre, plomo, níquel. Pero si reacciona y ataca: el aluminio, arsénico, mercurio, selenio y titanio, y hace combustión con acero carbón a temperaturas superiores a 251°C. El cloro húmedo reacciona con todos los metales comunes. También ataca al plástico, al caucho y a los recubrimientos. Reacciona con compuestos orgánicos como hidrocarburos, solventes, grasas, alcoholes y éteres.

2.1 EFECTOS DEL CLORO EN EL HOMBRE Y EL MEDIO AMBIENTE

La exposición al cloro puede ocurrir en el lugar de trabajo o en el medio ambiente a causa de escapes en el aire, el agua o el suelo. Es cerca de 2.5 veces más

pesado que el aire. Si se libera del tanque o del sistema a la atmósfera, el cloro se mezclará y concentrará en los niveles más bajos del edificio o área donde ocurra.

El cloro entra en el cuerpo al ser respirado el aire contaminado o al ser consumido con comida o agua contaminadas y no permanece en el cuerpo, debido a su reactividad. Los efectos del cloro en la salud humana dependen de la cantidad de cloro presente, y del tiempo y la frecuencia de exposición. Los efectos también dependen de la salud de la persona y de las condiciones del medio cuando la exposición tuvo lugar.

Este es un tóxico principalmente irritante y corrosivo para las vías respiratorias, pero también puede causar irritación de ojos y piel a una concentración tan baja como 0.09 ppm (partes por millón). El límite de detección de cloro por el olfato humano es de 3.0 ppm, la cual es una concentración lo suficientemente baja que permite detectar con rapidez y oportunidad cualquier situación de peligro.

Los síntomas ante la exposición, si una concentración suficiente de cloro gaseoso se encuentra presente en el ambiente, son: la irritación de las membranas mucosas, del sistema respiratorio en su conjunto, de la piel, la garganta y los ojos. Si el tiempo de exposición es prolongado pero con bajas concentraciones de cloro gaseoso, puede provocar una excitación general en la persona afectada, además de confusión mental, irritación de la garganta, copiosa salivación y estornudos.

Las concentraciones de cloro gaseoso en el orden de 50 ppm son peligrosas y de 1000 ppm pueden incluso ser fatales en caso de exposición muy breve. Estos niveles exceden en el orden de 2.5 a 50 veces el valor guía establecido para planes de respuesta en caso de emergencia, que es de 20 ppm. De manera más detallada se presentan los efectos generados en el hombre de acuerdo a los niveles de inhalación de cloro en un lapso de tiempo corto (de 3 a 5 minutos):

Los síntomas ante la exposición, si la concentración oscila de 1 a 3 ppm son: olor claramente perceptible, irritación de ojos y nariz. De 3 a 10 ppm de concentración se presenta irritación de garganta, membranas mucosas y el tracto respiratorio superior. Si la cantidad es superior a 15 ppm sus efectos son inmediatos, severa irritación de la nariz, garganta y ojos, acompañados de tos intensa y hasta dificultad para respirar.

Si la concentración es superior a 25 ppm, el cual es el límite inmediatamente peligroso para la vida y la salud IDLH, sus efectos serán irritación y deficiencia respiratoria, irritación de las membranas mucosas, dolor en el pecho, posible náusea, vómito y jadeo. También puede producir quemaduras graves en ojos y piel. Las consecuencias a mediano y largo plazo son debilitamiento de los pulmones aumentando la susceptibilidad a otras enfermedades pulmonares. En casos extremos la dificultad para respirar puede aumentar a tal punto que ocasiona un colapso pulmonar y la muerte.

De 40 a 60 ppm se desarrolla bronquitis química, seguido por dificultades y dolor al respirar debido al estrechamiento de los bronquios y acumulación de líquido en los pulmones (edema pulmonar), lo cual puede ocurrir después de varias horas. También puede presentar neumonía química después de varios días.

Si la concentración es superior a 50 ppm, una prolongada exposición puede causar inconciencia y la muerte. Si esta es superior a 100 ppm puede causar daño mortal dependiendo de la duración de la exposición y concentraciones iguales o mayores a 1000 ppm pueden ser mortales luego de unas pocas inhalaciones.

El límite de exposición permisible, PEL, establecido por la OSHA, Oficina de Salud y Seguridad ocupacional en U.S.A., para el cloro es de 1.0 ppm nivel máximo. Esto significa que el personal no se puede exponer por encima de 1.0 ppm en ningún momento. El NIOSH, instituto Nacional para Salud y Seguridad

Ocupacional, de U.S.A. listan un IDLH, Limite Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud, de 25 ppm.

La tabla No. 3 resume los síntomas y efectos del cloro gaseoso de acuerdo a su concentración.

Efectos del cloro sobre la salud a diferentes concentraciones.	
<i>Concentración de cloro (ppm)</i>	<i>Efectos en la salud</i>
0,09	Irritación de ojos
3,0	Se detecta por el olfato humano.
15,0	Irritación inmediata de garganta.
50,0	Náuseas, vómito y dificultad para respirar.
100	Aumenta la dificultad para respirar hasta la sofocación y muerte.

TABLA 4.

El cloro gaseoso se ha encontrado en por lo menos 60 de los 1,591 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales identificados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Algunas personas pueden sufrir una reacción inflamatoria al cloro. Esta condición es conocida como síndrome de malfuncionamiento reactivo de las vías respiratorias (RADS), que es un tipo de asma causado por ciertas sustancias irritantes o corrosivas.

Los efectos del cloro gaseoso en el medio ambiente dependen de muchos factores; el cloro se disuelve cuando se mezcla con el agua. También puede escaparse del agua e incorporarse al aire bajo ciertas condiciones. La mayoría de

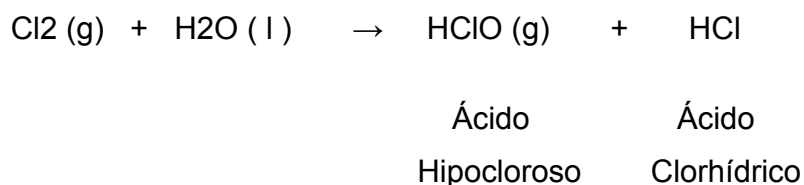
las emisiones de cloro al medio ambiente son al aire y a las aguas superficiales. Una vez en el aire o en el agua, el cloro reacciona con otros compuestos químicos. Se combina con material inorgánico en el agua para formar sales de cloro, y con materia orgánica para formar compuestos orgánicos clorinados.

Debido a su reactividad no es probable que el cloro se mueva a través del suelo y se incorpore a las aguas subterráneas. Las plantas y los animales no suelen almacenar cloro. Sin embargo, estudios de laboratorio muestran que la exposición repetida a cloro en el aire puede afectar al sistema inmunitario, la sangre, el corazón, y el sistema respiratorio de los animales.

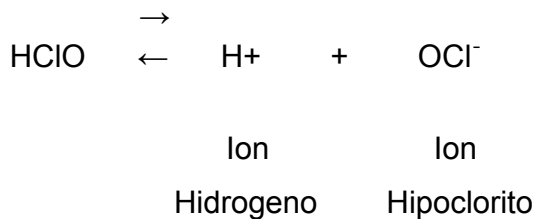
El cloro provoca daños ambientales a bajos niveles. El cloro es especialmente dañino para organismos que viven en el agua y el suelo.

2.2 EL CLORO EN EL AGUA

El cloro es ligeramente soluble en el agua, la solubilidad máxima es de 7 gpl a presión de una atmósfera y 20°C. El cloro gaseoso se hidroliza de manera casi completa para formar ácido hipocloroso (HClO):



El ácido hipocloroso se disocia en iones hidrógeno (H⁺) e hipoclorito (OCI⁻), según la reacción reversible siguiente:



El cloro provoca la disminución del pH del agua (la hacen más ácida), a causa de los iones hidrógeno que se producen en las reacciones anteriores, por lo que el pH del agua es un factor muy importante que sirve para determinar el grado con el que el ácido hipocloroso se disocia para producir hipoclorito.

El ácido hipocloroso, que es el agente desinfectante primario, predomina si el pH está entre 2 y 7.5, siendo alrededor de 80 veces más eficaz que el ion hipoclorito, el cual predomina si el pH es mayor de 7.5. Por encima de un pH de 9.5 existe casi exclusivamente Ion Hipoclorito. El ácido Hipocloroso debe su poder germicida a su capacidad de penetrar las paredes de las células y atacar los grupos enzimáticos. Este poder de penetración es comparable con el del agua, y se le atribuye a su modesto tamaño y a su neutralidad eléctrica. El HCIO y CIO⁻ son comúnmente descritos juntos como “cloro libre disponible” en el sentido en que se utiliza para la desinfección.

Cuando se adiciona al agua, el cloro oxida a la materia orgánica e inorgánica por igual. Por lo que no todo el cloro que se agrega al agua da por resultado la producción de cloro libre disponible. La cantidad de cloro que reacciona con los compuestos inorgánicos (Fe²⁺, Mn²⁺, NO₂⁻, NH₃) y con las impurezas orgánicas se conoce como la demanda de cloro, siendo necesario satisfacerla para que se

forme cloro libre disponible. La aplicación de cloro al agua hasta el punto en que hay cloro libre residual disponible se denomina cloración hasta el punto de cambio.

Adicionalmente al PH existen otros factores que influyen en el proceso de desinfección y tratamiento del agua con cloro, como lo son: Naturaleza, concentración y distribución de los organismos que se van a destruir, así como de la concentración y distribución de la sustancia desinfectante y de los productos de su reacción con el agua, así como de las sustancias disueltas o en suspensión presentes en el agua. También de la naturaleza y temperatura del agua objeto del tratamiento y del tiempo de contacto entre el cloro y el agua.

Respecto a los anteriores factores, en lo que respecta a los organismos presentes en el agua, que estos pueden ser muy diversos y con unos requerimientos de cloro para su eliminación muy diferentes. Para que la cloración resulte eficaz es necesaria una distribución homogénea del cloro en el agua y que la dosis sea adecuada, para obtener un agua tratada inocua. A partir de 0,1 a 0,2 ppm. de cloro libre residual en el agua, ya se percibe sabor, percibiéndose antes cuanto mayor sea la dureza y temperatura del agua.

Puede procederse a la dechloración o eliminación del cloro en el agua, mediante el empleo de sustancias reductoras, tales como el anhídrido sulfuroso, el hiposulfito sódico, etc., Utilizando cantidades apropiadas de estos productos se puede eliminar la cantidad de cloro deseada. También se puede eliminar el cloro filtrando el agua a través de carbón activado.

Entre las múltiples sustancias que pueden contener las aguas naturales, algunas influyen en gran medida en la eficacia de la cloración. Por ejemplo, en presencia de sustancias orgánicas, la acción desinfectante del cloro es menor. El amoníaco y otros compuestos orgánicos nitrogenados consumen cloro. El hierro y el manganeso reaccionan con el cloro aumentando la demanda de éste, y, una vez oxidados, contribuyen a aumentar la turbiedad del agua.

Las bacterias y virus pueden quedar protegidos de la acción del cloro por los sólidos suspendidos en el agua; de aquí que la eficacia de la cloración se vea aumentada mediante la subsiguiente filtración y una posterior esterilización.

Respecto a la temperatura, la eficacia de cloración aumenta al aumentar aquélla, naturalmente siempre que las demás condiciones permanezcan invariables. A pesar de esto, ocurre que como en el agua a baja temperatura el cloro permanece más tiempo, puede llegar a compensarse la mayor lentitud de la desinfección con la mayor duración del cloro en el agua.

El tiempo de contacto es otro factor importante a tener en cuenta, ya que durante este tiempo tienen lugar las reacciones entre el cloro y el agua y las sustancias en ella presentes. El tiempo de contacto mínimo suficiente para una cloración eficaz es, a su vez, función de la temperatura, pH, concentración y naturaleza de los organismos y sustancias presentes en el agua, así como de la concentración y estado en que se halle el cloro. Como mínimo, el tiempo de contacto deber de ser de diez a quince minutos.

Para que la acción de un desinfectante sea eficaz, hay que mantener una determinada concentración del desinfectante durante un período de tiempo, es decir, la expresión $C.t$, representaría la concentración del desinfectante final en mg./l. (C) durante el tiempo mínimo de exposición en minutos (t). La expresión que nos muestra el efecto de la concentración del desinfectante sobre la velocidad de destrucción de bacterias, se expresa más correctamente por:

$$C^n \cdot t = \text{Constante.}$$

El exponente n para el cloro varía entre 0.5 y 1.5, dependiendo de la temperatura y del pH.

2.3 OTROS USOS DEL CLORO

El cloro interviene, directamente o como intermediario, en más del 50% de la producción química industrial mundial y es parte integrante de la vida misma de la industria (aeroespacial, mecánica, telecomunicaciones, transportes, informática, química, petroquímica, farmacia, cosmética, construcción, nuclear, tratamiento de aguas, metalurgia, confección, deportes, etc.), así:

- ✓ El cloro es una materia prima básica para la fabricación de numerosos medicamentos.
- ✓ El cloro y sus derivados tienen una importante aplicación en el área de la desinfección.
- ✓ El cloro es igualmente una materia básica para la producción de ciertos polímeros utilizados en aplicaciones médicas.
- ✓ Más del 15 % de la producción del cloro se utiliza directa o indirectamente para proteger nuestra salud.
- ✓ El cloro es la base de numerosos productos fitosanitarios que permiten evitar la destrucción de las cosechas por las enfermedades criptogámicas, roedores y la invasión de malas hierbas.
- ✓ El cloro es utilizado en la obtención de materiales como el PVC y el policloruro de vinilideno que se utilizan como envases y filmes protectores. También es muy utilizado en la producción de bicloruro de etileno y otros disolventes clorinados y para blanquear el papel,
- ✓ También se utiliza en la fabricación de espumas de poliuretano y agentes refrigerantes, ambos garantizan el almacenamiento y la conservación de los productos frescos y congelados.

ESTIMACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

La amenaza tecnológica del sistema de cloración de la planta de tratamiento sobre el entorno esta representada en los productos que se reciben, almacenan y se procesan desde la instalación. Es así como el objetivo primordial de la evaluación de la amenaza es la selección y caracterización de los eventos iniciantes y amenazantes de acuerdo con los escenarios identificados y las causas de falla que los originan.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EVENTOS INICIANTES Y LAS CAUSAS QUE LOS ORIGINAN

Las causas mas frecuentes de falla en las industrias, son tales como errores de instalación, mantenimiento, fallas técnicas, movimientos naturales, de origen social y otras normales al proceso de operación.

Para el sistema de cloración de la planta de Morrórico se agrupan de la forma como se muestra a continuación:

MODOS DE FALLA	CAUSAS
1. Daños por terceros.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acciones con mala intención. ▪ Robo de elementos. ▪ Impacto de vehículos. ▪ Invasión de terrenos de la Empresa. ▪ Atentados.
2. Errores de operación.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fallas durante labores de mantenimiento. ▪ Fallas en transporte de contenedores. ▪ Fallas durante instalación de contenedores. ▪ Operadores sin experiencia. ▪ Accidente de alguna persona.
3. Defectos de construcción	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Defectos de diseño o construcción del sistema. ▪ Contactos con líneas eléctricas. ▪ Sobrecalentamiento del contenedor por exposición al sol.
4. Falla mecánica.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vibración. ▪ Defectos de fabricación. ▪ Defectos del material (mala calidad).
5. Corrosión.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrosión interna. ▪ Corrosión externa.
6. Amenazas naturales.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Movimientos sísmicos ▪ Inundaciones. ▪ Lluvia intensa con fuerte brisa. ▪ Erosión ▪ Amenaza cerámica (rayos).
7. Otros.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falla de mantenimiento. ▪ Incendio de otras instalaciones.

TABLA 5. – Causas por modos de falla.

Cada causa se puede analizar desde dos puntos de vista, el primero es la frecuencia con que puede ocurrir la falla y la otra es el grado de afectación que causa al sistema. Teniendo en cuenta estos dos factores es preciso seleccionar las causas que ameriten ser motivo de análisis en el proceso, para continuar el análisis en lo de mayor importancia y optimizar los recursos técnicos y económicos dedicados a este tipo de análisis.

De acuerdo a las posibles causas registradas en la tabla No. 5, las cuales pueden ocasionar graves emergencias o fugas de cloro en el sistema, es indispensable conocer la justificación de cada una de ellas con el fin de que puedan ser ubicadas en la matriz y de allí descartar las menos probables y las que ameriten mayor atención.

I.D.	CAUSA	JUSTIFICACIÓN
C-01	Acciones con mala intención.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se podría presentar algún tipo de acción por personas ajenas a la compañía o pertenecientes a ella por algún tipo de inconformismo que exista con alguien o las políticas de la misma, las cuales se puedan activar al realizar alguna labor de rutina. ▪ Alguna persona que desee generar el caos en la planta y dañar la imagen de la compañía.
C-02	Robo de elementos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Como el área de cloración no cuenta con ningún elemento de protección como puertas o rejas que restrinjan el paso del personal y adicionalmente tiene el problema de que los muros que separan la planta de la carretera a Cúcuta son bajos, de fácil acceso y poco vigilados, existe la probabilidad de robo de alguna parte del sistema indispensable para el funcionamiento del mismo. ▪ Hurto de alguno de los elementos necesarios para el manejo y control de emergencias.

I.D.	CAUSA	JUSTIFICACIÓN
C-03	Impacto de vehículos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Algún vehículo que se estacione cerca al cuarto de cloración puede rodar y golpear el cuarto de cloración y algún elemento del sistema. ▪ Un vehículo que transite por la vía hacia Cúcuta puede golpear el muro en la parte superior de la planta y rodar hasta la zona de cloración.
C-04	Invasión de terrenos de la Empresa.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puede haber alguna manifestación de personas que traten de ingresar por la fuerza a las instalaciones de la planta. Esto es poco probable ya que la compañía esta muy bien vigilada con seguridad privada y cuenta con el apoyo y la cercanía de la policía y el ejército nacional. ▪ Como el parque del agua esta unido a la planta de tratamiento y el control del ingreso desde allí es muy poco puede presentarse este tipo de acción y dependiendo de las prácticas que se tomen para el desalojo se puede generar algún evento peligroso.
C-05	Atentados.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teniendo en cuenta la situación de orden público que vive el país, puede que algún grupo terrorista o de delincuencia común atente contra las instalaciones de la planta y afecte el proceso de cloración. ▪ Algún tipo de sabotaje de alguna(s) persona(s) que traten de presionar sobre la toma de alguna decisión.
C-06	Accidente de alguna persona.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teniendo en cuenta que la planta es visitada a menudo por grupos de estudiantes o profesionales interesados en algún tema existe la probabilidad de accidente por descuido en la circulación de alguno de ellos. ▪ Algún funcionario o contratista que cumpla alguna función cerca o dentro del recinto de cloración puede generar algún percance involuntario con su herramienta de trabajo u otro elemento.
C-07	Fallas durante labores de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Que se instalen o se omitan las partes de manera indebida o que se dejen sueltas. ▪ Que se instalen materiales defectuosos, que no pertenezcan al sistema o que no sean los recomendados por el proveedor.

I.D	CAUSA	JUSTIFICACIÓN
C-08	Fallas en instalación de contenedores.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Que al instalar los contenedores estos quedaran mal apoyados y rueden. Se puede romper el cuerpo del contenedor o alguna de sus partes y se puede generar una emergencia por el escape completo del cloro gas al ambiente. ▪ Que no se ajuste la válvula o se ajuste tanto que se rompa desde el asiento o la rosca de la misma y se presente una gran perdida de gas. ▪ Que se golpee la válvula, el vástago o el fusible y este accesorio se rompa o se pierda completamente. ▪ Que no se tenga la precaución de cerrar todas las válvulas antes de hacer el cambio del contenedor.
C-09	Fallas en transporte de contenedores.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Que el contenedor cuando se este descargando del vehículo se deje balancear y golpear de manera reiterada corriendo el riesgo que sea rota la válvula, algún fusible o el cuerpo del mismo. ▪ Que no se tenga la precaución de sujetar el contenedor de manera apropiada con la grúa y cuando este pase sobre los otros se suelte y genere una rotura del cuerpo de alguno de ellos o del mismo.
C-10	Operadores sin experiencia.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Algún operador nuevo o de reemplazo que tenga alguna apreciación errada del sistema y esta termine por desencadenar un accidente. ▪ Que el operador no tome las medidas necesarias para realizar alguna acción o proceso peligroso.
C-11	Defectos de diseño o construcción del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El cuarto de almacenamiento tiene algunas fallas de diseño lo cual aumenta las probabilidades de riesgo. Su área es pequeña con relación al tamaño del sistema lo que dificulta el desplazamiento de las personas. Tiene dos partes por donde entra la ventilación pero esto es suficiente. El drenaje del piso no es el mejor y en algunas ocasiones se detectan charcos de agua bajo los contenedores. En presencia de lluvia con viento existe bastante probabilidad que los tambores sean alcanzados por el agua.

I.D.	CAUSA	JUSTIFICACIÓN
C-12	Contactos con líneas eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muy cerca del cuarto de cloración (aprox. 15 mts) existe una pequeña subestación eléctrica y un transformador con líneas de alta tensión que pueden afectar el normal funcionamiento del sistema. ▪ Todas las tuberías eléctricas de la planta de tratamiento de Morrórico pasan sobre la plataforma de transporte de los contenedores. Puede generarse un corto circuito de alguna de ellas bien sea por la lluvia o deterioro del tubo o cable (por permanecer a la intemperie) y afectar el sistema generando una emergencia.
C-13	Sobrecalentamiento del contenedor por exposición al sol.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A ciertas horas del día le llegan de manera directa los rayos solares a los contenedores. Si el día esta muy soleado y corre poco viento la presión interna de los tambores puede aumentar.
C-14	Vibración.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En este aspecto hay muy pocas probabilidades hasta el momento de riesgo ya que los contenedores, líneas que conducen el gas, cloradores y tubería que conduce agua con cloro en altas concentraciones están bien instalados y seguros y el volumen de paso de gas no amerita que ocurra este evento.
C-15	Defectos de fabricación.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna parte del sistema ha tenido hasta el momento defectos de fabricación, sin embargo hay que estar pendiente de las nuevas partes que serán adquiridas para evitar algún peligro por esta situación.
C-16	Defectos del material (mala calidad).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Algunas partes del sistema ya empiezan a mostrar algún tipo de deterioro (tuberías de cobre, cadenas de la grúa, contenedores). Es importante estar atento de esta situación con el fin de hacer los cambios respectivos antes de que se presente algún problema.
C-17	Corrosión interna.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El proceso de corrosión interna es de difícil identificación. Por tal motivo se utilizan materiales dentro del proceso que presentan una mayor vida útil o durabilidad y se lleva una estadística aproximada del tiempo en que estos deben ser reemplazados.
C-18	Corrosión externa.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las tuberías que transportan el cloro gas están muy bien protegidas con pintura anticorrosiva, razón por la cual no se ha presentado este fenómeno.

I.D.	CAUSA	JUSTIFICACIÓN
C-19	Movimientos sísmicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un movimiento sísmico de gran intensidad podría deteriorar y afectar notablemente alguna parte del sistema. Por un lado si alguna de las paredes llegara a caer o si la estructura metálica o riel de la grúa cayera sobre los contenedores. ▪ Quizás un movimiento brusco podría hacer rodar alguno de los contenedores, quebrar la tubería que transporta el gas o agua con altas concentraciones del mismo y desestabilizar el clorador.
C-20	Inundaciones.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A pesar de que la planta se encuentra en un lugar alto pasa por su lado un volumen de agua canalizado que es llevado a tratamiento y este mismo es filtrado a su lado. Pero de acuerdo a las pendientes y drenajes este fenómeno sería poco probable.
C-21	Lluvia intensa con fuerte brisa.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En la eventualidad que se presentara este fenómeno las instalaciones del cuarto de cloración estarían muy expuestas a esta situación ya que tiene el acceso por donde se instalan los contenedores muy descubierto y los primeros contenedores están muy cerca a la salida. ▪ Si se presentara de manera muy intensa este fenómeno podría tumbar algunos árboles cercanos de regular tamaño que posiblemente no afectarían directamente el cuarto de cloración pero si cayeran sobre la subestación eléctrica y el transformador estos podrían salir afectados y dependiendo de las condiciones podría generar efectos encadenados sobre el sistema.
C-22	Erosión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es poco probable ya que en los alrededores existe bastante vegetación, las pendientes están bien conformadas y empedradas y algunas partes ya han sido endurecidas. Además en sus casi 50 años de construcción no se ha presentado este problema.
C-23	Amenaza cerámica (rayos).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En caso de tempestad con presencia de rayos quedarían muy expuestos los primeros contenedores de gas por su proximidad al exterior del cuarto y por la poca protección con la que cuentan. ▪ También se podrían generar efectos encadenados si estos cayeran sobre el transformador.

I.D.	CAUSA	JUSTIFICACIÓN
C-24	Falla de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> Al no hacerse un mantenimiento periódico de las partes que se van deteriorando por su uso o con el paso del tiempo se corre el riesgo que estas en un momento determinado fallen.
C-25	Incendio de otras instalaciones.	<ul style="list-style-type: none"> Un incendio en las oficinas, en los sistemas eléctricos cercanos y en laboratorios podrían afectar el sistema. En la parte posterior de los contenedores existe una pequeña cafetería la cual tiene una estufa que se ubica muy cerca de un toma corrientes y a la pared que esta junto a los contenedores. Cualquier emergencia en este sitio los podría afectar seriamente.

TABLA 6. Selección de Causas.

Conforme a las justificaciones descritas en la tabla anterior se procede a calificar las causas con base en los factores de ocurrencia de esta misma y del tamaño o magnitud del escape del gas cloro que en momento dado se puede generar. De igual forma se indica a continuación el proceso de selección:

I.D.	CAUSAS	FREC (1)	TAM ESC (2)	F*T	SELECCIÓN			
C-01	Acciones con mala intención.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-02	Robo de elementos.	1	2	2	Si	()	No	(X)
C-03	Impacto de vehículos.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-04	Invasión de terrenos de la Empresa.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-05	Atentados.	1	3	3	Si	(X)	No	()
C-06	Accidente de alguna persona.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-07	Fallas durante labores de mantenimiento.	1	2	2	Si	()	No	(X)
C-08	Fallas en instalación de contenedores.	1	3	3	Si	(X)	No	()

I.D.	CAUSAS	FREC (1)	TAM ESC (2)	F*T	SELECCIÓN			
					Si	No	()	
C-09	Fallas en transporte de contenedores.	1	3	3	Si	(X)	No	()
C-10	Operadores sin experiencia.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-11	Defectos de diseño o construcción del sistema.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-12	Contactos con líneas eléctricas	1	2	2	Si	()	No	(X)
C-13	Sobrecalentamiento del contenedor por exposición al sol.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-14	Vibración.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-15	Defectos de fabricación.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-16	Defectos del material (mala calidad).	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-17	Corrosión interna.	2	2	4	Si	(X)	No	()
C-18	Corrosión externa.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-19	Movimientos sísmicos	1	3	3	Si	(X)	No	()
C-20	Inundaciones.	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-21	Lluvia intensa con fuerte brisa.	2	1	2	Si	()	No	(X)
C-22	Erosión	1	1	1	Si	()	No	(X)
C-23	Amenaza cerámica (rayos).	2	2	4	Si	(X)	No	()
C-24	Falla de mantenimiento.	2	2	4	Si	(X)	No	()
C-25	Incendio de otras instalaciones.	1	3	3	Si	(X)	No	()

TABLA 7. Calificación de Causas.

Para la selección de causas de mayor relevancia dentro del proceso de cloración, se utilizará la matriz que se presenta a continuación, la cual permite de acuerdo con una valoración preliminar cualitativa y teniendo en cuenta los factores de frecuencia de ocurrencia y el tamaño del escape del gas cloro, ubicarlas en zona de aceptación o de rechazo.

Esta metodología de ubicación de causas dentro de una matriz tiene una calificación entre 1 y 3 tanto para el factor frecuencia como para el factor magnitud del escape. El valor de 1 califica para los factores de carácter bajo, el valor 2 aplica para los factores de carácter medio y el valor 3 a factores considerados altos.

ESCAPE / FRECUENCIA	ALTO	3	6	9
	MEDIO	2 C21	4 C17 C23 C24	6
	BAJO	C01 C03 C04 C06 C10 C11 C13 1 C14 C15 C16 C18 C20 C22 C24	2 C02 C07 C12	3 C05 C08 C09 C19 C25
		BAJO 1	MEDIO 2	ALTO 3

MAGNITUD (TAMAÑO) DEL POSIBLE ESCAPE	
CAUSAS DESCARTABLES	CAUSAS SELECCIONABLES

FIGURA 9. - Matriz de selección de causas

Realizada la calificación, son seleccionables las causas que resulten con un factor multiplicativo ($F * T$) mayor o igual a 3, y están dentro de la matriz de selección.

3.2 ESTIMACIÓN DE OCURRENCIA DE EVENTOS INICIANTES

El evento iniciante para el caso de emergencia en el sistema de cloración es la liberación o pérdida en el proceso del gas cloro hacia el ambiente, lo cual es causado por diferentes causas posibles como atentados, fallas en instalación y transporte de contenedores, movimientos sísmicos, corrosión interna y amenazas cerámicas, las cuales dependiendo de su magnitud, pueden tener consecuencias negativas en el entorno del sistema. Para la clasificación de la magnitud de los escapes del gas cloro, se tomará como base el caudal teórico máximo de descarga, $Q_{mtd} = 514 \text{ Kg}$.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS AMENAZANTES

La identificación de eventos amenazantes se realizara por medio de un análisis por árboles de falla. Este análisis es un método deductivo que en este estudio permite identificar las causas de ocurrencia de los escapes/fugas del gas cloro (el evento iniciante) y estimar su frecuencia, mediante una representación gráfica de las combinaciones de causas que originan el escape, empleando para ello conectores lógicos y simbología propia de la técnica.

Una vez elaborados los árboles de falla, al final de cada rama se encuentran dos tipos de causas. Causas básicas y causas no desarrolladas, las causas básicas están determinadas por el nivel de resolución del árbol al cual se desee llegar en el estudio. Cuando la causa básica no puede ser examinada por limitaciones en la información disponible, entonces se incorpora como una causa no desarrollada.

3.3.1 Metodología

Para la construcción de los árboles de falla se debe tener en cuenta la siguiente simbología para conectores lógicos y símbolos de eventos. Los conectores lógicos permiten relacionar una causa dada (causa en el nivel superior) con las causas identificadas (causas del nivel inferior) para su ocurrencia, determinando además si las causas del nivel inferior deben ocurrir o no en forma simultánea, y son:



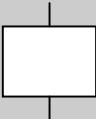
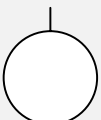
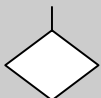
	"o"	La causa superior ocurre si cualquiera de las causas inferiores se presenta (causas suficientes).
	"y"	La causa superior ocurre solo cuando todas las causas inferiores se presentan simultáneamente (causas necesarias).
		Causa intermedia: Un evento o condición previo a la ocurrencia de la intermedia falla, que es desarrollada mediante conectores lógicos como "o" e "y" hasta una causa básica o una no desarrollada.
		Causa básica: Un evento o condición de falla de un componente que no se desarrolla posteriormente, es decir, que su origen está suficientemente claro para asignarle un valor. Es el menor nivel de resolución del árbol de falla.
		Causa no desarrollada: Un evento o condición de falla no examinado por falta de información adicional o porque su desarrollo no está dentro del alcance del estudio.

TABLA 8. Simbología para conectores lógicos y símbolos de eventos.

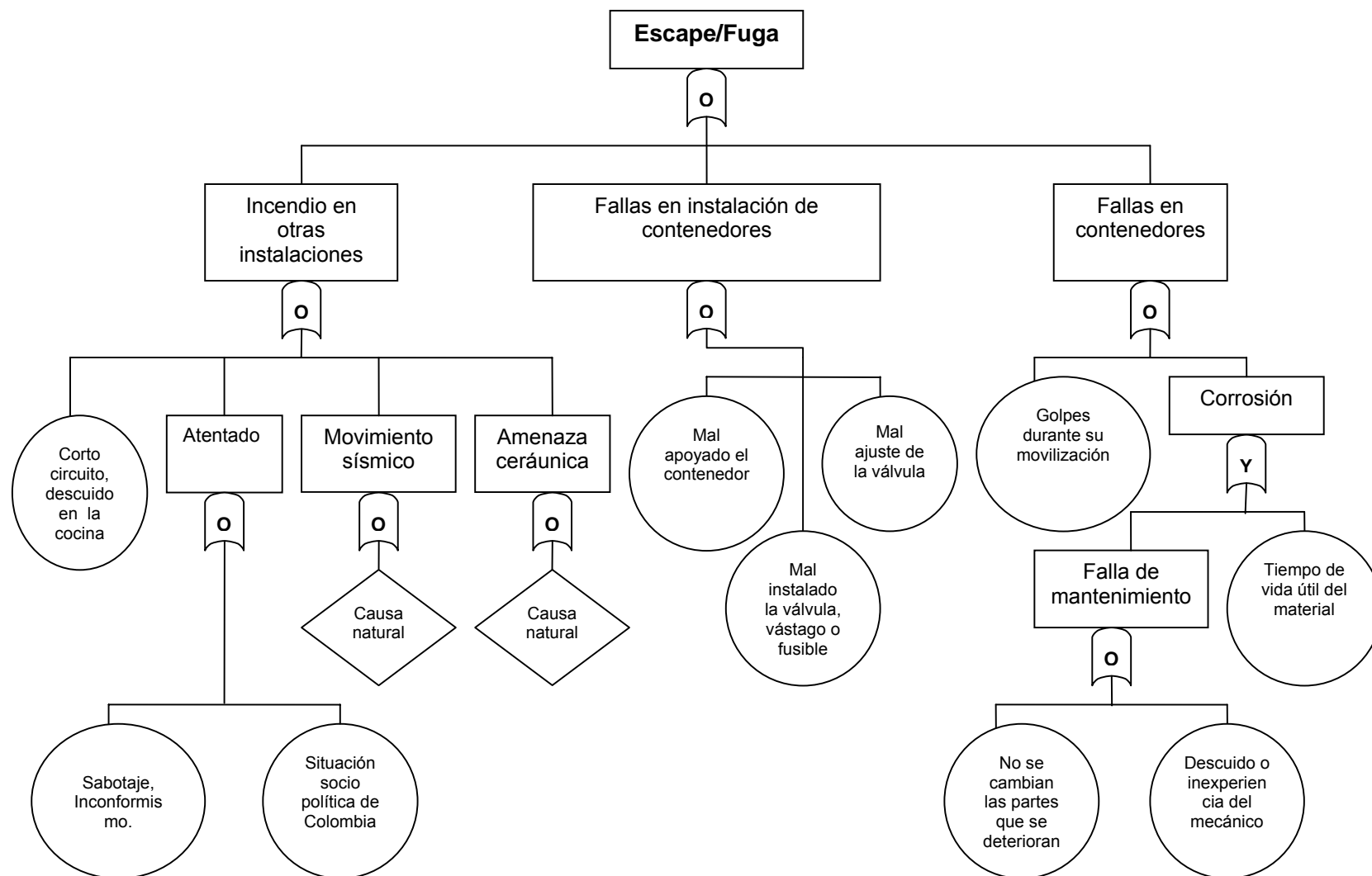


FIGURA 10. Árbol de Falla.

3.4 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS DONDE PUEDEN OCURRIR LOS EVENTOS AMENAZANTES

Con el objeto de identificar los eventos que desencadenan los escapes/fugas de cloro (evento iniciante), se utiliza la metodología del árbol de eventos amenazantes, la cual desarrolla de forma secuencial los eventos posteriores a la liberación del gas, hasta llegar al evento amenazante. El evento iniciante es una falla que inhabilita a una o más funciones esenciales de la instalación y requiere que actúe algún sistema de seguridad que lo indique para controlarlo.

En cada nodo, el árbol de eventos se bifurca en dos ramas que representan la falla o el éxito, respectivamente, de los sistemas cuya acción se opone a la propagación del accidente. Para cada uno de los eventos o funciones de seguridad en el árbol se analizan dos alternativas, que ocurra o que no ocurra (eventos) y que falle o no (funciones de seguridad), a las cuales una vez analizadas se les asigna su probabilidad de ocurrencia dentro del árbol. La suma de las probabilidades de estas dos alternativas siempre debe ser la unidad.

La construcción de un árbol de eventos es secuencial, y se desarrolla de izquierda a derecha. Su construcción inicia con el evento iniciante en su extremo izquierdo, se continúa desarrollando con los diferentes eventos o funciones de seguridad secuenciales al escape del gas, hasta llegar a los eventos amenazantes de interés para el estudio.

El árbol de eventos considera la respuesta del personal y los sistemas de seguridad en relación con la presentación de la falla. Este puede ser usado durante las fases de diseño, modificación u operación de una instalación y es de gran utilidad para analizar los procedimientos de emergencia en la prevención y mitigación de eventos peligrosos.

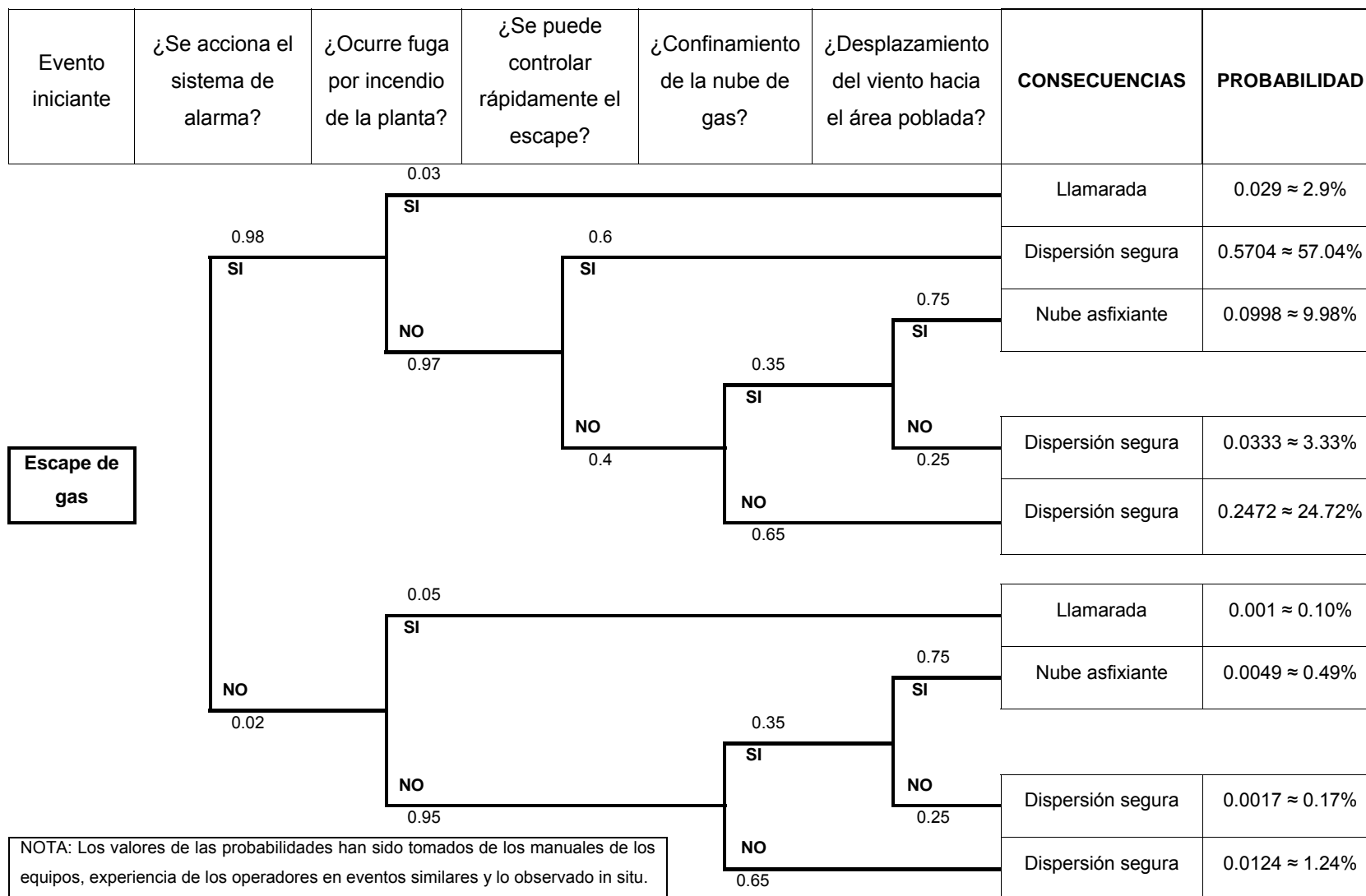


FIGURA 11. Árbol de eventos

3.5 ESTIMACIÓN DE LA OCURRENCIA DE LOS EVENTOS AMENAZANTES

Los eventos amenazantes en una instalación se originan por diferentes causas, las cuales tienen una frecuencia de ocurrencia diferente, por tanto es necesario clasificar los eventos por cada causa y así determinar cual es el grado de ocurrencia de estos. Para la estimación de las frecuencias de ocurrencia de los eventos amenazantes se utilizó el juicio del personal de la planta, los cuales de acuerdo a su experiencia, ubicaron la frecuencia de ocurrencia de acuerdo con los parámetros sugeridos. Con base en lo anterior se establecen los parámetros de frecuencia de ocurrencia ilustrados a continuación:

Índice de Frecuencia	Frecuencia del evento/año	Probabilidad asignada %	Clasificación	Descripción
1	<0,00001	0-20	Extraordinario	Un evento que nunca ha ocurrido pero que puede ocurrir con una pequeña probabilidad.
2	<0,00001-0,001	20-40	Remoto	Incierto que ocurra una vez durante la vida operacional de las instalaciones.
3	<0.001-0,1	40-60	Ocasional	Puede ocurrir de manera ocasional durante la vida operacional de la planta.
4	0,1-1	60-80	Moderado	Ocurre en promedio una vez por año.
5	>1	80-100	Frecuente	Ocurre en promedio más de una vez por año.

TABLA 9. - Ocurrencia del evento amenazante

ESTIMACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

El análisis de consecuencias dentro del análisis del riesgo cuantifica los efectos físicos de los eventos amenazantes y los daños causados por estos, de acuerdo con los diferentes tipos de consecuencias causados.

Los objetivos del análisis de las consecuencias son establecer las bases para la elaboración del plan de respuesta, determinar las zonas de afectación y protección ante la ocurrencia de un evento amenazante y cuantificar el daño sobre las personas.

4.1 ANÁLISIS/EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE VULNERABILIDAD O DAÑO

El siguiente paso a una estimación de consecuencias para el análisis de riesgo es determinar los posibles daños causados por los eventos amenazantes. Las consecuencias de los efectos sobre las personas serán expresadas en términos

de heridos o fatalidades y las consecuencias sobre la propiedad física serán expresadas en términos de pérdidas económicas.

4.1.1 Evaluación de la vulnerabilidad por la nube asfixiante.

Para la evaluación del daño por la nube de cloro en la población cercana a la planta de Morrórico, se aplicó un modelo de dispersión de un gas liberado en forma masiva e instantánea al ambiente¹.

En el caso de alguna emergencia media se debe considerar un corredor de protección de 40 mts el cual involucra dependiendo de la dirección del viento algunas viviendas y la sede administrativa y de operaciones del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

El análisis de consecuencias potenciales, en el lugar de riesgo identificado, se realizó utilizando un modelo atmosférico, mediante la simulación de contaminación y riesgo para industrias (SCRI), tomando como el peor escenario la liberación total del gas cloro. El modelo utilizado sirvió para determinar la distancia a la cual las concentraciones de cloro, que se libera en el peor de los escenarios, pudieran caer al valor estándar aceptado por la norma como no peligroso para la salud en base a consideraciones tomadas en el terreno urbano. Esta simulación se realizó bajo unas condiciones previas las cuales se presentan a continuación¹:

- Masa del contenedor: 1000 KG.
- Velocidad del viento: 2 m/s
- Altura del tambor: 2 mts
- Radio del recipiente: 0.36 mts

¹ Datos tomados del informe Análisis del riesgo Ambiental y su aplicación al almacenamiento y manejo de cloro Industrial – CIENCIA UANL – Abril – Junio de 2002.

Para el cálculo de la estabilidad se tomaron los siguientes parámetros: si la simulación se realiza con el percance ocurriendo de día o noche, con alta o baja nubosidad y si se considera la radiación solar incidente, con los cuales se puede determinar la clase de estabilidad que le corresponde. Para estas corridas se utilizó la estabilidad E, haciendo la consideración de que la fuga o escape ocurre por la noche y se tiene nubosidad alta.

Los resultados de la simulación para la dispersión de cloro gaseoso liberado en forma masiva e instantánea son los que se presentan a continuación:

Distancia (Km)	Concentración (ppm)	Tiempo (h:m:s)
0.030	11190	0:00:12
0.100	707.54	0:00:50
0.150	265.11	0:01:15
0.190	150	0:01:34
0.220	102.37	0:01:50
0.360	30.0	0:02:59
0.420	20.0	0:03:29
1.0	2.29	0:08:20
1.5	0.77	0:12:30
2.0	0.373	0:16:40
7.0	0.020	0:58:20

TABLA 10.

Suponiendo que en el peor de los casos ocurriese la fuga total de cloro gaseoso, se encontró que a una distancia de 360 metros de la fuente de emisión la

concentración calculada fue de 30 ppm, que es el valor al cual la población puede tener daños inmediatos a su vida y salud (IDLH). El tiempo que tarda la nube en recorrer esa distancia es de 2 minutos y 59 segundos.

El valor guía de planeación de respuesta para casos de emergencia para la eventualidad de fugas de cloro es de 20 ppm de concentración y se estimó tener este valor a una distancia de 420 m en un tiempo de 3 minutos y 29 segundos.

La concentración de 100 ppm, que puede provocar sofocación y muerte para un trabajador, se presentaría a una distancia de 220 m de la fuente de emisión en un tiempo de 1 minuto y 50 segundos.

La distancia determinada con el simulador para la cual se cumple el valor guía de respuesta en caso de emergencia, es decir con una concentración de 20 ppm, fue de 420 metros. La distancia para la cual se cumple el índice de daños inmediatos a la vida y la salud (IDLH = 30 ppm) fue de 360 metros.

De acuerdo a lo anterior y con el fin de conocer la dirección estadística del viento en cualquier mes del año y en una determinada hora del día, se recopilaron los datos de la estación meteorológica de la UIS la cual fue seleccionada por ser la que se encuentra mas cercana a la planta de Morrónico y que registra la dirección del viento.

Sin embargo es de anotar que esta estimación no se puede tomar como un valor guía ya que las condiciones pueden variar si consideramos el relieve, las edificaciones existentes y otros aspectos que podrían hacer cambiar el sentido del viento de un lugar a otro. Estos registros dan una idea global de las direcciones del viento en el último año según la época del año para este sector de la ciudad de Bucaramanga, de allí la urgente necesidad de contar con un equipo propio

instalado cerca de las instalaciones de cloración que nos permita conocer de manera local entre otros aspectos la dirección de la corriente de viento.

Mes	Promedio Horario- Diario de la Dirección del viento Estación CDMB – UIS, 2004 - 2005.			
	1 h – 6 h	7 h – 12 h	13 h – 18 h	19 h – 24 h
Enero	noreste	suroeste	suroeste	noreste
Febrero	noreste	noroeste	noroeste	noroeste
Marzo	noreste	noroeste	noroeste	noreste
Abril	noreste	noroeste	noroeste	noreste
Mayo	noroeste	noroeste	noroeste	noroeste
Junio	noreste	noroeste	noroeste	noreste
Julio	noroeste	noroeste	noroeste	noroeste
Agosto	noreste	noroeste	noroeste	noreste
Septiembre	noreste	noroeste	noroeste	noreste
Octubre	noreste	noroeste	noroeste	noroeste
Noviembre	noreste	noreste	sureste	noreste
Diciembre	noreste	sureste	sureste	noreste

TABLA 11. Orientación estadística del viento

4.1.2 Principales elementos vulnerables

Con estos valores estadísticos se denota la tendencia de los vientos de seguir la orientación noroeste y noreste en el periodo correspondiente entre los meses de Febrero a Octubre, que de acuerdo al diagrama siguiente involucra la sede administrativa del Acueducto de Bucaramanga, el Colegio Militar General

Santander, algunos predios residenciales del barrio Albania y las casas fiscales y algunos establecimientos comerciales.

La zona que se predice resultará mas seriamente afectada durante los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, será la que se encuentra hacia el sureste y suroeste de las instalaciones del sistema de cloración, la cual incluye algunos sectores de los barrios Albania y Álvarez, parte de algunos colegios como el centro educativo Cajasan, iglesias, conventos, estaciones de servicio y otros establecimientos comerciales.

Con los resultados de la dominancia de los vientos, la cual es función de la estación o época se tomó un radio de dispersión de la nube asfixiante de 420 mts a una concentración de 20 ppm, correspondiente al valor guía de respuesta en caso de emergencia y que se detalla en la figura No. 11. Hasta este estimativo de concentración la población presentaría algunos síntomas de irritación en garganta, nariz y ojos acompañados de tos pero no pone en riesgo de manera directa la vida de quienes lo inhalen.

Dentro de este radio quedan involucradas las personas que quedarían expuestas en un radio de 360 mts que corresponde al índice de daños inmediatos a la vida y la salud (IDLH = 30 ppm) y a medida que se encuentre mas cerca de la fuente emisora la concentración será mayor y peores serán las consecuencias para la salud.

Es así como se presenta el siguiente grafico en el cual se involucran todos los predios que se encuentran dentro del radio de afectación de 420 metros por medio de un trabajo de campo en el que se discriminaron el número de predios residenciales, comerciales, institucionales y de servicios.

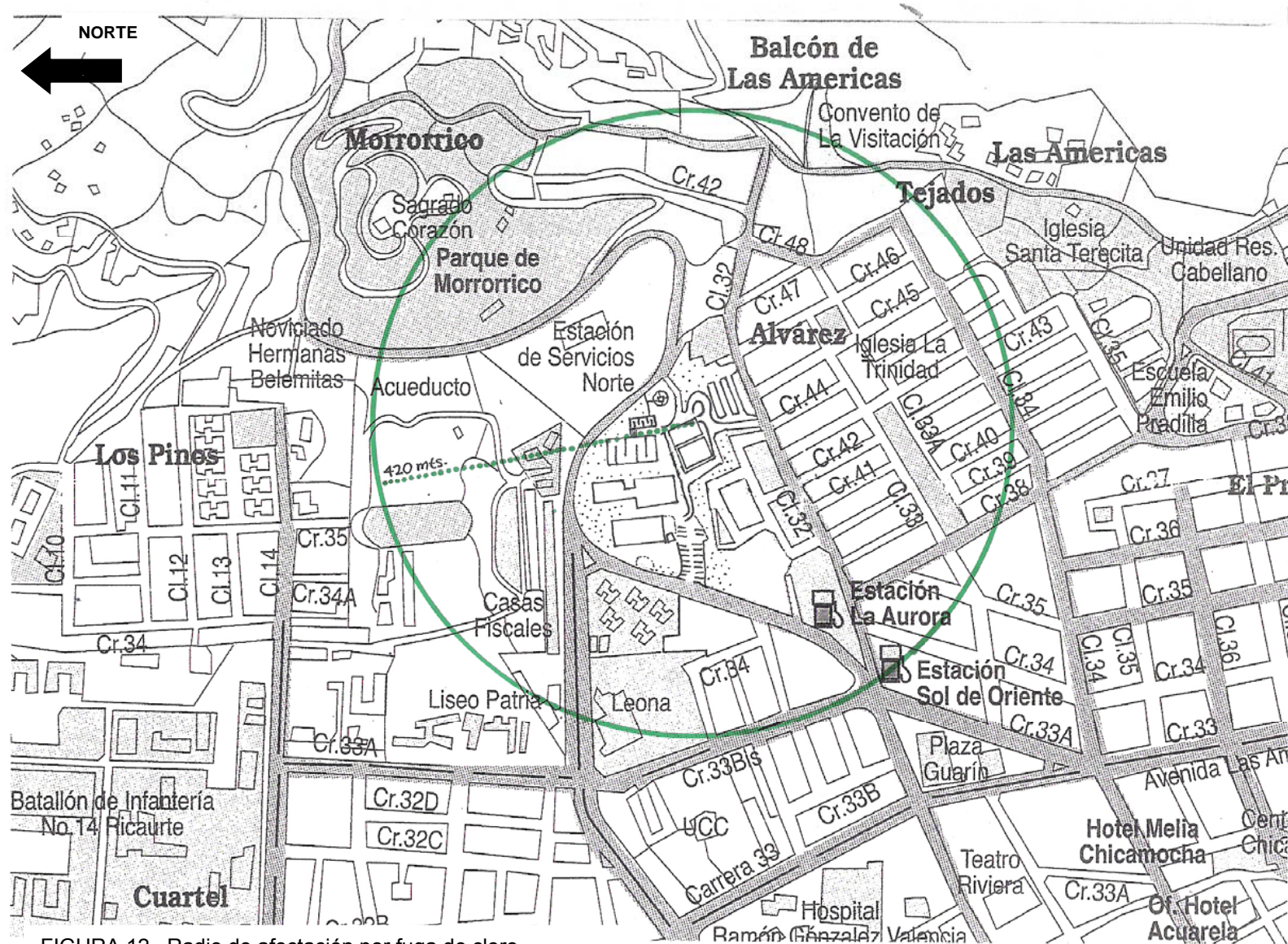


FIGURA 12. Radio de afectación por fuga de cloro.

Una vez conocido el número de predios de acuerdo a su uso se clasificaron en cuatro grupos de acuerdo a su ubicación en el plano cartesiano y con los datos de promedio de habitantes por vivienda de los últimos censos y el número de personas conocido de los establecimientos comerciales, de servicios y los centros educativos, se obtuvo el valor aproximado del número de personas que quedarían expuestas ante una emergencia por la fuga total del contenedor, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Número aproximado de predios afectados que se encuentran en un radio de 420 mts de la fuente emisora				
	Coordenadas			
	sureste	suroeste	noreste	norroeste
Predios residenciales	767	759	252	198
Establecimientos comerciales	3	24	2	2
Establecimientos educativos	1	1	0	1
Centros Religiosos	2	0	1	0
Sede administrativa Acueducto	0	0	0	1
Zona de talleres Acueducto	1	0	0	0
Número aproximado de personas afectadas				
De las 06 hasta las 18 horas	4700	4850	1380	2700
De las 19 hasta las 05 horas	4040	4050	1350	1100

TABLA 12. Número de predios y personas que se encuentran en el radio de afectación

Es de considerar que algunos colegios como el Centro Educativo Cajasan y el Liceo Patria, no son abarcados en su totalidad, pero por el tipo de población que maneja es importante considerarlos en caso de evacuación.

4.2 CALIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CONSECUENCIAS DE INTERÉS.

El análisis de consecuencias en el proceso de cloración incluye los efectos que se causan sobre personas, bienes, medio ambiente y la operación de la planta los cuales afectan directamente la rentabilidad y permanencia de la compañía, por lo tanto es necesario establecer los parámetros con los cuales se proceden a calificar las categorías de consecuencias de acuerdo con el marco de referencia.

Categoría de Consecuencias	Justificación	Selección
Pérdidas por lesiones a personas	El impacto generado por el escape puede ser alto, ya que la planta se sitúa en un área donde coexisten zonas residenciales, administrativas e institucionales.	Aplica
Daños generados al medio ambiente	Las consecuencias ambientales que se pueden generar son localizadas si se tiene en cuenta que es un elemento que se degrada rápidamente y que no se acumula en la cadena alimenticia. Se verían afectadas algunas especies de flora y fauna cercanas al radio de afectación.	Aplica
Afectación de la operación	La suspensión de las actividades de cloración puede generar interrupciones del servicio en algunos sectores mientras se alimenta la red desde otra planta.	No aplica
Pérdidas económicas	Si se tiene en cuenta las consecuencias que se pueden generar entre la población y la infraestructura, se considera importante este aspecto.	Aplica

Categoría de Consecuencias	Justificación	Selección
Perdida de imagen	Dentro de los planes a futuro que tiene la compañía se vería perjudicada certificación de sus procesos, prestamos financieras nacionales o internacionales y expedición de pólizas.	Aplica
Pérdida de la infraestructura	A menos que se genere conflagración, las consecuencias sobre la infraestructura existente no se consideran importantes.	No aplica

TABLA 13. Calificación y selección de las categorías de consecuencias de interés.

4.3 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CUANTIFICACIÓN DE DAÑO.

Para calificar y cuantificar los daños en las categorías de consecuencias seleccionadas se presentan los siguientes cuadros.

CUANTIFICACIÓN DE AFECTACIÓN A PERSONAS		
Valor	Gravedad	Descripción
1	Insignificante	Sin lesiones.
2	Limitado	Lesión temporal (con incapacidad).
3	Grave	Lesión con incapacidad permanente.
4	Muy grave	Hasta 5 muertos o 20 heridos o menos de 500 evacuados.
5	catastrófico	Más de 20 muertos o más de 100 heridos o más de 500 evacuados.

TABLA 14. Fuente: United Nation Environmental Program (UNEP) con variación en su valor.

CUANTIFICACIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (AIRE, FLORA Y FAUNA)		
Valor	Gravedad	Descripción
1	Insignificante	Sin contaminación.
2	Limitado	Efectos localizados y remediables.
3	Grave	Efectos dispersos con limitada remediación.
4	Muy grave	Efectos dispersos no remediables.
5	catastrófico	Daño permanente.

TABLA 15. Sugerida para el AMB por Fabio Morales Muñoz

CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS		
Valor	Gravedad	Descripción
1	Insignificante	Hasta \$1.000.000
2	Limitado	De \$1.000.000 a \$10.000.000
3	Grave	De \$10.000.000 a \$100.000.000
4	Muy grave	De \$100.000.000 a 1.000.000.000
5	catastrófico	Más de \$1.000.000.000

TABLA 16. Sugerido por Fabio Morales Muñoz de acuerdo a la cuantificación de daño aproximado

CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDA DE IMAGEN		
Valor	Gravedad	Descripción
1	Insignificante	Difusión interna
2	Limitado	Difusión local
3	Grave	Difusión regional
4	Muy grave	Difusión nacional
5	catastrófico	Difusión internacional.

TABLA 17. Cuadro sugerido para ECOPETROL

VALORACIÓN FINAL DEL RIESGO

El riesgo de cualquier actividad es una función de la frecuencia de ocurrencia de un evento amenazante y la probabilidad de sus consecuencias sobre unos elementos vulnerables.

Para la identificación del riesgo del sistema de cloración de la planta de tratamiento de morrorico se empleara el método de matrices, el cual permite representar el análisis de una forma gráfica y ordenada para su mejor comprensión.

Con la multiplicación de los números matriciales de la amenaza y las consecuencias identificados en la sección anterior obtenemos un valor denominado “número matricial del riesgo”; este valor para nuestro caso tiene un intervalo numérico entre 1 y 25. Dependiendo del valor resultante se ubica en alguno de los tres niveles de riesgo expuestos en la matriz:

- Nivel aceptable: los escenarios ubicados en esta área de la matriz no presentan un riesgo significativo, lo que no amerita la inversión inmediata de recursos y no se requieren acciones específicas sobre los elementos vulnerables considerados en el escenario. El número matricial de riesgo corresponde a un valor entre 1 y 5.

- Nivel tolerable: Los escenarios agrupados en esta área implican el desarrollo de actividades que disminuyan el riesgo, aunque tienen un nivel de prioridad de segundo nivel. El número matricial del riesgo para este nivel se encuentra entre 4 y 12.
- Nivel inaceptable: Los escenarios ubicados en esta área amerita que se desarrollen acciones prioritarias e inmediatas de protección y prevención debido al alto impacto que tendrían sobre el entorno. Valores de número matricial de riesgo entre 10 y 25 se ubican en el nivel de inaceptables.

✓ **Primer Evento analizado:** Escape de la totalidad del gas del contenedor.

Matriz de Evaluación del Riesgo

Consecuencias						
Catastrófico	5	5	10	RH	20	25
Muy grave	4	4	8	RPE - RPI	16	20
Grave	3	3	6	9	12	15
Limitado	2	2	4	RA	8	10
Insignificante	1	1	2	3	4	5

Probabilidad	1	2	3	4	5
		Extraordinario	Remoto	Ocasional	Moderado

Aceptable	Tolerable	Inaceptable
-----------	-----------	-------------

FIGURA 13.

Probabilidad de ocurrencia: Este es un evento ocasional, es decir que nunca ha ocurrido en esta planta pero que puede ocurrir de manera ocasional durante la vida operacional de la misma. Se califica con un valor de 3.

- Riesgo Humano (R_H): De acuerdo a la tabla 16, las consecuencias humanas serían catastróficas si el viento en ese momento se dirige hacia los barrios aledaños los cuales son unas áreas densamente pobladas o si este se dirige hacia el área administrativa de la compañía. Se califica con un valor de 5.

Riesgo Humano (R_H) = Probabilidad (P) * Consecuencia (C).

Riesgo Humano (R_H) = 3 * 5

Entonces Riesgo Humano (R_H) = 15.

Este valor en la matriz representa un Riesgo Humano con nivel *Inaceptable*.

- La gravedad de las consecuencias ambientales serían limitadas así como lo indica la tabla 17, si tenemos en cuenta que el cloro es un elemento que se degrada rápidamente y no se acumula en la cadena alimenticia. Se afectaría levemente la flora aledaña pero sin ninguna amenaza mayor. Se califica con un valor de 2.

Riesgo Ambiental (R_A) = Probabilidad (P) * Consecuencia (C).

Riesgo Ambiental (R_A) = 3 * 2

Entonces Riesgo Humano (R_A) = 6.

Este valor en la matriz representa un Riesgo Ambiental con nivel *Tolerable*.

- Las pérdidas económicas serían muy graves si se tienen en cuenta los montos que la compañía tendría que pagar en indemnizaciones, infraestructura deteriorada, y demás. Se califica con un valor de 4, (ver tabla 18).

Riesgo de Pérdidas Económicas (R_{PE}) = Probabilidad (P) * Consecuencia (C).

Riesgo Económico (R_{PE}) = 3 * 4

Entonces Riesgo Económico (R_{PE}) = 12.

Este valor en la matriz representa un Riesgo de Pérdidas Económicas con nivel *Tolerable*.

- Conforme a la tabla 19, las consecuencias de pérdida de imagen serían muy graves. Tendría la noticia una difusión nacional dependiendo del número de afectados y quedaría seriamente afectada la certificación de los procesos adquirida hace poco tiempo. Se califica con un valor de 4.

Riesgo de Pérdida de Imagen (R_{PI}) = Probabilidad (P) * Consecuencia (C).

Riesgo de Pérdida de Imagen (R_{PI}) = 3 * 4

Entonces Riesgo de Pérdida de Imagen (R_{PI}) = 12.

Este valor en la matriz representa un Riesgo de Pérdida de Imagen con nivel *Tolerable*

✓ **Segundo Evento analizado:** Fuga parcial del gas del sistema.

Este evento se refiere a las fugas menores que ocurren en la planta las cuales se presentan generalmente en tuberías, mangueras, válvulas, y que son de fácil y rápido control por parte de los operarios y no representan alta severidad de consecuencias hacia la población y el medio ambiente. Tampoco generan valores representativos de pérdidas de económicas y por ende de imagen.

Sin embargo estas fugas se pueden convertir en eventos importantes si no son atendidas a tiempo, por falla del detector de escapes, por daño adicional de alguna válvula, y otras que se pueden presentar.

Matriz de Evaluación del Riesgo

Consecuencias						
Catastrófico	5	5	10	15	20	25
Muy grave	4	4	8	12	16	20
Grave	3	3	6	9	12	15
Limitado	2	2	4	6	R _H R _A R _{PE}	10
Insignificante	1	1	2	3	R _{PI}	5

Probabilidad	1	2	3	4	5
		Extraordinario	Remoto	Ocasional	Moderado

Aceptable	Tolerable	Inaceptable
-----------	-----------	-------------

FIGURA 14

Probabilidad de ocurrencia: Este es un evento moderado, es decir que en promedio ocurre una vez por año. Se califica con un valor de 4.

- Riesgo Humano (R_H): De acuerdo a la tabla 16, las consecuencias humanas serían limitadas dependiendo del tiempo de reacción y la habilidad del operario. Quedaría involucrado el personal encargado de solucionar el daño si no se emplea el equipo de seguridad personal. Se califica con un valor de 2.

Riesgo Humano (R_H) = Probabilidad (P) * Consecuencia (C).

Riesgo Humano (R_H) = 4 * 2

Entonces Riesgo Humano (R_H) = 8.

Este valor en la matriz representa un Riesgo Humano con nivel *tolerable*.

- La gravedad de las consecuencias ambientales serian limitadas así como lo indica la tabla 17, si tenemos en cuenta la cantidad de la emisión y las características de degradabilidad del cloro. Se afectaría levemente la flora aledaña pero sin ninguna amenaza mayor. Se califica con un valor de 2.

Riesgo Ambiental (R_A) = Probabilidad (P) * Consecuencia (C).

$$\text{Riesgo Ambiental (R}_A\text{)} = 4 * 2$$

Entonces Riesgo Humano (R_A) = 8.

Este valor en la matriz representa un Riesgo Ambiental con nivel *Tolerable*.

- Las pérdidas económicas tendría consecuencias limitadas si se tienen en cuenta el valor de las partes que se habrían de cambiar y posiblemente las incapacidades temporales de los afectados. Se califica con un valor de 2, (Ver tabla 18).

Riesgo de Pérdidas Económicas (R_{PE}) = Probabilidad (P) * Consecuencia (C).

$$\text{Riesgo Económico (R}_{PE}\text{)} = 4 * 2$$

Entonces Riesgo Económico (R_{PE}) = 8.

Este valor en la matriz representa un Riesgo de Pérdidas con nivel *Tolerable*.

- Conforme a la tabla 19, las consecuencias de pérdida de imagen serian insignificantes y tendría la noticia una difusión interna. Se califica con un valor de 1.

Riesgo de Pérdida de Imagen (R_{PI}) = Probabilidad (P) * Consecuencia (C).

$$\text{Riesgo de Pérdida de Imagen (R}_{PI}\text{)} = 4 * 1$$

Entonces Riesgo de Pérdida de Imagen (R_{PI}) = 4.

Este valor en la matriz representa un Riesgo de Pérdida de Imagen con nivel *Tolerable*.

6. CONCLUSIONES

- La caracterización de sistema de Cloración de de la planta de tratamiento de Morrórico, permitió identificar en esta, los principales componentes amenazantes por la liberación del producto al entorno y establecer la clasificación o nivel de emergencias, para una mejor organización en la respuesta.
- Con el análisis de los eventos iniciantes de fuga o liberación posible del producto, se obtuvo la identificación de las principales causas con la valoración de su ocurrencia. Esta identificación permite a los operadores de la Planta, priorizar las acciones de intervención para eliminar o reducir la ocurrencia de fugas del producto y a los Administradores destinar los recursos de gastos prioritarios.
- Con el análisis de los eventos amenazantes se logró cuantificar la frecuencia esperada de ocurrencia. La frecuencia de ocurrencia es la componente activa en la ecuación final del Riesgo y por lo tanto al conocer e intervenir esta frecuencia se logrará la reducción efectiva del Riesgo.

- La aplicación de las distancias de modelación teórica de una fuga mayor o total del producto, con las condiciones meteorológicas predominantes para este sector de la ciudad de Bucaramanga, permitieron conocer el radio de afectación y realizar el inventario real en campo, de personas y bienes expuestos o vulnerables.
- Se obtuvo una valoración cuantitativa del Riesgo, lo que permite a los Administradores de la Planta tomar decisiones en relación con acciones de prevención o protección según sea el caso, y de ejecución en : el inmediato el mediano y largo plazo.
- La matriz de valoración final de Riesgo obtenida, permite al nivel gerencial de la administración de la Planta, decidir si el riesgo puede ser retenido o debe ser transferido en términos financieros.
- El mayor número de personas afectadas en términos de lesionados y posibles fatalidades, se presentarían en la eventualidad que se escapara la totalidad del gas almacenado en los contenedores.
- Se encontró que teóricamente una persona que se encuentre a una distancia menor de 360 metros, con respecto al sistema de Cloración, puede resultar afectada. Con esta estimación, los Administradores de la planta podrán priorizar que comunidad o público objetivo debe atender una capacitación sobre procedimientos de evacuación y protección.
- Las zonas que se predice resultarán mas seriamente afectadas durante los meses de Febrero a Octubre (por las condiciones climatológicas predominantes en la zona) en caso de presentarse una fuga de Cloro serán las que se encuentran al noroeste y noreste de la planta , esta situación podría involucrar la afectación de : **la sede administrativa del Acueducto de**

Bucaramanga, el Colegio Militar General Santander, predios residenciales del barrio Albania y las residencias fiscales y algunos establecimientos comerciales en esta dirección .

- Durante los meses de Noviembre, Diciembre y Enero (por las condiciones climatológicas predominantes en la zona) resultarían afectadas en caso de fuga de cloro las comunidades que se encuentran al sureste y suroeste de las instalaciones de Cloración, que incluye : **los barrios Albania y Álvarez, parte de algunos colegios como el centro educativo Cajasan, iglesias, dos conventos, estaciones de servicio de gasolina y otros establecimientos comerciales.**

7. RECOMENDACIONES

- Acondicionar las instalaciones donde se maneja el cloro o construirlas nuevamente con materiales no combustibles, mejorando su ventilación interna ya sean por métodos naturales o mecánicos.
- Instalar dispositivos neutralizadores de aire contaminado o scrubbers los cuales convierten el cloro en hipoclorito de sodio. Su diseño requiere ventiladores de alta eficiencia, torre de absorción en material plástico o fibra de vidrio, ventanas de presión de vacío, bombas de recirculación y la hermeticidad del área con el fin de que el sistema trabaje eficazmente.
- Instalar junto al sistema de cloración un equipo que indique como mínimo la dirección del viento en todo momento (mangaveleta). Esta debe ser instalada en el sitio más alto del área, distante de otras edificaciones que puedan alterar la dirección natural del viento y que sea fácilmente visible desde el interior de la instalación o justo desde las puertas de salida, con el fin de identificar la ruta de la posible fuga.
- Las áreas de cloro deberían ser mejor protegidas contra ingreso de personal no autorizado, además de contener avisos de advertencia.

- Ubicar los equipos de protección personal, de seguridad de los empleados y los equipos de emergencia en un sitio cercano al cuarto de cloración pero preferiblemente en la parte externa del mismo, ubicado al lado opuesto a la posible dirección del cloro.
- Se debe contar con el mínimo de equipo de emergencia recomendados por el instituto del cloro para fugas en las válvulas, fusibles, roscas y en el cuerpo del contenedor.
- Dictar charlas al personal de la planta administrativa del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga y demás personas que se encuentren en dentro de un radio de 420 metros para responder en caso de fuga de cloro desde el contenedor y realizar simulacros en el que se involucren a quienes se encuentren en el radio de afectación de la amenaza. Deberán señalarse igualmente de manera clara las rutas de evacuación.
- Entrenar a los operarios de la planta en el manejo y uso seguro del cloro, en el uso de los equipos de protección personal y el equipo de respiración autónoma, de cómo prevenir las fugas, de acciones para corregir y/o parar las fugas incluyendo el manejo de los equipos de seguridad del instituto del cloro, sobre que hacer ante una emergencia, de las medidas de primeros auxilios por exposición al cloro y demás que sean necesarios.
- Realizar evaluaciones medicas a los empleados consistentes en examen medico, xerología y espirometría. Los empleados con enfermedades respiratorias y deficiencias en la capacidad pulmonar deberían evitar trabajar en situaciones donde la exposición al cloro es posible.

- El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga debe contar con pólizas de responsabilidad civil extracontractual que cubra los daños o perjuicios a terceros que una emergencia de gran magnitud pueda generar.
- Revisar algunas partes del sistema que se encuentran deterioradas por su uso o por que ya cumplieron el tiempo de vida útil.
- Elaborar un plan de contingencia con un plan de acción definido que ayude a eliminar la confusión durante el periodo de crisis y que establezca entre otros aspectos sistemas de alarma en línea directa con los bomberos u otros cuerpos de emergencia pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Identificando y controlando fugas de cloro, Kit B. Refisal.
- Análisis de riesgo ambiental y su aplicación al almacenamiento y manejo de cloro industrial. Ciencia UANL / Vol. V. No. 2 Abril – Junio 2002.
- Manual de manejo seguro del cloro, Procesal. Enero 1998.
- BETANCUR, Ana María. Evaluación de Riesgos –Planes de Contingencia, Salud Ocupacional. Bucaramanga, Especialización en Ingeniería Ambiental. 2004.
- Vulnerabilidad y evaluación del riesgo. Programa de entrenamiento para el manejo de desastres. 1991.
- http://www.amiclor.org/opciones/info_clor.shtml#cloro0
- <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt049.html>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Cloro#Caracter.C3.ADsticas_principales
- http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts172.html
- <http://www.prodigyweb.net.mx/degcorp/Quimica/Cloro.htm>
- <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/librps/132/evaluacion.html>
- <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>
- <http://www.microsoft.com/spain/technet/recursos/articulos/srsqch04.msp>

- <http://cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/toxicolo/evalua/evalua.html>
- [http://www.undmtp.org/Spanish/Vulnerabilidad y evaluacion del Riesgo/Vulnerabilidad y evaluacion del Riesgo.pdf](http://www.undmtp.org/Spanish/Vulnerabilidad_y_evaluacion_del_Riesgo/Vulnerabilidad_y_evaluacion_del_Riesgo.pdf)
- http://www.indeci.gob.pe/planes/plan_cont/terminologia.pdf