

Universidad de Matanzas
“Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ingenierías
Departamento de Química e Ingeniería Química



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Evaluación de riesgos en el Grupo Electrógeno Fuel Oil Agramonte.

Autora: Anabel Martínez Alfonso

Tutor: Dr.C Jesús D. Luis Orozco

Matanzas, Cuba

2011

Declaración de Autoridad

Yo, Anabel Martínez Alfonso, declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la Empresa Nacional de Generación Distribuida y de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Anabel Martínez Alfonso

Pensamiento

“Habrá un antes y un después de la Revolución Energética en Cuba, de la cual podrán derivarse lecciones útiles para nuestro pueblo y para los demás pueblos del mundo...”

**Fidel Castro Ruz
17/01/2006**

Dedicatoria

- A mi mamá Rosa M. Alfonso Cabrera y a mi papá Carlos A. Martínez Cejas por quererme, apoyarme, comprenderme y desear tanto que se realizara este sueño.
- A mi hermano Carlos A. Martínez Alfonso por ser el mejor HERMANO DEL MUNDO.

Agradecimientos

En la culminación del presente Trabajo de Diploma y en sentido más amplio de la etapa que hoy culmina en mi vida han sido muchas las personas que me han brindado su mano para llegar hasta aquí, y sería en vano comenzar a mencionar nombres, sabiendo que siempre faltará alguien en la lista. Por eso gracias a todos los que me tendieron su mano y confiaron en mí.

- A mi mamá, mi papá y mi hermano por estar siempre a mi lado brindando su afecto y apoyo incondicional.
- A mi tutor Dr.C Jesús L. Orozco por dedicar gran parte de su tiempo en la realización de este trabajo.
- A Ms.C Santiago Díaz Suárez por animarme con sus chistes cuando el agobio reinaba en mi mente.
- A mis compañeros de aula por los buenos momentos que pasamos juntos.
- A todos los profesores de la facultad de química por las excelentísimas clases que me impartieron y poner a mi disposición sus conocimientos.
- A mis amigos por estar siempre pendientes de mí, preocupados por el desarrollo de mi investigación y brindándome su apoyo, en especial a Arelys, Andy y Jordis.
- A mi familia por formar parte de mi vida y darme su afecto sobre todo a mi abuela Martha.
- A los profesores Santiago Suárez y Michael López por extenderme la mano cuando necesité su ayuda.
- A los compañeros de la Central de Generación Eléctrica Fuel Oil Agramonte por su ayuda en la recolección de datos para este trabajo, y en especial a Raulito, Leisán, Pupy, Heriberto y Junior que en todo momento me brindaron apoyo incondicional.
- **Dedico este trabajo de diploma a todas estas personas que siempre quisieron que yo fuera una profesional en la vida.**

**A todos
Muchas Gracias**

Resumen

El presente trabajo de diploma se realiza en la Central de Generación Eléctrica (CGE) Fuel Oil Agramonte. El mismo consiste en analizar el proceso de generación de electricidad y determinar los riesgos operacionales que se pueden presentar, los cuales fueron evaluados mediante la técnica de análisis histórico de accidentes en el período de enero de 2007 a diciembre de 2010 y un inventario de las violaciones en el comportamiento de los parámetros medidos en la instalación. De éste inventario de violaciones se obtienen resultados que permiten la creación de una nueva técnica denominada árbol de violaciones que se profundizará en estudios posteriores. Son alcanzados otros resultados fundamentales que indican que en la batería 1 es donde se produce la mayor cantidad de incidentes, encabezados por el gran número de fallos que se ocasionan en el motor 1, y que los parámetros que mayor frecuencia de violaciones presentan son la temperatura de los gases a la entrada del intercambiador de calor, el nivel del tanque de alimentación al domo y la presión de succión de la bomba de circulación en la caldera. Con la culminación de esta investigación se crea una referencia bibliográfica que utilizará el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) como guía para la realización de este mismo análisis en los restantes grupos electrógenos fuel oil de tecnología HYUNDAI del país.

Abstract

The present diplom work is carried out in the Power station of Electric Generation (CGE) Fuel Oil Agramonte. The same one consists on to analyze the process of electricity generation and to determine the operational waterings that can be presented, which were evaluated by means of the technique of historical analysis of accidents in the period of January from 2007 to December of 2010 and an inventory of the violations in the behavior of the parameters measured in the installation. Of this inventory of violations results are obtained that they allow the creation of a new technique denominated tree of violations that will be deepened in later studies. They are reached other fundamental results that indicate that in the battery 1 are where the biggest quantity in incidents takes place, headed by the great number of shortcomings that you/they are caused in the motor 1, and that the parameters that bigger frequency of violations presents are the temperature from the gases to the entrance of the heater changer, the level of the feeding tank to the dome and the pressure of suction of the circulation bomb in the boiler. With the culmination of this investigation a bibliographical reference is believed that will use the System National Electroenergetic (SEN) like guide for the realization of this same analysis in the remaining electrogen groups fuel oil technology HYUNDAI of the country.

Índice

	Página
Introducción	1
Capítulo 1 Análisis bibliográfico	3
1.1 Breve reseña de los grupos electrógenos	3
1.1.1 Grupos Electrógenos Diesel	4
1.1.2 Grupos Electrógenos Fuel Oil	4
1.2 Análisis de riesgos	5
1.2.1 Riesgo térmico	6
1.2.2 Riesgo mecánico	7
1.2.3 Riesgo químico	10
1.3 Métodos utilizados en la evaluación de riesgos	12
1.3.1 Métodos Comparativos	12
1.3.2 Métodos Generalizados	14
1.4 Conclusiones parciales	18
Capítulo 2: Materiales y métodos	19
2.1 Caracterización tecnológica del proceso	19
2.2 Técnicas de evaluación de riesgos a aplicar	21
2.2.1 Análisis histórico de accidentes	21
2.2.2 Inventario de violaciones	22
2.3 Proceder metodológico para la determinación de atmósferas peligrosas	23
2.3.1 Procedimiento para la caracterización climatológica de la zona objeto de estudio	23
2.3.2 Procedimiento de identificación de las sustancias involucradas en el proceso	24
2.4 Caracterización del software ALOHA	26
2.4.1 Aspectos generales de la modelación con el software ALOHA.	27
2.4.2 Dispersión	27
2.4.3 Fuegos y explosiones	28
2.4.4 Otras particularidades de este software.	29
Capítulo 3: Resultados y discusión	32
3.1 Resultados del análisis histórico de accidentes	32
3.2 Resultados del inventario de violaciones	37

3.2.1- Árbol de violaciones. Aplicación	41
3.3 Resultados de la aplicación del software ALOHA	43
3.3.1 Resultados de la caracterización del clima de la zona objeto de estudio	43
3.3.2 Resultados de la caracterización de las sustancias	46
3.3.3 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el software	47
3.3.4 Estimación del comportamiento de los diferentes contaminantes a través del software ALOHA para los tres escenarios objeto de estudio	48
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Bibliografía	61
Anexos	

Introducción

La energía eléctrica es aquella producida por el hombre, de mayor uso actualmente. La vida moderna la utiliza en todo momento, desde los equipos más pequeños hasta los más grandes. Esta energía es generada de diferentes formas; pero es la producida por centrales termoeléctricas y grupos electrógenos (son las que utilizan derivados del petróleo o gas natural como combustible en la liberación de energía calorífica, la cual, a su vez es absorbida por el agua en su cambio de estado de líquido a vapor), las de mayor existencia en estos momentos.

Los grupos electrógenos o centrales de generación eléctrica (CGE), como se les puede nombrar indistintamente, se utilizan con la finalidad de abastecer de corriente eléctrica al sistema Electroenergético, por déficit de energía, o por necesidad de un territorio en específico. Estos grupos pueden operar con combustibles como diesel o fuel oil.

La Central de Generación Eléctrica (CGE) Fuel Oil Agramonte, ubicada en el km 3 carretera Agramonte-Jovellanos, en el poblado de Agramonte, municipio Jagüey Grande, provincia Matanzas, inicia el proceso de construcción en el año 2006 y se inaugura el 24 de marzo del 2007 con total montaje y puesta en marcha de la maquinaria, con un gran porcentaje de trabajadores tanto directos como indirectos. La entidad cuenta con 16 máquinas generadoras de tecnología coreana marca HYUNDAI diseñadas para trabajar las 24 h en dependencia de la demanda de carga que sea necesaria aportar al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), con una potencia instalada de 27,2 MW.

El funcionamiento de esta nueva tecnología está marcado por un grupo de factores y etapas que deben interactuar de la forma correcta, para lograr un funcionamiento adecuado. Uno de los factores internos principales es la total preparación práctica y teórica por parte de los trabajadores que deben tener un profundo conocimiento de los productos químicos necesarios en las diferentes etapas. Otro factor a tener en cuenta es el correcto tratamiento mediante Osmosis Inversa que debe recibir el agua en la planta de tratamiento químico de agua (PTQA) antes de incorporarse al proceso para lograr un enfriamiento eficaz de los equipos del grupo electrógeno, para evitar la corrosión en los sistemas de trabajo del motor y para generar vapor en las calderas. Además es obligatorio realizar la preparación del combustible elevando su temperatura para eliminar las impurezas y facilitar la combustión del mismo. Es de considerar

también el mantenimiento de cada uno de los equipos para alargar su vida útil y garantizar la disponibilidad de la planta mediante el Sistema de Protección Anticorrosiva y de Conservación (SIPAYC). (DGD, 2005; GDECU, 2009)

No obstante a todas las normas y especificaciones que se enmarcan en el Manual de Gestión elaborado directamente por especialistas de la Unión Eléctrica de Generación Distribuida, a pesar de laborar con productos químicos y sustancias combustibles, las CGE no cuentan con una evaluación de los riesgos que pueden desencadenarse. Por lo que es evidente el poco conocimiento acerca de que la evaluación de los riesgos añade juicios prudentes a cada organización empresarial, pues tiende a la protección social y material, al sentido de la prevención contra las consecuencias dañinas que estos producen y a optimizar los medios para reducirlos o ser dominados. Por lo tanto, el análisis de riesgos, constituye la herramienta que permite identificar los peligros, cuantificar los riesgos y decidir si estos son tolerables o no, además de evaluar la efectividad de acciones alternativas para minimizarlos.

Por lo que se proclama el siguiente **problema**:

¿Cómo determinar los riesgos que presenta la Central de Generación Eléctrica (CGE) Fuel Oil Agramonte?

La presente propuesta tiene como **hipótesis** de trabajo:

Si se aplica un análisis de riesgo a partir de las técnicas seleccionadas se podrá determinar en la Central de Generación Eléctrica (CGE) Fuel Oil Agramonte los riesgos que la misma presenta.

Objetivo General:

Determinar los riesgos que pueden existir en la Central de Generación Eléctrica (CGE) Fuel Oil Agramonte.

Objetivos específicos:

1. Establecer las técnicas existentes a escala universal para el análisis de riesgos.
2. Diagnosticar las violaciones que se producen en los diferentes parámetros del proceso.
3. Evaluar mediante las técnicas seleccionadas los riesgos producidos.
4. Determinar, mediante la técnica ALOHA, las áreas afectadas por la ocurrencia de un suceso adverso.

Capítulo 1 Análisis bibliográfico

Con el objetivo de resaltar la importancia que acredita el profundo análisis de los riesgos en el sector empresarial, incluyendo en esta categoría a los grupos electrógenos, se desarrolla el presente capítulo que aborda temas como el surgimiento y modo de operación de los grupos de generación distribuida, incluyendo sus ventajas e inconvenientes. Son comprendidos también en este apartado, los diversos tipos de metodologías usadas en la evaluación de riesgos, las cuales están estructuradas por diferentes métodos que son aplicados según la institución objeto de estudio, la profundidad del análisis que se requiere, el presupuesto con que se cuenta, las sustancias químicas involucradas en el proceso y otros factores, en general.

1.1 Breve reseña de los grupos electrógenos

En el año 2005, bajo el programa de la Revolución Energética en Cuba, la dirección del país decide pasar de una Generación Concentrada en solo una decena de puntos a una Generación Distribuida a base de motores de combustión interna, en más de doscientos puntos; lo que fue provocado por la crisis que sufrió en 2004 el Sistema Electroenergético Nacional (SEN), apoyado entonces en estas grandes plantas con elevados índices de consumo de combustibles y redes de transmisión y distribución en mal estado técnico (GDECU, 2009).

Este nuevo programa de Generación Distribuida consiste en un sistema basado en el uso de centrales de generación eléctrica (CGE) o grupos electrógenos, como se les puede llamar indistintamente, dislocados por todo el archipiélago y el empleo de medidas concretas para el ahorro de portadores energéticos. Se trata de un esquema de generación eléctrica mediante la instalación de baterías de esos grupos electrógenos, que operan con diesel o fuel-oil, sincronizados al SEN, lo cual constituye uno de los más profundos cambios conceptuales en la esfera. Es decir, equipos con bajo consumo energético, alta disponibilidad, facilidad para su instalación y niveles de potencia utilitaria inferiores a las termoeléctricas. De acuerdo con expertos, como Dorta (2009) y Levy (2008) la salida de funcionamiento de algunos de esos grupos no crearía nunca una crisis como la ocurrida en el 2004 cuando se averiaron las centrales termoeléctricas Lidio Ramón Pérez ubicada en la provincia de Holguín y Antonio Guiteras perteneciente a Matanzas.

Los grupos electrógenos representan un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada, ya que estos han sido distribuidos por todo el territorio nacional, que cuenta con Grupos Electrógenos Diesel en 116 de los 169 municipios de Cuba y con 49 grupos de mayores potencias (fuel oil), de tecnologías HYUNDAI y MAN, la primera de procedencia coreana, y la otra alemana, de los cuales 35 se encuentran instalados y el resto pendientes a montaje.

En uno de los módulos impartidos en el Diplomado de Generación Distribuida para Especialistas de Mantenimiento, Castro (2009) afirmó que por las características de esta generación se prevé la disminución de las pérdidas eléctricas, así como la mejora sustancial de los costos. Lo anterior se evidencia al tener mejores índices de eficiencia energética según las experiencias consultadas internacionalmente en grupos electrógenos instalados en Santo Domingo y en Corea del Norte, y que fueron implantados posterior a Cuba, en Haití, Nicaragua, Venezuela, y aún en montaje en Ecuador, donde son adiestrados los técnicos y operadores de estos cuatro últimos por especialistas cubanos basándose ya en el conocimiento adquirido.

1.1.1 Grupos Electrógenos Diesel

Un grupo electrógeno diesel consta con una serie de implementos primarios y secundarios que determinan el proceso de generación de electricidad; por ejemplo, presenta tanques de almacenamiento de combustible diesel y de aceite, purificadoras a las cuales se les envía este combustible para eliminar las partículas sólidas que pueda presentar. Al culminar el proceso de centrifugación, los motores de combustión interna, se insertan automáticamente al sistema por orientación del despacho, dando paso a la producción necesaria de energía eléctrica según la demanda de consumo en el horario pico (DGDUNE, 2006).

1.1.2 Grupos Electrógenos Fuel Oil

En el manual de materias de servicios (DGDUNE, 2006) se expresa que un grupo electrógeno fuel oil consta con una serie de implementos primarios y secundarios que determinan el proceso de generación de electricidad; por ejemplo, cuenta con tanques de recepción de diesel, de fuel oil y de aceite. El primer paso para la generación tiene similitud con los grupos electrógenos diesel, pues se comienza con este combustible para generar el vapor en las calderas, que reciben el agua de una planta de tratamiento químico de agua (PTQA) de Osmosis Inversa, este vapor se utiliza para el

calentamiento del fuel oil, facilitando su acceso a las purificadoras que se encargan de depurar las partículas pesadas que este presenta, para luego pasar a la Unidad Motor-Generador (MDU), donde según la carga demandada se generan los kW necesarios al SEN.

Aunque presentan gran similitud ambos procesos de generación de electricidad, cabe destacar que los grupos electrógenos que operan con fuel oil resultan menos costosos puesto que este combustible es de producción nacional y se adquiere por un precio de 0.3068 \$/L según Factura de Recepción suministrada por CUPET, (enero 2011), mientras que el diesel sobrepasa este costo aproximadamente en 0.25 \$/L, comprado por CUPET a Venezuela y luego enviado a cada emplazamiento mediante el mismo procedimiento usado en la adquisición del fuel oil. Es válido destacar que el diesel en ocasiones puede exceder la diferencia señalada debido a la Crisis Mundial Actual.

La autora de esta tesis estima que esta nueva tecnología aplicada en el país a partir de 2005 ha traído beneficios al SEN ya que ha sido capaz de asimilar en un breve lapso de tiempo cualquier dificultad provocada por desastres naturales o catástrofes. Por lo que se considera uno de los logros principales de la Revolución Energética permitiendo contar con la energía necesaria generada por estos grupos electrógenos para satisfacer las necesidades vitales, tanto en el sector residencial como industrial.

En caso de desastres atmosféricos los Grupos Electrógenos garantizan el servicio eléctrico a hospitales, policlínicos, bancos de sangre, hogares de ancianos y de impedidos físicos y mentales, farmacias, panaderías, clínicas estomatológicas, centros de confección de alimentos, frigoríficos, sistemas de bombeo y otros objetivos vitales (GDECU, 2009) .

No obstante a todas las bondades que han ofrecido los grupos electrógenos al campo de la Generación Distribuida no se han podido constatar bibliografías que estudien los riesgos que se pueden presentar en estos, los cuales deben ser analizados y evaluados, para confeccionar un plan de seguridad industrial, cuyo compromiso es lograr la preservación de vidas humanas y el correcto uso y cuidado de bienes materiales.

1.2 Análisis de riesgos

Lizarazo y César (2007); DINAPRE y UEER (2006); Falagán [*et. al*], (2000); Tickner (1999); Castro y Arcos (1998) y Van Dommelen (1996) plantean que para lograr

una planificación correcta de actuación ante un desastre industrial, es necesario conocer los tipos de accidentes que pueden ocurrir en cada sector de la planta objeto de estudio; siendo entonces, el primer paso para obtener un Plan de Acción ante Desastres, la realización de un exhaustivo análisis de riesgos, los cuales pueden producir tres tipos de fenómeno:

- a) Térmico
- b) Mecánico
- c) Químico

A continuación se explicarán las categorías de riesgos mencionadas anteriormente.

1.2.1 Riesgo térmico

Esta categoría está fundamentada por los incendios, que constituyen uno de los riesgos más comunes en plantas de procesos químicos y petroquímicos, y son catalogados usualmente como de un potencial de desastre menor que el que tanto las explosiones como las fugas de productos tóxicos producen.

Sin embargo el fuego y los incendios son eventos de alto peligro y pueden bajo las peores condiciones aproximarse a las explosiones en su potencial de desastre.

Según Castro y Arcos (1998); tanto las personas como las instalaciones van a sufrir las consecuencias del fuego y de las radiaciones térmicas cuando reciban calor a una velocidad mayor de la que lo disipen. En el punto de origen del calor la transmisión de éste va a ser por conducción, convección y radiación, pero a medida que se produce el alejamiento del foco va a ser principalmente por radiación.

Para autores como Márquez (2003) y Seider, [et. al] (1999) algunos factores importantes a considerar en cuanto al fuego como peligro son:

Inflamabilidad: El término inflamabilidad hace referencia a la mayor o menor facilidad con que una sustancia puede arder en aire o en algún otro gas que pueda servir como comburente.

Punto de Inflamación o Destello (Flash Point): Corresponde a la temperatura mínima a la cual el producto formará una mezcla vapor/aire inflamable o es conocido también como la temperatura mínima a la cual se produce el suficiente vapor como para formar, cerca de la superficie de un líquido combustible, una mezcla con aire que esté dentro de los límites de inflamabilidad.

Punto de Autoencendido o Ignición: Corresponde a la temperatura mínima a la que una sustancia arde espontáneamente en contacto con aire o, la temperatura a la cual una sustancia inflamable es capaz de quemarse en aire, sin una fuente de ignición externa.

Límite Inferior y Superior de Inflamabilidad: Rango de concentraciones de un vapor en aire, expresada en porcentaje, dentro del cual la mezcla vapor-aire es inflamable. Es decir los límites de inflamabilidad proporcionan el intervalo de concentraciones de combustible (normalmente en porcentaje de volumen), dentro del cual una mezcla gaseosa puede entrar en ignición y arder.

En el Manual de Extinción de Incendios (Boulandier, [et. al] (2001) se cita que por debajo del límite inferior de inflamabilidad (L.I.I), no existe suficiente combustible como para propagar la combustión. De manera análoga, a concentraciones de combustible mayores que las del límite superior de inflamabilidad (L.S.I), no hay suficiente comburente como para que la reacción se propague lejos de la fuente de ignición.

1.2.2 Riesgo mecánico

Las ondas de presión y los proyectiles, ambos relacionados con las explosiones, son la base de esta categoría, que por la gran cantidad de energía que se produce en una explosión en un corto espacio de tiempo constituye el segundo mayor peligro con un potencial de desastre mayor que el fuego, pero menor que las fugas de tóxicos. (Márquez, 2003; Wells, 1997)

La explosión es una liberación violenta y súbita de energía. Las causas pueden ser variadas, pero generalmente las explosiones se clasifican de acuerdo al tipo de energía que las origina:

Energía Química: La fuente de la energía química son las reacciones químicas exotérmicas, entre las cuales se incluyen la combustión de materiales inflamables.

Las explosiones basadas en energía química pueden ser: uniformes o de propagación. Una explosión en un estanque tenderá a ser una explosión uniforme, mientras que una explosión en una cañería extensa tenderá a ser una explosión de propagación.

Según SPC (2002) las explosiones debidas a la liberación de energía química dan lugar a una elevación de la temperatura y/o a un aumento en el número de moles en fase gaseosa. La energía liberada en una explosión química depende de la naturaleza y estado físico de los reactantes y productos.

Energía Física: La energía física puede ser energía de presión en gases, energía térmica, energía de esfuerzo en metales, o energía eléctrica. Un ejemplo de una explosión causada por liberación de energía física puede ser la fractura de un estanque que contiene un gas a alta presión.

Al igual que ocurre con los incendios, las explosiones pueden impedirse trabajando fuera del intervalo de inflamabilidad, disminuyendo la concentración de comburente hasta el valor correspondiente o evitando fuentes de ignición.

Según Schieler y Pauze (1976) si una nube homogénea de vapor en condiciones de inflamabilidad entra en ignición en ausencia de restricciones externas, el resultado es un frente de llama esférico que se propaga rápidamente al resto de la nube. La combustión da origen a un aumento de la temperatura, y habitualmente del número de moles, a medida que la reacción transcurre. La velocidad del proceso ocasiona un aumento de presión local que no se equilibra con los alrededores, a diferencia de lo que ocurriría en un incendio, donde el proceso es lo suficientemente lento como para disipar el aumento de presión.

El frente de llama en expansión puede visualizarse como un pistón permeable que causa ondas de presión en la mezcla no reaccionada. Estas ondas, en general, se propagan a la velocidad local del sonido. Si la velocidad del frente de reacción es lo suficientemente grande, se produce la conocida superposición de frentes de ondas que da lugar a la formación de una onda de choque.

Para Haddad (2008) dependiendo de la velocidad del frente de combustión con respecto a la del sonido en la mezcla no reaccionada, las explosiones se pueden clasificar en:

Deflagración: Es donde el frente de llama viaja a través de la mezcla inflamable en forma relativamente lenta, o sea a velocidad subsónica, o sea, la velocidad máxima de expansión de los gases es la velocidad del sonido en tal ambiente, pudiendo ocurrir la combustión.

Detonación: Es donde el frente de llama viaja como una onda de choque, seguida cercanamente por una onda de combustión, la cual libera la energía para sostener la onda de choque. El frente de detonación viaja a una velocidad mayor a la del sonido en un medio no reactivo.

Para Resnick (1981) una detonación genera mayores presiones y es más destructiva que una deflagración; pues mientras que la mayor presión causada por una deflagración de una mezcla hidrocarburo-aire en un estanque cerrado a presión atmosférica es del orden de 8 bar, una detonación puede generar una presión tope del orden de 20 bar. Sin embargo una deflagración se puede convertir en una detonación, particularmente si viaja en una tubería larga. La inmensa mayoría de las explosiones de mezclas inflamables en la industria química son deflagraciones.

Márquez (2003) señala que así como existen dos tipos de explosiones, también ellas pueden ocurrir en dos condiciones diferentes:

Explosiones Confinadas: Son aquellas que ocurren en estanques, cañerías o edificios, provocadas por evaporación de disolventes de pintura, restos de líquidos inflamables, reacciones químicas, movimiento de grano de cereales, piensos, etc., siempre que exista gas, vapor o polvo combustible en el ambiente y su concentración esté comprendida entre sus límites de inflamabilidad. (González y Turmo, 1993)

Por lo tanto a efectos de seguridad se considera que un espacio confinado es muy peligroso cuando exista una concentración de sustancia inflamable por encima del 25 % del límite inferior de inflamabilidad, dado que es factible que se produzcan variaciones de la concentración ambiental por razones diversas (R.O.S.P.A., 1985).

Explosiones de Nubes de Vapor: Las explosiones que ocurren al aire libre son explosiones de nubes de vapor.

Una explosión de nubes de vapor es uno de los peligros más serios en la industria de procesos. Aunque una gran liberación de compuestos tóxicos puede tener un gran potencial de desastre, las explosiones de nubes de vapor tienden a ocurrir más frecuentemente. La mayoría de las explosiones de nubes de vapor han sido el resultado de fugas de líquidos inflamables en equilibrio.

Para Bachurst y Harker (1973) el problema de las explosiones de una nube de vapor es que no solamente son potencialmente muy destructivas sino que también pueden ocurrir a cierta distancia del punto de la fuga y por lo tanto pueden involucrar una gran área.

Autores como Márquez (2003) y Castro y Arcos (1998) señalan que el peligro de una explosión debe ser en general minimizado evitando mezclas inflamables de gas-aire en el proceso, lo que puede efectuarse ya sea cambiando las condiciones del proceso o

agregando un material inerte. Es una mala práctica confiar solamente en la eliminación de las fuentes de ignición.

1.2.3 Riesgo químico

La tercera categoría está constituida por fenómenos como fuga o vertido incontrolado de sustancias tóxicas o contaminantes, que según Castro y Arcos (1998) y Vargas (1996) son aquellas que son explosivas, comburentes, extremadamente inflamables, fácilmente inflamables, inflamables, muy tóxicas, tóxicas, nocivas, corrosivas, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicas, mutagénicas, tóxicas para la reproducción y las peligrosas para el medio ambiente.

Por lo antes expuesto, el tercero de los mayores peligros y el que tiene el mayor potencial de desastre es la liberación de productos tóxicos. El peligro que posee una liberación de productos tóxicos depende no solo de las especies químicas sino también de las condiciones de exposición. El mayor potencial de desastre de una liberación de tóxicos se encuentra cuando existen situaciones en que grandes cantidades de personas son expuestas brevemente a altas concentraciones de material tóxico, es decir, exposición aguda. Sin embargo los riesgos de efectos a la salud a largo plazo asociados con exposiciones prolongadas (exposición crónica) también presentan serios peligros (Grau y Moreno, 2007).

Para que un producto químico pueda afectar la salud, debe tomar contacto con el cuerpo humano, ya sea por inhalación, por contacto con la piel o mediante la ingestión.

La inhalación puede suceder ya sea por una liberación accidental de material tóxico a la atmósfera o por una emisión fugitiva causada por una fuga lenta de una cañería, o por válvulas o sellos de bombas o compresores. El llenado de estanques provoca emisiones cuando el líquido al subir el nivel causa que el vapor en el estanque sea liberado a la atmósfera. Los límites aceptables para la exposición de productos tóxicos dependen de si la exposición es breve o prolongada.

El trabajo clásico de Hodge y Sterner citados por Grau y Moreno (2007) y Falagán, [et. al] (2000), establece una escala de toxicidad relativa basada en la administración por vía oral, tabla 1.1, en base a la definición de las llamadas dosis o concentraciones letales determinadas en animales de laboratorio (ratas), utilizando condiciones experimentales estandarizadas y poblaciones de tamaño adecuado para el análisis estadístico de los resultados.

Grau y Moreno (2007) plantean que la definición usual de “**Dosis Letal 50, DL50**”, se expresa como la dosis que, administrada oralmente o por absorción cutánea, causa la muerte del 50 % de los individuos afectados en un período de observación de 14 d; bajo las mismas condiciones se define “**Concentración Letal 50, CL50**”, como la concentración de material en el aire cuya inhalación durante 4 h es capaz de provocar el mismo daño.

Tabla 1.1 Categorías de toxicidad relativa

Clase de toxicidad	Grado de toxicidad DL50
6 Supertóxico	< 5 mg/kg
5 Extremadamente tóxico	5-50 mg/kg
4 Muy tóxico	50-500 mg/kg
3 Moderadamente tóxico	500-5000mg/kg
2 Ligeramente tóxico	5-15 g/kg
1 Prácticamente no tóxico	> 15 g/kg

Fuente: Grau y Moreno (2007)

De acuerdo a la escala anterior, con menos de siete gotas de un producto de clase 6 es probable la muerte de una persona de 70 kg de peso, mientras que se requeriría del orden de una cucharada para clase 4 y más de 1 L para clase 1.

Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), también hace una definición de distintas categorías de toxicidad que se encuentran expuestas y explicadas en las tablas 1.2 y 1.3.

Tabla 1.2 Categorías de toxicidad aguda según la EPA

Categoría de toxicidad	de LD50 (mg/kg)	oral	LD50 dérmica (mg/kg)	LD50 por inhalación	
				mg/l polvo	ppm vapor/gas
I Peligro veneno	≤ 50		≤ 50	≤ 2	≤ 200
II Advertencia	50-500		200-2000	2-20	200-2000
III Precaución	500-5000		2000-20000	20-200	2000-20000
IVPRECAUCION	> 5000		> 20000	> 200	> 20000

Fuente: Grau y Moreno (2007)

Tabla 1.3 Definición de las diferentes categorías de toxicidad aguda

Categoría de toxicidad	Efecto en los ojos	Irritación en la piel
I	Opacidad en la córnea irreversible en 7 d	Irritación severa en 72 h
II	Opacidad en la córnea reversible, o irritación durante 7 d	Irritación moderada en 72 h
III	No se produce opacidad en la córnea, sólo irritación reversible durante 7 d	Irritación débil en 72 h
IV	Sin irritación	Sin irritación en 72 h

Fuente: Grau y Moreno (2007)

Cada riesgo desencadenado, según la magnitud del daño presenta un nivel de complejidad dado que implica medidas a tener en cuenta en cada caso, lo cual se puede observar en las tablas enunciadas a continuación:

Tabla 1.4 Criterios para definir categorías de riesgos, según la norma BS 8800

Consecuencia	Probabilidad de ocurrencia	Nivel de riesgo
Daño Leve (1)	Probabilidad Baja (1)	Bajo (Trivial)
Daño Leve (1)	Probabilidad Media (2)	Tolerable
Daño Leve (1)	Probabilidad Alta (3)	Moderado
Daño Moderado (2)	Probabilidad Baja (1)	Tolerable
Daño Moderado (2)	Probabilidad Media (2)	Moderado
Daño Moderado (2)	Probabilidad Alta (3)	Sustancial
Daño Extremo (3)	Probabilidad Baja (1)	Moderado
Daño Extremo (3)	Probabilidad Media (2)	Sustancial
Daño Extremo (3)	Probabilidad Alta (3)	Intolerable

Fuente: Orozco (2009)

Tabla 1.5 Acciones para cada categoría de riesgos, según la norma BS 8800

Nivel de riesgo	Acciones
Bajo (Trivial)	No se requieren
Tolerable	Buscar medidas de bajo costo para minimizar el riesgo. Realizar monitoreo para asegurar que los controles existentes se mantengan
Moderado	Tratar de reducir el riesgo sin incurrir en costos de prevención excesivos. En casos donde existan consecuencias potenciales con daños extremos, es recomendable hacer una nueva evaluación de la probabilidad de ocurrencia, para decidir acerca de nuevas medidas de control
Sustancial	No iniciar las operaciones hasta que el riesgo no haya sido reducido, y de encontrarse alguna en curso, deberá cesar. Se deben destinar recursos importantes para reducir el riesgo
Intolerable	La operación no debe comenzar ni continuar, hasta que el riesgo haya disminuido. Se deben destinar todos los recursos necesarios para tal objetivo

Fuente: Orozco (2009)

1.3 Métodos utilizados en la evaluación de riesgos

Autores como SPC (2002); Casal, [et. al] (2001) y Castro y Arcos (1998) plantean que para la realización de un exhaustivo análisis de riesgos existen diferentes técnicas o métodos de apoyo, que se dividen en dos grandes grupos:

- a) Comparativos.
- b) Generalizados.

A continuación serán explicados los métodos de evaluación de riesgos que están incluidos en los grupos anteriormente mencionados.

1.3.1 Métodos Comparativos

Para Orozco (2009) se basan en la experiencia previa acumulada en un sector industrial determinado, por lo que son muy utilizados en el análisis preliminar de riesgo.

Sobre esta base se encuentran los llamados:

- Listas de Comprobación
- Análisis Histórico de Accidentes
- Análisis Preliminar de Peligros (APR)
- Normas y Códigos de Diseño

Una **Lista de Comprobación o Verificación** no es más que una guía que permite revisar un proceso e identificar carencias de seguridad o áreas que requieren un estudio más profundo.

Esta lista debe ser elaborada a partir de códigos, regulaciones y estándares aplicables y debe ser aprobada por el personal designado en cada planta química antes de ser aplicada. El alcance debe cubrir factores humanos, sistemas e Instalaciones. Debe ser tan extensa como sea necesario para satisfacer la situación específica que se analiza, debe ser aplicada de forma que permita identificar y evaluar los problemas que requieren mayor atención.

Bonilla (2007); D.G.P.C. (1990a); D.G.P.C. (1990b) y APA (1980) aseguran que este método es un procedimiento fácil y controlado. Está especialmente adaptado para garantizar el cumplimiento de normas o reglamentos técnicos y permite la reproducibilidad del análisis de forma periódica, permitiendo estudiar las desviaciones que se producen en el tiempo. No obstante, dependiendo de la calidad de la lista de comprobación o del grado con que se adapte a la planta analizada puede pasar por altos peligros evidentes no contemplados en las listas o incidir excesivamente en puntos que sin lugar a dudas no plantean peligros importantes. En ese sentido, no es un método creativo.

Un **Análisis Histórico de Accidentes** tiene como objetivo primordial detectar los peligros presentes en una instalación con otras similares que hayan tenido accidentes registrado en el pasado . Analizando esos antecedentes es posible conocer las fuentes de peligro, estimar el alcance posible de los daños e incluso, si la información es suficiente, estimar la frecuencia de ocurrencia. (Carol, 2001)

Para ISIS (1997) es una metodología simple y económica, ya que no compromete muchos recursos materiales o humanos. Su gran ventaja es que detecta peligros absolutamente reales, que ya en el pasado se han puesto de manifiesto. Sin embargo,

las informaciones recogidas son limitadas dado que sólo se registran los accidentes que acaban en eventos de relativa importancia y se obvian incidente, potencialmente más peligrosos que los anteriores, pero que por circunstancias fortuitas favorables no desencadenan un gran accidente. Asimismo, las informaciones recogidas no son completas y están afectadas de imprecisiones importantes, lagunas y datos confidenciales desconocidos.

El **Análisis Preliminar de Peligros (APR)**, según Carol (2001), es un método basado en la búsqueda bibliográfica de peligros que pueden hallarse presentes en una nueva instalación a partir de la lista de productos químicos presentes.

Según ISIS (1997) el procedimiento consiste en obtener información completa sobre materiales, sustancias, reactivos y operaciones previstas, comparar estos procesos con otros de los que se tenga experiencia anterior, adaptar esas semejanzas al caso actual y analizar las operaciones y equipos previstos desde el punto de vista de los peligros presentes en cada uno (toxicidad, corrosividad, carga energética, etc.). Por último, se deben proponer las medidas a adoptar para disminuir o eliminar los peligros detectados. La autora de esta tesis plantea que este método resulta idóneo para instalaciones en fase de anteproyecto o ingeniería básica, cuando aún no se han desarrollado planos detallados de la instalación, ya que constituye un procedimiento de análisis simple y económico.

Las **Normas y Códigos de Diseño** según Orozco, [et. al] (2007a) no son más que aquellas que fijan requerimientos en relación con aspectos de salud y seguridad ocupacional, y que establecen los lineamientos que precisan la aceptabilidad del diseño de equipos, procesos, sistemas de almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas, etc. Cualquier desviación del diseño respecto de lo que se considera una práctica aceptada debe dar origen a un análisis más detallado de tal situación.

1.3.2 Métodos Generalizados

Para autores como D.G.P.C. (1997a); D.G.P.C. (1997b); D.G.P.C. (1997c); D.G.P.C. (1996a); D.G.P.C. (1996b); D.G.P.C. (1996c); D.G.P.C. (1996d) y OIT (1988) son aquellos que requieren de mayor información acerca del proceso a analizar y constituyen poderosas herramientas para la identificación de peligros y análisis de los riesgos asociados. Generalmente se utilizan en una etapa posterior al análisis de

riesgo, cuando se ha seleccionado aquellos que ameritan una evaluación con mayores niveles de detalle. Entre estos se destacan:

- Análisis de Peligro y Operatividad (por sus siglas en inglés HAZOP)
- Análisis “¿Qué sucedería sí...?” (*What if?*)
- Análisis de modalidades de falla y sus efectos (por sus siglas en inglés FMEA)
- Análisis de árbol de fallas (por sus siglas en inglés FTA)
- Análisis de árbol de eventos (por sus siglas en inglés ETA)

El **Análisis de Peligro y Operatividad (HAZOP, Hazard and Operability)** permite identificar los peligros asociados a una planta o parte de ella, tanto en la fase de diseño (ingeniería básica e ingeniería de detalle), como durante la operación de la planta (ej.: al introducir modificaciones en los procesos). Generalmente, se utiliza como herramienta en el análisis de riesgo en aquellas unidades u operaciones críticas, donde los accidentes pueden revestir serias consecuencias. Dichas unidades u operaciones se seleccionan a partir de una evaluación preliminar con métodos más sencillos. (Orozco, [et. al] 2007b)

Algunos autores como Storch (1998) y Bestratén (1993) plantean que su aplicación se fundamenta en la identificación de todos los parámetros del proceso y sus condiciones de trabajo habituales, analizando de manera sistemática las desviaciones posibles.

Se inicia el estudio identificando los equipos y líneas principales de la planta. Para cada equipo o línea se relacionan todos los parámetros que afectan al sistema y se concretan sus condiciones habituales de proceso. A continuación y con la ayuda de palabras-guía, se identifican cuáles serían las consecuencias de que la variable estudiada se desviará de la condición de proceso en la forma indicada por la palabra-guía. Para cada situación peligrosa identificada se propondrán las medidas correctoras oportunas en el sentido de evitar las desviaciones detectadas.

Para la autora de esta tesis este método está mejor preparado para ser usado en plantas de trabajo continuo, aunque se han desarrollado variantes para procesos por lotes. Su aplicación es económicamente costosa, dada la necesidad de involucrar en el estudio a un cierto número de profesionales calificados que deberán dedicarle un tiempo considerable.

El **Análisis “¿Qué sucedería sí...?” (*What if?*)** según Orozco (2009) permite conducir un examen sistemático de una operación o un proceso en base a preguntas de ese tipo.

Es una técnica de gran utilidad para la identificación de peligros. Este análisis requiere de un completo conocimiento del proceso a evaluar. Se debe preparar una lista de preguntas del tipo ¿Qué sucedería si...? aplicadas a desviaciones en el diseño, construcción, modificación y operación de la planta.

Una vez identificados los peligros y sus posibles consecuencias, deben señalarse las medidas disponibles para minimizarlos, tales como alternativas en el proceso o modificaciones de la línea de producción.

Carol (2001) señala que este método resulta un sistema muy creativo y de simple aplicación (y por lo tanto, económico). Sin embargo, aun realizándose de modo estructurado puede pasar por alto algunos menos evidentes, pero no por ello menos graves.

El Análisis de modalidades de falla y sus efectos (por sus siglas en inglés FMEA) según Muñoz, [et. al] (2009) es una técnica muy utilizada en los sistemas de calidad para identificar causas de fallos.

Se inicia el estudio identificando todos los equipos de la planta y estableciendo sus condiciones normales de proceso. A continuación, para cada equipo, se detallan todos y cada uno de los fallos posibles y se analizan sus posibles consecuencias. Si se da la circunstancia de que una situación de fallo en un equipo produce una alteración en otro, debe trasladarse esta influencia al estudio del equipo afectado. Una vez conocidas las consecuencias, se deben proponer las acciones de mejora necesarias para eliminar o reducir el peligro.

En general, para cada elemento se cumplimenta una tabla con las siguientes columnas: elemento, descripción del equipo, modo de fallo, forma de detección del fallo, efectos del fallo y medidas correctoras.

Según la autora de este trabajo de diploma el FMEA es un método que requiere de poca información y es relativamente económico ya que por su poca complejidad puede ser realizado por los mismos especialistas de la planta, sin necesidad de personal calificado, aunque cabe aclarar que tiene como inconveniente la no contemplación de la posibilidad de fallos combinados o en secuencia.

El Análisis de árbol de fallas (FTA, *Fault Tree Analysis*) para autores como Balderas y Nelson (2007); Puigjaner, [et. al] (2007); Aranguren y Tarantino (2004); Piqué (1994) y Amendola y Saiz de Bustamante (1988) es una técnica cuantitativa que permite estimar

la probabilidad de ocurrencia de un fallo determinado (suceso capital o “*top event*”) a partir del conocimiento de la frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores o causales, mediante la utilización de procesos lógicos inductivos y la confección de una secuencia lógica de sucesos, denominada árbol de fallos.

Se inicia su aplicación con la identificación de los sucesos capitales tales como explosión de un reactor, fallo del compresor, etc. Se establecen a continuación los sucesos iniciadores que son capaces, de por sí o en combinación con otros, de desencadenar el suceso capital y se estructura el árbol de fallos mediante puertas lógicas. Se asigna entonces a cada suceso básico la probabilidad de ocurrencia, conocida por propia experiencia o por consulta a bancos de datos sobre la materia, y por último, se calcula la probabilidad de los sucesos compuestos hasta alcanzar el suceso capital.

La autora de este trabajo de diploma señala que la utilización de este método permite un conocimiento exhaustivo de la relación causa-efecto existente entre los diversos fallos posibles del sistema y genera unas recomendaciones de mejora muy concretas; sin embargo, requiere mucho tiempo y personal especializado, con un conocimiento completo de la planta en sus distintas etapas de proceso. Por tanto, se considera el FTA como un método que supone que un evento no deseado (accidente o desviación peligrosa) ya ha ocurrido, y busca las causas del mismo y la cadena de eventos que hicieron que este tuviera lugar.

El **Análisis de árbol de eventos (ETA, *Event Tree Analysis*)** evalúa las consecuencias que tienen lugar a partir de un evento determinado, o sea, se hace énfasis en un evento inicial que ya ha ocurrido y se construye un árbol lógico que evoluciona hacia un efecto final. El evento iniciador puede ser cualquier desviación importante provocada por la falla de un equipo o por error humano. Al igual que el FTA y el FMEA, este método se utiliza para cuantificación de riesgos (estimación de la probabilidad de ocurrencia). (Orozco, 2009)

Autores como Balderas y Nelson (2007) y Bestratén (1996) plantean que para su aplicación es necesario identificar los sucesos básicos o iniciadores y se aplican todas las disyuntivas lógicas que sean procedentes hasta obtener una representación gráfica en forma de árbol horizontal, en la que queden representadas todas las posibles

evoluciones del sistema según se den o no las diferentes alternativas planteadas, hasta los sucesos accidentales finales (nube de gas, deflagración, dispersión, etc.).

Cada uno de estos métodos permite evaluar los riesgos que pueden producirse en las instalaciones que son aplicados, pero tienen mayor efectividad si se emplean en la etapa industrial adecuada según las características que presentan, por lo que en la tabla 1.6 se enuncia cuando usar preferiblemente algunas de estas técnicas.

Tabla 1.6 Etapas del proceso en las que es más factible usar los métodos de análisis de riesgos.

Etapas del proceso	Análisis histórico	Listas de control	AP R	¿Qué pasa si...?	HAZOP	FMEA	FTA	ETA
Definición del proceso (I+D)			x	x				
Experimentación Planta Piloto		x	x	x				
Proyecto básico		x	x	x	x	x	x	x
Proyecto de detalle		x	x	x	x	x	x	x
Ejecución de obra e inicio	x	x		x				
Operación normal	x	x		x	x	x	x	x
Modificaciones	x	x	x	x	x	x	x	x
Estudio de incidentes				x	x	x	x	x
Abandono del proceso	x	x		x				

Fuente: Wells (1997)

Donde: x: más usado; en blanco: menos usado; APR: Análisis Preliminar de Riesgos; HAZOP: Análisis de Peligro y Operatividad; FMEA: Análisis de modalidades de falla y sus efectos; FTA: Análisis de árbol de fallas; ETA: Análisis de árbol de eventos.

En la tabla anterior quedan claramente definidas las técnicas recomendadas para evaluar los riesgos en la etapa de operación normal, que es precisamente en la cual se encuentra la CGE Fuel Oil Agramonte. Por si fuera poco, nótese que en este caso solo se descarta la técnica de APR. Por tanto para realizar el estudio se seleccionará una de estas técnicas a partir del criterio propio del investigador basado en la experiencia adquirida.

1.4 Conclusiones parciales

1. Las CGE por las características de los materiales que manejan se pueden considerar como plantas químicas con un considerable número de riesgos.
2. La literatura especializada en la temática ofrece para la evaluación de riesgos en planta químicas en el proceso de operación normal las técnicas: análisis histórico de accidentes, listas de control, análisis qué pasa sí, HAZOP, FMEA, FTA y ETA.

Capítulo 2: Materiales y métodos

En el presente capítulo se recoge el proceder metodológico, mostrado en la figura 2.1 evidenciada a continuación, con el fin de lograr una correcta evaluación de los riesgos en la CGE Fuel Oil Agramonte y por consiguiente la determinación de los niveles de estos.

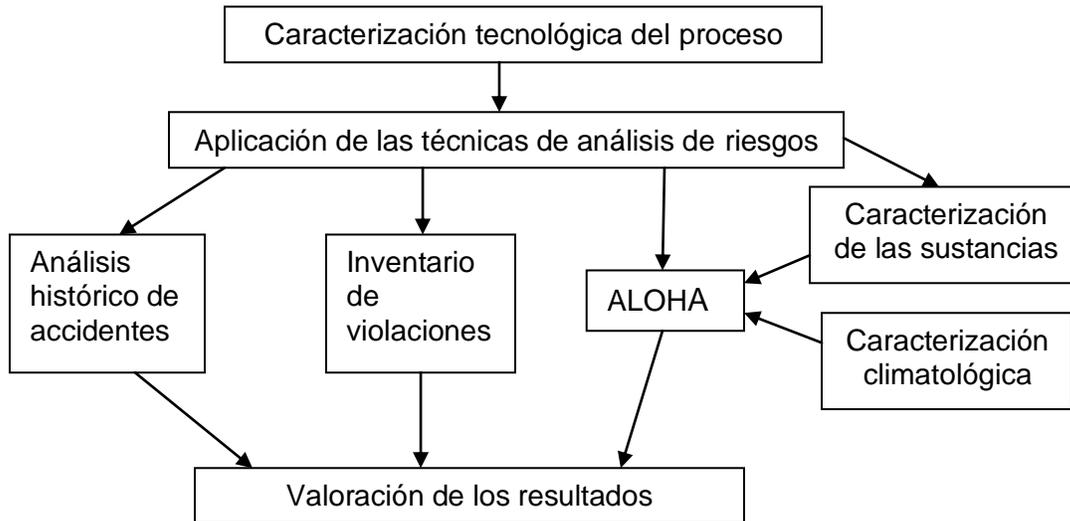


Figura 2.1 Pasos del proceso investigativo

2.1 Caracterización tecnológica del proceso

En la Central de Generación Eléctrica Fuel Oil Agramonte se genera electricidad a través de la acción que ejerce un motor de combustión interna acoplado al rotor de un generador donde se transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Es obvio que la generación no es tan sencilla ya que depende de procesos secundarios que proporcionan el buen cuidado y funcionamiento de los equipos principales.

El primer paso a seguir para lograr el buen funcionamiento y cuidado del motor-generador es tratar el agua en la Planta de Tratamiento Químico de Agua (PTQA) donde mediante un proceso de Ósmosis Inversa se le elimina la dureza, los sólidos disueltos y en suspensión y se le ajusta el pH entre valores de 8-8,5. El agua tratada impide la corrosión y las incrustaciones en las calderas que son de baja presión puesto que operan a 7 bar.

Las calderas, que son cuatro, están compuestas cada una por un tanque de agua caliente que opera como tanque de recepción, desde el cual se abastece el domo mediante bombas. Una vez en el domo el agua se distribuye por gravedad a la superficie de calentamiento, donde los gases de escape provenientes de los motores

elevan su temperatura generando así vapor. Luego el vapor por diferencia de densidad sube al domo, donde ocurre una separación de fases (agua-vapor) y este se extrae mediante válvulas superiores. El vapor saturado es enviado a un cabezal común del cual se alimenta la Isla y la Unidad de Tratamiento de Combustible (HTU) para facilitar el trasiego del fuel oil elevando su temperatura. El agua (condensado) por su parte es recirculada convirtiéndose este proceso en un ciclo continuo.

El HTU está conformado por una purificadora donde se elimina el agua y las partículas más pesadas que el combustible presenta, las cuales son enviadas a un tanque de lodo. El combustible limpio es calentado nuevamente para disminuir su viscosidad y lograr así una correcta atomización en la cámara de combustión del motor.

El motor es de combustión interna (9 cilindros en línea) y arranca con aire de alta que proviene de un compresor que toma el aire a temperatura ambiente y lo comprime hasta 30bar. Este proceso es un ciclo de trabajo continuo que está compuesto por 4 tiempos:

- **Admisión:** primer tiempo del motor. Ocurre mientras el pistón baja de la posición extrema superior o sea punto muerto superior (PMS) hasta la posición extrema inferior o punto muerto inferior (PMI), el volumen de la cámara de combustión aumenta provocando un enrarecimiento dentro del cilindro que se llena de aire a través de la válvula de admisión que se abre en este tiempo, la válvula de escape se mantiene cerrada.
- **Compresión:** después de que el pistón alcanza el PMI comienza a moverse hacia arriba, al mismo tiempo la válvula de admisión se cierra y la de escape continúa igual, quedando así el cilindro sellado. En el momento que el pistón llega al PMS, el aire, se ha comprimido a una proporción de 17:1 de su volumen original. Esta compresión del aire aumenta considerablemente la presión y la temperatura a 440°C en el cilindro.
- **Explosión o fuerza:** Al alcanzar el pistón el PMS en la carrera de compresión, se produce la inyección del combustible y debido a la alta presión existente en la cámara de combustión producida por la compresión del aire, se produce una explosión dentro del cilindro. Como las válvulas de admisión y escape están cerradas, el pistón recibe un fuerte impulso producido por la propia explosión que lo empuja hacia el PMI.
- **Escape:** Cuando llega el pistón nuevamente al PMI, las válvulas de escape se abren y las de admisión continúan cerradas, por lo que a medida que el pistón se mueve fuerza a los gases quemados a salir hacia el exterior del cilindro a través de la

abertura de las válvulas de escape. Cuando el pistón alcanza el PMS, las válvulas de escape se cierran y las de admisión se abren.

En este momento una cantidad de aire será aspirado nuevamente a medida que el pistón desciende otra vez al PMI, y el resto de los gases serán enviados a la caldera donde se utilizarán para generar vapor. Las cuatro carreras anteriores se repiten continuamente durante el funcionamiento del motor de manera cíclica. Así el motor alcanza 900 rpm, y se fija a esta velocidad automáticamente para producir los kW requeridos. El motor recibe agua desde los radiadores que a su vez la obtienen de la PTQA para enfriar el primero que mediante recirculación recibe agua fría y la rechaza caliente.

El motor opera con un 100% de conversión y un 85% de rendimiento debido a que en este punto alcanza su mayor eficiencia, la cual es fundamentada con la capacidad que tiene este de quemar un combustible pesado (fuel oil) una vez que este último ha sido procesado por centrífugas que extraen sus impurezas, bombas que elevan su presión hasta 10 bar y un calentador que aumenta su temperatura hasta alcanzar los 130°C.

2.2 Técnicas de evaluación de riesgos a aplicar

En primer lugar, se presenta una metodología a seguir para la aplicación del análisis histórico de accidentes, que ha sido escogido como técnica representativa de las que ofrecen una primera aproximación y una visión general del riesgo de una instalación. Además, se procede a realizar un inventario de las violaciones que experimentan todos los parámetros medidos en el proceso, que resulta de vital importancia, pues permite el control, chequeo y supervisión del comportamiento de los mismos en las diferentes etapas del proceso.

2.2.1 Análisis histórico de accidentes

Descripción y objetivos

El análisis histórico de accidentes es un método de análisis identificativo basado en la búsqueda de información de accidentes industriales ocurridos en el pasado. Esta técnica de análisis es esencialmente cualitativa pero también permite extraer resultados numéricos o cuantitativos si el número de accidentes es suficientemente significativo y permite un análisis estadístico. (Orozco, J.L 2007a).

La técnica se fundamenta en una recopilación de accidentes con productos químicos y

de averías en equipos en forma de banco de datos donde se encuentra almacenada la información referente a los mismos. La recogida sistemática de información relativa a diferentes accidentes ocurridos en el pasado en plantas químicas y actividades afines ha permitido, en algunos casos, la acumulación de datos concretos sobre una determinada situación, equipo u operación. Con este análisis se pretende identificar un cierto número de situaciones, operaciones o errores que han favorecido el inicio de un accidente en un tipo de instalación determinado. En todos estos casos, el conocimiento de la información adecuada permite, de alguna manera, el establecimiento de “puntos débiles” en el sistema cuya seguridad quiere estudiarse. Por otro lado, los accidentes ocurridos en el pasado constituyen un conjunto de “datos experimentales”, obtenidos a menudo a un precio muy elevado, concernientes a un campo en el que resulta casi imposible la experimentación a escala real.

Para el desarrollo de este punto en la investigación se toman datos históricos archivados del período comprendido entre Enero 2007 a Diciembre 2010, se elaboran tablas donde se recoge toda la información de los incidentes y averías presentados por equipos del proceso en este tiempo, además de obtener un valor numérico total y una frecuencia por año de estos sucesos (Anexo 2 y 3).

La recogida de información se efectúa de forma sistemática, teniendo especificado con claridad que datos deben registrarse y con qué nivel de detalle. De forma general, debe comprender los siguientes aspectos:

- Identificación de la actividad
- Principales sustancias implicadas
- Tipo de accidente o avería
- Identificación del accidente: fecha y hora, causa o suceso inicial, secuencia, sistemas implicados en la secuencia, etc.
- Identificación de las consecuencias sobre la población interna y externa, sobre la planta y sobre el medio ambiente.
- Medidas adoptadas para evitar nuevos accidentes

En el anexo 3 se ofrecen las actas típicas para reportar averías en la CGE Fuel Oil Agramonte.

2.2.2 Inventario de violaciones

Descripción y objetivos

El inventario de violaciones está orientado a la recolección de todas las desviaciones que sufren los parámetros del proceso. Con ésta compilación se pretende diagnosticar el estado que presentan las diferentes variables medidas en la CGE.

El inventario de violaciones cuenta con 41 variables que intervienen en el proceso, a las cuales se les tomaron 22 muestras, en el mes de marzo de 2011, conformadas por cinco réplicas cada 4 h. Con la información recogida se elaboran tablas donde se incluye, además del rango normado, el porcentaje de desviación por encima, por debajo y en norma que experimenta cada parámetro. (Anexo 4, tabla 4a)

También se tabulan las mediciones sometidas a un control estadístico, mediante Statistical Graphics corp. (2000), que exhibe media de cada parámetro, coeficiente de variación, desviación estándar y cumplimiento o no de la norma mediante prueba de hipótesis. (Anexo 4, tabla 4b)

2.3 Proceder metodológico para la determinación de atmósferas peligrosas

Los riesgos que pueden originarse en la CGE Fuel Oil Agramonte, no sólo implican las condiciones de operación y el cuidado en el uso y manejo de las sustancias químicas, sino también es necesario predecir la incidencia que pudiera tener sobre zonas aledañas, la ocurrencia de escapes de tóxicos en esta instalación; para llevar a cabo de forma correcta esta estimación se impone la realización de una caracterización climatológica de esta zona y de una caracterización de las sustancias involucradas en el proceso, para poder determinar las áreas afectadas tras la ocurrencia de un suceso adverso mediante el software ALOHA.

2.3.1 Procedimiento para la caracterización climatológica de la zona estudiada

La caracterización climatológica de la zona objeto de estudio se realiza a partir del estudio del comportamiento de los diferentes elementos del clima, que son de interés para la investigación, para la década comprendida desde el año 2001 al 2010.

Los elementos o variables tomados en cuenta para el estudio son:

- Nubosidad.
- Temperatura del aire.
- Humedad relativa.
- Viento.

Los datos para la caracterización fueron aportados por Espinosa (2011) de la Estación Meteorológica de Indio Hatuey ubicada en el Central España perteneciente al municipio

de Perico en la provincia de Matanzas.

2.3.2 Procedimiento de identificación de las sustancias involucradas en el proceso

Según Orozco (2007c), la caracterización de las sustancias involucradas en un proceso se desarrolla mediante la siguiente guía:

Identificación del producto

- Nombre del producto
- Fórmula Química
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos

Datos Físicos

- Apariencia
- Punto de ebullición
- Punto de fusión
- Solubilidad
- Densidad
- TLV - Límite superior de inflamabilidad.
- IPVS. Límite inferior de explosividad.
- Punto de congelación.
- Temperatura de auto ignición.
- Coeficiente de expansión.
- Temperatura de inflamación.
- Biodegradabilidad.
- Corrosión.
- Capacidad calorífica.

Formas de control y mitigación en casos de desastres

- Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.
- Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

Peligros para la salud

- Concentración permisible
- Exposición permisible

- Emergencias
- Partes del cuerpo que afecta
- Forma de entrada al organismo
- Toxicidad (se debe llenar una tabla con la siguiente información)

Tabla 2.1 Modelo para la clasificación toxicológica de la sustancia analizada

Sust.	Toxicidad							
	Tox. aguda	Irritación	Sensibilización	T. por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	T. reproducción

Condiciones de almacenamiento y manipulación

- Nombre del producto almacenado
- Forma del recipiente (cilíndrico, rectangular, vertical, horizontal, etc.)
- Dimensiones del recipiente (largo, ancho, diámetro)
- Material de construcción
- Protección del recipiente (interior o exterior)
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización
- Fecha de fabricación del recipiente
- Condiciones de almacenamiento de las sustancia
- Cantidad de sustancia almacenada
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido)
- Tipo de averías producidas
- Condiciones de almacenamiento (presión, temperatura, etc.)
- Características de los alrededores del recipiente

Condiciones para su uso en el proceso

- Uso en el proceso
- Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, temperatura)
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias
- Material de construcción de los equipos donde es usada
- Diámetro de la tubería
- Protección del sistema de tuberías

En el anexo 7 aparece la caracterización de las sustancias involucradas en el proceso.

La caracterización de las sustancias involucradas en este proceso permitió definir el grado de peligro que las mismas poseen. Basado en las indicaciones que aparecen en los lineamientos generales para determinar las categorías de peligros toxicológicos, según la directiva EC 93/21/EEC de las Naciones Unidas, que aparecen en PNUMA/IPCS, (1999), se ofrece a continuación, la tabla 2.3 que debe ser llenada con la información que se solicita sobre el nivel de peligrosidad de las sustancias; constituyendo un ejemplo sintetizado de la caracterización general que se hizo de cada uno de los químicos involucrados en el proceso.

Tabla 2.2 Nivel de peligrosidad de las sustancias

Sustancia	Frases de riesgo	Peligro

La tabla anterior precisa el nivel de peligro asociado a las sustancias involucradas en el proceso (Anexo 8), que puede ser:

Peligro especial

Las sustancias incluidas en esta categoría, entre ellas las carcinógenas, las mutagénicas y los compuestos con efectos tóxicos en el sistema reproductivo, son consideradas como muy peligrosas y deben ser evaluadas individualmente.

Peligro alto

Sustancias etiquetadas como “muy tóxicas”, “tóxicas”, “corrosivas” o sensibilizadoras de la piel.

Peligro medio

Las sustancias consideradas de peligro medio y que ingresan por inhalación o ingestión son etiquetadas como “dañinas” y las de daño medio para la piel, como “dañinas” o “irritantes”.

Peligro bajo

Son las sustancias no consideradas en ninguna de las otras categorías de peligro. Los aspectos relacionados con la salud, ya mencionados, se ven acompañados de otros que dañan al entorno y al ser humano como son los derrames e incendios, ya que estas sustancias son inflamables; las medidas relacionadas con estos dos últimos aspectos aparecen claramente relacionadas en el anexo 9.

2.4 Caracterización del software ALOHA

El software ALOHA de sus siglas *Locations of Hazardous Atmospheres* (EPA, EE.UU) es un programa de computación que predice las cantidades de vapores químicos que

pueden escapar a la atmósfera a través de tuberías, tanques, por evaporación, explosiones, etc. Establece las áreas de alcance.

La versión que se utiliza es la 5.4.1 de febrero del 2007, lo que constituye un software muy actualizado para este tipo de evaluación.

2.4.1 Aspectos generales de la modelación con el software ALOHA.

1. Se modelan tres escenarios peligrosos:

- Dispersión de gas tóxico
- Fuegos
- Explosiones

2. Se basan en los modelos de Dispersión del Aire para estimar el movimiento y dispersión de la nube de gas químico

- Se estima: Dispersión de gas tóxica, valores de sobrepresión desde la explosión de una nube de vapor y el área inflamable de la nube de vapor
- Modela las áreas para emisiones de corta duración de compuestos peligrosos claves: Tóxicos, inflamables, radiación térmica y sobrepresión que pueden exceder los niveles de interés especificados por el usuario (*Levels of Concern*, por sus siglas en inglés LOC)
- Los resultados son representados en diagramas Y vs X donde se indica la amplitud del área de localización en eje Y y su alcance en el eje X (*Threat zone plot*)
- Constituye una herramienta que se usa para:
 - a) Respuesta de emergencia
 - b) Planificación
 - c) Propósitos académicos
- No puede ser usado para:
 - a) Emisiones de sustancias radioactivas.
 - b) Licencias ambientales de chimeneas de gases
 - c) Emisiones fugitivas

A continuación se explicará detalladamente lo que simbolizan cada una de las categorías mencionadas anteriormente modeladas por el programa.

2.4.2 Dispersión

La dispersión de los químicos en el aire es un término usado por los especialistas que

incluye la difusión. Una nube de gas dispersándose se moverá por difusión en viento cruzado en la dirección vertical del mismo. Utiliza dos modelos: el Modelo Gaussiano para los gases que tienen la misma densidad que el aire y el Modelo de Gases Pesados utilizado para los gases que son más pesados que el aire donde son emitidos.

Algunos de los términos usados son:

- Gas pesado: Gases con peso molecular superior al peso molecular del aire.
- También gases que son más ligeros que el aire, almacenados a bajas temperaturas (estado criogénico).
- *Flash boiling*: Vaporización brusca de un líquido causada por baja presión.
- *Two-Phase flow*: Cuando las fases líquida y gaseosa de un compuesto químico escapan juntas por la ruptura de un tanque.

2.4.3 Fuegos y explosiones

Las propiedades que condicionan un fuego son:

- Volatilidad: Medida de como un compuesto químico fácilmente se evapora
- Punto o temperatura de inflamación (*Flash Point*): Es la más baja temperatura donde un líquido inflamable evapora lo suficiente para alcanzar un fuego sin la fuente de ignición presente.
- Límites de Inflamabilidad. Llamado Límite de Inflamabilidad Inferior (LEL) y Límite de Inflamabilidad Superior (UEL).

Si el compuesto químico en fase vapor se pone en contacto con la fuente de ignición, solo se producirá el fuego si la relación aire-combustible está entre LEL y UEL. Compuestos con alta volatilidad y baja temperatura de inflamación tienen bajos valores de LEL. Se conoce lo que se llama Triángulo de fuego: Combustible, oxígeno y calor. Si uno de estos componentes se elimina el fuego cesa. ALOHA no modela subproductos del fuego: Hollín, humo, ceniza y compuestos químicos de la reacción.

Los niveles de radiación térmica se indican a través del LOC. El LOC es un nivel que marca el inicio de la radiación térmica, usualmente el nivel sobre el cual este peligro puede ocurrir. Se utilizan tres valores de LOC, medidos en Kw/m^2 :

- Rojo: 10 kW/m^2 Potencialmente letal en el intervalo de 60 s.
- Naranja: 5 kW/m^2 Quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 s.
- Amarillo: 2 kW/m^2 Dolor en 60 s.

Los niveles de sobrepresión están dados por el nivel de presión de la onda de explosión sobre el cual el peligro puede existir, que son:

- Rojo: 8 psi (destrucción de edificios)
- Naranja : 3,5 psi (serios daños)
- Amarillo: 1 psi (destrozos de cristales)
- ALOHA no modela los fragmentos peligrosos de una explosión.

Este programa modela además cinco tipos de escenarios de fuego y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos, los cuales son:

- Chorros de fuego
- Piscinas de fuego
- BLEVE: Explosión de vapor por la expansión de un líquido en ebullición.
- Áreas inflamables.
- Explosión de una nube de vapor.

La explicación de estos escenarios puede verse en el manual de usuario ALOHA (EPA, 2007).

2.4.4 Otras particularidades de este software.

Este programa debe trabajarse con cuidado para predecir diferentes situaciones, las cuales son consideradas sus limitantes:

- Velocidades del viento muy bajas.
- Condiciones atmosféricas muy estables.
- Irregularidades de la concentración del compuesto químico particularmente cerca de la fuente.

Además el modelo no incorpora efectos de:

- Reacciones químicas
- Partículas
- Mezcla de compuestos químicos.
- Terreno
- Fragmentos peligrosos

El software cuenta con una librería de compuestos químicos de interés, sobre la base de datos DIPPR (*Department of Chemical Engineering of Brigham Young University for the Design Institute for Physical Property Data (DIPPR) of the American Institute of Chemical Engineers*) donde aparecen las principales propiedades físicas y químicas y

tiene en cuenta a diferencia de versiones anteriores algunas soluciones, tales como ácidos anhídridos en agua, ácidos fluorhídricos en agua.

La organización básica del programa consta de varios pasos que son:

1. Indicar la ciudad donde puede ocurrir el accidente químico.
2. Seleccionar el compuesto químico.
3. Dar la información de las condiciones meteorológicas en el período que se quiere realizar la predicción del evento.
4. Describir como los compuestos químicos escapan a la atmósfera.
5. El software ALOHA da su respuesta mostrando en el monitor un diagrama denominado *Threat Zone*, el cual muestra el área donde las concentraciones del compuesto químico en el aire pueden ser suficiente altas que provoque afectaciones a la población, en los tres niveles de LOC.

Las clases de estabilidad promulgadas están ordenadas en A, B, C, D, E, F, correspondiendo con Extremadamente inestable, moderadamente inestable, neutro, moderadamente estable, estable, muy estable.

Para entregar los datos de humedad del aire se podrá indicar el valor particular o dar los casos extremos, húmedo medio o seco.

Los resultados que se obtiene del software, además de los gráficos pueden ser encontrados en un texto sumario que indica:

Datos del sitio

Datos del químico

Datos atmosféricos

Fuente Directa

Zona Tratada

Para la mejor comprensión de los resultados cualitativos de este software se hace referencia a los diferentes LOC que se utilizan:

AEGL: Las siglas representan los niveles de LOC para una exposición aguda, de ahí la sigla *Acute Exposure Guideline Levels*.

ERPG: Las siglas, se utilizan para la planificación de los planes de emergencia, de ahí *Emergency Response Planning Guidelines*.

TEEL: Las siglas se utilizan cuando no se conocen exactamente los valores de ERPG para un compuesto químico, ya que representa los niveles temporales, *Temporal*

Emergency Exposure Levels.

IDLH: Las siglas están relacionadas con los niveles permisibles de exposición del hombre a compuestos químicos en zonas de trabajo sin afectar la salud y la vida, de ahí las siglas *Inmediatly Dangerous to Life or Health*. En este último pueden compararse los niveles para las normas cubanas e introducir los valores correspondientes de nuestro país como un acercamiento de este software a las normas cubanas.

LEL: limite de inflamabilidad inferior

UEL: limite de inflamabilidad superior

Estos términos aparecen en el Manual del software ALOHA, 2007.

Capítulo 3: Resultados y discusión

En este capítulo se ofrece el análisis de los resultados obtenidos en el estudio de riesgos realizado en la CGE Fuel Oil Agramonte. En el mismo se pretende ofrecer una panorámica de peligros a partir de datos reales de la instalación mediante un análisis histórico de accidentes y un inventario de violaciones. También se determinan las zonas afectadas ante la posible ocurrencia de un accidente, para las diferentes sustancias involucradas en el proceso, mediante el software ALOHA.

3.1 Resultados del análisis histórico de accidentes

Para realizar este punto en la CGE Fuel Oil Agramonte, se siguen los pasos descritos en el capítulo 2 de este trabajo, tomando como período de análisis los incidentes ocurridos desde Enero 2007 hasta Diciembre 2010. Se toma este período, porque es a partir de esta fecha que se comienzan a registrar de forma relativamente organizada los incidentes y averías ocurridos en este proceso.

En la figura 3.1 se muestra la frecuencia de fallos ocurridos en la CGE, en el período analizado, en cada una de las baterías del proceso que están integradas, como se puede apreciar en el anexo 1, por cuatro motores, una caldera, una Unidad de Tratamiento de Combustible (HTU), una Unidad de Tratamiento Eléctrico (ETU) y dos compresores: uno de alta y otro de baja. En la misma se observa que la mayor frecuencia de incidentes peligrosos ocurre en la batería 1, con 2,75 incidentes/año, siguiéndole en orden de importancia la # 4 con 2,5 incidentes/año.

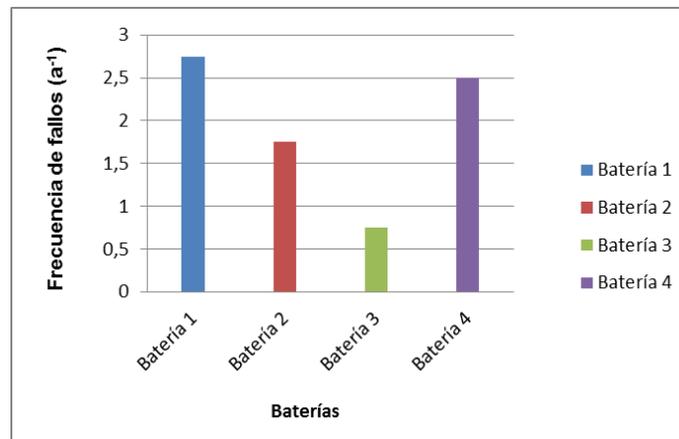


Figura 3.1 Frecuencia de ocurrencia de fallos en el período analizado en cada una de las baterías del proceso.

Es válido destacar que en el caso de la batería 1 el motor 1 es el que más fallos presenta, mientras que en la # 4 los salideros de combustible en los motores

pertencientes a éste constituyen más de la mitad de los incidentes. La detallada caracterización de estas averías se puede encontrar en los anexos 2 y 3.

A continuación se realiza un análisis de cada uno de los incidentes ocurridos en los equipos a partir del estudio de las diferentes actas de averías archivadas por la CGE en el período considerado.

Análisis en la batería 1

Tabla 3.1 Análisis histórico de fallos en la batería 1

Fallos Ocurridos	Total de fallos	Frecuencia (a ⁻¹)	Ocurrencia de Derrames
Sobrepresión del combustible en el HTU 1.	1	0.25	Derrame de fuel oil
Pérdida de sincronización en el ETU 1 por diferencia de frecuencia entre la barra eléctrica y el generador.	1	0.25	
Desgaste de los carbones del motor eléctrico del gobernador 1 en el motor 1	1	0.25	
Falla de arranque en el motor 1	2	0.5	Escape de aire
Salidero por la tubería de alimentación de combustible en los motores 1 y 3	2	0.5	Derrame de fuel oil
Salidero de aceite por o-ring partido en el sistema de cambio de posición de los filtros en los motores 1 y 4	2	0.5	Derrame de aceite
Salidero de GASES por el grifo de soplado en el motor 2	1	0.25	Escape de gases
Visible agudización de emisión de gases a la atmósfera en la caldera 1	1	0.25	

Análisis de los fallos y sus causas.

Fallo: Sobrepresión del combustible en el HTU 1.

Causas:

- Mal funcionamiento de la válvula automática que controla la entrada de vapor.
- Exceso de confianza de los operadores en la maquinaria.

En el acápite 3.3, se expondrán las consecuencias y la magnitud del daño en que se incurre cuando se produce un derrame de combustible, a través del software ALOHA.

Fallo: Pérdida de sincronización en el ETU 1 por diferencia de frecuencia entre la barra eléctrica y el generador.

Causa:

- Aumento excesivo de la frecuencia de la corriente a 64 Hz. En condiciones normales de operación trabajan a 60 Hz y son muy susceptibles a los cambios de frecuencia.

Fallo: Desgaste de carbones del motor eléctrico del gobernador 1 en el motor 1.

Causa:

- Sobrevelocidad del motor de combustión interna.

Fallo: Falla de arranque en el motor 1.

Causa:

- Fuga de aire en la selenoide del motor 1.

Fallo: Salidero por la tubería de alimentación de combustible en los motores 1 y 3.

Causa:

- Deterioro de la junta de la tubería de alimentación

Fallo: Salidero de aceite en los motores 1 y 4.

Causa:

- O- ring (junta) partido en el sistema de cambio de posición de los filtros.

Fallo: Salidero de GASES por el grifo de soplado en el motor 2.

Causa:

- Deterioro de la válvula de soplado.

Fallo: Visible agudización de emisión de gases a la atmósfera en la caldera 1.

Causa:

- Deterioro del dámper en la caldera 1.

Análisis en la batería 2

Tabla 3.2 Análisis histórico de fallos en la batería 2

Fallos Ocurridos	Total de fallos	Frecuencia (a ⁻¹)	Ocurrencia de Derrames
Salidero de aire en el motor 5 en las unidades de cilindro 5, 6, 7, 8 y 9	1	0.25	Escape de aire
Sobrecalentamiento del engranaje de la bomba de aceite y el piñón del cigüeñal en el motor 5	1	0.25	
Fuera de medida el lado libre axial de la chumacera del generador en el motor 5	1	0.25	
Salidero por la tubería de alimentación de combustible en el motor 5	1	0.25	Derrame de fuel oil
Alta temperatura en los cilindros 3, 4 y 9 del motor 6	1	0.25	
Falla del gobernador en el motor 7	1	0.25	
Salidero de gases por la válvula de soplado en el motor 8	1	0.25	Escape de gases

Análisis de los fallos y sus causas.

Fallo: Salidero de aire en el motor 5 en las unidades de cilindro 5, 6, 7, 8 y 9.

Causa:

- Baja hermeticidad en el motor 5 en los cilindros 5, 7, 8 y 9 por los aros y en el cilindro 6 por las válvulas de la culata.

Fallo: Sobrecalentamiento del engranaje de la bomba de aceite y el piñón del cigüeñal en el motor 5

Causa:

- Tupición del conducto de lubricación del engranaje de bomba de aceite del motor 5.

Fallo: Fuera de medida lado libre axial de chumacera del generador en el motor 5

Causa:

- Aumento de las curvaturas de las láminas de acople del generador.

Fallo: Salidero por la tubería de alimentación de combustible en el motor 5

Causa:

- Deterioro de la junta de la tubería de alimentación en los cilindros 5 y 9 del motor 5.

Fallo: Alta temperatura en los cilindros 3, 4 y 9 del motor 6.

Causa: Caracol del turbo agrietado provocando ineficiente combustión en los cilindros y por consiguiente sobrecalentamiento de estos.

Fallo: Falla del gobernador en el motor 7

Causa:

- Carbón del motor eléctrico del gobernador dañado lo que provoca que este pierda el dominio sobre el motor.

Fallo: Salidero de gases por la válvula de soplado en el motor 8.

Causa:

- Rotura del grifo de escape de gases ó válvula de soplado en el motor 8.

Análisis en la batería 3

Tabla 3.3 Análisis histórico de fallos en la batería 3

Fallos Ocurridos	Total de fallos	Frecuencia (a ⁻¹)	Ocurrencia de Derrames
Explosión en el generador 10	1	0.25	
Desincronización del motor 11 al sistema	1	0.25	
Aumento excesivo de la presión diferencial en los filtros de aceite del motor 12	1	0.25	

Análisis de los fallos y sus causas.

Fallo: Explosión en el generador 10

Causa:

- Aumento de la corriente inversa debido al desplazamiento del entre hierro del estator en el generador 10.

Fallo: Desincronización del motor 11 al sistema

Causas:

- GPC (encargado de controlar la generación del motor) dañado.

Fallo: Aumento excesivo de presión diferencial en los filtros de aceite del motor 12

Causas:

- Filtros implotados por suciedad, ocasionando baja presión de aceite, sobrevelocidad y por consiguiente alta presión diferencial.

Análisis en la batería 4

Tabla 3.4 Análisis histórico de fallos en la batería 4

Fallos Ocurridos	Total de fallos	Frecuencia (a ⁻¹)	Ocurrencia de Derrames
Cigüeñal dañado en el motor 13	1	0.25	
Baja temperatura en el cilindro 9 del motor 14	1	0.25	
Fuga de agua en los motores 14 y 15	2	0.5	Derrame de agua
Salidero por la tubería de alimentación de combustible en los motores 14, 15 y 16	6	1.5	Derrame de fuel oil

Análisis de los fallos y sus causas.

Fallo: Cigüeñal dañado en el motor 13

Causas:

- Fallo en la bomba de prelubricación.
- Aceite fuera de los parámetros requeridos.

Fallo: Baja temperatura en el cilindro 9 del motor 14

Causas:

- Mala calibración de la bomba por lo que disminuye la compresión en el cilindro.
- Tobera del inyector tupida
- Termómetro dañado por lo que no registra el valor de temperatura real.

Fallo: Fuga de agua en los motores 14 y 15

Causas:

- Sello de bomba de alimentación de agua a presión para el enfriamiento de las camisas dañado.
- Junta de inyectores en la unión de culatas dañada.

Fallo: Salidero por tubería de alimentación de combustible en los motores 14, 15 y 16.

Causa:

- Junta de la tubería de alimentación dañada.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis histórico de accidentes se refleja que la batería 1 es la que presenta mayor frecuencia de incidentes, al sobresalir el motor 1 con gran cantidad de fallos, entre los que resaltan las fallas en el arranque, los salideros de combustible por la tubería de alimentación y los de aceite por las juntas. Sin embargo, en la CGE no aparece, en su mayoría, un análisis del control de los parámetros de operación, simplemente se reportan las averías producidas y se omite la importancia que amerita el cumplimiento de los estándares de operación que tienen por ende alta incidencia en la ocurrencia de sucesos adversos.

Por lo antes expuesto, se realiza un inventario de violaciones en la batería 1, dada la imposibilidad de efectuar el estudio completo en todas las baterías. Dicho análisis abarca el mes de marzo de 2011 e incluye los parámetros medidos en la caldera 1 y el motor 1. El inventario se complementa con la información archivada de las mediciones realizadas por los operadores cada 4 h, durante el mes estudiado, propiciando el cálculo numérico para obtener el porcentaje de desviación que experimenta la variable.

3.2 Resultados del inventario de violaciones

El inventario fue aplicado a 41 parámetros medidos en el proceso a la batería 1. Esta compilación tiene como objetivo el análisis estadístico de cada variable y qué variación negativa o positiva presentan de la norma. Sus resultados permitirán a esta CGE adoptar medidas que le posibiliten evitar la ocurrencia de desviaciones riesgosas que con esta técnica fueron contabilizadas. Los resultados en forma de tabla enuncian los porcentajes de las desviaciones que en el proceso sufre cada parámetro, así como la etapa en que se controla y el rango normado en que deben encontrarse. En el anexo 4, tabla 4a se observa que la variable con mayor porcentaje de desviaciones es la temperatura de los gases a la entrada del intercambiador de calor, seguida por el nivel del tanque de alimentación en el domo y la presión de succión de la bomba de circulación en la caldera. Existen otros parámetros como: presión de succión de la bomba de alimentar al domo y temperatura de entrada del diesel al motor que no tienen variación alguna del valor normado.

También se tabulan estadísticamente los datos cuantificados, señalizándose la media, coeficiente de variación, desviación estándar y cumplimiento o no de la norma. Entre los parámetros que propician la inestabilidad de operación en los equipos por presentar un elevado coeficiente de variación se encuentran: el nivel del tanque de alimentación y la presión de descarga de la bomba de alimentar al domo, la presión de succión y de descarga de la bomba de circulación en la caldera, la temperatura de entrada y de salida de los gases en el intercambiador de calor de la caldera y la caída de presión en el mismo, la presión de aceite en el turbo y la temperatura y la presión del aire de carga. Mientras que, según prueba de hipótesis, resultan cumplidores de la norma 33 parámetros, mientras que sólo ocho no se ajustan al patrón normado. Debe señalarse que precisamente uno de los parámetros que no cumple con la norma es la presión en el domo, considerado como uno de los puntos críticos del proceso. Toda esta información aparece recogida en la tabla 4b del anexo 4.

Es importante aclarar que el simple análisis del comportamiento medio de un parámetro a través del cumplimiento de la norma establecida a partir de una prueba de hipótesis no es suficiente para estimar el posible riesgo que se puede generar en un proceso como consecuencia de su violación. Además ésta técnica no es capaz de reflejar las causas que dieron origen a la violación analizada, ni declara las consecuencias que de la misma se pueden originar. Por esta razón su simple aplicación no permite ofrecer una valoración del riesgo al que está sometido el equipo examinado. Éste análisis impone entonces contar con una técnica que realice un estudio más abarcador. Para dar solución a éstas limitantes se propone una nueva técnica que se nombrará árbol de violaciones, y la misma parte de la premisa de que siempre que se cumplan las condiciones de diseño, los accidentes están sujetos fundamentalmente a desviaciones en los parámetros de operación del proceso.

La técnica empleada no aparece reflejada en bibliografía alguna. La misma se utilizará de forma experimental en esta investigación y estará sujeta en un futuro a modificaciones que permitan su perfección. Con ella se pretende dotar a una técnica totalmente cualitativa como el HAZOP de elementos cuantitativos que permitan tener una idea superior de la ocurrencia o no del suceso negativo.

Descripción y objetivos

El árbol de violaciones es una técnica semicuantitativa que está orientada a mostrar la

desviación porcentual que experimenta el parámetro analizado respecto al valor normado. El poder contar con el porcentaje de las desviaciones que se producen de los valores estipulados en el diseño original permite tener idea con más certeza de la posibilidad de que se verifiquen las consecuencias; con la única imposibilidad de que no se puede ver plasmado en un solo esquema la incidencia de otras variables del proceso ya que se puede analizar un sólo parámetro a la vez (temperatura, presión u otros).

Metodología de empleo

El procedimiento metodológico se expresa mediante el algoritmo que se presenta a continuación en la figura 3.2.

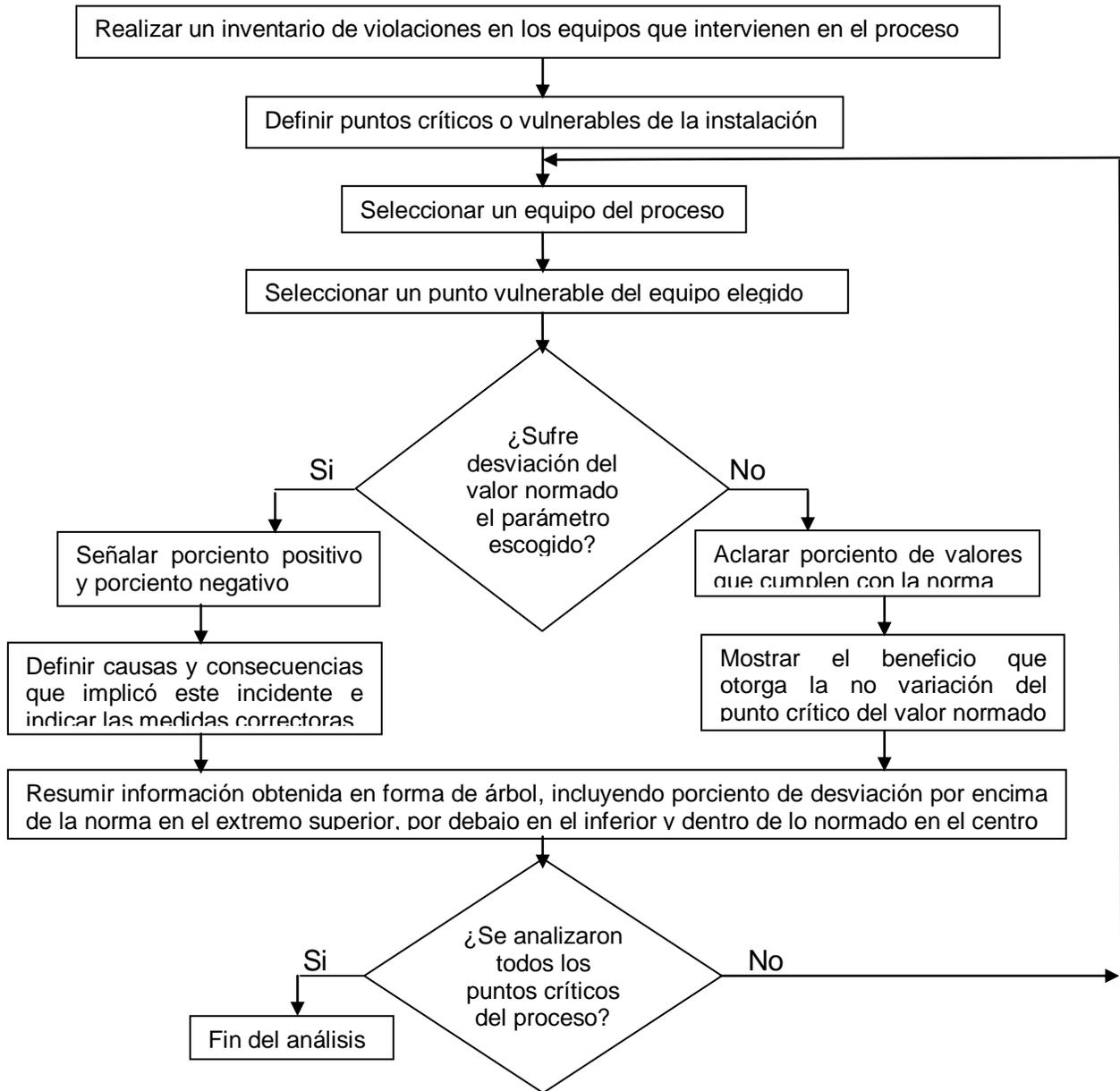


Figura 3.2 Algoritmo metodológico del árbol de violaciones

Como se puede observar en la figura anterior ésta técnica precisa la definición, no sólo del porcentaje de desviación ya sea positivo o por encima de la norma, negativo o por debajo de la norma y/o en norma, sino también de las causas que intervinieron, las consecuencias producidas y las medidas correctoras a tomar ante cada situación adversa provocada por la variación indeseada del parámetro. Por lo que la unión de estos cuatro aspectos facilita el análisis ya que compacta en un sólo esquema, en forma de árbol ramificado, el porcentaje de veces que se desvía un parámetro de su curso en un período dado.

En resumen, la técnica se basa en un esquema ramificado, que muestra en la parte superior el porcentaje de la desviación por encima de la norma que experimenta la variable, en el centro lo normado y en el extremo inferior la desviación por debajo de la norma, incluyendo causas, consecuencias y medidas correctoras, como se refleja en la figura 3.3 enunciada a continuación.

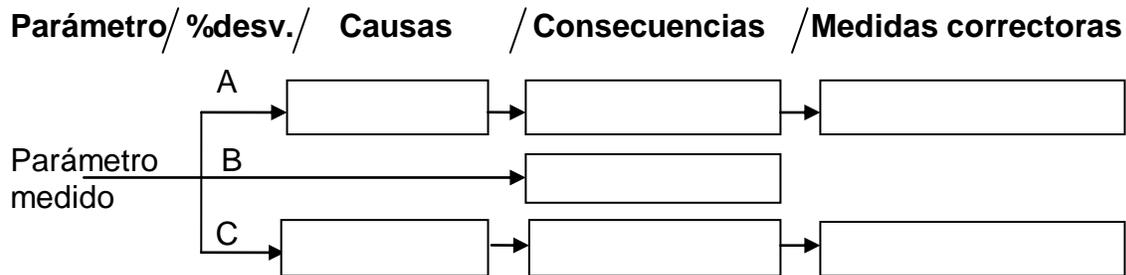


Figura 3.3 Esquema modelo del árbol de violaciones, donde A: porcentaje de desviación por encima de la norma que experimenta la variable, B: porcentaje de valores en norma, C: porcentaje de desviación por debajo de la norma que experimenta la variable.

Requisitos para la aplicación de la técnica

- Contar con la instrumentación adecuada para el control del proceso.
- Garantizar que se cumplan las condiciones de diseño del equipo estudiado.
- Estar definidos los puntos críticos del proceso.
- Ser conocedor del proceso objeto de estudio.

Ventajas y limitaciones del árbol de violaciones

- Ventajas
 1. Se tiene una información real y cuantificable del número de violaciones que presenta el parámetro.
 2. Se pueden constatar las causas y las consecuencias que pueden originar dichas violaciones.

3. Permite actuar, dictando medidas, en función del resultado observado.
4. Se puede acompañar del uso de otras herramientas que consienten un mayor acercamiento a la realidad (cartas de control, gráficos de comportamiento).
5. Permite detectar accidentes ocultos que nunca llegan a registrarse como tales, sin embargo si producen efectos adversos sobre la propiedad, el hombre o el medio ambiente.
6. El trabajar con los puntos críticos permite hacer el análisis menos engorroso.
 - Limitaciones
 1. Sólo analiza un parámetro a la vez.
 2. Se fundamenta en violaciones ya ocurridas, pero en base a eso accede a la toma de acciones para el futuro.
 3. Si la selección de los puntos críticos no es la más correcta se pueden quedar sin analizar parámetros con una alta incidencia en el proceso.

3.2.1- Árbol de violaciones. Aplicación

Para el progreso de este punto en la investigación se toman parámetros significativos en el proceso, los cuáles no deberían experimentar variación alguna de su valor normado por el riesgo que acarrear. Estos son nombrados por los especialistas de la instalación, a criterio propio, como puntos críticos o vulnerables, indistintamente, siendo considerados así porque repercuten decisivamente en el buen funcionamiento del equipo en cuestión. Es importante destacar que éste aspecto debe ser perfeccionado pues para un futuro debe establecerse un criterio metodológico más certero que permita estimar los puntos vulnerables con mayor confiabilidad.

Los puntos de alta vulnerabilidad en la CGE son: la presión de aceite, la temperatura en el tanque de agua caliente en la caldera, la presión en el domo, la temperatura de aceite en el motor y la temperatura del motor establecida según la temperatura media entre los nueve cilindros que éste presenta.

La aplicación de la técnica a estos puntos críticos se encuentra en el anexo 5, exceptuando el árbol de violaciones de la presión de aceite, reflejado a continuación en la figura 3.4, ya que este parámetro resulta ser el más importante en la CGE debido a que representa el mayor punto de vulnerabilidad en el motor, pues si no se controla sistemáticamente puede fundirse el mismo implicando gran daño material.

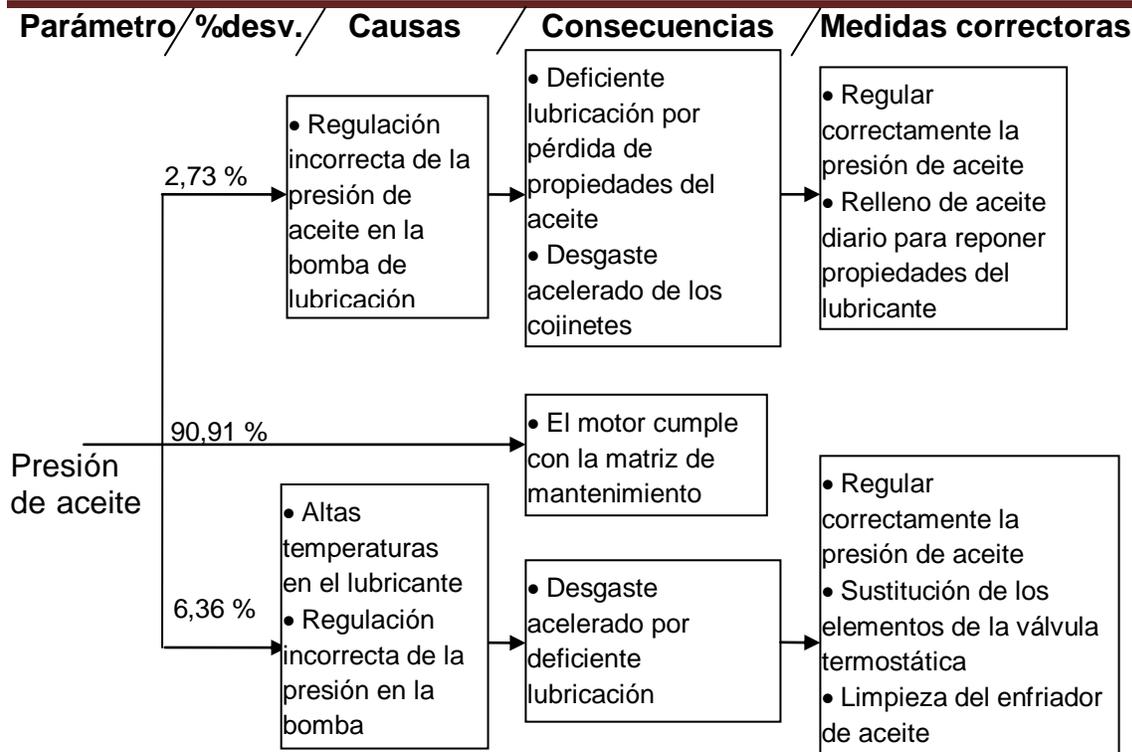


Figura 3.4 Árbol de violaciones para la presión de aceite en el motor 1

Como se observa en la figura anterior, éste punto vulnerable, a pesar de la gran importancia que se le concede y aunque según la prueba de hipótesis realizada indica que cumple con la norma, muestra una variación de 9.09 % del valor normado. El porcentaje de desviación preliminarmente expuesto revela la necesidad de la realización de éste análisis ya que con él se visualizan las incongruencias que experimenta el parámetro y se manifiestan las causas y consecuencias reales, además de la recomendación de medidas correctoras.

De los árboles registrados en el anexo 5 se reportan con mayor incidencia de violaciones la presión del domo en la caldera con un 56,36 % fuera de la norma que puede traer consigo disparo de la válvula de seguridad, alta viscosidad y mala preparación del combustible que provoca daños en el sistema de alimentación del motor de combustión interna, entre otras. Le sigue con un 27,27 % de desviación la temperatura en el tanque de agua caliente, variabilidad que incide directamente en la bomba ya que puede producirse el fenómeno de cavitación, conjuntamente con salideros por las bridas, globos de aire en los conductos y lentitud en el proceso de vaporización.

3.3 Resultados de la aplicación del software ALOHA

Este estudio se realiza con la finalidad de determinar el alcance que pueden tener las diferentes sustancias tóxicas analizadas ante posibles accidentes químicos, tomando como referencia para generalizar los resultados el mes de agosto, pues es el que favorece las peores consecuencias del suceso adverso. Para ello se hizo necesario la caracterización climatológica de la zona estudiada y la caracterización del diesel y del fuel oil, sustancias que intervienen en el proceso.

3.3.1 Resultados de la caracterización del clima de la zona objeto de estudio

El clima responde a una serie de condiciones físico-geográficas del lugar en el período de 2001-2010. La situación geográfica, en la zona tropical, garantiza energía suficiente durante todo el año, para favorecer la ocurrencia de características climáticas tropicales. No obstante, la cercanía a la zona extratropical y al continente norteamericano, así como la influencia de la zona de altas presiones norteamericanas, garantizan la llegada de condiciones subtropicales, de manera intermitente en una parte del año.

A continuación se describe el comportamiento de las principales variables climáticas analizadas.

Nubosidad

Los mínimos de distribución de días nublados se presentan generalmente en los primeros meses del año, que es donde precisamente ocurre el máximo de días despejados. En la figura 3.5 se observa el comportamiento de la cobertura nubosa para la década analizada en la zona objeto de estudio.

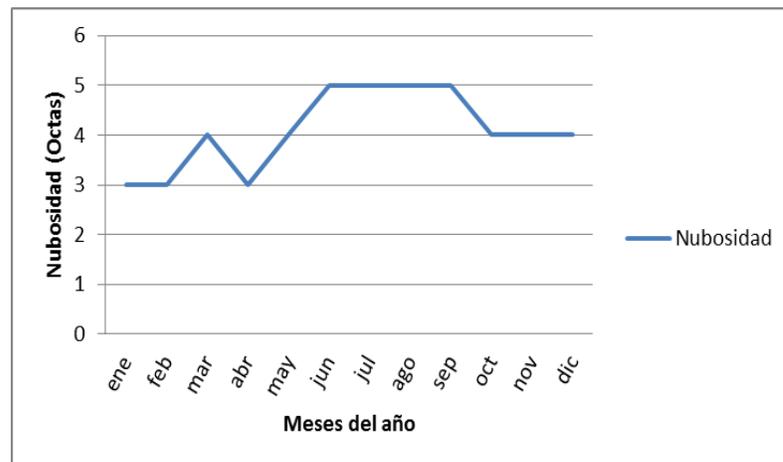


Figura 3.5 Comportamiento medio de la nubosidad para la zona objeto de estudio en la década analizada.

En la figura anterior se puede observar que los meses del año con menos nubosidad son enero, febrero y abril (3 Octas), y que los mayores valores de la misma se registran en junio, julio, agosto y septiembre (5 Octas). En el anexo 6, tabla 6a se puede apreciar con más detalles el comportamiento de esta variable.

Temperatura del aire

La temperatura del aire del territorio alcanza su máximo anual en los meses de julio y agosto, mientras que el mínimo de la marcha ocurre en febrero y diciembre en los casos de la media de las máximas y de la media respectivamente; y en enero y febrero con respecto a la media de las mínimas. (Figura 3.6).

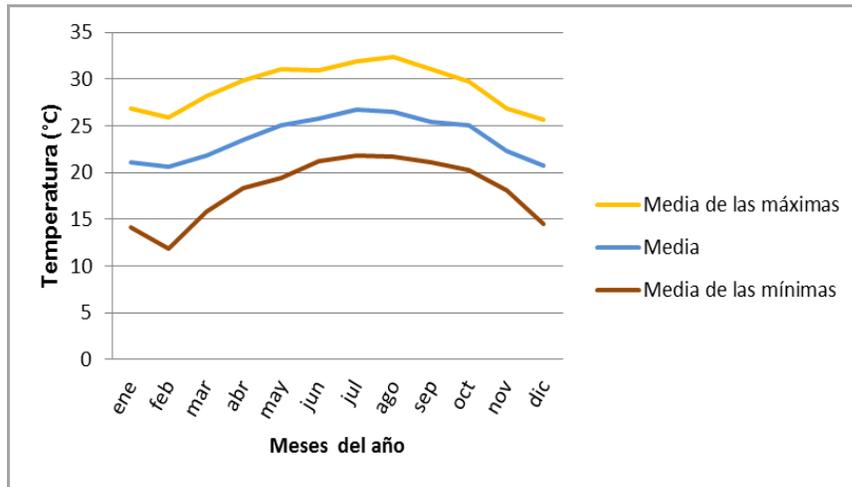


Figura 3.6 Marcha anual media de la temperatura del aire para el territorio en la década analizada.

La zona en estudio se caracteriza por una temperatura media anual de 23,74 °C, registrándose los valores más elevados del año en los meses de julio (26,66 °C), y agosto (26,53 °C), mientras los más bajos promedios mensuales se registran en febrero (20,58 °C) y diciembre (20,73 °C).

El análisis de las temperaturas máximas promedio, se muestra en la figura 3.5, donde julio (31,98 °C) y agosto (31,98 °C) aparecen como los meses más cálidos. En la misma figura, se presentan los valores medios de temperatura mínima, donde se observa a enero y febrero como los meses más fríos con 14,07 y 11,86 °C de temperatura mínima promedio respectivamente.

Debe señalarse que los datos obtenidos para cada uno de los meses del año para la década analizada fueron procesados estadísticamente mediante el programa Statgraphics Plus 5.1(2001) donde pudo comprobarse que los coeficientes de variación

de la temperatura para cada uno de los meses del año no supera el 3 %. Los valores medio de la temperatura media en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre, hacen la excepción ya que en los tres casos sobrepasan el 3 %, pero ninguno excede el 9 %. Esto garantiza una buena estabilidad del comportamiento del parámetro durante toda la década para el mes en cuestión.

La observación del régimen térmico define la zona como muy cálida, con días cálidos de pequeña oscilación diaria y días frescos. Por lo que existen en el año dos períodos definidos, de mayo a septiembre, con un predominio de días muy cálidos y otro de noviembre a marzo con días agradablemente cálidos o frescos aunque en ocasiones pueden llegar a ser fríos. Entre ambos aparecen espacios de tiempo donde se entremezclan estas características y que se definen como pequeños períodos de tránsito, quedando definido del análisis del régimen térmico con cuatro épocas fundamentales: un verano, un invierno y dos períodos de transición: uno del invierno al verano y otro del verano al invierno.

Humedad del aire

La humedad relativa muestra valores relativamente elevados durante el año. El promedio anual es de 77,76%, con valores medios mensuales superiores a 75 % durante casi todo el año, sólo durante marzo y abril, que constituyen los meses menos húmedos del año alcanza un valor de 73,3 y 72,1 % respectivamente, mientras en agosto y septiembre, los meses de mayores reportes de humedad relativa alcanza valores de 80,1 y 80,8 % (observar figura 3.7).

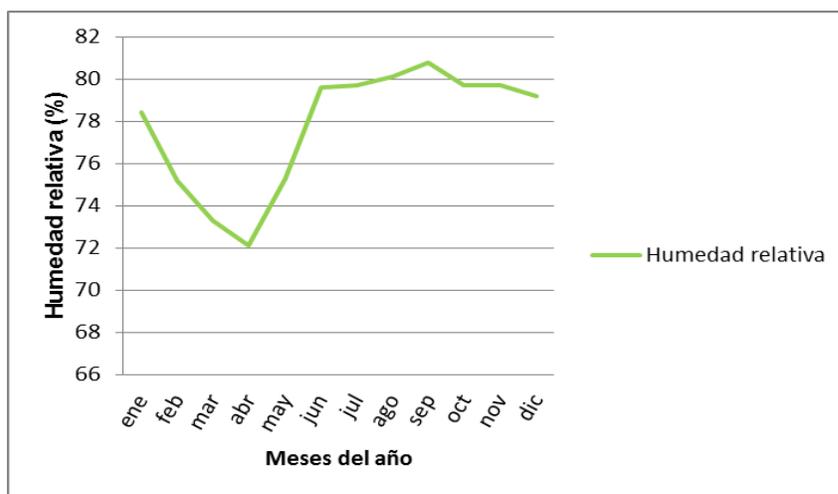


Figura 3.7 Comportamiento de la humedad relativa media de la zona objeto de estudio para la década analizada.

De igual forma que para la temperatura del aire se analizó la variabilidad de este parámetro y en ningún mes el coeficiente de variación supera el 3 % garantizándose la estabilidad de la variable para cada uno de los meses de la década analizada.

Viento

El viento predominante en la zona es del Este, con una frecuencia de ocurrencia de 15,7 %, seguido del NE con una frecuencia de 9,4 %. Sin embargo las direcciones del viento de mayor interés para el estudio son las que provienen desde el NW hasta el NE pues representan el cono más probable de afectaciones sobre el poblado de Agramonte. La suma de las direcciones mencionadas anteriormente totaliza un 23,4 % de frecuencia. A continuación en la figura 3.8 se refleja la frecuencia de ocurrencia de cada uno de los vientos por rumbos y la velocidad media con que sopla en esa dirección.

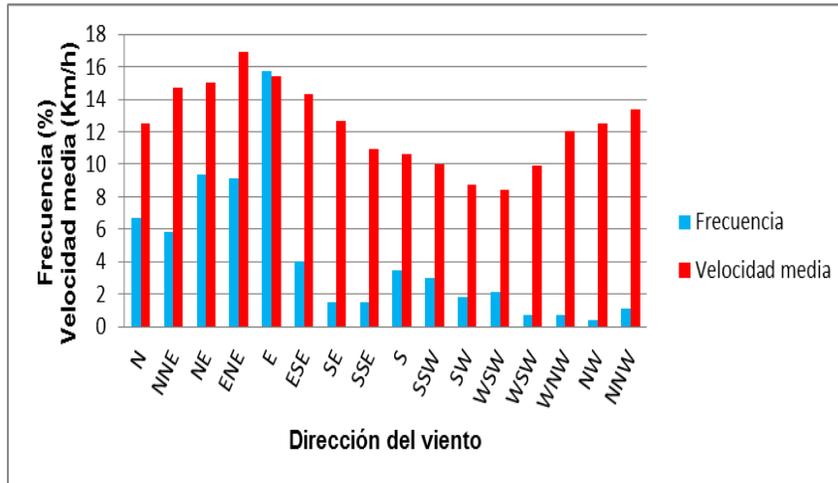


Figura 3.8 Comportamiento de la velocidad del viento y la frecuencia de ocurrencia para cada dirección en la zona objeto de estudio.

En el anexo 6 se puede observar con mayor grado de detalle el comportamiento de todas las variables analizadas desde el punto de vista climático.

3.3.2 Resultados de la caracterización de las sustancias

La caracterización de las sustancias involucradas en el proceso permitió obtener el grado de peligro que las mismas poseen. El análisis resumen que se ofrece en la tabla 3.5 sobre el nivel de peligrosidad de las sustancias estuvo basado en las indicaciones que se ofrecen en los lineamientos generales para determinar las categorías de peligro toxicológico (según la directiva EC 93/21/EEC) de las Naciones Unidas que aparecen

en [PNUMA/IPCS 1999] y parte de la caracterización general que se hizo de cada una de las sustancias, que aparecen de forma más detalladas en el Anexo 7.

Tabla 3.5 Nivel de peligro asociado a las sustancias involucradas en el proceso.

Sustancias	Frases de riesgo	Peligro
Diesel	R2/R3/R7/R10/R22/R25/R44/R52/R54/R55/R56	Medio
Fuel Oil	R10/R21/R22/R25/R36/R37/R38/R50/R53	Medio

De la tabla 3.5 puede observarse que las dos sustancias analizadas poseen el grado de peligrosidad medio en este proceso.

Como resultado de la caracterización de las sustancias se obtuvo la matriz resumen que aparece en la tabla 3.6 donde se ofrecen todos los efectos toxicológicos que presentan las sustancias analizadas (PNUMA/IPCS, 1999). Debe aclararse que para el efecto toxicidad para la reproducción no se tienen evidencia de que estas sustancias lo provoquen.

Tabla 3.6 Matriz resumen de la toxicidad de las sustancias.

Sustancia	Toxicidad								Total de efectos de la sustancia
	T.A	I	S	TDR	M	C	Co	TPR	
Diesel	X	O,P,R	X						3
Fuel oil	X	O,P,R	X				X		4
Total de sustancias con el efecto	2	2	2				1		

Nota: **T.A:** Toxicidad Aguda, **I:** Irritación, **S:** Sensibilización, **TDR:** Toxicidad por dosis repetida, **M:** Mutagenicidad, **C:** Carcinogenicidad, **Co:** Corrosión, **TPR:** Toxicidad para la reproducción. En el caso de la irritación se aclara si es a los ojos (O), piel (P) o respiratoria (R).

De la tabla anterior puede observarse que la sustancia que más efecto toxicológico negativo presenta es el fuel oil. Además de esta misma tabla se obtiene que los efectos que más pueden predominar por afectaciones con las sustancias analizadas son: la toxicidad aguda, irritación y sensibilización por lo que los mayores esfuerzos de la entidad en cuanto a profilaxis y tratamiento en caso de accidentes deben estar dirigidos hacia estos efectos.

3.3.3 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el software

Debido a que este estudio implica la generación de gran cantidad de resultados que lejos de facilitar la información la complicarían, convirtiéndose en un informe muy difícil de entender, se toman algunas consideraciones que ayudarían a la interpretación de los

resultados obtenidos y su posterior aplicación:

Trabajar con los valores medios de las variables que caracterizan a la década analizada. Del análisis estadístico realizado se pudo comprobar que estos valores representan fielmente el período seleccionado.

- Realizar el estudio para el mes de agosto ya que en él se reúne de forma general las condiciones más favorables desde el punto de vista climatológico para la ocurrencia del peor incidente.
- Tomar en cuenta las 16 direcciones del viento posibles para el análisis de la dispersión.

Los parámetros climatológicos son los requeridos por el software para estimar la magnitud de la dispersión del contaminante analizado, los criterios tomados en cuenta para la selección de cada uno de ellos, por la importancia que estos revisten serán analizados independientemente:

Temperatura del aire: en el caso específico de la temperatura se decide tomar los valores medios de la máxima debido a que con ella se garantiza estimar las peores condiciones de la dispersión.

Humedad relativa: se trabaja con los valores medios, de lo contrario sería necesario hacer estimaciones para los diferentes horarios del día donde ocurren los valores máximos y mínimos. Además se pudo comprobar que la variación que existe entre la media de las máximas y la media no introduce variaciones de consideración en el comportamiento de la dispersión del contaminante.

Nubosidad: se toman los valores medio de la nubosidad para el mes de agosto de la década analizada.

Viento: para este caso se toman los 16 rumbos con la velocidad media correspondiente para el período analizado.

3.3.4 Estimación del comportamiento de los diferentes contaminantes a través del software ALOHA para los tres escenarios objeto de estudio

Para estimar el comportamiento de los diferentes contaminantes se aplicó el software para cada uno de los tóxicos para cada mes del año y las 16 direcciones del viento posibles, obteniendo como resultado un gráfico como el que se muestra en la figura 3.9. La información brindada al software en cuanto a la magnitud del escape, capacidad del

recipiente y otros detalles relacionados con la fuente de emisión fueron tomados del anexo 7 para cada uno de los contaminantes analizados.

Por las características de los químicos involucrados en el proceso se analizan tres escenarios de posibles accidentes a ocurrir:

Escenario #1: Dispersión de un químico que no está combustionando y que se evapora a partir de un derrame.

1a: Área tóxica de una nube de vapor.

1b: Área inflamable de una nube de vapor.

1c: Área explosiva de una nube de vapor.

Escenario #2: Químico que combustiona y forma una piscina de fuego.

Escenario #3: BLEVE, explosión de un tanque y el químico combustiona en forma de bola de fuego.

A continuación se ofrecen los resultados obtenidos a través del software ALOHA en la modelación de los escenarios objeto de estudio.

Análisis del escenario #1: Dispersión de un químico que no está combustionando y que se evapora a partir de un derrame.

En el caso específico que se muestra se corresponde con la siguiente información:

- Sustancia tóxica: Diesel.
- Mes analizado: Agosto.
- Dirección del viento: Norte.
- Velocidad del viento: 3.47 m/s. (tomado de anexo 6, tabla 6f)

Análisis del escenario #1a: Área tóxica de una nube de vapor

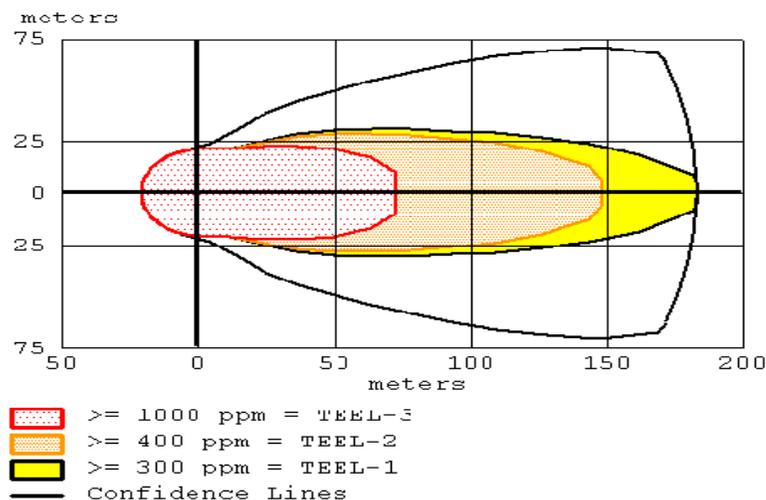


Figura 3.9 Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica para el diesel.

El gráfico mostrado ofrece por el eje X la distancia que alcanza la dispersión de la nube tóxica y por el eje Y el ancho de la misma. Brinda además tres zonas delimitadas por diferentes colores que representan la concentración del tóxico que tiene la zona de acuerdo a los niveles que establece la Agencia de Protección Ambiental (por sus siglas en inglés EPA). La línea negra simboliza la zona de posible afectación que demanda cuidado por los daños que en la misma se puedan producir.

La zona roja posee una concentración mayor o igual a 1000 ppm a la que le corresponde un ERPG-3, que equivale a la concentración máxima dispersada bajo la cual es posible que los individuos que estén expuestos durante 60 min sufran efectos sobre la salud y llegue a correr peligro su vida.

La zona naranja posee una concentración mayor o igual a 400 ppm que equivale a un ERPG-2, que se define como la concentración máxima dispersada bajo la cual los individuos que estén expuestos durante 60 min pueden experimentar o desarrollar daños irreversibles u otros daños serios para la salud o síntomas que impidan la habilidad individual para realizar una acción de protección.

La zona amarilla posee una concentración mayor o igual a 300 ppm que corresponde a un ERPG-1, y que equivale a la concentración máxima dispersada bajo la cual puede que los individuos que estén expuestos durante 60 min sufran efectos moderados sobre su salud y perciban claramente un olor desagradable. Debe aclararse que este nivel de toxicidad se corresponde con el establecido por la Norma Cubana NC 19 01 03, (2003) como concentración máxima permisible.

Otra de las propiedades, de extraordinaria importancia a la hora de establecer los planes de contingencia para la población afectada ante un posible accidente químico, está en que es capaz de ofrecer los niveles del tóxico escapado en el interior de los locales de la zona afectada. La estimación se puede realizar para cualquier punto del territorio que afecta la nube tóxica, esta información se obtiene haciendo doble clic sobre cualquiera de las zonas que aparecen en la figura 3.9 (ya mostrada anteriormente) y aparecerá un gráfico como el que se ofrece a continuación en la figura 3.10 correspondiente a la zona roja.

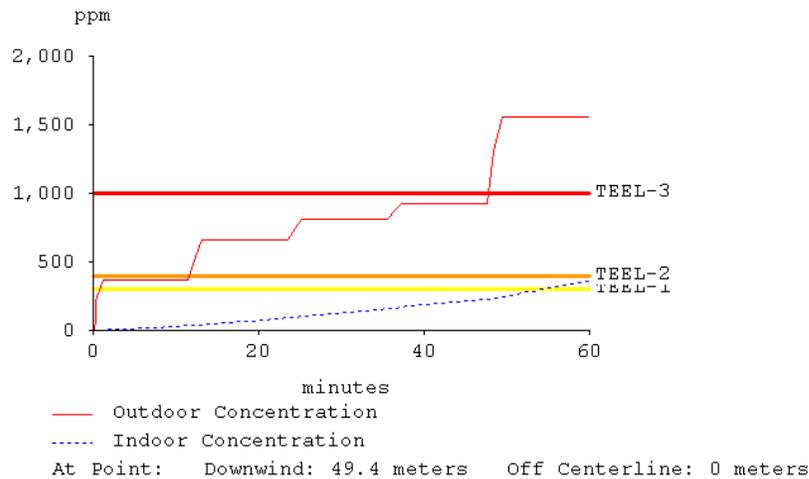


Figura 3.10 Comportamiento de la contaminación en el interior de los locales a una distancia de la fuente de 49.4 m.

Obsérvese en la figura 3.10 que la línea discontinua (azul) representa la concentración del tóxico en el interior de los locales y la continua escalonada (roja) en el exterior, además el término *At Point* identifica exactamente la distancia a la que se hace la estimación en la dirección del viento.

Para el desarrollo de la investigación este punto (*At Point*) se estimó para la zona roja que ofrece el ALOHA y a una distancia que equivale aproximadamente a la que existe entre los tanques de combustible y los principales lugares de concentración de los trabajadores de la instalación.

La figura 3.10 corresponde a un punto situado a 49.4 m de la fuente de emisión, en la zona roja, pues en este radio de acción es donde se mueve la mayor cantidad de trabajadores. Aquí puede observarse que en el interior de los locales sólo se alcanza una concentración equivalente al ERPG-1 a los 55 min de ocurrido el accidente, lo que indica que si estos se cierran bien, la vida de las personas que se encuentren dentro no corre peligro, si ocurriese un accidente con estas características.

Obsérvese además que transcurridos los 48 min de ocurrida la emisión, se alcanza un máximo en el nivel de concentración en el exterior, valor que supera los 1500 ppm.

En la tabla 3.7 enunciada a continuación aparecen resumidas el resto de las direcciones en que se manifiestan situaciones similares a la descrita para este escenario.

Tabla 3.7 Resumen del comportamiento de la contaminación por nube tóxica de diesel en el interior y exterior de los locales para las direcciones del viento: N, SSE, S, SSW, SW, WSW, W y WNW a una distancia aproximada de 50 m de la fuente de emisión.

Dirección del viento	Interior de los locales		Exterior de los locales	
	Concentración alcanzada (ppm)	Tiempo (min)	Concentración alcanzada (ppm)	Tiempo (min)
N	350 (zona amarilla)	55	350 (zona amarilla)	1
	400 (zona naranja)	60	400 (zona naranja)	12
			1700 (zona roja)	48
SSE	350 (zona amarilla)	50	350 (zona amarilla)	2
	400 (zona naranja)	60	400 (zona naranja)	12
			1050 (zona roja)	25
			1280 (zona roja)	38
			1500 (zona roja)	50
S	350 (zona amarilla)	50	350 (zona amarilla)	2
	400 (zona naranja)	60	400 (zona naranja)	14
			1100 (zona roja)	25
			1350 (zona roja)	38
			1600 (zona roja)	50
SSW	350 (zona amarilla)	50	350 (zona amarilla)	1
	400 (zona naranja)	60	400 (zona naranja)	12
			1050 (zona roja)	25
			1300 (zona roja)	38
			1480 (zona roja)	50
SW	350 (zona amarilla)	46	350 (zona amarilla)	2
	400 (zona naranja)	56	400 (zona naranja)	14
			1100 (zona roja)	25
			1350 (zona roja)	38
			1600 (zona roja)	50
WSW	350 (zona amarilla)	44	350 (zona amarilla)	1
	400 (zona naranja)	52	400 (zona naranja)	12
			1100 (zona roja)	25
			1450 (zona roja)	38
			1650 (zona roja)	50
W	350 (zona amarilla)	46	350 (zona amarilla)	1
	400 (zona naranja)	60	400 (zona naranja)	14
			1020 (zona roja)	25
			1200 (zona roja)	38
			1400 (zona roja)	50
WNW	350 (zona amarilla)	58	350 (zona amarilla)	1
			400 (zona naranja)	14
			1300 (zona roja)	48

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior se confeccionó para la zona de máximo peligro, en caso de un posible derrame de diesel, observando el manifiesto de este episodio sólo para las direcciones del viento plasmadas, pues para el resto, la zona de amenaza abarca menores distancias y el software no predice la dispersión. Los resultados equivalentes en esta etapa para el caso de un posible derrame de fuel oil no se muestran debido a que las

predicciones de dispersión para la zona de amenaza son inestables para longitudes menores que el diámetro máximo del charco en todos los rumbos del viento.

Por la importancia que reviste la correcta interpretación de la información que en la tabla 3.7 se muestra se explicará de forma detallada lo resumido en ella. La misma consta de tres columnas principales, en la primera se enuncian las direcciones del viento en que se produce el suceso, en la segunda se tiene en cuenta lo que ocurre en el interior de los locales y, a su vez, está dividida en dos columnas que ofrecen la concentración en ppm y el tiempo en minutos que tarda la emisión en alcanzar esa concentración, y en la tercera, similar a la segunda, se ejemplifica lo que ocurre en el exterior de los locales.

Por ejemplo, para el rumbo norte, en el interior de los locales se obtiene a los 55 min una concentración de 350 ppm que equivale al ERPG-1 e implica que el personal que no cierre bien el local empieza a sentir olor desagradable, y 5 min después con una concentración ya de 400 ppm, lo que equivale a la zona naranja, los individuos pueden experimentar daños serios a la salud. En el exterior de los locales, en el primer minuto de la emisión, ya se alcanzan 350 ppm equivalentes al primer nivel de toxicidad (ERPG-1) provocando que se perciban olores desagradables; y con el transcurso del tiempo, a los 12 min existe una concentración de 400 ppm que simboliza la zona naranja, en la que las personas expuestas sufren daños a la salud, fundamentalmente en el sistema psicomotriz, y pudiendo llegar a correr serio peligro la vida en caso de exponerse hasta los 48 min donde existe una concentración de 1700 ppm superior al ERPG-3.

En la figura 3.11 se ofrece un resumen de la dispersión tóxica alcanzada (en metros) para cada una de las sustancias tóxicas analizadas. Estas curvas fueron construidas para la distancia donde la nube alcanza un nivel de toxicidad equivalente a la máxima permisible reportada por la Norma Cubana NC 19 01 03, (2003) que está en correspondencia con la que ofrece la EPA para su primer nivel (ERPG 1 o TEEL 1). Obsérvese que el fuel oil es quien alcanza la mayor distancia de la nube de vapor para cualquiera de las direcciones en que sopla el viento y que ésta, en el tercer cuadrante supera los 6000 m. En cuanto al Diesel, su nube tóxica no supera los 500 m.

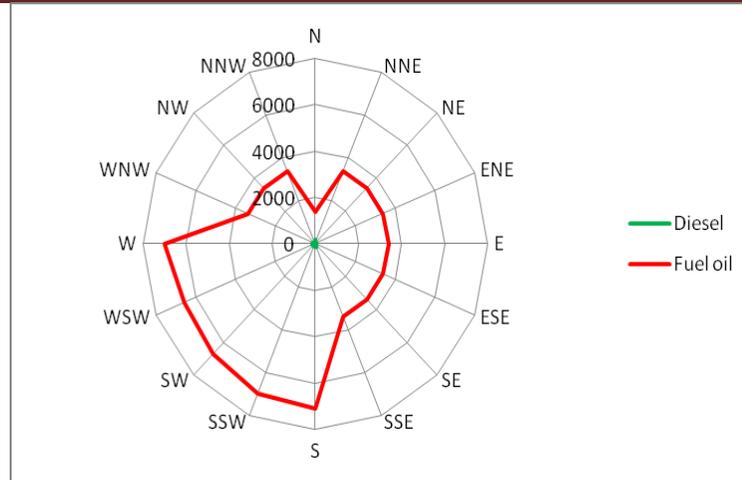


Figura 3.11 Comportamiento de la dispersión a través del software ALOHA para los diferentes contaminantes en el mes de agosto para el escenario #1a.

Como se puede observar en la figura 3.11 los escapes de diesel producidos abarcan áreas muy pequeñas que están enmarcadas a la zona donde se encuentra ubicada la instalación, esto se debe a las pequeñas cantidades de este combustible que se manejan en el proceso. No obstante el fuel oil registra distancias de hasta 7000 m aproximadamente, sobre todo para los vientos que soplan en la dirección del tercer cuadrante (S-W). Sin embargo no es menos significativa la contaminación que se produce cuando la dirección del viento es del rumbo NNE-E puesto que estos a pesar de alcanzar menos distancia pueden afectar la localidad de Agramonte que se encuentra 3000 m al sur de la instalación.

Análisis del escenario #1b: Área inflamable de una nube de vapor.

En la figura 3.12 se ofrece un resumen de la dispersión inflamable alcanzada (en metros) para cada una de las sustancias analizadas. Estas curvas fueron construidas para la distancia donde la nube alcanza un nivel de inflamabilidad equivalente a la zona amarilla (ERPG 1 o TEEL 1). Obsérvese que el diesel es quien alcanza la mayor distancia de la nube de vapor para la mayoría de las direcciones en que sopla el viento y que ésta, en parte del segundo y cuarto cuadrante y en el tercero totalmente supera los 60 m. En cuanto al fuel oil, su nube inflamable se encuentra alrededor de los 50 m en todo momento.

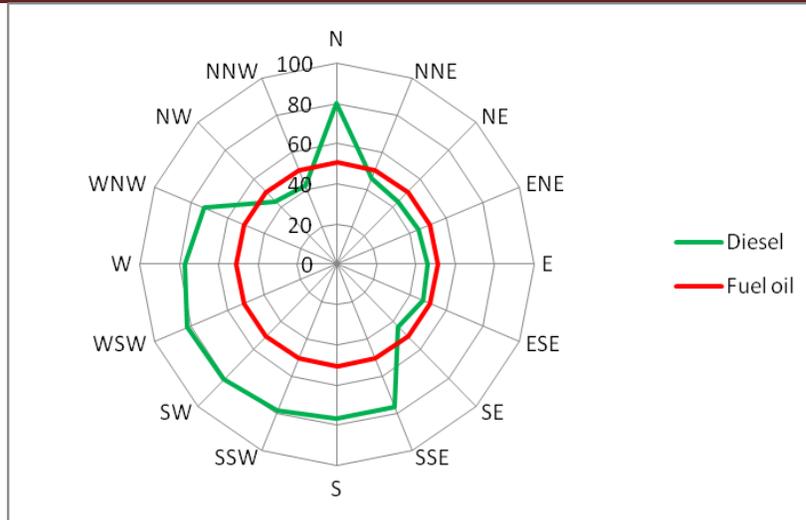


Figura 3.12 Comportamiento de la dispersión a través del software ALOHA para los diferentes contaminantes en el mes de agosto para el escenario #1b.

Como se puede apreciar en la figura 3.12 los escapes de fuel oil producidos abarcan áreas más pequeñas que las que alcanza el diesel que son de hasta 80 m sobre todo para los vientos que soplan en la dirección del tercer cuadrante (S-W). Sin embargo no es menos significativa la contaminación que se produce cuando la dirección del viento es del rumbo SSE-S, W-WNW y N puesto que estos registran la misma distancia.

Análisis del escenario #1c: Área explosiva de una nube de vapor.

En el caso particular de este escenario, bajo las condiciones atmosféricas para las que se pronostica el accidente, es imposible la verificación de un área explosiva de una nube de vapor.

Análisis del escenario #2: Químico que combustiona y forma una piscina de fuego.

En el caso específico que se muestra se corresponde con la siguiente información:

- Sustancia tóxica: Diesel.
- Mes analizado: Agosto.
- Dirección del viento: Norte.
- Velocidad del viento: 3.47 m/s. (tomado de anexo 6, tabla 6f)

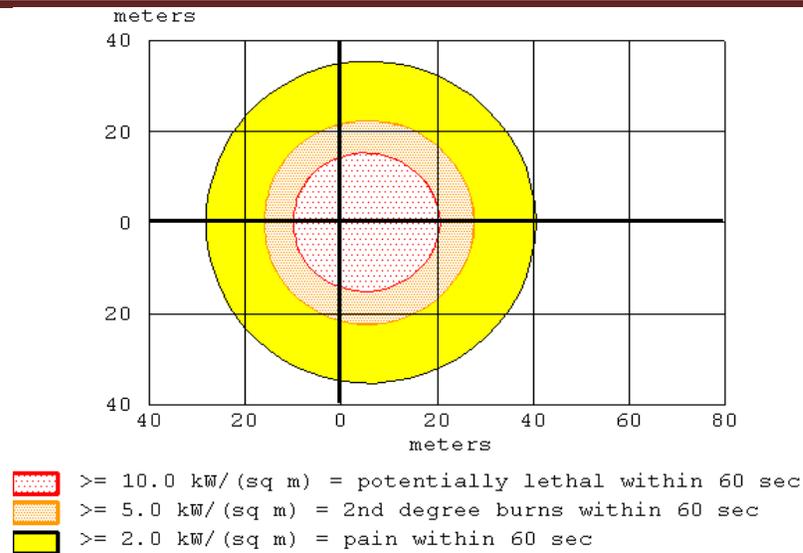


Figura 3.13 Comportamiento de la radiación térmica, para el caso de producirse un incendio a partir de diesel.

El gráfico mostrado ofrece por el eje X la distancia que alcanza la radiación del incendio y por el eje Y el ancho de la misma. Brinda además tres zonas delimitadas por diferentes colores que representan la radiación que tiene la zona de acuerdo a los niveles que establece la EPA.

La zona roja posee una radiación mayor o igual a $10 \text{ kW}/\text{m}^2$ a la que le corresponde un ERPG-3 e indica que es potencialmente letal en el intervalo de 60 s.

La zona naranja posee una radiación mayor o igual a $5 \text{ kW}/\text{m}^2$ que equivale a un ERPG-2 e involucra quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 s.

La zona amarilla posee una radiación mayor o igual a $2 \text{ kW}/\text{m}^2$ que corresponde a un ERPG-1 e implica sufrir dolor en 60 s.

Por el corto tiempo que tardan los incendios en crear daños, para el caso en se verifique este escenario, los niveles de radiación alcanzados en un radio muy próximo a la fuente incluirían una letalidad altísima pues desde el momento justo en que ocurre el accidente la radiación es ya potencialmente letal. Además, en el borde de la zona amarilla, existe una concentración de 10 % del límite inferior de inflamabilidad (LII), que según el acercamiento al centro se puede alcanzar, inclusive, dicho límite.

La situación que se expone en este caso es generalizable para todas las direcciones del viento y prácticamente para cualquier época del año.

En la figura 3.14 se ofrece un resumen de la radiación alcanzada (en metros) para cada una de los químicos analizados. Estas curvas fueron construidas para la distancia

donde la radiación alcanza un nivel equivalente a la zona amarilla (ERPG 1 o TEEL 1). Obsérvese que el fuel oil es quien alcanza la mayor distancia de radiación para cualquiera de las direcciones en que sopla el viento, registrando valores de hasta 65 m, mientras que el diesel no sobrepasa los 45 m.

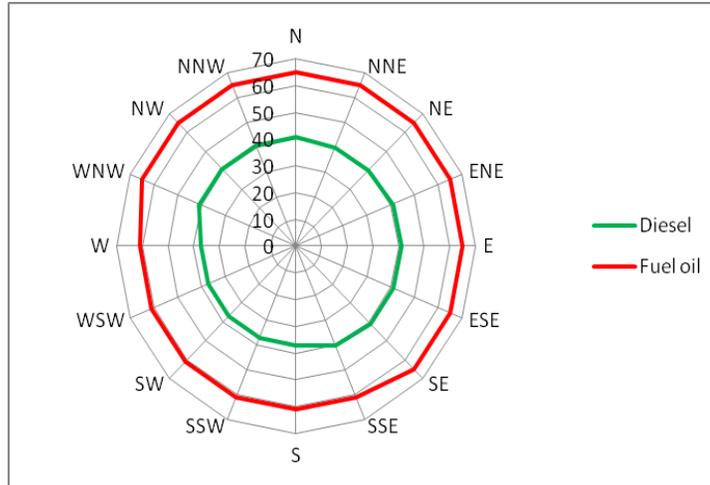


Figura 3.14 Distancia alcanzada por los combustibles analizados ante una posible combustión y formación de una piscina de fuego mediante el software ALOHA para el mes de agosto.

Como se puede observar en el gráfico anterior la radiación originada por el diesel abarca zonas más pequeñas que las que las producidas por el fuel oil, debido a que se encuentra almacenada mayor cantidad del combustible más pesado. Como ambas sustancias se mantienen alcanzando la misma distancia, en cada caso, en todo momento, no resulta afectado el poblado de Agramonte ante ningún rumbo que tome el viento.

Análisis del escenario #3: BLEVE, explosión de un tanque y el químico combustiona en forma de bola de fuego.

En la figura 3.15 se ofrece un resumen de la explosión en forma de bola de fuego alcanzada (en metros) para cada una de los químicos analizados. Estas curvas fueron construidas para la distancia donde la bola de fuego alcanza un nivel de radiación equivalente a la zona amarilla (ERPG 1 o TEEL 1). Obsérvese que el fuel oil es quien alcanza la mayor distancia para cualquiera de las direcciones en que sopla el viento al alcanzar valores de 2200 m en todas las direcciones, mientras que el diesel, también en todo momento, llega sólo a los 842 m.

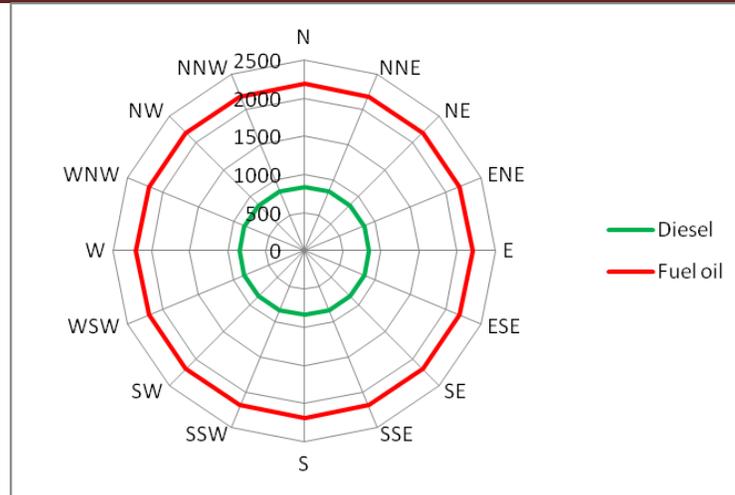


Figura 3.15 Distancia alcanzada por los combustibles analizados ante una posible combustión en forma de fuego provocada por la explosión de un tanque mediante el software ALOHA para el mes de agosto.

Se puede apreciar mediante el gráfico anterior que ninguno de los combustibles analizados provoca daños sobre el poblado de Agramonte en caso de producirse una explosión. Sin embargo el personal que labora en esta entidad, los bienes que allí se encuentran y el medio ambiente sí estarían expuestos a un serio daño en caso de verificarse un accidente de esta magnitud.

Conclusiones

1. La evaluación realizada en la CGE permitió determinar los riesgos a los que está sometida esta instalación lo cual corrobora la hipótesis planteada para esta investigación.
2. La literatura especializada en la temática ofrece como principales técnicas para la evaluación de riesgos en plantas químicas en el proceso de operación normal: el análisis histórico de accidentes, las listas de control, el análisis qué pasa sí, el HAZOP, el FMEA, el FTA y el ETA, por lo que se procede a desarrollar en esta investigación la primera de las mencionadas.
3. Mediante la evaluación de los riesgos a través del análisis histórico de accidentes se conoció que en la batería 1 es donde se produce la mayor cantidad de incidentes y que en esta el motor 1 es el que más fallos presenta.
4. Los parámetros que mayor frecuencia de violaciones presentan son la temperatura de los gases a la entrada del intercambiador de calor, nivel del tanque de alimentación al domo y la presión de succión de la bomba de circulación en la caldera.
5. A través de la predicción de la dispersión que ofrece el software ALOHA se determinó que sólo en el caso en que se produzca un derrame de fuel oil ocasionando una nube tóxica de vapor se verá afectado el poblado de Agramonte, pues en los restantes escenarios sólo resulta afectado de un modo u otro el emplazamiento, constituyendo para éste el riesgo de incendio el que peores consecuencias pudiera originar.

Recomendaciones

1. Presentar resultados obtenidos a la dirección de la CGE Fuel Oil Agramonte para establecer el plan de medidas y el de monitoreo.
2. Perfeccionar la técnica árbol de violaciones en estudios posteriores.
3. Completar el estudio para el resto de las baterías.

Bibliografía

1. Amendola A., Saiz de Bustamante A. (1988) Reliability engineering. Proceedings of the ISPRA course hold at the Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid, 22-26 Septiembre 1986, Kluwer. Madrid-España
2. Asociación para la Prevención de Accidentes, APA (1980) Evaluación Internacional de Seguridad. San Sebastián
3. Aranguren S., Tarantino R. (2004) Sistemas para la detección y diagnóstico de fallas: Implantación Industrial. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. Pamplona-Colombia. I.I.D.T.A. ISSN: 1692-7257 Volumen 3
4. Bachurst J., Harker J. (1973) "Process Plant Design ".New York . Disponible en: <http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/30445/description>
5. Balderas Cañas R., Nelson Edelstein P. F. (2007) Aplicación de la Irradiación a la Industria Alimenticia y Análisis de Riesgos. Universidad Nacional Autónoma de México. Simposio LAS/ANS-2007. Cancún-Quintana Roo-México
6. Bestratén M. (1993) NTP 238: Los análisis de peligros y operabilidad en instalaciones de proceso. Barcelona-España: INSHT.
7. Bestratén M. (1996) NTP 328: Análisis de riesgos mediante el árbol de sucesos. Barcelona-España: INSHT.
8. Bonilla Estrada J. (2007) Estudios de riesgo. Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios PEMEX
9. Boulandier Herrera J. J., [et. al] (2001) Manual de Extinción de Incendios. Bomberos de Navarra: Nafarroako Suhiltzaileak. Pamplona-Colombia
10. Carol Llopart S. (2001) Una nueva metodología para la predicción de la gravedad en los accidentes industriales aplicando el análisis histórico. Departamento de Ing. Química. UPC
11. Casal, J., [et. al], (2001), Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales, Bogotá (Colombia): Alfaomega S.A. [citado 9-02-2011] Disponible en: <<http://www.google.com/cu/search?client=firefox-a&rls=org.mozilla%3AenUS%3Aofficial&channel=s&hl=es19&source=hp&q=an%C3%A1lisis+de+riesgo+en+instalaciones+industriales%2CCasal&meta=&btnG>>
12. Castro Delgado R., Arcos González P. (1998) El riesgo de desastre químico como cuestión de salud pública. Publicado por Revista Española de salud Pública; 72:481-

500. UIED. Universidad de Oviedo

13. Castro Fernández M. (junio 2009) Diplomado de Generación Distribuida para Especialistas de Mantenimiento. La Habana-Cuba

14. CUPET (enero 2011) Factura de Recepción de Combustibles. Grupo Electrónico Fuel Oil Agramonte. Matanzas

15. DINAPRE, UEER (2006) Manual Básico para la Estimación del Riesgo. Lima-Perú: INDECI.

16. (DGD 2005) Dirección de Generación Distribuida. Descripción General de la Planta de Tratamiento Químico de Agua. La Habana-Cuba: Poligráfico Federico Engels.

17. (DGDUNE 2006) Dirección de Generación Distribuida, Unión Eléctrica. Manual de Materias de Servicios. La Habana-Cuba: Poligráfico Federico Engels.

18. (D.G.P.C. 1990a) Dirección General de Protección Civil. Métodos cualitativos para el Análisis de Riesgos. Guía Técnica, Ministerio de Justicia e Interior. Madrid-España

19. (D.G.P.C. 1990b) Dirección General de Protección Civil (1990) Protocolo de Revisión de las Declaraciones Obligatorias y de la Zona Definida de Influencia. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid-España

20. (D.G.P.C. 1996a) Dirección General de Protección Civil. Métodos para la identificación de riesgos químicos (I) pág. 46-53

21. (D.G.P.C. 1996b) Dirección General de Protección Civil (1996) Métodos para la identificación de riesgos químicos (II) pág. 51-60

22. (D.G.P.C. 1996c) Dirección General de Protección Civil (1996) Métodos para la identificación de riesgos químicos (III) pág. 56-65

23. (D.G.P.C. 1996d) Dirección General de Protección Civil (1996) Métodos para la identificación de riesgos químicos (IV) pág. 103-110

24. (D.G.P.C. 1997a) Dirección General de Protección Civil. Métodos para la identificación de riesgos químicos (V)

25. (D.G.P.C. 1997b) Dirección General de Protección Civil (1997) Métodos para la identificación de riesgos químicos (VI) pág. 90-96

26. (D.G.P.C. 1997c) Dirección General de Protección Civil (1997) Métodos para la identificación de riesgos químicos (VII)

27. Dorta Herrera S. (2009) Consultas personales con el Director de Generación Distribuida de la Electricidad en Cuba (GDECU)

28. EPA, (2007) Manual de usuario ALOHA. EE.UU [citado 3-03-2011] Disponible en: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/100036U7.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index>
29. Espinosa, R. J.; (2011) Consultas personales con el Especialista Principal de la Estación Meteorológica de Indio Hatuey. Perico-Matanzas
30. Falagán Rojo M. J., [et. al] (2000) Manual de Prevención de Riesgos Laborales. Higiene, Seguridad y Ergonomía. Ed. Sociedad Asturiana de Medicina y Seguridad en el Trabajo y Fundación Médicos Asturias. España
31. Generación Distribuida de Electricidad Cubana (GDECU), mayo 2009; Manual de Gestión. La Habana-Cuba: Poligráfico Federico Engels.
32. González Villegas P., Turmo Sierra E. (1993) NTP 223: Trabajos en recintos confinados. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo
33. Grau Ríos M., Moreno Beltrán D. L. (2007) Prevención de Riesgos por Agentes Químicos. E.T.S.I.I., UNED y UPM
34. Haddad Edson (2008) Riesgos Químicos. CETESB [citado 10-02-2011] Disponible en: <http://www.scirus.com/srsapp/search?q=Haddad+Edson%2C+riesgo+quimico&t=all&drill=yes&sort=0&p=10>
35. (ISIS) Institute for Systems Informatics and Safety, (1997) "Guidance on the Preparation of a Safety Report to meet the Requirements of Council Directive 96/82/EC." G.A.Papadakis and A.Amendola
36. Levy Vicente de la O´ (2008) Consultas personales con el Director General de la Unión Eléctrica (UNE)
37. Lizarazo S. César G. (2007) Gestión de Riesgos de Seguridad Ocupacional en Proyectos de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia
38. Márquez R. F. (2003) Síntesis de procesos químicos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción. Chile
39. Muñoz A., [et. al] (2009) La metodología de la Seguridad Industrial
40. NC, 19.01.03 (2003). Sistema de normas de protección e higiene del trabajador, Aire de la zona del trabajo, Requisitos higiénico sanitarios.
41. OIT (1988) Major hazard control A practical manual (ISBN 92-2-106432-8). Ginebra
42. Orozco J. L., [et. al] (2007a) Análisis de riesgos en una planta de tratamiento químico de agua en una central térmica. Revista Ingeniería Química (España). No 450. Septiembre.

43. Orozco J. L., [et. al] (2007b) Evaluación de riesgos industriales por las técnicas de hazop en una planta química. ECODES 2007. CD ISBN 978-959-16-0555-9
44. Orozco J. L. (2007c) Guía para la caracterización de las sustancias tóxicas. Departamento de Química e Ingeniería Química. UMCC. Cuba
45. Orozco J. L. (2009) Introducción al Análisis de Riesgos. Departamento de Química e Ingeniería Química. UMCC. Cuba
46. Piqué T. (1994) NTP 333: Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del árbol de fallos y errores. Barcelona-España: INSHT.
47. PNUMA/IPCS. 1999, Evaluación de riesgos químicos., Programa Nacional de las Naciones Unidas.
48. Puigjaner L., [et. al], (2007) Optimization and Fault Diagnosis System for Chemical Processes. On line vol. 18 N°2 La Serena, pág. 87-92. [citado 9-02-2011] Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01014382001000100006&ln=en&nrm=iso
49. Resnick W., (1981) "Process Analysis and Design for Chemical Engineers". New York: Mc Graw Hill.
50. R.O.S.P.A. (1985) Normas para el trabajo en espacios confinados. Prevention Express. Octubre, nº 121, págs. 7-11
51. Schieler L., Pauze D. (1976) *Hazardous Materials*. Van Nostrand Reinhold Company. New York
52. Seider, W.D.; [et. al]; (1999) "Process Design Principles. Synthesis, Analysis and Evaluation" John Wiley
53. (SPC) Servicio de Protección Civil, (2002) Procedimiento de evaluación de riesgos tecnológicos en el entorno. Barcelona-España
54. Statistical Graphics corp. (2000). Statgraphics Plus, versión 5.1. Statistical Graphics corp. [citado 29-03-2011] Disponible en: <http://www.fiqm.umcc.cu/index.pl?id=60\quimec\apps\engineer\statg.exe>
55. Storch J.M. (1998) Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras. Fundamentos, evaluación de riesgos y diseño. España: Mc Graw Hill
56. Tickner J. (1999) El principio precautorio en acción (manual): ¿Evaluación de riesgos o principio precautorio? Science and Environmental Health Network, SEHN

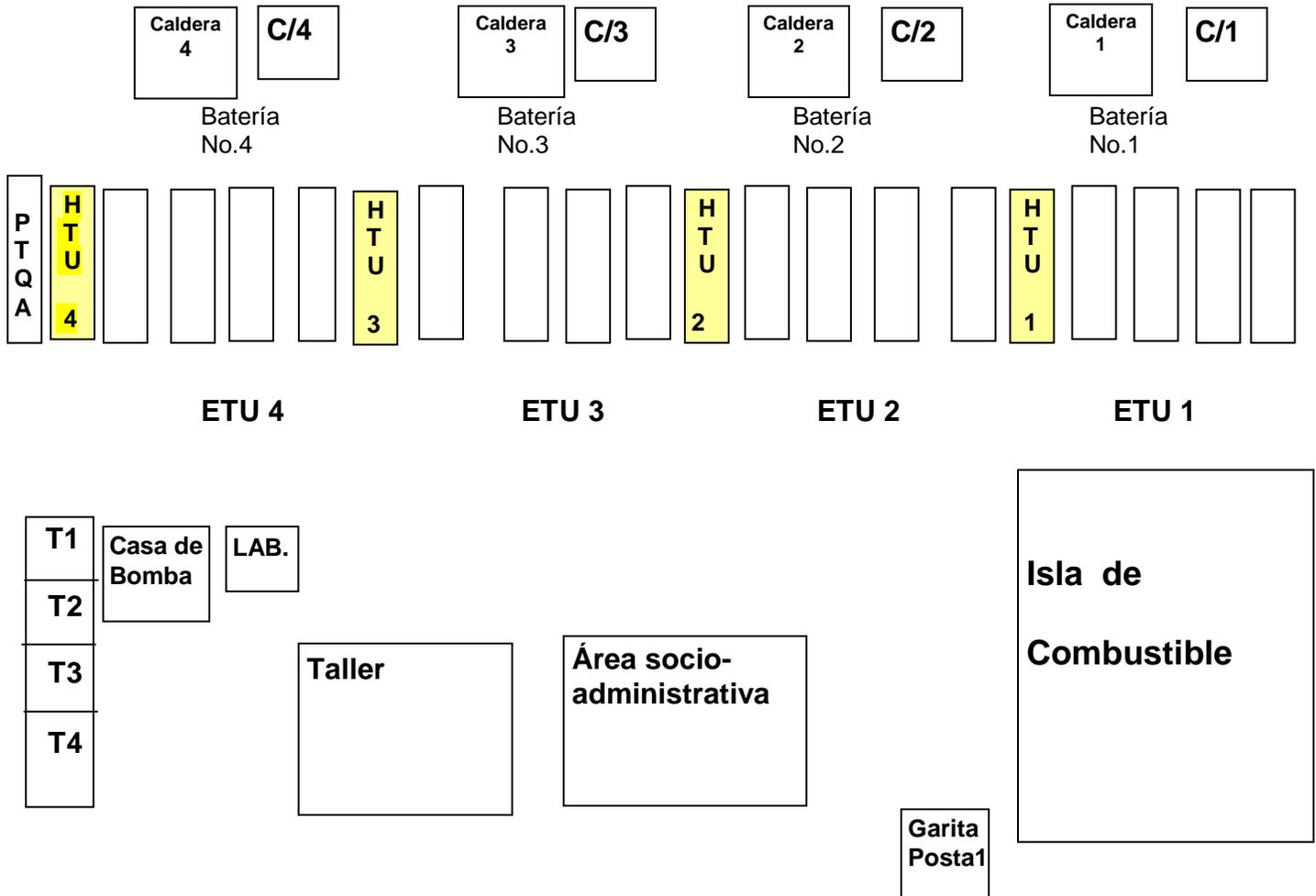
- 57.** Van Dommelen A. (1996) Coping with Deliberate Release: the Limits of Risk Assessment. Tilburg: International Centre for Human and Public Affairs
- 58.** Vargas Marcos F. (1996) Prevención y Control del Riesgo de los Productos Químicos. *Revista española de Salud Pública*. N°4-Julio-Agosto. Madrid-España.
- 59.** Wells, Geoff; (1997) Major Hazards and their Management. Institution of Chemical Engineers. Houston-USA

Anexos

Anexo 1 Croquis de la Central de Generación Eléctrica Fuel Oil Agramonte

Garita
Posta2

Croquis del Emplazamiento



Leyenda

C/(1, 2, 3, 4): Unidad de compresores

ETU(1, 2, 3, 4): Unidad de Tratamiento Eléctrico

HTU(1, 2, 3, 4): Unidad de Tratamiento de Combustible

T(1, 2, 3, 4): Turbinas

LAB.: Laboratorio químico

Anexo 2 Fallos ocurridos por equipos en el período de Enero 2007 a Diciembre 2010

Equipos	Fallos Ocurridos	Total	Frecuencia (a ⁻¹)	Observaciones
Batería 1	Sobrepresión del combustible en el HTU 1.	1	0.25	Derrame de fuel oil
	Pérdida de sincronización en el ETU 1 por diferencia de frecuencia entre la barra eléctrica y el generador.	1	0.25	
	Desgaste de los carbones del motor eléctrico del gobernador 1 en el motor 1	1	0.25	Escape de aire
	Falla de arranque en el motor 1	2	0.5	
	Salidero por la tubería de alimentación de combustible en los motores 1 y 3	2	0.5	Derrame de fuel oil
	Salidero de aceite por o-ring partido en el sistema de cambio de posición de los filtros en los motores 1 y 4	2	0.5	Derrame de aceite
	Salidero de GASES por el grifo de soplado en el motor 2	1	0.25	Escape de gases
	Visible agudización de emisión de gases a la atmósfera en la caldera 1	1	0.25	
Batería 2	Salidero de aire en el motor 5 en las unidades de cilindro 5, 6, 7, 8 y 9	1	0.25	Escape de aire
	Sobrecalentamiento del engranaje de la bomba de aceite y el piñón del cigüeñal en el motor 5	1	0.25	
	Fuera de medida el lado libre axial de la chumacera del generador en el motor 5	1	0.25	Derrame de fuel oil
	Salidero por la tubería de alimentación de combustible en el motor 5	1	0.25	
	Alta temperatura en los cilindros 3, 4 y 9 del motor 6	1	0.25	
	Falla del gobernador en el motor 7	1	0.25	Escape de gases
	Salidero de gases por la válvula de soplado en el motor 8	1	0.25	
Batería 3	Explosión en el generador 10	1	0.25	
	Desincronización del motor 11 al sistema	1	0.25	
	Aumento excesivo de la presión diferencial en los filtros de aceite del motor 12	1	0.25	
Batería 4	Cigüeñal dañado en el motor 13	1	0.25	
	Baja compresión en el cilindro 9 del motor 14	1	0.25	

	Fuga de agua en los motores 14 y 15	2	0.5	Derrame de agua
	Salidero por la tubería de alimentación de combustible en los motores 14, 15 y 16	6	1.5	Derrame de fuel oil
Total de fallos ocurridos		31	7.5	

Anexo 3 Actas típicas para reportar averías e incidentes producidos la CGE Fuel Oil Agramonte**CENTRAL DE GENERACION AGRAMONTE****INFORME DE AVERIAS**

Agramonte; 16 de Mayo de 2007

“Año del 49 Aniversario del triunfo de la Revolución”

A: Ing. Santiago Affre Mena**Asunto:** Análisis de avería ocurrida en Batería # 1**ANTECEDENTES**

29-04-2007: Se detecta en la HTU # 1 que la válvula que controla la entrada de vapor al calentador está presentando problemas en su funcionamiento automático. Se procede a realizar las operaciones de forma manual.

04-05-2007: se dispara la válvula de seguridad del calentador de la HTU # 1 provocando la parada instantánea de los motores de la batería producto a un aumento brusco de la presión de entrada del combustible que hizo que la presión del calentador se elevara también. Los manómetros de las bombas de suministro presentan problemas.

DESCRIPCION DE LA AVERIA

05-05-2007: Con la válvula de seguridad sellada por los técnicos coreanos y certificando ellos que temporalmente se puede operar de esa manera se sincronizan los motores #1, #2 y #4 al 85 % cuando se produce un salidero por la junta del calentador y por las bridas de entrada de combustible al motor #4 que provoca la salida inmediata de los motores del sistema.

CONCLUSIONES

Después de un exhaustivo análisis de lo ocurrido sale a relucir que los operadores mostraron un exceso de confianza en la maquinaria pues no dieron el seguimiento correcto a la presión de entrada del combustible y cuando se percataron ya fue tarde. Además la válvula que controla la entrada de vapor al calentador con el problema presentado en la automática causó un incremento de la temperatura en el calentador lo cual provocó que subiera la presión del combustible y al estar condenada la válvula de seguridad se va la junta del calentador y las juntas de las bridas del motor #4.

MEDIDAS A TOMAR**Técnicas**

1. Cambiar la junta del calentador y las juntas de la estacada de combustible

Especialista Principal CGE Agramonte

Ing. Mario Vega García

 UNION ELECTRICA Dirección de Generación Distribuída.		Reporte de Incidencia			
		Fecha: 10:30	15/12/2010		
Provincia: Matanzas		Numero:		Desde	Hasta
Central eléctrica: FUEL OIL Agramonte				15/12/2010	18/12/10
Incidencia: Fuera por o-ring partido MDU # 1					
Tipo de incidencia	DRE	EOP	AVE x	MPP	Otro
Descripción de la incidencia, alarmas y eventos señalizados en sistema de medición y control					
Siendo las 10:35 se procede a cambiar de posición de los filtros con el MDU parado el cual al ejecutar el soplado el operador observa salidero de L.o de aceite del mdu al poner la pre lubricación, por la válvula de cambio de posición de los filtros, o-ring en el sistema de lubricación					
Pruebas y mediciones realizadas					
Causa de la incidencia					
Salidero de aceite por o-ring partido en el sistema de cambio de posición de los filtros .					
Corrección:					
No realizar arranque del MDU , buscar el o-ring					
Acciones correctivas y preventivas:					Fecha
Acciones correctivas					
1-Revision del cartel, extraer los filtros de l.o chequear , válvula termostática revisión					15/12/2010
2-Revicion de el canal de lubricación de los puntos de apoyos del cigüeñal y el magistral					
Acciones preventivas					
<ul style="list-style-type: none"> NO ejecutar instrucción UJ-MP 0332 de poner en marcha el MDU 					
			Elaborado por:	Revisado por:	
Nombre/Cargo			Alexis Zamora		
Fecha/Hora			17/12/2010	Raúl Fernández	
				18/12/2010	

Anexo 4 Comportamiento de los parámetros medidos en la caldera #1 y el motor #1 durante el proceso para la zona objeto de estudio durante el mes de marzo de 2011

Tabla 4a Resumen de las desviaciones sufridas por los parámetros medidos durante el proceso en el período señalado

Identificación del parámetro	Etapa del proceso	Parámetro que se controla	Punto de control	Valor normado	Estado de cumplimiento del parámetro (%)		
					En norma	Por encima norma	Por debajo norma
1	Arranque del motor	presión	Aire del tanque HP	20-30 bar	97,27	0	2,73
2	Producción de vapor	presión	Aire del tanque LP	7-10 bar	90	0,91	9,09
3	Producción de vapor	presión	Aire de la línea LP	7-10 bar	83,64	0,91	15,45
4	Producción de vapor	nivel	Tanque de alimentación al domo	320-340 bar	15,45	27,27	57,27
5	Producción de vapor	temperatura	tanque de agua caliente	60-70 °C	72,73	20,91	6,36
6	Producción de vapor	Presión de succión	Bomba de alimentar el domo	0-0,1 bar	100	0	0
7	Producción de vapor	Presión de descarga	Bomba de alimentar el domo	10-12 bar	31,82	4,55	63,64
8	Producción de vapor	Presión de succión	Bomba de circulación en la caldera	7-7,5 bar	18,18	4,55	77,27
9	Producción de vapor	Presión de descarga	Bomba de circulación en la caldera	10-11 bar	31,82	3,64	64,55
10	Producción de vapor	nivel	domo	280-300 mm	57,27	27,27	15,45
11	Producción de vapor	Temperatura de los gases a la entrada	Intercambiador de calor	280-350 °C	2,73	0,91	96,36
12	Producción de vapor	Temperatura de los gases a la salida	Intercambiador de calor	150-250 °C	63,64	25,45	10,9
13	Producción de vapor	Caída de presión	Intercambiador de calor	0-85 mmH ₂ O	90	10	0
14	Producción de vapor	presión	domo	6,8-7,2 bar	43,64	5,45	50,91
15	Producción de vapor	Presión de aire	caldera	3-4 bar	92,73	5,45	1,82
16	Producción de vapor	Presión de agua	PTQA	3-3,5 bar	40,91	56,36	2,73
17	Funcionamiento del motor	Presión de aire de la válvula de disparo de emergencia	motor	7-8 bar	37,27	40,91	21,82
18	Funcionamiento del motor	Presión de aceite	motor	4-5 bar	90,91	2,73	6,36
19	Funcionamiento del motor	Temperatura de aceite de entrada	motor	60-75 °C	95,45	1,82	2,73

20	Funcionamiento del motor	Presión de aceite a entrada filtro PI-61	motor	5-6 bar	93,64	1,82	4,55
21	Funcionamiento del motor	Presión de aceite (salida filtro PI-61)	motor	4-5 bar	90	3,64	6,36
22	Funcionamiento del motor	Presión de aceite en el turbo	motor	2-4 bar	90	2,73	7,27
23	Distribución del combustible	Presión de entrada del fuel oil	motor	7-10 bar	94,55	4,55	0,91
24	Distribución del combustible	Presión de entrada del diesel	motor	7-8 bar	82,73	16,36	0,91
25	Distribución del combustible	Temperatura de entrada del fuel oil	motor	110-140 °C	63,64	30	6,36
26	Distribución del combustible	Temperatura de entrada del diesel	motor	Temperatura ambiente	100	0	0
27	Combustión	Presión de aire de carga	motor	1-3,2 bar	97,27	1,82	0,91
28	Combustión	Temperatura de aire de carga	motor	35-55 °C	66,36	11,82	21,82
29	Combustión	Temperatura de los gases de entrada	turbo	450-520 °C	73,64	9,09	17,27
30	Combustión	Temperatura de los gases de salida	turbo	280-380 °C	72,73	6,36	20,91
31	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 1	motor	250-390 °C	89,09	9,09	1,82
32	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 2	motor	250-390 °C	89,09	9,09	1,82
33	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 3	motor	250-390 °C	88,18	10	1,82
34	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 4	motor	250-390 °C	88,18	10	1,82
35	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 5	motor	250-390 °C	86,36	11,82	1,82
36	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 6	motor	250-390 °C	86,36	11,82	1,82
37	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 7	motor	250-390 °C	84,55	13,64	1,82
38	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 8	motor	250-390 °C	90	8,18	1,82
39	Combustión	Temperatura de los gases en cilindro 9	motor	250-390 °C	86,36	11,82	1,82
40	Combustión	Velocidad	turbo	27,6-38,4 10 ³ rpm	83,63	3,64	12,73
41	Generación de electricidad	Velocidad	motor	891-909 rpm	92,73	1,82	5,45

Tabla 4b Datos estadísticos de las mediciones realizadas a cada parámetro

Identificación del parámetro	Parámetro que se controla	Punto de control	Media	Coef. Variac.	Desv. Estand.	Cumplimiento de la norma
1	Presión (bar)	Aire del tanque HP	25,045	8,12	2,033	Si
2	Presión (bar)	Aire del tanque LP	8,157	11,4	0,93	Si
3	Presión (bar)	Aire de la línea LP	7,99	12,05	0,96	Si
4	Nivel (bar)	Tanque de alimentación al domo	306,76	24,48	75,09	No
5	Temperatura (°C)	tanque de agua caliente	67	7	4,7	Si
6	Presión de succión (bar)	Bomba de alimentar el domo	0,1	0	2,23E-16	Si
7	Presión de descarga (bar)	Bomba de alimentar el domo	9,47	15,6	1,48	No
8	Presión de succión (bar)	Bomba de circulación en la caldera	5,46	28,7	1,57	No
9	Presión de descarga bar)	Bomba de circulación en la caldera	7,92	29,56	2,34	No
10	Nivel (mm)	domo	292,77	8,45	24,74	Si
11	Temperatura de los gases a la entrada (°C)	Intercambiador de calor	209,92	16,14	33,89	No
12	Temperatura de los gases a la salida (°C)	Intercambiador de calor	207,9	22,16	46,07	Si
13	Caída de presión (mmH ₂ O)	Intercambiador de calor	48,45	53,18	25,77	Si
14	Presión (bar)	domo	6,53	13,32	0,87	No
15	Presión de aire (bar)	caldera	3,58	10,44	0,37	Si
16	Presión de agua (bar)	PTQA	3,57	14,26	0,51	No
17	Presión de aire de la válvula de disparo de emergencia (bar)	motor	7,8	13,23	1,03	No
18	Presión de aceite (bar)	motor	4,45	8,22	0,37	Si
19	Temperatura de aceite de entrada (°C)	motor	65,93	6,62	4,36	Si
20	Presión de aceite a entrada filtro PI-61 (bar)	motor	5,46	6,42	0,35	Si
21	Presión de aceite (salida filtro PI-61) (bar)	motor	4,53	8	0,36	Si
22	Presión de aceite en el turbo (bar)	motor	2,94	20,48	0,6	Si
23	Presión de entrada del fuel oil (bar)	motor	8,65	11,05	0,96	Si
24	Presión de entrada del diesel (bar)	motor	7,68	5,86	0,45	Si
25	Temperatura de entrada del fuel oil (°C)	motor	134,06	11,53	15,45	Si
26	Temperatura de entrada del diesel (°C)	motor	29,95	1,27	0,38	Si
27	Presión de aire de carga (bar)	motor	2,21	28,13	0,62	Si

28	Temperatura de aire de carga (°C)	motor	42,54	23,53	10,01	Si
29	Temperatura de los gases de entrada (°C)	turbo	476,38	7,22	34,38	Si
30	Temperatura de los gases de salida (°C)	turbo	311,32	13,25	41,25	Si
31	Temperatura de los gases en cilindro 1 (°C)	motor	358,73	9,66	34,67	Si
32	Temperatura de los gases en cilindro 2 (°C)	motor	358,91	9,65	34,65	Si
33	Temperatura de los gases en cilindro 3 (°C)	motor	358,91	9,57	34,34	Si
34	Temperatura de los gases en cilindro 4 (°C)	motor	358,86	9,54	34,23	Si
35	Temperatura de los gases en cilindro 5 (°C)	motor	358,82	9,65	34,63	Si
36	Temperatura de los gases en cilindro 6 (°C)	motor	359,05	9,59	34,45	Si
37	Temperatura de los gases en cilindro 7 (°C)	motor	359,18	9,76	35,07	Si
38	Temperatura de los gases en cilindro 8 (°C)	motor	359,09	9,53	34,22	Si
39	Temperatura de los gases en cilindro 9 (°C)	motor	356,05	10,18	36,25	Si
40	Velocidad (rpm)	turbo	32,09	11,89	3,82	Si
41	Velocidad (rpm)	motor	898,59	0,46	4,1	Si

Anexo 5 Resultados del árbol de violaciones, aplicado a los puntos más vulnerables de la CGE

Figura 5a Árbol de violaciones para la temperatura en el tanque de agua caliente de la caldera uno

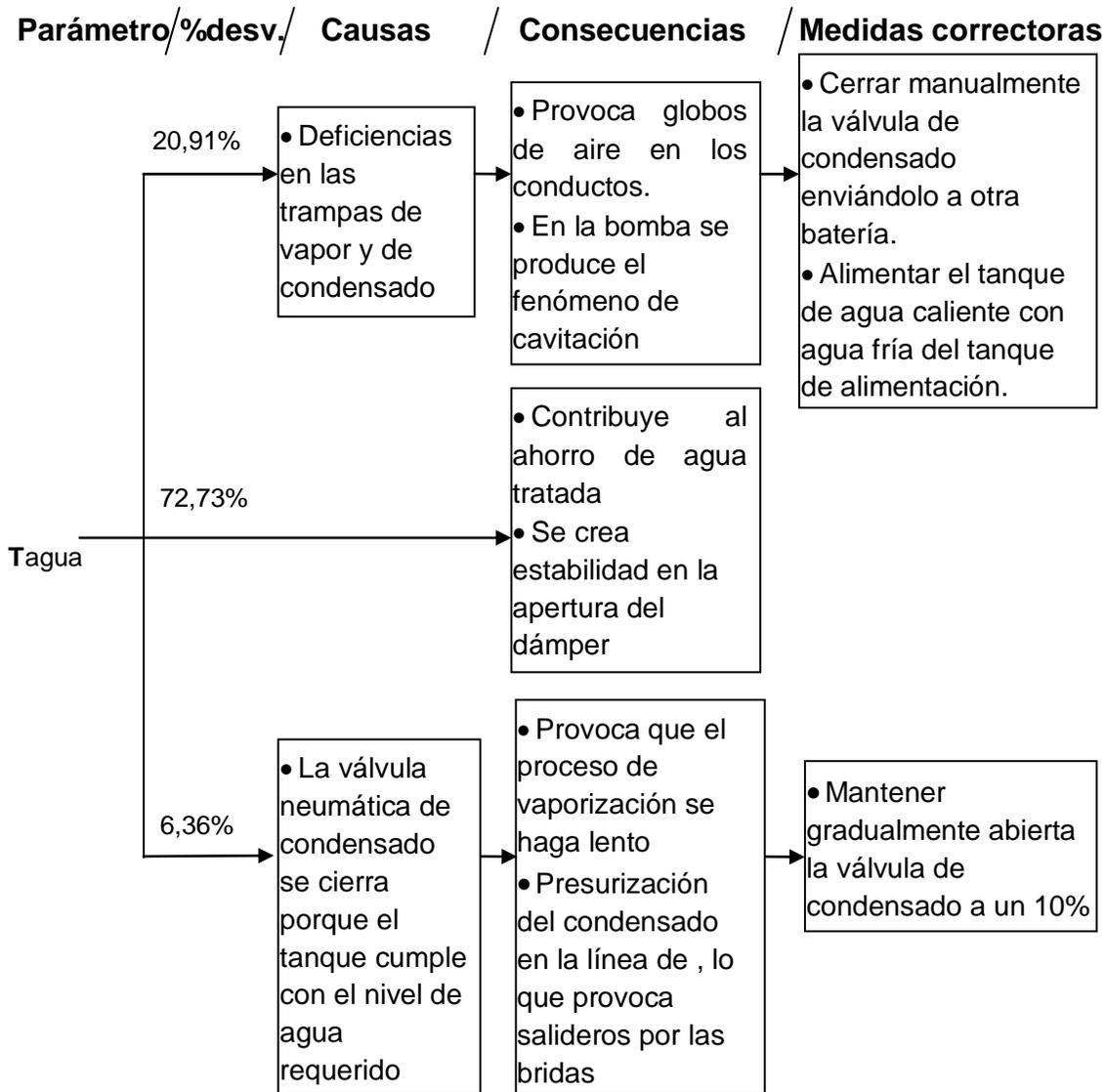


Figura 5b Árbol de violaciones para la presión en el domo de la caldera uno
Parámetro/%desv./ Causas / Consecuencias / Medidas correctoras

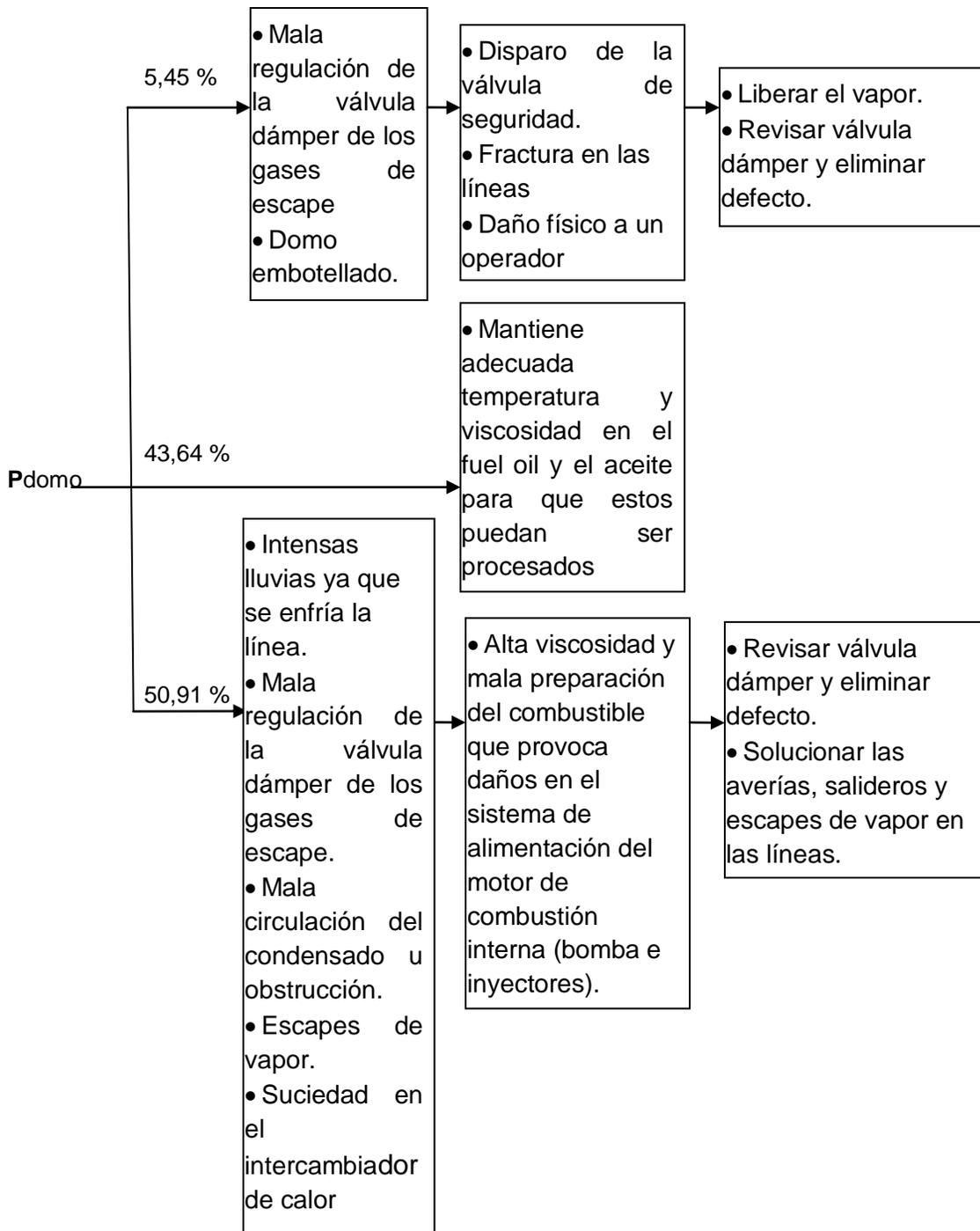


Figura 5c Árbol de violaciones para la temperatura del aceite en el motor uno

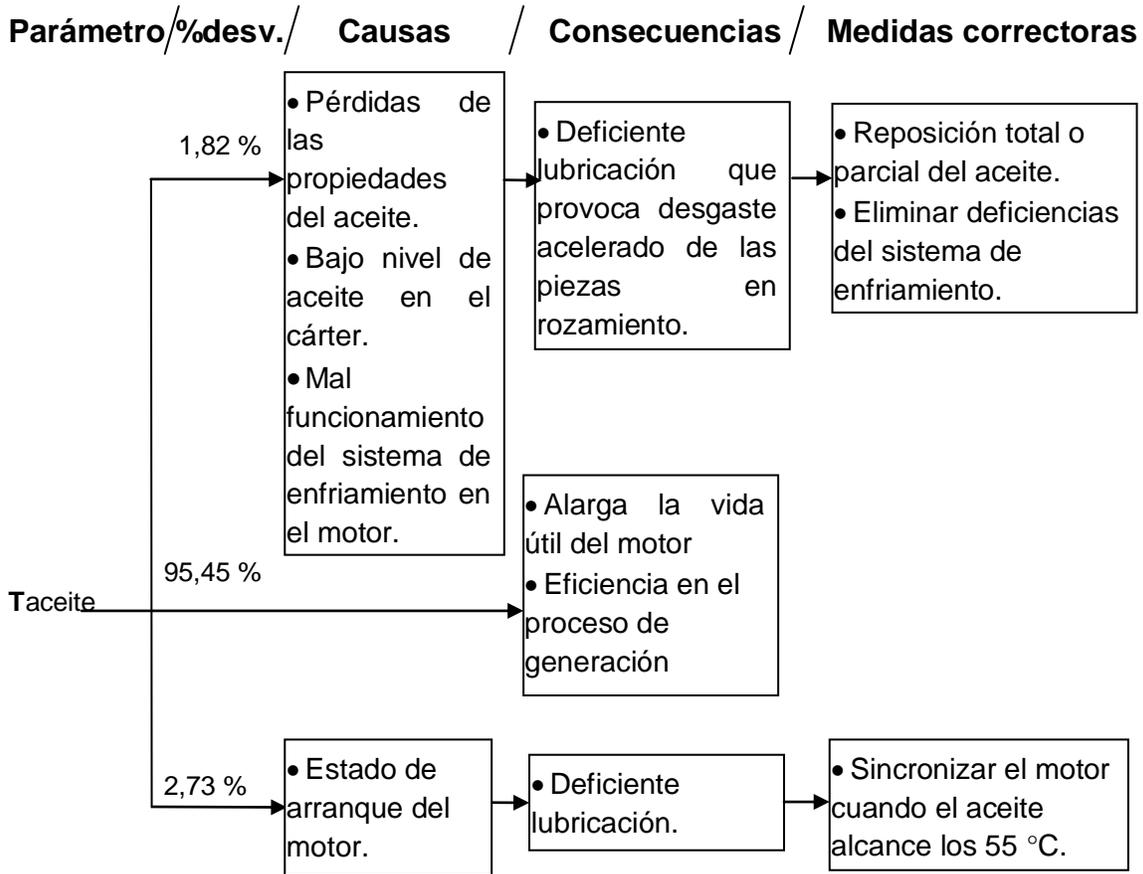
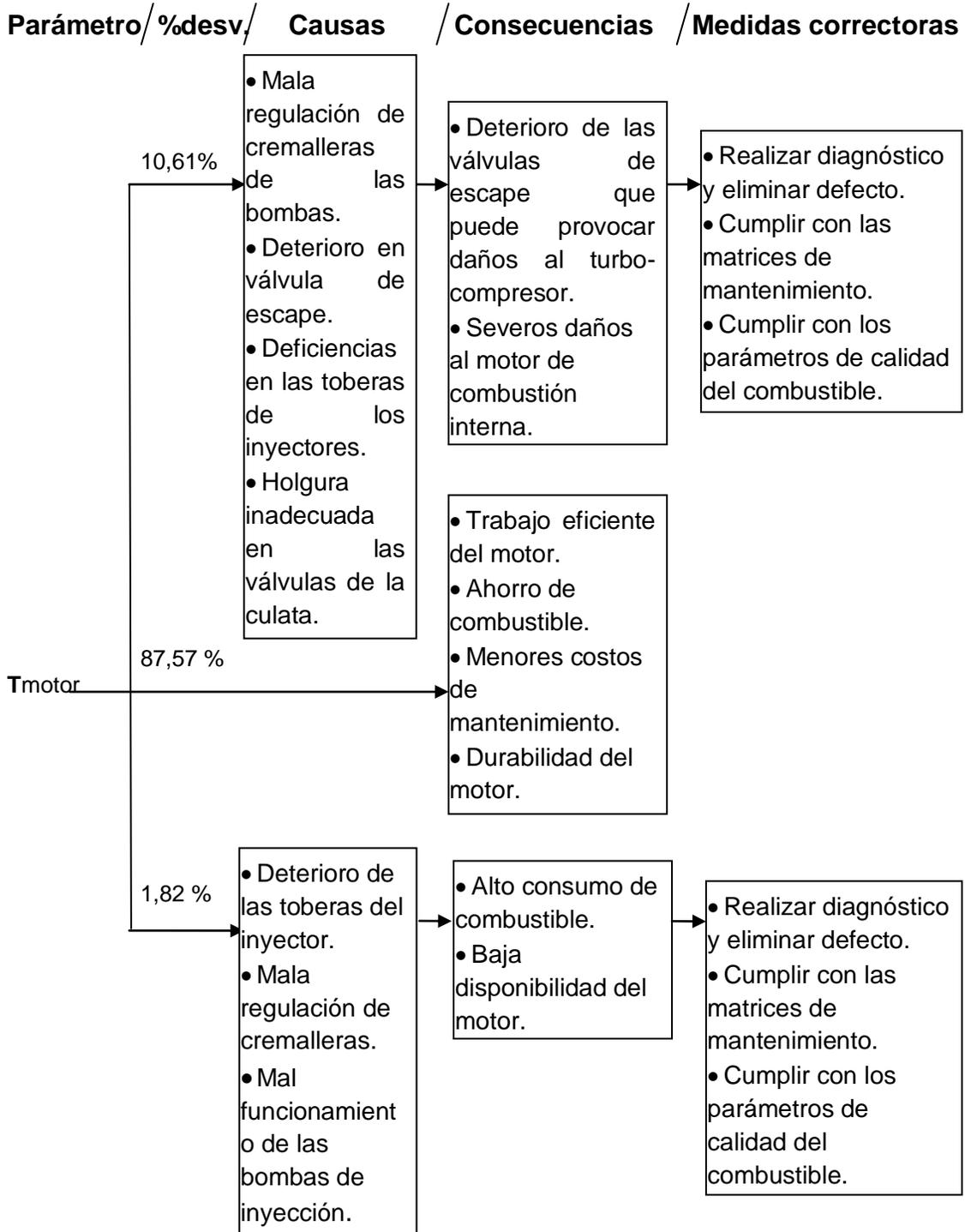


Figura 5d Árbol de violaciones para la temperatura del motor uno



Anexo 6 Comportamiento de las variables climatológicas para la zona objeto de estudio en la década 2001-2010

Tabla 6a Comportamiento de los valores medio de la nubosidad para el período estudiado (Octas)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	4	3	4	3	3	5	4	4	4	5	4	4
2002	3	4	4	3	4	6	4	5	6	4	4	4
2003	4	3	4	4	5	5	5	6	5	4	4	5
2004	3	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4
2005	3	3	4	3	4	6	4	5	4	5	4	3
2006	4	3	3	3	4	5	4	4	4	4	4	4
2007	3	3	3	3	4	5	4	6	5	5	3	2
2008	3	3	3	3	3	5	6	4	4	5	4	3
2009	3	2	3	3	4	5	4	4	5	4	4	3
2010	4	5	4	3	4	4	5	5	5	4	3	3
Media	3	3	4	3	4	5	5	5	5	4	4	4
C.V	15,19	24,95	14,3	13,18	14,5	11,13	15,71	16,43	14,3	11,74	11,1	24,28
D.est.	0,50	0,79	0,50	0,40	0,54	0,54	0,69	0,75	0,65	0,50	0,40	0,82

Tabla 6b Comportamiento de los valores medio de la temperatura máxima para el período estudiado (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	27,1	26,7	27,9	28,7	30,9	29,9	31,7	32,4	31,2	28,8	26,7	25,6
2002	27	25,4	28,2	29,6	29,7	30,2	31,8	32	30,8	28,6	27,2	25,8
2003	27,1	25,7	28	29,6	30,5	31,7	31,3	32,2	31,6	30	27,9	25,9
2004	25,9	25,6	28,8	30,3	31	30,8	32,7	32,8	31,8	28,8	27,3	25,9
2005	27,3	26,5	28,8	29,3	31,8	29,9	31,4	32,8	30,7	29,5	27,3	26,3
2006	25,8	24,8	28,7	30,7	30,8	32	32,8	32,4	31,5	30,3	26,6	25,2
2007	27,8	25,7	29,2	30,9	31,1	31,9	32,5	32,7	29,9	30,2	27,3	26,2
2008	27,3	26,1	27,1	30,5	31,9	31,7	32,1	32,5	31,2	30,1	26,2	26,8
2009	27,7	26,5	27,7	29,2	31	30,5	31,8	32,6	31,5	30,5	26,5	25,5
2010	25,9	26,1	28,3	30,5	31,8	30,6	31,7	32,2	30,5	30	26	24,3
Media	26,8	25,9	28,2	29,9	31,1	30,9	31,9	32,4	31,1	29,68	26,9	25,7
C.V	2,79	2,25	2,21	2,49	2,16	2,69	1,65	0,84	1,9	2,37	2,2	2,64
D.est.	0,75	0,58	0,63	0,74	0,67	0,83	0,53	0,27	0,59	0,7	0,59	0,68

Tabla 6c Comportamiento de los valores medio de la temperatura media para el período estudiado (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	22,7	21,6	22,2	25,2	24	26,1	27,4	26,2	24,9	24,5	22,9	20,7
2002	20,6	21,3	22,9	24	25,8	26,1	26,9	26,3	26	25,2	23	21
2003	20,9	21,1	22,1	23,7	26	26,1	26,2	26,3	25,9	25	23,1	20,3
2004	24,2	21,3	21,8	22,6	25,7	25,4	26,2	26,9	24,5	25,8	21,9	19,8
2005	19,2	19,8	22,6	22,8	25,1	25,9	26,9	26,6	24,8	24,9	22,6	21,3
2006	20	19,4	20,9	23,5	24,8	26,2	26,5	26,6	25,9	24,8	21,6	21,3
2007	21,7	21,5	21,9	23	24,5	25,4	26,5	26,4	24,5	25,6	23,1	21,3
2008	22,9	21,3	21,3	22,9	24,9	25,7	25,9	26,2	24,9	25,8	23,2	20,2
2009	19,7	19,2	20,8	24,6	25,3	25,8	27,4	27	26,1	25,4	23,1	22,3
2010	19	19,3	21	22,5	24,8	25,3	26,7	26,8	26,2	24,4	21,7	19,1
media	21,1	20,6	21,8	23,48	25,1	25,8	26,7	26,5	25,4	25,1	22,3	20,7
C.V	8,25	4,93	3,35	3,83	2,48	1,3	1,88	1,11	2,78	2,01	2,82	4,4
D.est.	1,74	1,01	0,73	0,90	0,62	0,34	0,50	0,29	0,70	0,51	0,64	0,83

Tabla 6d Comportamiento de los valores medio de la temperatura mínima para el período estudiado (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	14,1	11,5	16,2	18,2	19,1	21,5	22,9	22,5	21,6	19,8	18,4	15,1
2002	14,1	11,4	16,1	18,6	20,3	21,5	21,9	21,7	21	20,8	17,9	15
2003	14,1	12,1	16	18,5	20,1	20,6	20,9	20,7	20	19,1	18,5	14,3
2004	14,2	12,2	16,2	19	19,4	21,1	21,6	21,5	20,8	20,2	18,5	13,9
2005	13,8	11,4	16,1	18	18,9	20,8	21,7	22	21,3	20,6	17,6	14,1
2006	14,3	11,8	15,6	18,4	18,8	21,6	21,8	21,9	21,3	20,4	17,2	15
2007	14,1	12,1	15,8	18,5	20,1	21,7	21,5	20,9	20,5	20,5	18,8	14,6
2008	14	12,1	15,5	17,8	18,9	21,5	21,1	21,5	21,8	20,2	18,3	14,5
2009	14,1	11,9	15,9	17,9	19,5	21,3	22,2	22,2	21,6	20,3	18,2	14,7
2010	13,9	12,1	15,3	18,3	18,9	20,9	22,4	22,1	21	20,2	17,6	14,1
media	14,1	11,86	15,87	18,32	19,4	21,25	21,8	21,7	21,09	20,21	18,1	14,53
C.V	1,01	2,67	1,97	1,97	2,98	1,78	2,73	2,62	2,62	2,35	2,79	2,92
D.est.	0,14	0,32	0,31	0,36	0,58	0,38	0,59	0,57	0,55	0,47	0,51	0,42

Tabla 6e Comportamiento de los valores medio de la humedad relativa para el período estudiado (%)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	78	75	74	74	77	78	79	81	81	80	80	77
2002	77	74	74	70	74	80	80	80	82	80	81	79
2003	80	73	75	73	78	81	80	80	81	80	79	78
2004	77	75	75	73	73	80	79	78	81	79	76	80
2005	80	74	73	74	79	80	80	81	82	81	81	80
2006	79	76	69	69	74	81	80	81	80	79	81	80
2007	78	76	71	74	77	78	81	80	81	80	79	78
2008	76	76	73	73	73	79	79	79	80	79	80	81
2009	79	77	75	70	74	80	80	81	80	80	81	80
2010	80	76	74	71	74	79	79	80	80	79	79	79
Media	78,4	75,2	73,3	72,1	75,3	79,6	79,7	80,1	80,8	79,7	79,7	79,2
C.V	1,82	1,63	2,66	2,65	2,94	1,35	0,85	1,24	0,98	0,85	1,97	1,55
D.est.	1,43	1,23	1,95	1,91	2,21	1,07	0,67	0,99	0,79	0,67	1,57	1,23

Tabla 6f Comportamiento de los valores medio de los vientos para el período estudiado

Rumbos	Frecuencia (%)	Velocidad media Km/h
N	6,7	12,5
NNE	5,8	14,7
NE	9,4	15
ENE	9,1	16,9
E	15,7	15,4
ESE	4	14,3
SE	1,5	12,7
SSE	1,5	10,9
S	3,5	10,6
SSW	3	10
SW	1,8	8,7
WSW	2,1	8,4
W	0,7	9,9
WNW	0,7	12
NW	0,4	12,5
NNW	1,1	13,4

Anexo 7 Caracterización de las sustancias involucradas en el proceso de generación de electricidad en la Central de Generación Eléctrica (CGE) Fuel Oil Agramonte.

Identificación del producto

Nombre del producto: DIESEL

Formula Química: 75% hidrocarburos saturados (principalmente parafinas) y un 25% hidrocarburos aromáticos. El promedio de la formula química para Diesel común es C₈H₁₈, variando entre C₈H₁₈ a C₁₅H₃₂.

Etiquetado de peligro:

R2/R3/R7/R10/R22/R25/R44/R52/R54/R55/R56

S1/S2/S3/S4/S5/S13/S15/S16/S17/S21/S23/S24/S25/S26/S28/S29/S30/S33/S38/S39/S41/S43/S44/S46/S47/S52/S57/S61.

Datos físicos

Apariencia: Sustancia de color amarillo-naranja, líquido poco viscoso, además de ser un combustible con un alto grado de peligrosidad en caso de algún desastre, ya sea incendio o derrame.

Punto de ebullición: 125,5 °C

Punto de fusión: No disponible.

Solubilidad: solubles en sustancias orgánicas.

Densidad: menor que 1 mg/m³

T L V -Límite superior de inflamabilidad: No disponible.

IPVS - Límite inferior de explosividad: 850 ppm (LEL)

Punto de congelación: No disponible.

Temperatura de auto ignición: 256,67°C

Coeficiente de expansión: No se encuentra disponible.

Temperatura de inflamación: No se encuentra disponible

Energía mínima de ignición: Alrededor de 520 °C

Presión de vapor: bajas

Biodegradabilidad: No se encuentra disponible.

Corrosión: Con respecto a los derivados del petróleo, la acción corrosiva es ejercida, tanto por la humedad como por cualquier otro agente (impurezas) presente en el producto, capaces de reaccionar químicamente con los metales en contacto.

Capacidad calorífica: No se encuentra disponible.

Formas de control y mitigación en casos de desastres.

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

Peligros para la salud

Concentración permisible: No se encuentra disponible.

Exposición permisible: No se encuentra disponible.

Partes del cuerpo que afecta: La inhalación de alta concentración de vapor puede causar dolores de cabeza. La ingestión causa irritación del estómago e intestino con náusea y vómitos.

Forma de entrada al organismo: El diesel puede penetrar por la piel nariz y boca.

Sustancia	Toxicidad							
	Tox. aguda	Irritación	Sensibilización	T. por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	T. para la reproducción
Diesel	X	R,O,P	X					

Nota: En el caso de la irritación debe aclararse si es a los ojos (O), piel (P) o respiratoria (R).

Condiciones de almacenamiento y manipulación.

Nombre del producto almacenado: Diesel.

Capacidad del recipiente de almacenamiento: El tanque tiene un diámetro de 3,161 m. La longitud es de 6,078 m.

Forma del recipiente: Son cilíndricos y están ubicados en posición horizontal.

Material de construcción: Los tanques son de acero al carbono con un rango de espesor de 11 – 17 mm.

Protección del recipiente (interior o exterior): la protección de ellos está basada por las normas ISO 12944-1, ISO 12944-3, ISO 12944-5 y la ISO 12944-8 de la cual se aplica un sistema de pintura para la protección del mismo.

Fecha de fabricación del recipiente: Desde el año 2006 hasta 2007

Condiciones de almacenamiento de la sustancia: Se almacena a presión atmosférica y a la temperatura que viene.

Cantidad de sustancia almacenada: Se corresponde con la longitud mencionada anteriormente y con 3,05 m de diámetro, lo que indica un 94 % de llenado.

Características de los alrededores del recipiente: Libre de hierba, de materia inflamable, rodeado por cubetos, los cuales deben tener buen drenaje.

Condiciones para su uso en el proceso.

Uso en el proceso: Arranque y parada.

Condiciones en las que se usa la sustancia: temperatura ambiente y presión entre 7-8 bar.

Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias: Salideros por juntas.

Material de construcción de los equipos donde es usada: Acero al carbono.

Protección del sistema de tuberías: Pintura según las normas y protección catódica

Nombre del producto: FUEL OIL

Formula Química: 75% hidrocarburos saturados (principalmente parafinas) y un 25% hidrocarburos aromáticos. El promedio de la formula química para Fuel Oil común es C₁₂H₂₆, variando entre C₁₂H₂₆ a C₂₀H₄₂.

Etiquetado de peligro: R10/R21/R22/R25/R36/R37/R38/R50/R53

S16/S23/S24/S25/S36/S37/S39/S45

Datos físicos

Apariencia: sustancia viscosa, de color oscuro, con olor característico y tóxico

Punto de ebullición: > 100 °C aproximadamente

Punto de fusión: no disponible

Solubilidad: soluble en solventes orgánicos, como xileno, tolueno, nafta, insoluble en agua

Densidad: 0.9959g/m³ y 10.5 °API

T L V -límite superior de inflamabilidad: no disponible

IPVS - Límite inferior de explosividad: no disponible

Punto de congelación: < - 9 °C

Temperatura de auto ignición: no disponible

Coeficiente de expansión: no disponible

Temperatura de inflamación: entre 95 y > 100 ° C

Energía mínima de ignición: no disponible

Solubilidad: no disponible

Presión de vapor: no disponible

Biodegradabilidad: no disponible

Corrosión: Con respecto a los derivados del petróleo, la acción corrosiva es ejercida, tanto por la humedad como por cualquier otro agente (impurezas) presente en el producto, capaces de reaccionar químicamente con los metales en contacto.

Capacidad calorífica: valor calórico neto > 9500 Kcal/kg

Formas de control y mitigación en casos de desastres

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre:

- Mantener de alta los sistemas de incendio de agua y espuma (motobombas, hidrantes, mangueras, boquillas, cajas formadoras de espuma, etc.)
- Mantener de alta y en los lugares necesarios los medios contra incendio portátiles (extintores, mangueras de agua a presión, etc.) y herramientas normadas.
- Mantener organizadas las Brigadas Contra Incendio (BCI) de cada área.
- Mantener preparados y entrenados a los miembros de BCI.

- Cumplir con las normas operacionales establecidas para el almacenamiento y movimiento de combustibles.
- Mantener de alta los sistemas de protección contra descargas eléctricas.
- Cumplir con los requisitos establecidos para la realización de trabajos peligrosos.
- No permitir en la reparación y mantenimiento el empleo de herramientas no adecuadas.
- Mantener libre de hierbas las áreas de los tanques, sistemas de tuberías, etc.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (cantidad y capacidad de mitigación):

Peligros para la salud

- Concentración permisible: 2000 mg/m³.
- Exposición permisible: 500 ppm.
- Emergencias: Primeros auxilios en el lugar, traslado al hospital más cercano para recibir atención médica.
- Partes del cuerpo que afecta: Sistema respiratorio, ojos, piel y sistema nervioso central.
- Forma de entrada al organismo: Vías respiratorias, por contacto e ingestión.
- Toxicidad

Sustancia	Toxicidad							
	Tox. aguda	Irritación	Sensibilización	T. por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	T. para la reproducción
	X	R, O, P	X				X	

Nota: En el caso de la irritación debe aclararse si es a los ojos (O), piel (P), o respiratoria (R).

Condiciones de almacenamiento y manipulación

- Forma del recipiente: Cilíndrico y está ubicado en posición vertical.
- Dimensiones del recipiente: El tanque es 12,2 m de diámetro. La altura es de 8,95 m.
- Material de construcción: Los tanques son de acero al carbono con un rango de espesor de 11 – 17 mm.
- Protección del recipiente (interior o exterior): la protección de ellos está basada por las normas ISO 12944-1, ISO 12944-3, ISO 12944-5 y la ISO 12944-8 de la cual se aplica un sistema de pintura para la protección del mismo.
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización: Las tuberías principalmente son de diámetro 3 y 5 pulgadas y las conexiones entre bombas de 5 pulgadas. Las válvulas son de cuñas, globo y cheque.
- Fecha de fabricación del recipiente: Desde el año 2006 hasta 2007.

- Condiciones de almacenamiento de la sustancia: Se almacena a presión atmosférica y a la temperatura que viene.
- Cantidad de sustancia almacenada: La cantidad de producto almacenado es el 92 % del tanque.
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Tipo de averías producidas: Salideros ocurridos en años pasados.
- Características de los alrededores del recipiente: Libre de hierba, de materia inflamable, rodeado por cubetos, los cuales deben tener buen drenaje.

Condiciones para su uso en el proceso

- Uso en el proceso: Se utiliza para llevar al motor, mediante la combustión a las 900 rpm y así generar la electricidad demandada.
- Condiciones en las que se usa la sustancia: temperatura entre 110-140 °C y presión entre 7-10 bar.
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias: Salideros por juntas o uniones
- Material de construcción de los equipos donde es usada: Acero al carbono.
- Protección del sistema de tuberías: Pintura según las normas y protección catódica.

Anexo 8 Lineamientos generales para determinar las categorías de peligro toxicológico
(según la directiva EC 93/21/EEC)

Peligro	Clasificación de las sustancias con números de riesgos
Especial	Carcinógeno, mutagénico, tóxico para la reproducción, R45, R46, R49, R60, R61. Sensibilizadores para la respiración, R42.
Alto	Muy tóxico: R2, R27, R28 Tóxico: R23, R24, R25, R48 Sensibilizadores de la piel: R43 Corrosivo: R34, R35
Medio	Dañino: R20, R21, R22, R48
Bajo	Sustancias examinadas pero que no satisfacen los criterios de las demás categorías de peligro.

Anexo 9 Clasificación de las sustancias (R, S)**Indicación de riesgos específicos**

R1	Explosiva al secarse
R2	Riesgo de explosión por choque eléctrico, fricción, fuego u otras fuentes de ignición
R3	Riesgo extremo de explosión por choque eléctrico, fricción, fuego u otras fuentes de ignición
R4	Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles
R5	El calentamiento puede causar la explosión de la sustancia
R6	Explosiva en o sin contacto con el aire
R7	Puede causar incendios
R8	En contacto con material combustible, puede causar incendios
R9	Explosiva al ser mezclada con material combustible
R10	Inflamable
R11	Sumamente inflamable
R12	Extremadamente inflamable
R13	Gas licuado extremadamente inflamable
R14	Reacciona violentamente con el agua
R15	Libera gases sumamente inflamables en contacto con el agua
R16	Explosiva al mezclarse con sustancias oxidantes
R17	Espontáneamente inflamable en el aire
R18	Al usarla, puede formar una mezcla de aire-vapor inflamable-explosiva
R19	Puede formar peróxidos explosivos
R20	Dañina al ser inhalada
R21	Dañina en contacto con la piel
R22	Dañina al ser ingerida
R23	Tóxica al ser inhalada
R24	Tóxica en contacto con la piel
R25	Tóxica al ser ingerida
R26	Muy tóxica al ser inhalada
R27	Muy tóxica en contacto con la piel
R28	Muy tóxica al ser ingerida
R29	Libera gas tóxico en contacto con el agua
R30	Puede volverse sumamente inflamable al ser usada

Anexo 9 Continuación

R31	Libera gas tóxico en contacto con ácidos
R32	Libera gas muy tóxico en contacto con ácidos
R33	Peligro de efectos acumulativos
R34	Causa quemaduras
R35	Causa quemaduras graves
R36	Irrita los ojos
R37	Irrita el sistema respiratorio
R38	Irrita la piel
R39	Peligro de efectos irreversibles muy graves
R40	Posible riesgo de efectos irreversibles
R41	Riesgo de grave daño a los ojos
R42	Puede causar sensibilización al ser inhalada
R43	Puede causar sensibilización en contacto con la piel
R44	Riesgo de explosión al calentarse en un ambiente cerrado
R45	Puede causar cáncer
R46	Puede causar daño genético hereditario
R47	Puede causar defectos de nacimiento
R48	Peligro de grave daño para la salud por exposición prolongada
R49	Puede causar cáncer al ser inhalada
R50	Muy tóxica para organismos acuáticos
R51	Tóxica para organismos acuáticos
R52	Dañina para organismos acuáticos
R53	Puede causar efectos adversos de largo plazo en el ambiente acuático
R54	Tóxica para la flora
R55	Tóxica para la fauna
R56	Tóxica para los organismos del suelo
R57	Tóxica para las abejas
R58	Puede causar efectos adversos de largo plazo en el ambiente
R59	Peligrosa para la capa de ozono
R60	Puede perjudicar la fertilidad
R61	Puede causar daño fetal
R62	Posible riesgo de pérdida de fertilidad
R63	Posible riesgo de daño fetal
R64	Puede causar daño a lactantes

Anexo 9 Continuación**Indicaciones sobre precauciones de seguridad**

S1	Manténgase cerrado
S2	Manténgase fuera del alcance de los niños
S3	Manténgase en un lugar fresco
S4	Manténgase lejos de las viviendas
S5	Manténgase el contenido en ... (líquido apropiado que debe ser especificado por el fabricante)
S6	Manténgase en ... (gas inerte que debe ser especificado por el fabricante)
S7	Manténgase el envase herméticamente cerrado
S8	Manténgase el envase seco
S9	Manténgase el envase en un lugar bien ventilado
S12	No mantener el envase sellado
S13	Manténgase lejos de alimentos, bebidas y forraje
S14	Manténgase lejos de ... (materiales incompatibles que deben ser indicados por el fabricante)
S15	Manténgase lejos del calor
S16	Manténgase lejos de fuentes de ignición - NO FUMAR
S17	Manténgase lejos de material combustible
S18	Manipúlese y ábrase el envase con cuidado
S20	No comer ni beber cuando se use
S21	No fumar cuando se use
S22	No inhalar el polvo
S23	No inhalar el gas-humo-vapor-rocío (los términos apropiados deben ser especificados por el fabricante)
S24	Evítese el contacto con la piel
S25	Evítese el contacto con los ojos
S26	En caso de haber contacto con los ojos, enjuáguese de inmediato con abundante agua y busque asistencia médica
S27	Quítese de inmediato toda la ropa contaminada
S28	Después del contacto con la piel, lavar de inmediato con abundante ... (debe ser especificado por el fabricante)
S29	No vaciar en los desagües
S30	Nunca agregar agua a este producto

Anexo 9 Continuación

S33	Tomar medidas preventivas contra descargas estáticas
S34	Evítense golpes y fricciones
S35	Este material y su envase deben desecharse de manera segura
S36	Usar ropa protectora apropiada
S37	Usar guantes apropiados
S38	En caso de ventilación insuficiente, úsese el equipo de respiración apropiado
S39	Úsese protección para ojos y cara
S40	Para limpiar el piso y todos los objetos contaminados por este material úsese ... (debe ser especificado por el fabricante)
S41	En caso de incendios o explosiones, no inhalar el humo
S42	Durante la fumigación o rociado, usar equipo de respiración apropiado (los términos adecuados deben ser especificados por el fabricante)
S43	En caso de incendio, usar ... (indíquese en el espacio el tipo específico de equipo contra incendios. Si el agua aumenta el riesgo, hay que indicar: "Nunca usar agua")
S44	En caso de accidente o indisposición, buscar asistencia médica (mostrar la etiqueta si es posible)
S45	En caso de accidentes o indisposición, buscar asistencia médica de inmediato (mostrar la etiqueta si es posible)
S46	En caso de ingestión, buscar asistencia médica de inmediato y mostrar el envase o la etiqueta
S47	Manténgase a temperatura no mayor que ... °C (debe ser especificada por el fabricante)
S48	Manténgase humedecido con ... (material apropiado que debe ser especificado por el fabricante)
S49	Manténgase únicamente en el envase original
S50	No mezclar con ... (debe ser especificado por el fabricante)
S51	Úsese solo en áreas bien ventiladas
S52	No recomendable para ser usado en interiores
S53	Evítese la exposición - obtener instrucciones especiales antes de su uso
S54	Obtener el consentimiento de las autoridades de control de la contaminación antes de descargar en plantas de tratamiento de aguas residuales
S55	Tratar con las mejores técnicas disponibles antes de descargar en desagües o ambientes acuáticos