

**Universidad de Matanzas**  
**Sede “Camilo Cienfuegos”**  
**Facultad de Ciencias Técnicas**  
**Departamento de Química**



**TRABAJO DE DIPLOMA**

*Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.*

**TÍTULO:** “Evaluación del impacto social debido al efecto  
continuado de accidentes provocados por incendio y  
explosión en la Base en Tierra de la DTCCM.”

**Autor:** Liudmila González Caballero

**Tutor:** Ing. Julio Ariel Dueñas Santana

**Consultante:** Ing. Jesús Luis Orozco, Dr. C.

**Matanzas, Cuba. 2019**

## *DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.*

---

Yo, Liudmila González Caballero, declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente, siempre que se respeten mis derechos sobre el mismo.

---

Liudmila González Caballero

# NOTA DE ACEPTACIÓN.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Tribunal.

Firma.

---

Miembro del Tribunal.

Firma.

---

Miembro del Tribunal.

Firma.

*Imagination is more important than knowledge.*

*Knowledge is limited, imagination encircles the world.*

**ALBERT EINSTEIN**

## **DEDICATORIA.**

---

*A mi niño.*

*A mis padres.*

*A mi esposo.*

*A mi hermano.*

*A mi familia.*

*A mis suegros.*

*A mi tutor y amigo Julio.*

## AGRADECIMIENTOS.

---

*Le agradezco a mis padres por estar siempre presente, por apoyarme en todas mis decisiones, por guiarme en cada paso que, porque mis sueños son sus sueños y mis metas son sus metas, por ser esa luz y esa agua fresca en momentos de oscuridad y frustración. Por ser un ejemplo de fortaleza y por dedicarme sus vidas y entregarme todo su amor.*

*A mi niño bello por ser mi motivación, por darme esas fuerzas para salir adelante y convertirme en alguien por el cual un día se sienta orgulloso. Por darme los momentos felices de mis días agotadores y ser la mejor parte de mi vida con su sonrisa inocente.*

*A mi esposo por su paciencia, por su apoyo, por su ayuda, por estar en todo momento motivándome y mostrándome el lado bueno de la vida, por ser tan positivo y enseñarme a serlo. Por motivarme a ser mejor persona, por luchar conmigo mano a mano y por darme todo su amor.*

*A mi hermano Luis Javier y mi tía Martha por ser cómplices y amigos, por mostrarme que siempre puedo contar con ellos y por entregarme su cariño.*

*A mi tator julio por ser un gran amigo, por su dedicación, no solo en la realización de este trabajo investigativo si no en cada traba a lo largo de la carrera, por dejarme*

*contar con él en todo momento y para cualquier situación, por estar siempre pendiente de mis problemas, por aconsejarme y ayudarme a salir adelante, por motivarme en los estudios, por enseñarme, por ser un ejemplo de superación y por ser una de las razones por las cuales hoy me gradúo de Ingeniera química.*

*Gracias a todos.*

## **Resumen**

Este trabajo de investigación se desarrolla en la Base en Tierra de la División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas. Se evalúa el impacto social debido al efecto continuado de accidentes provocados por incendios y explosiones. Primero, se describe el proceso perteneciente a la Base en Tierra y se definen los diferentes escenarios a analizar. Se determinan el alcance y las características de los escenarios con el uso del *software* ALOHA. Luego, se identifican las unidades de proceso potenciales de generar accidentes secundarios a través del cálculo de probabilidad de escalado determinada por ecuaciones *Probit*. Se determina la probabilidad de escalado teniendo en cuenta el tiempo de falla y la intensidad de la radiación. Finalmente, se cuantifica el impacto individual y social de estos accidentes. El escenario BLEVE más bola de fuego, de todos los escenarios, es el que presenta el mayor radio de afectación alcanzando sus radiaciones hasta 4,3km del origen del accidente. El tanque 53 es el más propenso a detonar la cadena de eventos dominó con una probabilidad conjunta de 5.08%. Todas las personas expuestas a un radio de 1000 metros respecto al origen del accidente poseen una vulnerabilidad máxima. Cada diez años pueden existir alrededor de cuatro fatalidades en un radio de 1000 metros y pueden ocurrir hasta 380 fatalidades producto a que estas personas están expuestas a un riesgo de  $7,4993 \cdot 10^{-2} \text{a}^{-1}$ .



## ***Abstract***

This research work is carried out at the Base of the Territorial Division of Fuel Trading of Matanzas. The social impact is evaluated due to the continuous accidents caused by fires and explosions. First, it describes the process of belonging to the Base on Earth and it defines the different analysis scenarios. To determine the scope and characteristics of the scenarios with the use of ALOHA software. Then, the traffic generation process units are identified. The probability of climbing is determined taking into account the time of failure and the intensity of the radiation. Finally, the individual and social impact of these accidents is quantified. The BLEVE scenario plus fireball, of all the scenarios, is the best affected radius reaching its radiations up to 4.3 km from the origin of the accident. Tank 53 is more likely to detonate the chain of domino events with a joint probability of 5.08%. All people exposed to a radius of 1000 meters. Every ten years there may be around four fatalities in a radius of 1000 meters and up to 380 fatalities may occur as a result of these people being exposed to a risk of  $7.4993 \cdot 10^{-2a-1}$

## **Índice**

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo 1: Análisis Bibliográfico</b> .....	3
1.1- Tipos de escenarios que se manifiestan relacionados a incendios y/o explosiones. ....	3
1.2- Análisis histórico del efecto continuado de accidentes.....	8
1.3- Metodologías de cuantificación de riesgos por efecto continuado o dominó .....	13
1.4. Herramientas para la evaluación del impacto social de posibles accidentes de incendio y explosión.....	17
1.5 Conclusiones parciales .....	21
<b>Capítulo 2: Materiales y métodos</b> .....	22
2.1- Descripción del proceso en Base en tierra .....	23
2.2-Estimación del alcance de los escenarios.....	23
2.2.1-Definición de los escenarios y equipos afectados .....	24
2.2.2- Características y particularidades del software ALOHA .....	24
2.3- Determinación de la probabilidad de escalado de cada uno de los escenarios. ....	27
2.3.1- Determinación de la frecuencia inicial de los accidentes .....	28
2.3.2-Cuantificación de la frecuencia del suceso inicial.....	28
2.4- Metodología para la cuantificación de riesgo individual y social .....	29
<b>Capítulo 3: Análisis de los resultados</b> .....	38
3.1- Análisis de los resultados del software ALOHA .....	38
3.1.1- Resultados y análisis del escenario charco de fuego.....	39
3.1.2- Resultados y análisis del escenario BLEVE + bola de fuego.....	43
3.2-Resultados y análisis de la determinación de la probabilidad de escalado de cada escenario .....	47

3.2.1- Determinación de la frecuencia inicial de los accidentes.....	48
3.2.2- Identificación de las combinaciones de eventos creíbles.....	49
3.2.3- Cálculo de la probabilidad de escalado conjunta.....	56
3.3- Resultados y análisis del impacto individual y social debido al efecto continuado de los accidentes.....	57
3.3.1 Resultados y análisis de las curvas de riesgo- número de fatalidades.	58
<b>3.4- Conclusiones parciales .....</b>	<b>60</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>61</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>62</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>63</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>69</b>



## **Introducción**

En el desarrollo de la industria petrolera, en todos los procesos de separación para la obtención de derivados del petróleo, así como su almacenamiento y transporte poseen un riesgo potencial. Sus procesos involucran una gran cantidad de sustancias peligrosas, debido a esto, junto con la rápida industrialización y el aumento de la población hacen que las personas, el medio ambiente, la economía sean altamente vulnerables a los accidentes derivados de dicha industria. Es por esta razón que los accidentes en cascada que conducen a escenarios de baja frecuencia y alto impacto son crecientes en la actualidad.

Un análisis crítico de la bibliografía especializada muestra que la tendencia de accidentes recientes reafirma que el mundo está muy lejos de reducir el riesgo de accidentes industriales a niveles aceptables.(Poljanšek *et al*, 2017). Lo que hace necesario el uso de herramientas que permitan cuantificar los daños por estos accidentes para, de esta forma, lograr una mejora significativa en la prevención de los mismos.

En Cuba la industria petrolera se caracteriza por la existencia de refinerías, empresas de perforación de petróleo y empresas comercializadoras de combustibles que se encargan del procesamiento del petróleo crudo con distintos fines. Debido al elevado nivel de inflamabilidad y volatilidad de las sustancias manejadas en las mismas un alto riesgo de incendio y explosión.

La Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas (DTCCM) es la encargada de recepcionar el crudo tratado de las Empresas de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente y Centro, y de su reducción de viscosidad a través de la adición de solventes para su comercialización posterior. Además, recibe otros combustibles de las refinerías como la nafta, el fueloil, la gasolina y el combustible de aviación. La DTCCM posee cinco áreas fundamentales: la planta de Gas Licuado del Petróleo, la Terminal 320, los muelles (PT1, PC2, PC3, Bayona y FP), la Base en Tierra (Supertanqueros) y la Base de Crudos. En la Base de Crudos es donde se elaboran las mezclas de Petróleo Crudo Nativo Mejorado (PCNM) de 650, 1100 y 1400 cSt a partir de la adición de nafta solvente; siendo esta área de

interés a estudiar por las grandes capacidades de almacenamiento en los tanques y por los incidentes de incendio, derrames y fallos eléctricos ocurridos en la misma. Además, se desconoce el alcance que pueda tener un incendio o una explosión en el área, su carácter continuado, y los daños que estos puedan provocar a la economía de la empresa, al medio ambiente y a las personas.

Por lo que, se propone como **problema científico**: ¿Cómo estimar el daño social que se produce como consecuencia del carácter continuado de accidentes de incendio y explosión en la Base en Tierra de la División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas?

Atendiendo a lo planteado anteriormente se traza la siguiente **hipótesis** de trabajo: Si se realiza una evaluación mediante herramientas que permitan cuantificar el impacto social debido al efecto continuado de posibles accidentes de incendio y explosión se pondrán determinar los daños provocados por los mismos a la sociedad.

Se ha propuesto como **objetivo general**: Evaluar el impacto social debido al efecto continuado de accidentes provocados por incendio y explosión en la Base en Tierra de la DTCCM.

**Objetivos específicos:**

1. Estimar el alcance de los posibles escenarios que puedan producirse por incendio y explosión.
2. Pronosticar el efecto continuado de este tipo de accidente.
3. Determinar el impacto social del carácter continuado de estos accidentes.

## **Capítulo 1: Análisis Bibliográfico**

Este capítulo aborda diversas temáticas concernientes con el análisis cuantitativo de riesgos, como también, instrumentos utilizados en la actualidad para la estimación del riesgo asociado a los posibles accidentes generados por explosiones o incendios. Además, se describen las metodologías que se enfocan en cuantificar el impacto económico, ambiental y social debido a escenarios de incendio y explosión, así como una posible reacción en cadena. (Anexo 1)

### **1.1- Tipos de escenarios que se manifiestan relacionados a incendios y/o explosiones.**

En este epígrafe se profundiza lo planteado por las distintas bibliografías relacionadas con los escenarios que se pueden manifestar a partir de incendios y/o explosiones, así como sus principales características. (Anexo 2)

Los accidentes en la industria de procesos, pueden ser diferentes en cuanto a la forma en que se producen y por las sustancias químicas relacionadas con los mismos.(PNUMA, 1999). Tienen como característica en común que fueron acontecimientos no controlados, generalmente provocados por incendios o explosiones y escapes de sustancias tóxicas que causan la muerte o lesionan a un determinado número de personas, tanto dentro como fuera de la industria. Sumándose daños considerables en los bienes materiales y en el medio ambiente.(Muhammad Ali et al , 2018)

Según Galán et al(2012) incendio puede definirse como una manifestación del fuego que se desarrolla sin control en el tiempo y en un lugar imprevisto provocando daños y pérdidas. El fuego es un fenómeno de reacciones químicas de oxidación-reducción con un elevado potencial exotérmico. En terminología de incendios el elemento que se oxida se denomina combustible y el oxidante es el comburente.(Gómez-Mares et al 2008; Zarranejad A et al, 2016)

Los incendios se producen en la industria con más frecuencia que las explosiones y las emanaciones de sustancias tóxicas, aunque el impacto sobre las pérdidas de vidas humanas suele ser menor(Hedlund et al, 2018). Por lo tanto, puede considerarse que los incendios constituyen un menor peligro potencial que las

explosiones y los escapes de sustancias tóxicas. Aunque, si se retrasa la ignición de un material inflamable que se escapa, puede constituirse una nube de vapor de material inflamable no encerrada. (Casal et al, 2002)

Otro efecto letal que debe tomarse en consideración al producirse un incendio es la disminución del oxígeno en la atmósfera debido al consumo de oxígeno en el proceso de combustión. Además, son considerables los efectos sobre la salud originados por la exposición a los humos generados por el incendio. Esos humos pueden incluir gases tóxicos, como dióxido de azufre, proveniente de la combustión de disulfuro de carbono y de óxidos nitrosos de los incendios en los que interviene el nitrato amónico.(Hedlund et al, 2018; ZHOU et al, 2017)

En la industria los incendios pueden ocurrir de varias maneras que dependen de la naturaleza (propiedades físicas y químicas) y de la disposición del combustible( Toledo *et al*, 2016):

- Incendio de líquidos (de sus vapores) en disposición abierta (de charco): El incendio se produce en una condición abierta (no presurizada): las manifestaciones de este tipo de incendio suelen ser la emisión de calor radiante y la de humos.
- Incendio de líquidos (de sus vapores) con rebosamientos violentos: Se presentan en los incendios de tanques para almacenamiento donde la altura del líquido combustible es considerable. Dan lugar a proyecciones o rebosamientos que pueden propagar el incendio.
- Incendio de gases o vapores en nube abierta (bola de fuego): Es el caso de inflamación inmediata de una nube de gases o vapores que se ha situado de forma rápida en espacio abierto. Sus efectos intrínsecos son: radiación térmica, muy intensa y de corta duración, originada en una llama voluminosa; evolución hacia la forma de hongo por el ascenso de gases muy calientes y más ligeros que el aire; sobrepresión no significativa. Este caso se da, con efectos muy altos, cuando se produce la explosión con evaporación de gases licuados inflamables.



Los efectos de un incendio en una industria pueden ser devastadores, ya que la radiación térmica puede afectar a otras partes de la planta y generar nuevos incidentes como explosiones, a su vez el humo puede complicar la actuación de los equipos de intervención por la falta de visibilidad (Casal et al, 2002; Hosein et al, 2018)

Según Toledo et al (2016) los estudios de diversa índole en el análisis histórico de accidentes han revelado que después de los escapes, el incendio es el que presenta un mayor número de registros, seguidos por la explosión y la formación de una nube de gas.

Las explosiones en la industria se definen como una liberación de energía que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente y en el tránsito va perdiendo energía. Las mismas pueden ocurrir en (Casalet al,2002;Zarranejad Aet al; 2016) :

#### 1. Espacios Cerrados por:

##### a) Ignición de mezclas gaseosas inflamables

Ocurre cuando habiéndose producido un escape de un gas o de un vapor inflamable en un área confinada, el gas está dentro de los límites de inflamabilidad y encuentra un punto de ignición. (Casal et al , 2002; Hedlund et al, 2018)

##### b) Ignición de polvo combustible en suspensión

Para que se produzca la explosión de una nube de polvo es necesario que el polvo sea combustible, que las partículas tengan dimensiones y distribución adecuadas para la combustión, que el oxígeno sea suficiente para que la misma se mantenga; y, principalmente, es necesario que exista una fuente de ignición con energía suficiente para iniciar la reacción. ( Wieteska et al, 2018; Díaz et al, 2013)

#### 2. Espacios abiertos por:

##### a) Ignición de nubes de vapor no confinado

Las nubes de vapor no confinadas se generan a raíz del escape de una cantidad determinada de un vapor combustible que, al formar una mezcla con el aire dentro de los límites de inflamabilidad y si existe fuente de ignición, tiene lugar la explosión de la nube. Se considera una de las más peligrosas dentro de la industria química ya que los escapes tóxicos pueden producir más víctimas y, por otra parte, debido al alcance que puede llegar a tener la nube, la ignición de ésta puede producirse en un punto alejado de la fuente origen del vertido y afectar a grandes áreas.(Abdolhamidzadeh et al ,2018; Casal et al, 2002)

### 3. Por explosión de recipientes:

De acuerdo con Galán et al(2012), existen dos causas fundamentales por las que se produce la rotura de un recipiente:

- Por debilidad estructural (corrosión, erosión, fatiga, defecto de los materiales, etc.), por impactos externos.
- Por aumento de la presión interior debido a diferentes causas, entre ellas: sobrellenado, reacción fuera de control, explosión interna, fallo de un sistema de seguridad.

En caso de un derrame de un material inflamable existen diversos escenarios, en dependencia de la naturaleza del líquido derramado. Si cercano al derrame hay una potencial fuente de ignición, lo más probable a ocurrir es un charco de fuego. En caso de que no ocurra la ignición inmediata, este líquido se evapora y se forma una nube de vapor, la cual puede incendiarse o explotar si ocurre la ignición.(Cozzani et al, 2006; Galán et al, 2012; Dueñas, 2018)

Según Casal et al., (2002) Existe una tipología muy variada de incendios que pueden directamente afectar a los depósitos de almacenaje, pero uno de los más peligrosos, tanto por la magnitud de sus consecuencias, como por su difícil predicción, es el llamado boilover o slopover, aunque en ocasiones se le llama foamover o puking, conocido también por incendio de borbollón que puede

producirse generalmente en depósitos que contienen mezclas de diversos hidrocarburos.

No todos los combustibles son susceptibles a experimentar este fenómeno. Este está asociado a aquellos compuestos que poseen una serie de componentes con una amplia gama de temperaturas de ebullición como lo es el petróleo crudo. Aunque es posible el borbollón con hidrocarburos puros, pero es menos frecuente. En todo caso lo que sí tiene que cumplirse para la ocurrencia de este fenómeno, es que la temperatura de ebullición del combustible sea superior a la del agua. (Casal et al, 2002, Wehrstedta et al, 2015; Ali Bin et al, 2018)

Las consecuencias de la explosión serán la onda de sobrepresión y la proyección de fragmentos, no siempre tienen efectos térmicos. No obstante, en la mayoría de los casos reales la sustancia involucrada es combustible; esto provoca que la explosión sea seguida por la formación de una bola de fuego, de efectos muy graves (Linares, 2013; Díaz et al ; 2017).

Una explosión del tipo bola de fuego es una combinación de incendio y explosión con una emisión radiante intensa en un intervalo relativamente breve de tiempo. El fenómeno puede producirse dentro de un recipiente o depósito en el que se mantenga un gas licuado por encima de su punto de ebullición atmosférico. Si un recipiente a presión se rompe como resultado de un debilitamiento de su estructura, el contenido se escapa al instante como una mezcla turbulenta de líquido y gas que se expande rápidamente y se dispersa por el aire como una nube. (CONESA, V., n.d.; Bhushan, 2015) Cuando esta nube se inflama, se produce una bola de fuego, que origina una radiación térmica de enorme intensidad en unos pocos segundos. Esta alta intensidad calorífica basta para causar muertes y graves quemaduras en la piel a cientos de metros del recipiente, según la cantidad de gas que se trate. Este tipo de explosión puede ser provocado por un impacto físico sobre un recipiente o depósito que ya está averiado o sometido a una presión excesiva. A veces resulta difícil hacer una distinción entre un incendio y una explosión. A menudo, una explosión va seguida de un incendio y ambos fenómenos causan víctimas. (Casal et al, 2002)

Un accidente principal significa un acontecimiento que puede ser una emisión importante, un incendio o una explosión, resultante de hechos no controlados en el curso de una actividad industrial, que provoca un peligro grave para el hombre, inmediato o aplazado, dentro o fuera del establecimiento, y para el medio ambiente, y que entraña una o más sustancias peligrosas. (Poljanšek *et al.*, 2017; Liu1 *et al* 2018)

Estudios realizados en 2013(Kidam *et al.*, 2013) plantean que los accidentes más frecuentes causados en equipos son los sucedidos en tuberías en un 25%, seguidos por los ocasionados en reactores y tanques de almacenamiento con un 14%, y los tanques de proceso con un 10%. Son seis los equipamientos más propensos a accidentes los que representan cerca de un 80% de los accidentes totales ocurridos en equipos de procesos, por lo que, a estos equipamientos, hay que prestarles mayor atención. El 78% de los accidentes en equipos son debidos a fallas humanas. Las razones organizacionales y puramente humana son responsables en un 33% de los tanques de almacenamientos, un 18% de las tuberías y un 16% de los equipos de transferencia de calor.( ŞTEFĂNESCU1 *et al*, 2018)

Los incendios y explosiones son de los accidentes más frecuentes en la industria, de ahí la importancia de su estudio y evaluación de su impacto. La evidencia indica que en los tanques de almacenamiento y en las tuberías ocurren una gran parte de accidentes provocados por incendios y explosiones; por lo que en estos se va a enfatizar el análisis posterior. A criterio de la autora de esta investigación, los escenarios que se deben analizar son: charco de fuego, nube de vapor inflamable, nube de vapor explosiva, BLEVE, borbollón.

## **1.2- Análisis histórico del efecto continuado de accidentes**

En este epígrafe se profundiza en algunos de los accidentes de mayor envergadura de los últimos tiempos, su origen y los daños ocasionados. Puesto que el análisis histórico de accidentes es una herramienta poderosa para entender y analizar los escenarios dominó.

El elemento principal que identifica a los escenarios donde un efecto dominó ocurre es el efecto de propagación. Dos elementos principales de un escenario dominaron

que se pueden identificar en relación al elemento propagación son: la presencia de un escenario de accidente primario y uno o más escenarios de accidente secundarios.(Casal et al, 2002; Lisia et al, 2014; Tabassum-Abbasi et al, 2018)

### ***Buncefield, 2005***

El depósito de Buncefield es un tanque de almacenamiento en una granja localizada a 3 millas del centro de Hemel, Hempstead (Reino Unido). El lugar está rodeado de áreas residenciales. Fue el quinto depósito de combustible más grande en el país. El depósito distribuyó combustibles a varios sitios a través de tres tuberías. El combustible de aviación (*jet fuel*) se distribuye a los aeropuertos Heathrow y Gatwick por otras dos tuberías.

La secuencia de accidentes se divide en las siguientes etapas (Abdolhamidzadeh et al, 2018):

1. Pérdida de contención inicial: A aproximadamente, las 19:00 horas del sábado 10 de diciembre de 2005, se comenzó a suministrar gasolina (con un 10% de butano) al tanque 912 (BMIB, 2008). Alrededor de las 05:30 del 11 de diciembre, el tanque se llenó, pero fallaron los sistemas de seguridad para cerrar la válvula de entrada de combustible y se formó una cascada del combustible desde el tope del tanque. Se dispersó una nube de vapor (una mezcla de fracciones volátiles del combustible y del aire) hacia el oeste y llegó hasta otra zona industrial, también se dispersó al norte y al sur. Se estima que se escaparon aproximadamente, 300 t de combustible del tanque, el 10% del cual se vaporizó y formó la nube de vapor.
2. Primera explosión: El área cubierta por la nube fue entre 80 000 m<sup>2</sup> y 100 000 m<sup>2</sup> a una altura de aproximadamente 2 m. A las 06:01:32 del domingo 11 de diciembre, tuvo lugar una explosión masiva.
3. Incendio y explosiones adicionales: La explosión fue seguida de un incendio inmenso, que envolvió a 20 tanques de almacenamiento. Hubo otras explosiones pequeñas, independientes de la primera (probablemente, dentro de los tanques afectados por el incendio).
4. Secuencia dominó: Las principales etapas en la cadena de eventos fueron:

- Derrame de gasolina (desbordamiento de un tanque).
- Desarrollo de una nube de vapor.
- Ignición.
- Explosión de una nube de vapor.
- Incendios abrasando tanques.

Desde el punto de vista del accidente dominó, la secuencia se simplifica a: explosión de una nube de vapor-incendios-explosiones más pequeñas.

El origen del accidente fue la falla del sistema de bombeo. El tanque recibía un flujo de 550 m<sup>3</sup>/h. Siete minutos antes del accidente, el flujo se incrementó hasta 890 m<sup>3</sup>/h. se calcula que el tanque 912 se llenó completamente a las 05:20 aproximadamente. Esto significa que, en el momento de la explosión, más de 300 t de gasolina se derramaron. La onda expansiva y los efectos térmicos resultaron en una destrucción de una parte significativa del lugar, así como, en los sitios vecinos y parqueos de automóviles.(Kadri et al, 2013)

### ***Naples, 1985***

Este accidente mayor fue similar al de Buncefield. Ocurrió en Naples en su zona de almacenamiento de combustibles en 1985: derrame del tanque y formación de una nube de vapor, explosión e incendio. La secuencia de eventos fue la siguiente:

- 1- Pérdida de contención inicial: A finales de la tarde del 20 de diciembre, el flujo era de 780 m<sup>3</sup>/h de gasolina. A la 01:20 del 21 de diciembre, el flujo de combustible fue dividido a los tanques 17 y 18 simultáneamente; este no fue el procedimiento adecuado; los operadores debieron vaciar previamente el tanque 17 y luego, el tanque 18, pero ellos decidieron arbitrariamente cambiar el procedimiento. Llenando los dos tanques a la vez, alrededor de las 04:00, el tanque 17 estaba completamente lleno y comenzó a derramarse a través del techo flotante por más de una hora: se derramaron acerca de 700 t de gasolina.
- 2- Explosión de una nube de vapor: Una suave brisa (2 m/s), unida a la ignición retardada favoreció la formación de una gran nube de vapor, que cubrió

aproximadamente 20 000 m<sup>2</sup>. Se estimó una masa evaporada total de 135 t, que formó 45 000 m<sup>3</sup> de una nube de vapor inflamable equivalente a 4 t. La ignición se debió probablemente a un incendio pequeño fuera de la planta, cerca del área de bombeo.

3- Incendio: Siguiendo a la explosión, hubo un incendio extensivo que duró 1 semana. El área de almacenamiento fue casi totalmente destruida. La onda expansiva provocó cinco heridos dentro del área y efectos menores provocados hasta 5 km.

4- Secuencia dominó: Las etapas en la cadena de eventos fueron:

- Derrame de gasolina.
- Desarrollo de una nube de vapor.
- Ignición.
- Explosión de una nube de vapor.
- Incendios abrasando tanques.

Estas etapas, desde el punto de vista del accidente dominó, se simplifica como: explosión de una nube de vapor-incendio.

### ***Valero (Texas), 2007***

El 16 de febrero a las 02:09 en una refinería en Texas, se produjo un chorro de un líquido de propano a partir de una tubería de alta presión, cerca de una torre de extracción (donde el líquido propano se utiliza, como solvente para separar el gas del asfalto). Cuando los operadores determinaron que el material liberado fue propano, la alarma de incendio se activó (12:10) y se evacuó el área. Se formó una nube de vapor y se produjo la ignición. El fuego retrocedió a la fuente de derrame. Las llamas engulleron a varias tuberías cerca del extractor, liberando chorros de propano adicionales, los cuales también se incendiaron. El fuego debilitó la estructura de la columna de soporte, lo cual no estaba previsto por el aislamiento a prueba de incendios. Una esfera de butano (1 600 m<sup>3</sup>) se afectó por la radiación térmica y se liberó más de su contenido a la atmósfera. La refinería fue evacuada 15 minutos antes de iniciar el accidente. La secuencia del accidente se divide en las etapas siguientes:

1. Pérdida de contención inicial: Derrame del propano líquido a partir de una falla relacionada a una alta presión (35,5 bar) en una tubería en una estación de control que no había estado en servicio durante 15 años. El agua contenida en el propano se acumuló en un punto bajo y se congeló durante el tiempo frío y provocó una rotura en la tubería. El propano inicial se derramó a una velocidad de 34 kg/s.
2. Incendio y chorros de fuego: Luego de las llamaradas iniciales, las llamas retrocedieron y formaron un chorro de fuego turbulento, con llamas que incidían en otras tuberías. Debido a los altos flujos de calor, fallaron las tuberías. Se formó un nuevo chorro de fuego de propano, con efectos térmicos directos en los equipos circundantes. Se dificultó el sistema contra incendios por vientos fuertes y un rápido crecimiento del fuego.
3. Nube tóxica: estuvieron sujetos al calor por radiación, tres contenedores de cloro y los tres liberaron su contenido. Uno de ellos ventiló completamente y los otros parcialmente. Más de 2,5 t de cloro se liberaron a la atmósfera. Hubo escapes de ácido sulfúrico.
4. Secuencia dominó: Las etapas del evento fueron:
  - Derrame de propano líquido presurizado.
  - Chorros de fuego y llamaradas.
  - Chorros de fuego múltiples.
  - Escape desde los tanques y rupturas.
  - Nube tóxica de cloro.

Y, como un accidente dominó de esta forma se representa como: chorros de fuego-incendios de chorro de fuego-nube tóxica.

El incendio fue finalmente, extinguido el 18 de febrero, 54 h después del primer incidente. Muchos de los equipos del área se destruyeron, y la refinería estuvo fuera de operación durante dos meses.

### ***Corbin (Kentucky), 2003***

El 20 de febrero de 2003 a las 07:30, un incendio originado de una explosión de polvo de resinas fenólicas. El accidente mató a siete operadores y hubo 37



perjudicados y más. A las explosiones les siguió un incendio. Este accidente mayor es un ejemplo de efecto dominó de explosión de polvo.

La secuencia dominó fue incendio-explosión-explosión + incendio. Las consecuencias del accidente fueron la muerte de siete empleados y 37 perjudicados. Hubo daños severos a la planta.

La aplicación de medidas de seguridad adecuadas reduce sustancialmente la frecuencia de este tipo de accidentes. Cualquier información que se derive de accidentes pasados es de suma importancia para implementar estas medidas. A criterio de la autora de este trabajo se debe analizar hasta un nivel de accidentes terciarios.

### **1.3- Metodologías para la cuantificación de riesgos por efecto continuado o domino**

En este epígrafe se analizan las técnicas que existen actualmente para determinar la probabilidad de escalado de un accidente primario de incendio y/o explosión dentro de un área de la industria.

El análisis cuantitativo de riesgos incluye, en los casos de seguridad, particularidades suficientes que demuestran que se han identificado todos los peligros con el potencial de causar un accidente mayor y para esto es indispensable el análisis de los accidentes provocados por efecto dominó que son crecientes en el mundo actual y tienen un alto impacto puesto que provocan contaminación ambiental, pérdidas monetarias, además, de daño a la salud y hasta la muerte.( Dueñas, 2018; Ibarra; 2016)

Numerosas normativas internacionales obligan a realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgo (QRA) en instalaciones que manejen sustancias peligrosas (Ibarra *etal.*,2015; Ibarra;2016 ) Dicho análisis se emplea en muchas áreas de aplicación, y en la literatura científica se han presentado numerosos modelos y aplicaciones específicas con el objetivo de implementar la seguridad tanto en el diseño como en la operación de procesos.

El análisis de accidentes dominó da la posibilidad de investigar fallas específicas de diversos escenarios de escalado: los eventos que más frecuentemente provocan un accidente dominó, las secuencias de escalado más frecuentes, las sustancias peligrosas que son más propensas a estar involucradas en este tipo de accidentes. El escenario dominó muestra, de forma general una mayor severidad con respecto a los escenarios convencionales.( Michael et al, 2016; Nomen et al, 2014)

Existen distintas interpretaciones en la definición de un accidente dominó, (Cozzani et al., 2009; Bagster et al., 1991; Bozzolan et al., 2007; CCPS., 2000; Cozzani et al., 2006; Delvosalle., 1998; Gorrens et al., 2009; HSE., 1984; Khan et al., 1998; Less., 1996; Less., 2005; Post et al., 2003; Uijt et al.,1999; Vallee et al., 2002) pero la mayoría de los autores coinciden en que deben estar presentes tres factores (Anexo3):

- Un evento iniciador o evento primario en alguna unidad.
- La propagación de ese accidente a una o más unidades (eventos secundarios).
- Una intensificación de las consecuencias, generando un accidente más grave que el primario.

Un análisis realizado en 2011 evidencia que la mayoría de los accidentes dominó involucran sustancias inflamables y que los incendios han sido los accidentes más provocados en un record de 43%, dentro de los cuales el escenario más específico el charco de fuego resultando en un escalado 80% de accidentes dominó iniciados por el fuego. ( Dueñas, 2018; Ibarra; 2016; Ibarra *et al* 2015)

La evaluación de posibles escenarios dominó comienza con la identificación de los objetivos secundarios que pueden ser alcanzados por un evento primario. Ello se realiza utilizando los valores límites de ciertas propiedades que pueden dañar a los equipos en el entorno. Estos “valores umbrales” dependen de dos factores; el vector escalado y el objetivo que es alcanzado por el evento primario.(Cozzani *et al.*, 2006) El vector de escalado es necesario en los accidentes de carácter continuado, que,

no es más, que un vector de efectos físicos generados por el escenario de accidente primario, el cual causa su propagación. (Necci *et al.*, 2015).

La relación entre los efectos físicos del accidente primario y el daño potencial causado sobre las unidades cercanas y partes del equipamiento, referidas como modelos de vulnerabilidad tiene como objetivo calcular una probabilidad de daño como una función de la intensidad de los efectos físicos y de las características constructivas.(ABOUD *et al*, 2008; Cozzani *et al* , 2006)

El efecto físico en el que se manifieste el escenario puede ser responsable del escalonado: onda expansiva calor de radiación y proyección de fragmentos. (Kadri *et al.*, 2013).

En accidentes industriales las ondas expansivas, pueden generarse a partir de diversos escenarios: roturas de tanques, explosiones de nubes de vapor, BLEVE y explosiones de vapores condensados. Junto a las ondas expansivas las explosiones pueden generar, además, proyección de fragmentos, es usualmente provocada por explosiones internas, causando la falla de equipos, siendo parte de la energía de la explosión empleada para proyectar fragmentos.(Laurent <sup>a,b</sup> *et al* , 2016; Cozzani *et al*, 2006; Michael *et al*, 2016)

Los incendios estacionarios como charcos de fuego son responsables de la gran mayoría de los eventos escalonados en accidentes industriales.(Gómez *et al*, 2008). El escalado es usualmente retardado con respecto al evento inicial, por ser el efecto térmico dependiente, en gran medida, del tiempo. El lapso de tiempo entre el inicio del accidente de incendio y la falla en el equipo dañado por el fuego se denomina tiempo de falla (*t<sub>tf</sub>* por sus siglas en inglés *time to failure*). El tiempo de falla es necesario determinarlo y existen en la literatura correlaciones para estimarlo.(Kusumkant *et al* ,2016; Nima *et al*, 2015)

Según Necci (Necci *et al.*, 2015), los modelos de vulnerabilidad de equipos son las herramientas más usadas para permitir la evaluación de probabilidad e intensidad de escenarios secundarios, debido a la necesidad de un análisis minucioso de las

consecuencias del escenario primario y el daño estructural potencial causado por los recipientes secundarios.

La evaluación de posibles escenarios dominó comienza con la identificación de los objetivos secundarios que pueden ser alcanzados por un evento primario. Ello se realiza utilizando los valores límites de ciertas propiedades que pueden dañar a los equipos en el entorno. Estos “valores umbrales” dependen de dos factores: el vector de escalado y el objetivo que es alcanzado por el evento primario. Así los efectos físicos que pueden producir un escalado de las consecuencias son la radiación ( $W/m^2$ ), la sobrepresión (Pa) y el alcance de los proyectiles (m). Este enfoque es bastante simple, pero la definición de umbrales no específicos da como resultado valores conservativos de los efectos físicos. Para alcanzar una aproximación más realista, (Cozzani *et al.*, 2006; Kadri *et al.* ;2011) presenta valores umbrales en función del mecanismo de propagación y del tipo de objetivo.

La determinación de valores umbrales confiables es clave para la selección de escenarios de propagación creíbles, los que resultan imprescindibles para cuantificar y evaluar accidentes considerando una serie de eventos sucesivos. Si el daño generado por un evento primario supera un cierto valor umbral, el efecto dominó es posible. (J. Loayza *et al.*, 2015; Kidam *et al.*, 2013)

Un análisis detallado de todos los escenarios posibles dominó puede ser muy complicado. Por lo que, la evaluación dominó, debe ser llevada a cabo a diferentes niveles de detalle, dependiendo del contexto y del análisis. (Anexo4) (Nima *et al.*, 2015)

A criterio de la autora de este trabajo es posible el cálculo de la posibilidad de escalado mediante las metodologías antes expuestas las cuales están validadas científicamente por el análisis bibliográfico efectuado en el mismo. Se deben considerar los vectores de escalado para identificar los posibles accidentes secundarios y calcular la probabilidad de cada uno de forma individual. Se tienen en cuenta para esto, parámetros importantes en función del tipo de daño y que la magnitud de las consecuencias de los accidentes secundarios, es mucho mayor que la de los accidentes primarios.

#### **1.4. Herramientas para la evaluación del impacto social de posibles accidentes de incendio y explosión**

El presente epígrafe aborda la evaluación de los riesgos tecnológicos en los procesos químicos industriales, donde es probable la ocurrencia de un accidente mayor (incendio, explosión, escape, derrame). Este se conceptualizó como la probabilidad de sufrir daños o pérdidas humanas, económicas y ambientales como consecuencia del funcionamiento deficiente o accidente de una tecnología aplicada en una actividad

Cozzani et al.,(2013)define las técnicas cualitativas como aquellas técnicas que basan su funcionamiento tanto en los procesos de estimación analítica como en la capacidad o habilidad de los directivos de seguridad, por otra parte, se define este tipo de análisis como aquel que brinda un listado de posibles causas y/o efectos de cada peligro. Analizando estas definiciones podemos concluir que las técnicas cualitativas deben brindar un listado de posibles causas y/o efectos de cada peligro basado ya sea en la experiencia del equipo de realización del análisis o en procesos de estimación analítica.

En la industria petroquímica el riesgo existe desde la extracción, procesamiento, almacenamiento y transporte del petróleo hasta la fase de utilización del producto. Los impactos sociales son principalmente sobre el capital humano, el bienestar humano, el patrimonio cultural, la economía y el comportamiento social.(Hedlund *et al*, 2018)

Una evaluación holística del riesgo debe tener en cuenta, por una parte, el daño físico esperado en las infraestructuras, el número de víctimas, las pérdidas económicas y medioambientales (efectos de primer orden). Por otra parte, las condiciones relacionadas con la fragilidad social y la falta de resiliencia de las comunidades que favorecen que se produzcan los daños (efectos de segundo orden).(Dueñas, 2018; Sergio Carol , 2001)

La gestión de riesgo tecnológico depende de su medición y del grado de precisión con que sean determinadas las variables que lo condicionan y su sinergia. La estructura analítica de los sistemas de indicadores para la evaluación holística del

riesgo, más usados, toman como referente la ecuación (1), conocida en el ámbito de la evaluación de riesgos de desastres como la ecuación de Moncho (Marhaviilas *et al.*, 2011). Esta permite calcular un índice de riesgo total, al evaluar el riesgo físico existente  $R_F$  afectado por un coeficiente  $F$ , que depende de las condiciones de vulnerabilidad social ante un evento catastrófico dado.

$$IR_T = R_F(1 + F) \quad (1.1)$$

En la ecuación original se considera la probabilidad de ocurrencia de un evento igual a uno y los descriptores utilizados alusivos a eventos catastróficos de origen natural. En otros estudios, son utilizadas escalas cualitativas para la evaluación de las variables (muy elevada, elevada, moderada, baja y muy baja), logrando de esta forma una mayor percepción del escenario probable. (Tang *et al.*, 2017)

Los descriptores de riesgo físico, de fragilidad y de falta de resiliencia utilizados en la evaluación holística del riesgo toman distintas unidades. Para estandarizar su valor bruto y transformarlo en valores conmensurables, Hurtado y Cardona en sus estudios optaron por el uso de funciones de transformación. Estas tienen como objetivo el cálculo de los factores de riesgo  $D\phi$  y los factores agravantes del impacto  $I_f$ , a partir de sus correspondientes descriptores: daños físicos  $yD_i$ , fragilidad social  $yF_i$  y falta de resiliencia  $yR_i$ . Los descriptores son datos que se han tomado a partir de estudios previos del riesgo, su valor es determinístico y no contempla el azar o incertidumbre. (Blengini *et al.*, 2017; Kusumkant *et al.*, 2016)

El paso final del análisis es la recomposición del riesgo, que generalmente se dirige al cálculo de los índices de riesgo. Los dos índices más significativos utilizados para evaluar los riesgos industriales son LSIR y riesgo social (expresado por las curvas  $F$  y  $N$ ). Los índices de riesgo numérico simplificados, como los PLL, se pueden obtener a partir de las curvas  $F - N$  (Cozzani *et al.*, 2006).

Por lo tanto, el riesgo individual general en una ubicación determinada se puede calcular sumando el riesgo obtenido de la ecuación anterior para cada evento primario, cada resultado relevante, cada condición meteorológica relevante y cada

secuencia de dominó relevante. Se proporciona un ejemplo de un mapa de riesgos obtenido del procedimiento anterior utilizando el software Aripa-GIS. Si también hay datos disponibles para la distribución de la población en el área afectada por el accidente, el procedimiento permite el cálculo de las curvas de riesgo social. Se muestra un ejemplo (Cozzani et al., 2005). El enfoque descrito en esta sección y basado en el diagrama de flujo se aplicó en varios estudios piloto para la evaluación cuantitativa del efecto dominó, demostrando su validez en aplicaciones de la vida real. Los resultados más significativos se obtuvieron en el análisis del área industrial de Ravenna

**Riesgo (individual):** La frecuencia esperada del daño de referencia que se produce como consecuencia de cualquier escenario de accidente considerado en el análisis, a una persona que está permanentemente presente (24 h por día por año) en un punto determinado del área considerada, sin protección y no hay posibilidad de ser refugiado o evacuado.(Denat, 2017)

**Riesgo (Social):** El riesgo general para la comunidad local debido a la presencia de las fuentes de riesgo en cuestión, generalmente expresadas mediante gráficos de frecuencia-fatalidad (F – N).(Trotz et al., 2018; Denat, 2017)

**Curva de isorriesgos:** Representa los niveles de riesgo individual en torno a la instalación analizada. Una curva de isorriesgos conecta todas las ubicaciones geográficas alrededor de una actividad peligrosa con un riesgo individual igual, es decir, todas las ubicaciones con la misma probabilidad general de letalidad.(Denat, 2017; Cozzani et al., 2013)

Al evaluar la aceptabilidad del riesgo en los seres humanos, generalmente se consideran dos formas de medirlo, distintas y complementarias: el juicio de aceptabilidad del riesgo social e individual.

Por riesgo individual entendemos la probabilidad anual de que un ser humano presente en un punto determinado del espacio muera por cualquier accidente que ocurra en la planta industrial estudiada. Según el marco de HSE "el riesgo social se define como la relación entre la frecuencia y el número de personas que sufren un nivel de daño específico en una población dada a partir de la realización de peligros

específicos". En otras palabras, podríamos decir que el juicio de aceptabilidad del riesgo social cubre la consideración del riesgo inducido por uno, varios o todos los escenarios posibles en toda la sociedad, mientras que el juicio de aceptabilidad del riesgo individual cubre la evaluación de los riesgos inducidos por todos los escenarios posibles en punto dado del espacio.(Trotz et al., 2018)

En la legislación francesa, la evaluación de riesgos sociales se utiliza para decidir si los riesgos son aceptables en una planta industrial, mientras que el riesgo individual se utiliza para crear mapas de riesgos que ayudarán a las autoridades públicas a decidir dónde se permitirá la nueva infraestructura. El propósito de nuestro trabajo es la creación de un método de evaluación de riesgos que podría definirse como social e individual dado que la evaluación se realizará en un escenario específico y un objetivo específico. Ahora presentaremos los dos métodos más utilizados para evaluar la aceptabilidad del riesgo social: la tabla de exposición al riesgo y la curva FN. Los siguientes métodos apuntan a tratar un problema en el que consideramos eso (Trotz et al., 2018; Denat, 2017; Cozzani et al., 2013):

- 1- La lista de todos los posibles escenarios de accidente ya se conoce.
- 2- Se realizó una evaluación de las probabilidades o probabilidades de estos escenarios.
- 3- Se realizó una evaluación de la gravedad de cada escenario con respecto a las consecuencias humanas

A criterio de la autora de esta investigación la forma más adecuada de cuantificar el impacto individual es a través de la confección de las curvas de isorriesgos o mapas de riesgo, siendo esto un paso previo en la determinación del impacto social. Para cuantificar el impacto social se hace necesario la elaboración de las curvas frecuencia-número de fatalidades (F-N).



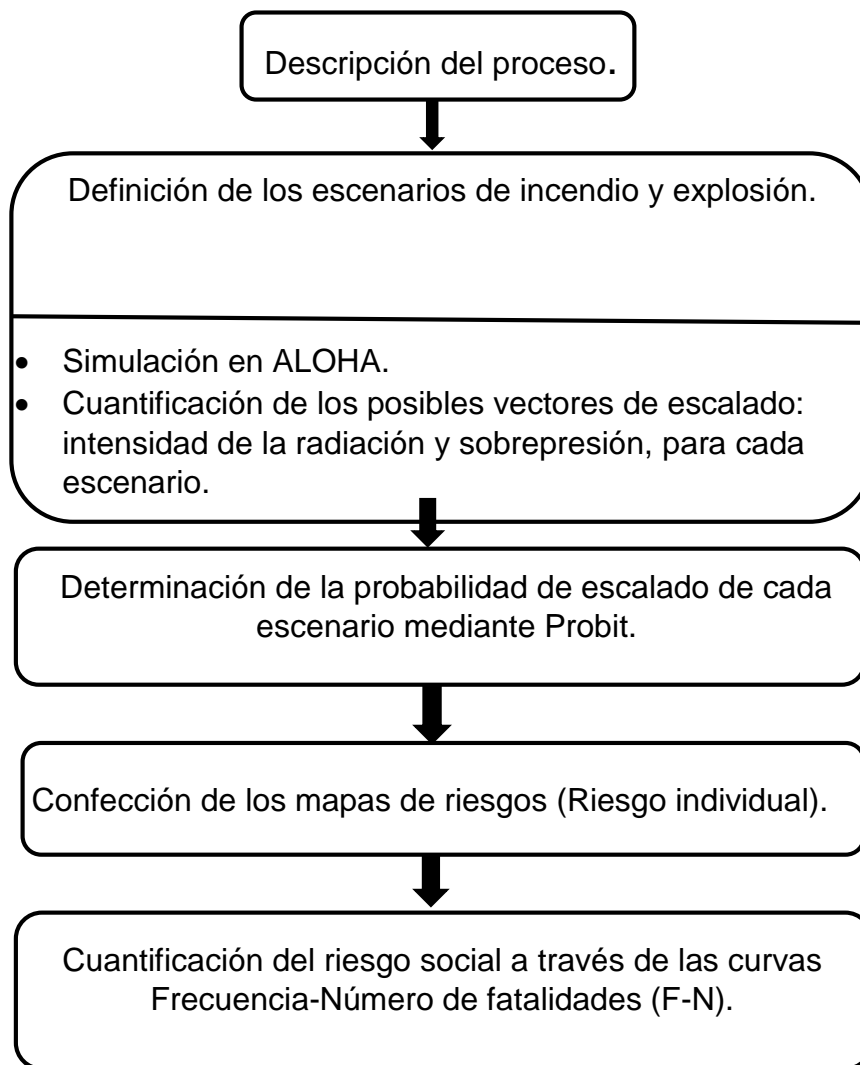
## 1.5 Conclusiones parciales

- 1) En el almacenamiento de combustibles se pueden manifestar los siguientes escenarios relacionados a incendio y explosión: charco de fuego, incendio o explosión de una nube de vapor, BLEVE y borbollón.
- 2) La secuencia del efecto continuado de accidentes es más probable que se desarrolle como máximo hasta los posibles accidentes terciarios, según el análisis histórico de accidentes dominó.
- 3) La literatura especializada concuerdan en que la determinación de la probabilidad de escalado es un paso esencial para el pronóstico del efecto dominó.
- 4) Las técnicas más empleadas para la evaluación del riesgo individual son las curvas de isorriesgos, mientras que, para la cuantificación del riesgo social, son las curvas frecuencia-número de fatalidades (F-N).

## Capítulo 2: Materiales y métodos

En este capítulo se explican las metodologías a utilizar en esta investigación. Es necesario para aplicar cualquier técnica de análisis de riesgo, el conocimiento detallado del proceso que se estudia, por esta razón se ofrece una descripción del proceso de Base en Tierra de la División Territorial de Combustibles de Matanzas. Posteriormente se exponen los procedimientos a seguir resultantes del análisis bibliográfico previamente realizado.

En la figura 2.1 se muestra la metodología general basada en la secuencia lógica de análisis, de acuerdo al objetivo de esta investigación.



**Figura 2.1:** Metodología de la investigación realizada.

## 2.1- Descripción del proceso en Base en tierra

Este sistema tiene la función de garantizar la recepción, almacenamiento y entrega de *Fuel Oil* y Petróleo Crudo de Importación, la cual posee las siguientes facilidades tecnológicas:

Formada por 8 tanques de techo geodésico con membrana de aluminio de 50000 m<sup>3</sup> capacidad, destinados al almacenamiento del Petróleo Combustible en lo adelante (F.O) y 4 de 10000 m<sup>3</sup> de capacidad destinados al almacenamiento de Diesel. (Anexo 5)

En la tabla 2.1 se muestra la caracterización tecnológica de los tanques.

Tanque	Sustancia almacenada	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Diámetro del tanque (m)	Altura operacional (m)
49	Fuel Oil	50000	70	10,792
50	Fuel Oil	50000	70	10,792
51	Fuel Oil	50000	70	10,792
52	Fuel Oil	50000	70	10,792
53	Fuel Oil	50000	70	10,792
54	Fuel Oil	50000	70	10,792
55	Fuel Oil	50000	70	10,792
56	Fuel Oil	50000	70	10,792
69-1	Diesel	10000	24	17,000
69-2	Diesel	10000	24	16,000
70-1	Diesel	10000	24	17,000
70-2	Diesel	10000	24	16,800

## 2.2-Estimación del alcance de los escenarios

Para determinar las características de cada uno de los escenarios es necesario conocer: el diámetro del charco de fuego, la duración del BLEVE y la intensidad de la radiación en un punto dado. Estos son un paso clave en la determinación de la

propagación del accidente, en la evaluación del efecto dominó y en el cálculo de la probabilidad de escalado.

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA), reconoce el *software* ALOHA, como un buen simulador de estos escenarios. Además, este *software* cuenta con alto prestigio internacional y publicaciones del más alto nivel.

La autora de este trabajo, por estas razones, decide utilizar el *software* ALOHA para determinar dichas características.

### **2.2.1-Definición de los escenarios y equipos afectados**

Los escenarios se definen teniendo en cuenta parte del análisis bibliográfico, a partir de la caracterización del área y de las propiedades de las sustancias CAMEO (2019), que son combustibles líquidos con alto grado de inflamabilidad y volatilidad. (Anexo 6)

### **2.2.2- Características y particularidades del software ALOHA**

ALOHA es el acrónimo que se emplea para designar el programa de Ubicaciones Zonales de Atmósferas Peligrosas. Este se ha diseñado para emplearlo por responsables de los servicios de emergencias ante accidentes químicos, así como para la planificación y entrenamiento ante situaciones de emergencia.

El programa ALOHA emplea en sus cálculos dos modelos de dispersión: un modelo Gaussiano para gases ligeros que ascienden rápidamente, y el modelo de Degadis para gases densos que se dispersan a ras de suelo. Estos modelos predicen la velocidad de emisión de vapores químicos que escapan a la atmósfera desde tuberías rotas, fugas de tanques, charcos de líquidos tóxicos en evaporación o directamente desde cualquier otra fuente de emisión. Por lo que, ALOHA es capaz de estimar cómo una nube de gas peligrosa podría dispersarse en la atmósfera después de una descarga química accidental. Contiene una base de datos con información sobre las propiedades físicas de unos 1000 productos químicos peligrosos. Sus cálculos representan un balance entre exactitud y velocidad, puesto

que se ha diseñado para que puedan usarlo los responsables de los servicios de emergencia.

ALOHA ha sido desarrollado conjuntamente por las agencias norteamericanas NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y EPA (Environmental Protection Agency). (User's Manual ALOHA, 2016).

Existen seis pasos básicos e imprescindibles en la simulación con ALOHA que son:

1. Indicar la ciudad, fecha y hora del accidente.
2. Seleccionar el producto químico liberado.
3. Introducir las condiciones meteorológicas.
4. Describir la descarga del producto químico.
5. Mostrar en un gráfico las zonas de peligrosidad.
6. Determinar los niveles de riesgo en una ubicación específica.

ALOHA permite modelar escapes químicos de cuatro tipos y fuentes de emisión:

1. Emisiones directas a la atmósfera.
2. Charcos o piscinas de compuestos químicos en evaporación.
3. Tanques.
4. Tuberías de gases.

Si el producto almacenado es inflamable, pueden producirse tres tipos de accidentes en el tanque:

- a) El compuesto químico vertido se dispersa y se forma una nube tóxica y no arde.
- b) El compuesto químico está ardiendo debido a alguna chispa ocurrida durante el accidente, y se forma un charco de fuego o un chorro de fuego.
- c) BLEVE, una explosión que formará una bola de fuego, mientras el producto restante se acumula en un charco que arde.

Cuando se modela un escenario de BLEVE, ALOHA asume que la totalidad o parte del compuesto químico liberado forma una bola de fuego, y la cantidad restante se acumula en un charco que está ardiendo, este dato se debe introducir o permitir la estimación de ALOHA.

ALOHA brinda como resultado la velocidad promedio de descarga durante el accidente. Se dibujan zonas de riesgo que representan el área en cuyo interior la concentración a nivel del suelo de un gas contaminante excederá del nivel de preocupación (LOC: Level of concern) seleccionado por el usuario, después de iniciarse la descarga accidental.

El nivel de preocupación (LOC) se define como el valor umbral a partir del cual se considera que los seres vivos y bienes materiales dentro de dicha zona se encuentren en peligro. Ese peligro puede ser de varios tipos: toxicidad, inflamabilidad o riesgo de incendio, radiación térmica emitida por un incendio y sobrepresión de una nube de vapor que puede causar una explosión.

Si se eligen tres niveles de preocupación, ALOHA mostrará las zonas de preocupación en tres colores: rojo, naranja y amarillo. La zona roja representa el área de mayor peligro, y las zonas naranjas y amarillas las áreas de menor peligro respectivamente.

En el caso de compuestos inflamables que no han comenzado a arder, ALOHA es capaz de mostrar el área de tres posibles escenarios de peligro:

1. Dispersión de una Nube Tóxica (*Toxic Area of Vapor Cloud*).
2. Zonas de Inflamabilidad elevada (*Flammable Area of Vapor Cloud*).
3. Riesgo de explosión debido a la acumulación de vapores (*Blast Area of Vapor Cloud Explosion*).

En el mapa de la Zona de Riesgo, las líneas de trazos representan la incertidumbre en la dirección del viento, y las líneas continuas alrededor de la zona sombreada representan las líneas de confianza de la dirección del viento, donde la probabilidad de que la nube de gas permanezca es superior al 95%.

Se utilizan tres valores de LOC para radiación: - Rojo: 10 kW/m<sup>2</sup> Potencialmente letal en el intervalo de 60 segundos. - Naranja: 5 kW/m<sup>2</sup> Quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 segundos - Amarillo: 2 kW/m<sup>2</sup> Dolor en 60 segundos.

Cuando se modela un escenario de explosión, ALOHA sugiere tres valores de sobrepresión por defecto basados en fuentes ampliamente aceptadas. El programa utiliza estos valores umbrales para crear las siguientes zonas de riesgo:

- Rojo: 8.0 psi (destrucción de edificios). - Naranja: 3.5 psi (probables lesiones graves). - Amarillo: 1.0 psi (rotura de cristales).

Los resultados de ALOHA pueden ser poco fiables si se dan las condiciones siguientes:

- Velocidades de viento muy bajas. - Condiciones atmosféricas muy estables. - Desigualdad de concentración cerca de la fuente de emisión del contaminante. - Cambios de viento y efectos de conducción del terreno.

Además, ALOHA no tiene en cuenta los efectos de:

- Subproductos de incendios, explosiones y reacciones químicas. - Partículas sólidas o radiactivas, los procesos de deposición seca y húmeda que les afectan. - Mezclas de compuestos químicos, no los modela. - Terreno, supone que el suelo es plano alrededor del accidente. - Fragmentos peligrosos tras una explosión, no se modela su trayectoria.

### **2.3- Determinación de la probabilidad de escalado de cada uno de los escenarios.**

Para determinar la probabilidad de escalado se debe determinar previamente el tiempo de falla. Este depende, en caso de escenarios de incendios, del volumen del tanque y de las radiaciones recibidas. Cuando se manifiestan escenarios de explosión solo depende de la sobrepresión. Para estas determinaciones se utiliza la metodología de Cozzani *et al.*, (2007).

En la tabla 2.2 se muestran las ecuaciones que se utilizan para el cálculo.

De esta manera se calculan los valores Probit y luego, a través del software Matlab (2013), se determinan las probabilidades de escalado de los accidentes primarios con escenarios de incendio y explosión.

**Tabla 2.2:** Modelos de vulnerabilidad para tanques a presión atmosférica.

Vector de escalado	Valor umbral	Tipo de modelo de probabilidad	Modelo de probabilidad	Ecuación
Radiación	I>15 kW/m <sup>2</sup>	Modelo Probit basado en <i>tff</i> y modelos para <i>tff</i> vs. <i>radiación</i> .	$Y = 9.25 - 1.847 \cdot \ln(tff / 60)$	2.1
			$\ln(tff) = -1.13 \cdot \ln(I) - 2.67 \cdot 10^{-5} V + 9.9$	2.2

Fuente: Cozzani *et al.*, (2007).

### 2.3.1- Determinación de la frecuencia inicial de los accidentes

Para determinar la frecuencia con la cual ocurren los accidentes en el área, con escenarios de incendios y explosión, se realiza un análisis histórico de accidentes tomando como referencia los últimos diez años de explotación de la planta.

### 2.3.2-Cuantificación de la frecuencia del suceso inicial

Para cuantificar la probabilidad de escalado se aplica el árbol de eventos. Los árboles de eventos son una herramienta mayor en el análisis de consecuencias. Se usan para el cálculo de probabilidades de diferentes escenarios que se han identificado durante un estudio de seguridad. Desde el suceso inicial, que generalmente, es una pérdida de contención, se analizan la funcionalidad y la falla de subsistemas de seguridad, teniendo en cuenta una lógica consecuente. Esto resulta en una estructura en forma de árbol, con las ramas de izquierda a derecha. Cuando se le asigna una probabilidad a cada rama, se puede determinar la probabilidad de cada escenario posible luego de iniciarse el evento inicial.

Las etapas en un Análisis de Árbol de Eventos (ETA) son las siguientes:

Etapa 1- Identificar el evento inicial: Usualmente, este es un evento de falla correspondiente al derrame de un material peligroso.



Etapa 2- Identificar el desarrollo del incidente: Considerando el control sobre la situación y la posible mitigación.

Etapa 3- Construir el árbol de eventos: A cada nodo de falla, los eventos alternativos que afectan materialmente el escenario y son los siguientes:

- ✓ El árbol de evento se construye de izquierda a derecha.
- ✓ A cada nodo de falla, se muestran los eventos alternativos que materialmente afectan el escenario.
- ✓ El evento que se sitúa en la rama superior es el afirmativo.

Etapa 4- Clasificar los escenarios del incidente: El árbol de evento se desarrolla hasta conocer el escenario objetivo del análisis. Puede ser razonable desarrollar el árbol hasta que se llegue a un accidente mayor.

Etapa 5- Estimar la probabilidad de cada rama en el árbol: A cada rama le corresponde una probabilidad condicional que suman 1.

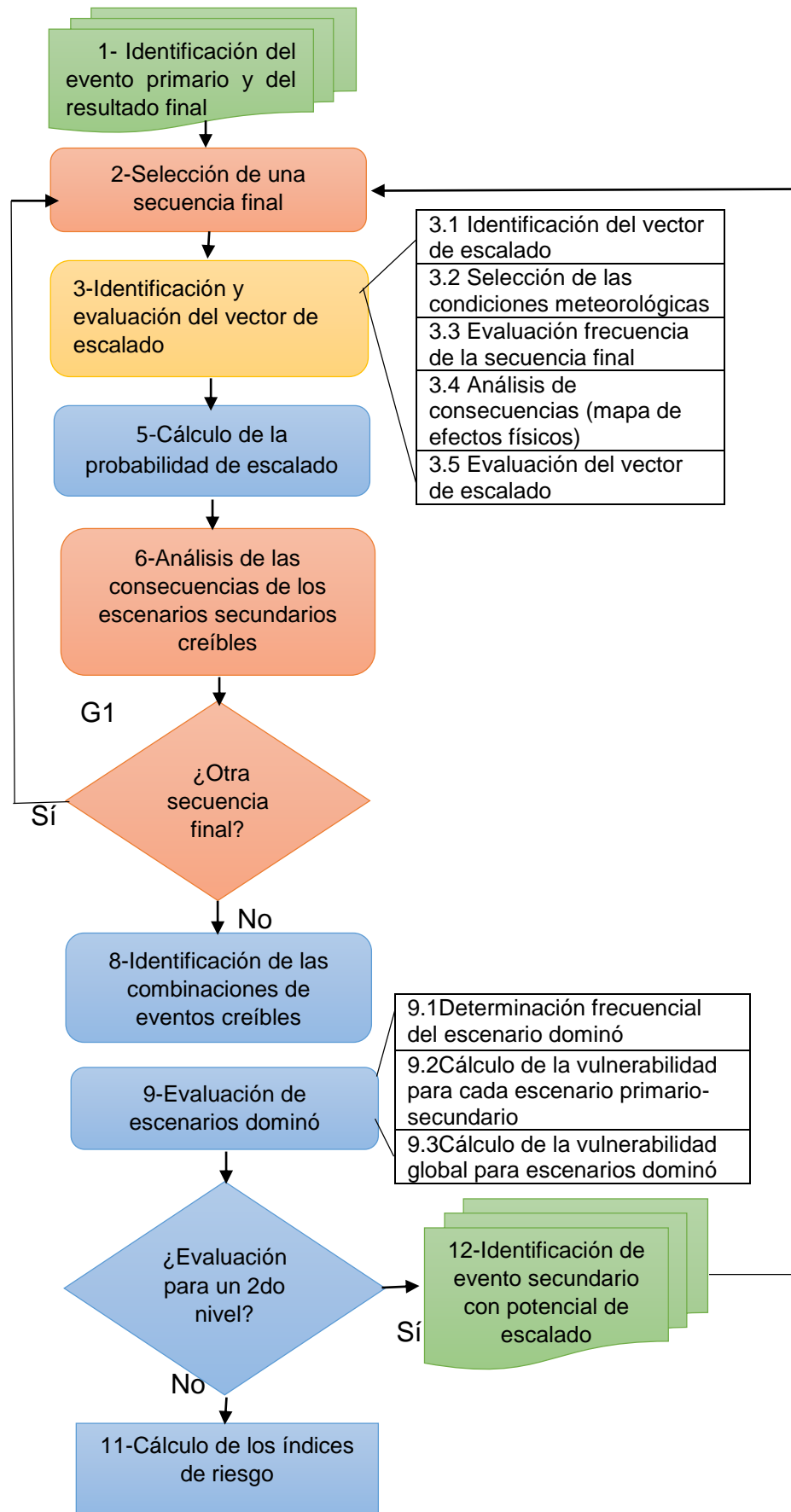
Etapa 6- Cuantificar la probabilidad de los escenarios y revisar su exactitud: La frecuencia de cada escenario se determina multiplicando la frecuencia del evento inicial por las probabilidades condicionales de cada rama hasta llegar al escenario.

#### **2.4- Metodología para la cuantificación de riesgo individual y social**

Para la cuantificación del riesgo individual y social a través de las curvas de isorriesgos y de riesgo vs número de fatalidades respectivamente se emplea la metodología descrita en la figura 2.2.

El punto de partida de la evaluación es la identificación de eventos primarios que tienen un potencial de escalado no insignificante (paso 1 en la Figura 2.2). La técnica del árbol de eventos se puede aplicar para identificar los posibles resultados finales (por ejemplo, incendios en grupo, explosiones de nubes de vapor y fuegos de reacción) de los "eventos principales" relevantes identificados por HazOp convencional.

En un marco de QRA, todos los resultados finales que generan un vector de escalado creíble deben considerarse para la evaluación.



**Figura2.2:** Metodología para la cuantificación de la probabilidad conjunta.

Al final del Paso 1 se debe obtener una lista de vectores de escalado y resultados finales asociados a todos los eventos primarios relevantes. La relevancia real de cada uno de los resultados finales identificados en el Paso 1 se evalúa en los pasos 3 y 4 del procedimiento.

Los modelos convencionales para el análisis de consecuencias se pueden usar para calcular un mapa de los efectos físicos generados por el resultado final (por ejemplo, la intensidad de radiación debida a un incendio y la sobrepresión máxima debida a una onda explosiva), obteniendo así la intensidad del vector de escalado (Paso 3 del procedimiento en la figura 2.2).

La comparación entre los umbrales de escalado y el valor del vector de escalado en la posición de todos los objetivos secundarios relevantes permite la identificación de elementos de equipo que pueden ser dañados por el vector de escalado, iniciando así un escenario secundario.

Al llevar a cabo este procedimiento, se debe prestar atención específica a los escenarios influenciados por las condiciones meteorológicas (dirección y velocidad del viento y categoría de estabilidad atmosférica), tales como charco de fuego o dispersiones que conducen a una explosión de nubes de vapor; cuando se consideran tales escenarios, la evaluación debe repetirse considerando todas las diferentes condiciones meteorológicas relevantes en el área (Paso 3.2), como se hace generalmente en un estudio QRA.

Es evidente que, si no se identifica ningún objetivo secundario en el Paso 4 para un resultado final dado, esto puede ignorarse en los siguientes pasos del análisis. Por lo tanto, el paso 4 es crucial para limitar la complejidad del análisis.

Los pasos 1 a 4 permiten la identificación de los resultados finales relevantes y la evaluación de su frecuencia esperada, definida como  $fpe$  en la siguiente discusión (frecuencia del evento primario en la secuencia de dominó). La frecuencia esperada de un evento de escalado único (es decir, un evento primario que desencadena un escenario accidental secundario) se puede calcular por la ecuación 2.1.

$$f_{de} = f_{pe} \cdot P_d \quad (2.1)$$

Donde  $f_{de}$  es la frecuencia esperada del evento dominó (eventos / año),  $f_{pe}$  es la frecuencia esperada (eventos / año) del evento primario (PE) de la secuencia de dominó (obtenida considerando la frecuencia del evento principal, la probabilidad del resultado final y la probabilidad de condiciones meteorológicas si es relevante) y  $P_d$  es la probabilidad de escalado (E) dado el evento primario se muestra en la ecuación 2.2.

$$P_d = P(E/PE) \quad (2.2)$$

La frecuencia esperada del evento primario se obtiene en el Paso 3.1 del procedimiento (consulte la Figura 2.2) y puede calcularse considerando la frecuencia del evento crítico, los árboles de eventos cuantificados y los datos meteorológicos generalmente disponibles en un estudio QRA o en la seguridad informe de la instalación en cuestión. La probabilidad de escalado debe evaluarse utilizando modelos probabilísticos específicos de daños del equipo, o modelos alternativos propuestos en la literatura.

Las relaciones anteriores solo son válidas si es razonable suponer que el evento primario y el evento secundario pueden tener lugar al mismo tiempo solo debido al escalado. Esto significa que el evento primario y el evento secundario deben considerarse "mutuamente excluyentes" desde un punto de vista probabilístico, a menos que se produzcan efectos de escalado.

Esta suposición se justifica si las frecuencias esperadas del evento primario y el evento secundario no desencadenado por el escalado tienen valores suficientemente bajos. Debe observarse que, en lo siguiente, los escenarios secundarios se definirán de manera conservadora como simultáneos o "contemporáneos" al evento primario, incluso si en realidad se llevarán a cabo en secuencia (pocos segundos o pocos minutos después del evento primario, dependiendo del vector de escalado primario y la intensidad de pérdida en la unidad secundaria dañada por el evento primario).

En un diseño complejo, generalmente un solo evento primario puede ser capaz de activar simultáneamente más de un evento secundario. Esto ha sido documentado en varios accidentes pasados. En este marco, la ecuación 2.1 sigue siendo válida, lo que genera la probabilidad general de que un evento secundario determinado se inicie por el evento primario considerado. Sin embargo, las frecuencias de los escenarios de dominó deben calcularse teniendo en cuenta la posibilidad de tener más de un escenario secundario desencadenado por el mismo evento primario (Pasos 8 y 9 en la Figura 2.2).

Si se ignora el posible escalado simultáneo de eventos secundarios, los eventos de escalado pueden considerarse razonablemente independientes desde un punto de vista probabilístico. Por lo tanto, si  $N$  son posibles eventos secundarios, la probabilidad de un escenario secundario dado por una combinación genérica de  $k$  eventos secundarios ( $k \leq N$ ) se puede calcular por la ecuación 2.3:

$$Pd^{(k,m)} = \prod_{i=1}^N [1 - Pd, i + \delta(i, J_m^k)(2 \cdot Pd, i - 1)] \quad (2.3)$$

Donde  $Pd, i$  es la probabilidad de escalada para el último evento secundario definido por la ecuación 2.2,  $J_m^k = [\gamma_1, \dots, \gamma_k]$  es un vector cuyos elementos son los índices de la combinación  $m$  de  $k$  eventos secundarios, y la función  $\delta(i, J_m^k)$  se define por la ecuación 2.4:

$$\delta(i, J_m^k) = \begin{cases} 1, & x \in J_m^k \\ 0, & x \notin J_m^k \end{cases} \quad (2.4)$$

El número total de escenarios de dominó en los que el evento primario desencadena  $k$  eventos secundarios contemporáneos se calcula por la ecuación 2.5:

$$v_k = \frac{N!}{(N-k)! \cdot k!} \quad (2.5)$$

Por lo tanto, el número total de diferentes escenarios de dominó que puede generar el evento primario se calcula por la ecuación 2.6:

$$v = \sum_{k=1}^N v_k = 2^N - 1 \quad (2.6)$$

Donde  $n$  es el número total de escenarios de dominó que deben evaluarse en el análisis cuantitativo de efectos dominó, a menos que se apliquen criterios de corte basados en valores de frecuencia.

Es evidente que la ecuación (2.6) evidencia que se generará un número muy alto de combinaciones posibles. En el marco actual, donde los recursos computacionales aumentan constantemente, esto ya no es un problema si se cuenta con una herramienta de software dedicada. La frecuencia esperada de una combinación genérica  $m$  de  $k$  eventos se calcula por la ecuación 2.7:

$$f_{de}^{(k,m)} = f_{pe} \cdot P_d^{(k,m)} \quad (2.7)$$

En la aplicación del procedimiento, la combinación  $(k, m)$  puede descuidarse si el valor de frecuencia cae por debajo de un umbral dado. Esto debe decidirse sobre la base de los valores de riesgo que se consideran de interés en el análisis. La probabilidad total de que se produzca una escalada se puede calcular por la ecuación 2.8:

$$P_e = \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^{v_k} P_d^{(k,m)} \quad (2.8)$$

La frecuencia esperada del evento primario en ausencia de escalado se puede calcular por la ecuación 2.9:

$$f_{pe,n} = f_{pe} \cdot (1 - P_e) \quad (2.9)$$

El enfoque presentado anteriormente puede extenderse para evaluar eventos de dominó de nivel superior (G2 en la Figura 2.2). Si se considera un efecto dominó de segundo nivel, se debe evaluar la probabilidad de escalado,  $P_d$ , para cada combinación secundaria de eventos (escenario primario - escenarios secundarios simultáneos) seleccionados (Paso 9 en la Figura 2.2).

Esto requiere considerar una suma de efectos físicos (por ejemplo, la radiación general en una ubicación dada de los incendios simultáneos) o la suma de las probabilidades de escalado (por ejemplo, en el caso de una explosión seguida de un incendio).

La ecuación (2.7) se puede usar para evaluar la frecuencia del escenario de dominó de nivel superior, donde  $f_{pe}$  se convierte en la frecuencia de la combinación de interés de dominó. Puede entenderse fácilmente que la extensión de este enfoque a los efectos dominó de nivel superior aumenta en gran medida los recursos computacionales requeridos para llevar a cabo los cálculos.

Los efectos sinérgicos no se tienen en cuenta en los modelos disponibles para el análisis de consecuencias. Una evaluación detallada de las consecuencias requeriría que cada escenario se analice con herramientas específicas, teniendo en cuenta el diseño e introduciendo en el análisis una caracterización geométrica completa del problema.

Las consecuencias del accidente pueden compararse con los efectos físicos (radiación y sobrepresión) para cada uno de los resultados primarios y secundarios considerados, sin tener en cuenta la evaluación de los posibles efectos sinérgicos.

Este enfoque obviamente resulta en una simplificación excesiva del problema, permitiendo solo una estimación aproximada de las posibles consecuencias reales de los escenarios dominó. Sin embargo, este supuesto parece aceptable en un marco QRA. Por lo tanto, la evaluación de las consecuencias de los posibles escenarios de dominó puede llevarse a cabo para dar algunos pasos:

- la evaluación de las consecuencias del escenario primario y de cada uno de los eventos secundarios mediante modelos convencionales utilizados para la consecuencia.

- el cálculo de un "mapa de vulnerabilidad" para cada uno de los escenarios de preocupación.

- la combinación de los "mapas de vulnerabilidad" de la primaria y secundaria eventos involucrados para producir las consecuencias generales del escenario de interés de dominó.

Se introducen "mapas de vulnerabilidad" como una matriz que produce la probabilidad de muerte debido al evento como una función de la posición con

respecto a la fuente del evento para permitir una evaluación homogénea de las consecuencias.

Se pueden obtener mapas de vulnerabilidad para cada evento a partir de los mapas de efectos de los resultados finales únicos (calculados en el Paso 3.1) por la aplicación de modelos probit.

El "análisis probit" es un procedimiento de referencia utilizado en QRA para evaluar la relación dosis-efecto para las respuestas humanas a sustancias tóxicas, radiación térmica y sobrepresión.

La consecuencia de un escenario dominó que involucra múltiples eventos simultáneos pueden, por lo tanto, calcularse mediante una combinación de mapas de vulnerabilidad. Considerando a un individuo en una posición genérica con respecto a un escenario de dominó que involucra un evento primario y n escenarios secundarios, la vulnerabilidad (probabilidad de muerte) debida al evento de dominó se calcula por la ecuación 2.10:

$$V_{de} = \varphi(D_{pe}, D_{d,1}, \dots, D_{d,n}) \quad (2.10)$$

Donde,  $D_{pe}$  es la "dosis" debido a los efectos físicos causados por el evento primario que desencadena el escenario dominó y  $D_{d,i}$  ( $i=1$  a  $n$ ) es la dosis debido al  $i$ ésimo escenario secundario. Una correcta definición de la función  $\varphi$  debe tener en cuenta tanto los efectos debidos a la combinación de los efectos físicos de los escenarios contemporáneos como los efectos sinérgicos que surgen de la exposición a los efectos físicos debidos a múltiples escenarios.

Si se desprecian los efectos sinérgicos,  $V_{de}$  puede calcularse como una combinación de las vulnerabilidades debidas a los escenarios únicos que tienen lugar en el evento de dominó. Sin embargo, las vulnerabilidades son en realidad valores de probabilidad, por lo que requieren la aplicación de reglas probabilísticas para su combinación.

Los resultados de un estudio extendido dirigido al análisis de posibles estrategias de combinación alternativas sugirieron la adopción de la siguiente relación para la



evaluación del mapa de vulnerabilidad combinado de un escenario complejo de dominó que se calcula por la ecuación 2.11:

$$V_d^{(k,m)} = \min[(V_p + \sum_{i=1}^n \delta(i, J_m^k), 1] \quad (2.11)$$

Esto corresponde a la evaluación de la suma de las probabilidades de muerte debidas a todos los escenarios involucrados en la secuencia de dominó, con un límite superior de 1.

El paso final del análisis es la recomposición del riesgo, que generalmente se dirige al cálculo de los índices de riesgo. Los dos índices más significativos utilizados para evaluar son los riesgos industriales individual y social (expresado por las curvas F y N). El riesgo individual correspondiente a cada escenario de dominó se puede calcular por la ecuación 2.12:

$$R_{i,de}^{(k,m)} = f_{de}^{(k,m)} \cdot V_{de}^{(k,m)} \quad (2.12)$$

Por lo tanto, el riesgo individual general en una ubicación determinada se puede calcular sumando el riesgo obtenido de la ecuación (2.12) para cada evento primario, cada resultado relevante y cada secuencia de dominó relevante.

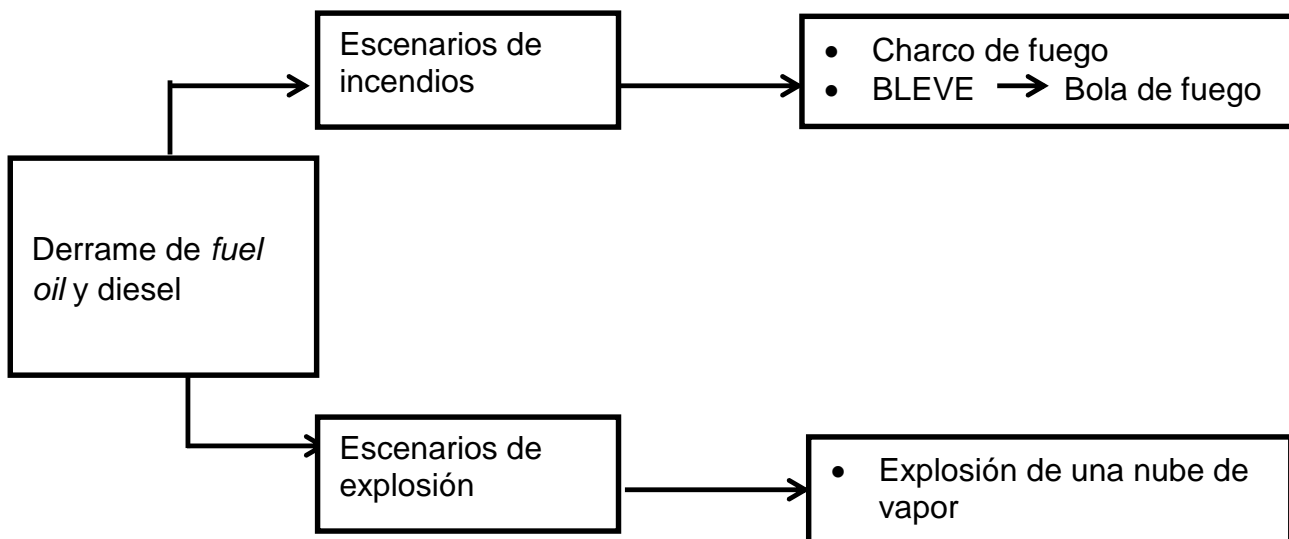
El enfoque descrito en esta sección y basado en el diagrama de flujo en la Figura 2.2 se aplicó en varios estudios piloto para la evaluación cuantitativa del efecto dominó, demostrando su validez en aplicaciones de la vida real.

### Capítulo 3: Análisis de los resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos y se analizan los mismos. Primero, se valoran los resultados de las corridas del *software* ALOHA, referidos a los escenarios identificados según un derrame inicial de *fuel oil* o de diesel. Segundo, se muestran los resultados del análisis histórico y de la determinación de la frecuencia inicial por el árbol de eventos. Luego, se explican los valores de probabilidad de escalado de cada escenario, probabilidad conjunta y vulnerabilidad. Finalmente, se analizan las curvas de isorriesgos para la cuantificación del impacto individual y las curvas F-N, para el impacto social.

#### 3.1- Análisis de los resultados del software ALOHA

En la figura 3.1 se muestran los escenarios que serán analizados a partir de un derrame de *fuel oil* y diesel.



**Figura 3.1:** Posibles escenarios a partir de un derrame de *fuel oil* y diesel.

Para la realización de las corridas en ALOHA se tuvo en cuenta lo siguiente (Anexo 7):

- Se emplean los datos de las variables meteorológicas según Moya, 2016.
- Para el caso de la formación de una nube de vapor, se realizaron corridas para todas las direcciones del viento durante el momento del día, y cada una,

para los dos extremos de temperatura: la media de las temperaturas mínimas y la media de las temperaturas máximas. Además, se hicieron corridas para la noche (momento de calma) en función de las dos temperaturas extremas.

- En el caso del charco de fuego, las corridas se realizan para los cuatro momentos extremos (día a temperatura máxima y mínima y noche a temperatura máxima y mínima).
- En el caso del BLEVE se realiza una sola corrida por cada tanque, puesto que este fenómeno solo depende de la cantidad del material involucrado en el mismo y de la geometría de la fuente.

Se muestran los resultados para el tanque 49, tanque 53 y tanque 69-1, que son los tanques más propensos a la ocurrencia de accidentes.

### **3.1.1- Resultados y análisis del escenario charco de fuego**

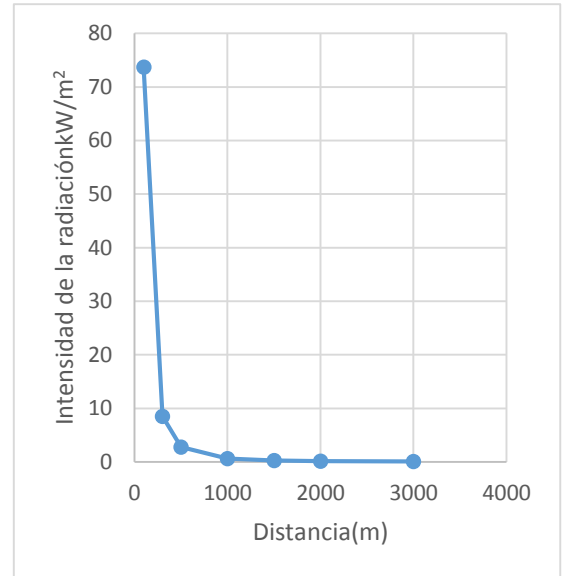
Cuando se produce un escape o vertido de un líquido combustible sobre el suelo en presencia de una fuente de ignición, se produce, entonces, un charco de fuego. En este epígrafe se muestran los resultados de este escenario para los tanques primarios potenciales, correspondientes a las corridas que simulan el escenario de charco de fuego en los mismos. En este epígrafe se muestran los resultados que causan mayor daño, correspondientes a las corridas que simulan el escenario charco de fuego.

Luego de realizar todas las corridas relacionadas a este escenario, se puede plantear que las condiciones meteorológicas como la temperatura no varían considerablemente los parámetros que definen al mismo. Sin embargo, según Wells, (2003) y Fabbri *et al.*, (2017); la velocidad del viento sí es un parámetro que incide directamente en el ángulo de inclinación de la llama y este último a su vez, varía el diámetro del charco y la longitud de la misma. Esto se tendrá en cuenta para valorar el escalado del accidente primario.

En las figuras 3.2a y 3.2b se muestra el alcance que tienen las radiaciones de charco de fuego con respecto al tanque 49 y los valores de intensidad de la radiación en función de las distancias.



**Figura 3.2a:** Alcance del escenario charco de fuego en el tanque 49.



**Figura 3.2b:** Distancia vs intensidad de la radiación en el tanque 49.

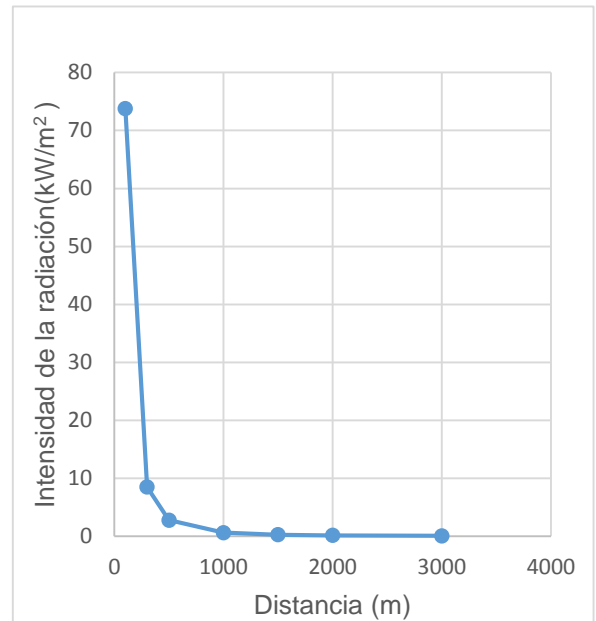
En la figura 3.2a se puede apreciar que en la zona roja (radiaciones mayores a  $10\text{ kW/m}^2$ ) se encuentran los tanques 50 y 51 y esto quiere decir que el accidente tiene altas probabilidades de escalar y de producir efecto dominó a partir de esta unidad de proceso.

En la figura 3.2b se muestra que para una distancia de aproximadamente 300m va a existir una radiación de aproximadamente  $75\text{ kW/m}^2$  y a partir de ahí comienza a disminuir puesto que a medida que aumenta la distancia disminuye la intensidad de la radiación, y a una distancia menor que esta toda unidad de proceso va a estar en el radio del charco de fuego como es el caso de 69-1, 70-1 y 70-2.

En las figuras 3.3a y 3.3b se muestra el alcance que tienen las radiaciones de charco de fuego con respecto al tanque 53 y los valores de intensidad de la radiación en función de las distancias.



**Figura 3.3a:** Alcance del escenario charco de fuego en el tanque 53.



**Figura 3.3b:** Distancia vs intensidad de la radiación en el tanque 53

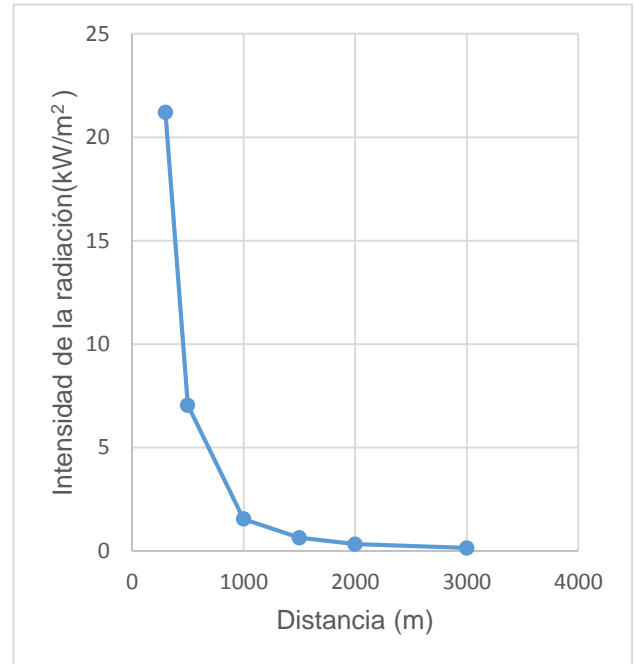
En la figura 3.3a se muestra el alcance que tiene el escenario charco de fuego en el tanque 53 donde se aprecia que en la zona roja se encuentra los tanques 52 y 54, evidenciando que este escenario tiene una elevada potencialidad de escalado y de producir efecto dominó a partir de esta unidad de proceso.

En la figura 3.3b se muestra que para una distancia de aproximadamente 300m va a existir una radiación de aproximadamente 75 kW/m<sup>2</sup> y a partir de ahí comienza a disminuir puesto que a medida que aumenta la distancia disminuye la intensidad de la radiación.

En las figuras 3.5a y 3.4b se muestra el alcance que tienen las radiaciones de charco de fuego con respecto al tanque 69-1 y los valores de intensidad de la radiación en función de las distancias.



**Figura 3.4a:** Alcance del escenario charco de fuego en el tanque 69-1.



**Figura 3.4b:** Distancia vs intensidad de la radiación en el tanque 69-1.

En la figura 3.4a se muestra el alcance que tiene el escenario charco de fuego en el tanque 69-1 donde se aprecia que en la zona roja se encuentra los tanques 54,55;56;69-2;70-1y70-2, evidenciando que este escenario tiene una elevada potencialidad de escalado y de producir efecto dominó a partir de esta unidad de proceso provocando un accidente de gran magnitud.

En la figura 3.4b se muestra que para una distancia de aproximadamente 500m va a existir una radiación de aproximadamente 22 kW/m<sup>2</sup> y a partir de ahí comienza a disminuir puesto que a medida que aumenta la distancia disminuye la intensidad de la radiación.

Es más posible el escalado en el tanque 69-1(figura 3.4a) porque afecta a mayor cantidad de unidades de proceso por lo que tiene altas probabilidades de producir efecto dominó. En los tanques 49(figura3.2) y 53(figura3.3) el escenario charco de

fuego presenta resultados semejantes. Esto se debe a que ALOHA limita la duración del escenario a una hora. De ahí en adelante, no calcula la evolución del accidente por los cambios significativos que pudieran ocurrir.

### 3.1.2- Resultados y análisis del escenario BLEVE + bola de fuego

El BLEVE se puede originar como accidente secundario a partir de un charco de fuego, como se trata con sustancias combustibles el BLEVE forma como consecuencia una bola de fuego con altos niveles de radiación. Los resultados de ALOHA, para el mismo se muestran en la tabla 3.1

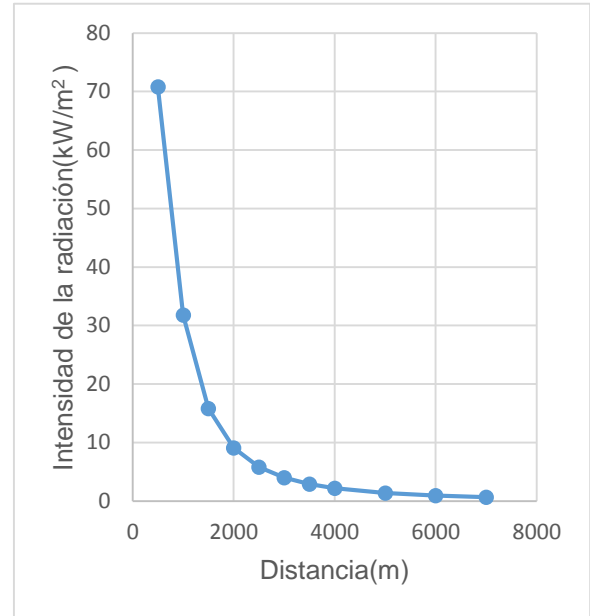
**.Tabla 3.1:** Resultados de la simulación en el software ALOHA para BLEVE más bola de fuego.

Parámetro	Tanques	
	49,51,52,53,54,55,56,69-1,69-2,70-1,70-2	50
Diámetro de la bola de fuego (m)	992	992
Duración (s)	43	43
Distancia que alcanza la radiación de 10,0 kW/m <sup>2</sup> (zona roja) (m)	1900	2000
Distancia que alcanza la radiación de 5,0 kW/m <sup>2</sup> (zona naranja) (m)	2700	2800
Distancia que alcanza la radiación de 2,0 kW/m <sup>2</sup> (zona amarilla) (m)	4200	4300

En las figuras 3.5a y 3.5b se muestra el alcance de la radiación del BLEVE + bola de fuego con respecto al tanque 49 y los valores de intensidad de la radiación en función de las distancias.



**Figura 3.5a:** Alcance del escenario BLEVE + bola de fuego en el tanque 49



**Figura 3.6b:** Distancia vs intensidad de la radiación en el tanque 49.

En la figura 3.5a se puede observar la gravedad de este escenario puesto que Los efectos de las bolas de fuego son devastadores, según Whemeier y Mitropetros, (2016) y Blengini *et al.*, (2017), ya que, en este caso, la radiación que emiten alcanzan una distancia de hasta 4 kilómetros de radio, lo que afecta a toda la empresa y a plantas aledañas, como muestra la figura 3.5a, en la que se expone una imagen del alcance de las radiaciones de las bolas de fuego del tanque 49.

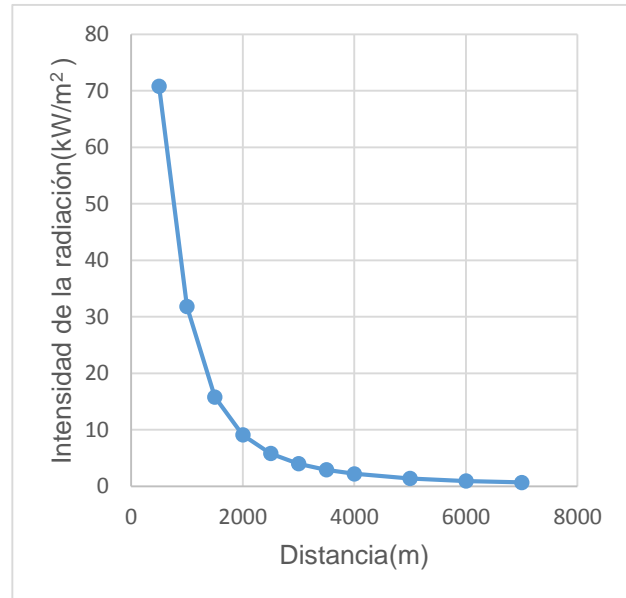
En la figura 3.6b se muestra como hasta 500m de distancia va a existir una intensidad de radiación de 70kW/m<sup>2</sup>, y a una distancia menor que esta toda unidad de proceso va a estar en el radio de la bola de fuego dentro de la cual se encuentra toda la empresa. A partir de ahí comienza a disminuir puesto que a medida que aumenta la distancia disminuye la intensidad de la radiación.



En las figuras 3.6a y 3.6b se muestra el alcance de la radiación del BLEVE + bola de fuego con respecto al tanque 49 y los valores de intensidad de la radiación en función de las distancias.



**Figura 3.6a:** Alcance del escenario BLEVE + bola de fuego en el tanque 53



**Figura 3.6b:** Distancia vs intensidad de la radiación en el tanque 53.

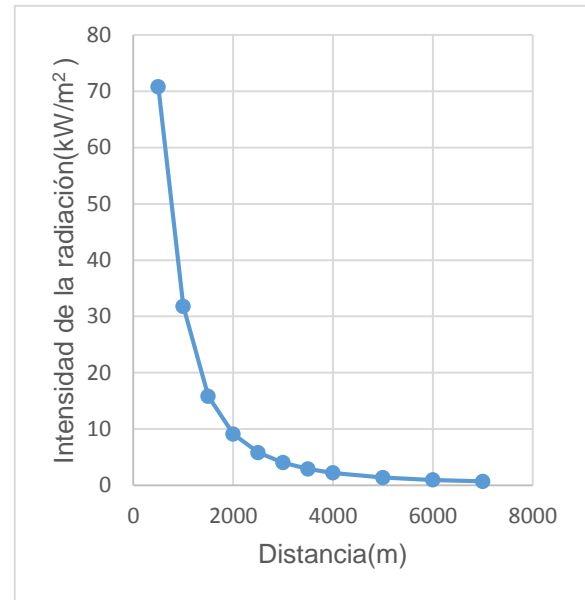
En la figura 3.6a se puede apreciar como este escenario afecta con radiaciones mayores a  $10 \text{ kW/m}^2$  a toda el área correspondiente DTCCM, mientras que la zona amarilla con radiaciones mayores a  $2 \text{ kW/m}^2$  afecta a la zona de Versalles.

En la figura 3.6b que a menos de 500m toda unidad de proceso va a estar en el radio de la bola de fuego.

En las figuras 3.7a y 3.7b se muestra el alcance de la radiación del BLEVE + bola de fuego con respecto al tanque 69-1 y los valores de intensidad de la radiación en función de las distancias.



**Figura 3.7a:** Alcance del escenario BLEVE + bola de fuego en el tanque 69-1



**Figura 3.7b:** Distancia vs intensidad de la radiación en el tanque 69-1.

En la figura 3.7a se aprecia que este escenario en el tanque 69-1 tiene un alto alcance puesto que afecta además de la empresa a poblaciones circundantes como Versalles y Playa.

En la figura 3.7b se muestra que a 500m de distancia va a ver una radiación de 70kW/m<sup>2</sup> y a partir de ahí comienza a disminuir puesto que a medida que aumenta la distancia disminuye la intensidad de la radiación.

El escenario BLEVE + bola de fuego originado en el tanque 49(figura3.5a) es el de mayor alcance puesto que las radiaciones inciden además de en la zona de Versalles en la de Playa y podría provocar un accidente de mayor escala.

En el caso de la radiación superior a  $10 \text{ kW/m}^2$ , esta cubre toda el área correspondiente a la ECCM; mientras que la radiación superior a  $2 \text{ kW/m}^2$  alcanza áreas de zonas pobladas aledañas, lo que daña no solo al personal de la empresa, sino también a los habitantes de la zona de Versailles. Según ALOHA, (2016) las radiaciones superiores a  $10 \text{ kW/m}^2$  son potencialmente letales en menos de 60 segundos de exposición; las superiores a  $5 \text{ kW/m}^2$  provocan quemaduras de segundo grado y las superiores a  $2 \text{ kW/m}^2$ , dolor dentro de 60 segundos.

Según Salzano *et al.*, (2013), el alcance de los fragmentos proyectados puede alcanzar hasta 300 kilómetros sin tropezar ningún objeto. En caso de chocar con algún otro objeto, la penetrabilidad de los fragmentos en el mismo, sería elevada.

Todo lo planteado anteriormente, indica, que el escenario BLEVE más bola de fuego, a pesar de su poca duración, es el que provoca más daños, ya que los límites del alcance de sus radiaciones traspasan las fronteras de la empresa y se extienden hacia las poblaciones aledañas y cuando esto ocurre se está en presencia de un accidente mayor según HSE, (2018). Por lo que, es fundamental, el perfeccionamiento de un sistema contra incendios para evitar que escenarios como este se manifiesten, puesto que se produce como consecuencia de otro, nunca como accidente primario.

### **3.2-Resultados y análisis de la determinación de la probabilidad de escalado de cada escenario**

La probabilidad de escalado se determina con el objetivo de conocer la potencialidad de cada tanque de escalar su accidente primario a accidentes secundarios, terciarios y cuaternarios. Es un paso previo a la determinación de la probabilidad de escalado conjunta, que se multiplica por la vulnerabilidad para determinar el riesgo individual.

Primero, se calcula la frecuencia inicial de los accidentes a través de un análisis histórico de los últimos diez años y con la aplicación de la técnica del árbol de eventos. Luego, se identifican las combinaciones de eventos creíbles y se cuantifica la probabilidad de escalado conjunta.

### 3.2.1- Determinación de la frecuencia inicial de los accidentes

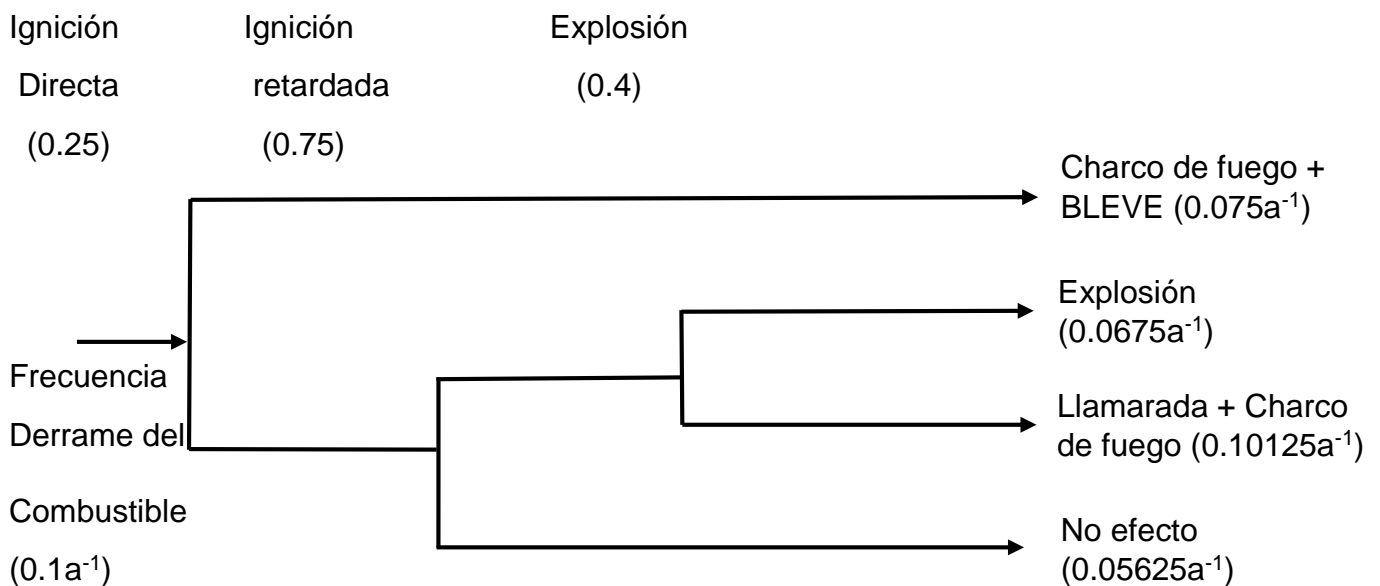
En la tabla 3.2 se muestran los resultados del análisis histórico de accidentes correspondiente a los últimos diez años.

**Tabla 3.2:** análisis histórico de accidentes correspondiente a los últimos diez años.

Sustancia	Cantidad de derrames en diez años	Frecuencia ( $a^{-1}$ )
Diesel	1	0,1
Fuel oil	1	0,1

Esto significa que en un período de diez años ocurrió un solo derrame para cada tipo de combustible, dando como resultado una frecuencia de derrame de 0,1. Este valor es alto respecto a lo reportado por Wells, (2003), BEVI, (2009), Reniers y Cozzani, (2013).

Con este valor de frecuencia inicial se construye el árbol de eventos que se muestra en la figura 3.8 tanto para el diesel como para el *fuel oil*.



**Figura 3.8:** árbol de eventos para el diesel y para el fuel oil.

La probabilidad de ignición directa se determina según Changlong *et al.*, (2012). Al existir evidencia de que se producen incendios en las áreas verdes del área y fallos eléctricos con una frecuencia de  $0,1 \text{ a}^{-1}$  (según el análisis histórico), se plantea que existe una fuente de ignición segura producto de estos eventos; aunque, al tener un buen control de la seguridad del proceso, la probabilidad de ignición directa se reduce a 0,25.

La probabilidad de ignición retardada se determina según BEVI, (2009) como todo lo que no fue probabilidad de ignición directa, en este caso, es 0,75. La probabilidad de explosión se toma 0,4 por tratarse de combustibles líquidos, acorde a lo planteado por Wells, (2003) y BEVI, (2009).

A partir de la aplicación de esta técnica de análisis de riesgo, se cuantifica la probabilidad del suceso inicial charco de fuego con magnitud frecuencial, ya que se parte de la frecuencia inicial del derrame según el análisis histórico. En este caso, el valor de probabilidad, es  $0,075 \text{ a}^{-1}$  y con esta frecuencia es que se inicia el análisis de la probabilidad conjunta del efecto dominó en el área estudiada.

### 3.2.2- Identificación de las combinaciones de eventos creíbles

Para identificar la combinación de eventos creíbles, es necesario conocer los valores de radiación en cada punto representado por cada unidad de proceso, en función de la distancia. Con estos valores de vector de escalado (radiación), se determina la probabilidad de escalado de cada tanque respecto al resto de las unidades de proceso. Las distancias entre los tanques, los valores de radiación y de probabilidad de escalado se muestran en las tablas 3.3, 3.4 y 3.5 respectivamente.

**Tabla 3.3:** Distancias entre los tanques.

Tanques	Distancia (m)											
	49	50	51	52	53	54	55	56	69-1	69-2	70-1	70-2
49	-	107	209	314	461	571	675	780	920	967	934	980

50	107	-	106	207	360	465	560	676	815	867	834	880
51	209	106	-	100	256	360	466	471	711	768	737	782
52	314	207	100	-	155	258	362	465	620	667	644	678
53	461	360	256	155	-	102	212	310	490	536	518	557
54	571	465	360	258	102	-	102	203	401	441	435	472
55	675	560	466	362	212	102	-	110	323	361	361	394
56	780	676	471	465	310	203	110	-	265	288	310	333
69-1	920	815	711	620	490	401	323	265	-	51	51	71
69-2	967	867	768	667	536	441	361	288	51	-	73	51
70-1	934	834	737	644	518	435	361	310	51	73	-	51
70-2	980	880	782	678	557	472	394	333	71	51	51	-

**Tabla 3.4:** Valores de radiación entre los tanques.

Tanques	Intensidad de radiación (kW/m <sup>2</sup> )											
	49	50	51	52	53	54	55	56	69-1	69-2	70-1	70-2
49	-	68	18.5	7.9	3.35	2.1	1.45	1.02	0.66	0.6	0.64	0.69
50	68	-	67	19	5.9	3.3	2.2	1.49	0.95	0.81	0.9	0.8
51	18.5	67	-	75	12.5	5.9	3.3	2.1	1.3	1.1	1.2	1
52	7.9	19	75	-	34.5	12	5.8	3.2	1.525	1.5	1.51	1.48

53	3.35	5.9	12.5	34.5	-	71	18	8	2.9	2.4	2.5	2.15
54	2.1	3.3	5.9	12	2.9	-	71	20	4.5	3.7	3.7	3.1
55	1.45	2.2	3.3	5.8	18	71	-	63	7.1	5.8	5.8	4.7
56	1.02	1.49	2.1	3.2	8	20	63	-	12	9.1	8	6.9
69-1	0.66	0.95	1.3	1.5225	2.9	4.5	7.1	12	-	CF	CF	CF
69-2	0.6	0.81	1.1	1.5	2.4	3.7	5.8	9.1	CF	-	CF	CF
70-1	0.64	0.9	1.2	1.51	2.5	3.7	5.8	8	CF	CF	-	CF
70-2	0.69	0.8	1	1.48	2.15	3.1	4.7	6.9	CF	CF	CF	-

En la tabla 3.4 se puede apreciar que los mayores niveles de intensidad de la radiación son el 49 con respecto al 50 y el 54 con respecto al 55 con 68 y 71kW/m<sup>2</sup>de radiación respectivamente esto quiere decir que estos tanques son los más propensos a provocar un efecto dominó.

**Tabla3.5:** Probabilidad de escalado entre los tanques.

Tanques	Probabilidad de escalado por radiación (kW/m <sup>2</sup> )											
	49	50	51	52	53	54	55	56	69-1	69-2	70-1	70-2
49	-	0.99	0.95	0.4	0.02	0.0	0.18	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00
		99	154	56	871	01	141	E-5	027	016	068	045
				2	7	98	84			534	714	

50	9.99 99	-	0.99 999	0.9 57 28	0.23 576	0.0 26 80 3	0.00 271 79	0.00 016 534	0.00 466 12 714	0.00 068 316 67	0.00 144 12	
51	0.95 154	0.99 999	-	1	0.79 955	0.2 32 7	0.02 619	0.00 192 62	0.02 680 3	0.00 466 12	0.01 658 6 754 94	
52	0.45 62	0.95 728	1	-	0.99 851	0.7 76 37	0.22 363	0.02 275	9.44 E-8	6.82 E-8	8.48 E-8 6.46 E-8	
53	0.02 871	0.23 576	0.79 955	0.9 98 51	-	1	0.94 63	0.46 812	5.44 E-5	8.93 E-6	1.46 E-5 3.40 E-6	
54	0.00 198 84	0.02 680 3	0.02 327	0.7 76 37	1	-	1	0.96 638	0.00 158 89	0.00 034 94	0.00 211 82 9.2 E-5	
55	0.18 141	0.00 271 79	0.02 619	0.2 23 63	0.94 63	1	-	0.99 999	0.02 275	0.00 711 428	0.00 754 94 0.00 205 24	
56	1.17 E-5	0.00 016 534	0.00 192 62	0.0 22 75	0.48 312	0.9 66 38	0.99 999	-	0.18 141	0.06 552 2	0.04 005 9 0.01 922 6	
69-1	0.00 027	0.00 466 12	0.02 680 3	9.4 4E -8	5.44 E-5	0.0 01 58 39	0.02 275	0.18 141	-	CF	CF	CF



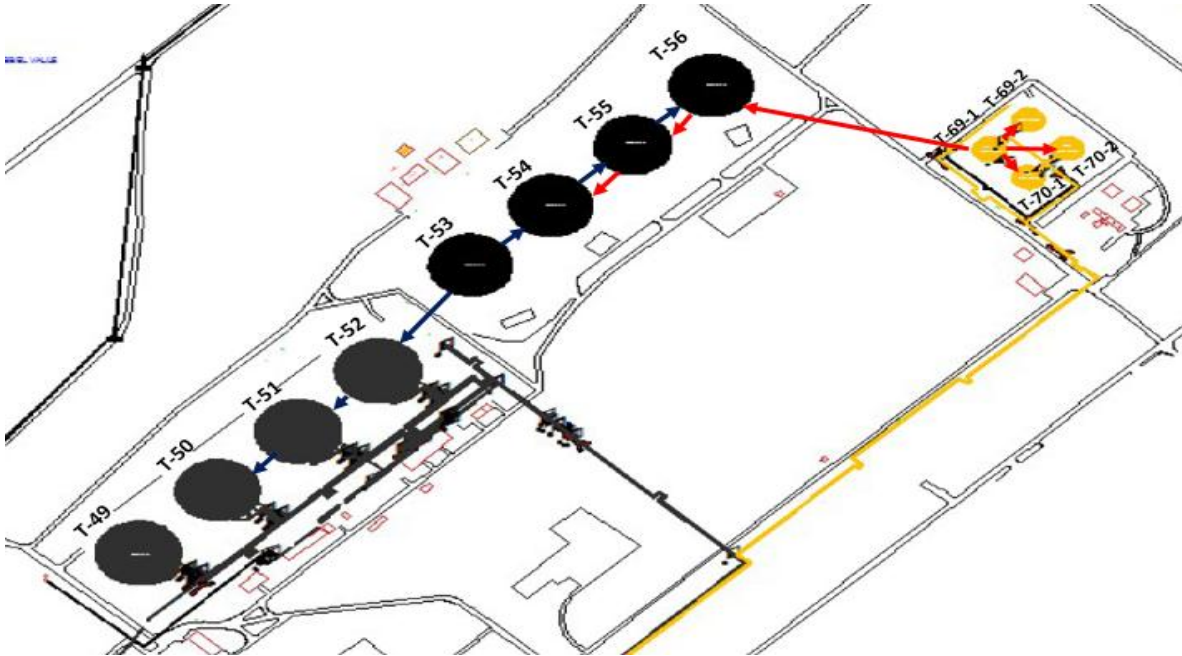
69-2	0.00 016 534	0.00 068 714	0.00 466 12	6.8 2E -8	8.93 E-6	0.0 00 34 94	0.00 711 428	0.06 552 2	CF	-	CF	CF
70-1	0.00 068 714	0.00 316 67	0.01 658 6	8.4 8E -8	1.46 E-5	0.0 02 11 82	0.00 754 94	0.04 005 9			-	
70-2	0.00 045	0.00 144 12	0.00 754 94	4.4 6E -8	3.40 E-6	9.2 E- 5	0.00 205 24	0.09 226				-

En la tabla 3.5 se muestra que las mayores probabilidades de escalado son del tanque 51 con respecto al 52, del 53 con respecto al 54 y del 54 con respecto al 55, todos con una probabilidad de escalado de 100%. Se aprecia además que en el área donde están los tanques de diesel (69-1,69-2,70-1 y 70-2) donde quiera que se origine el escenario los tres tanques restantes van a estar dentro del radio del charco de fuego.

En función de los valores de radiación y de probabilidad de escalado se establecen los tanques 53 y 69-1 como posibles accidentes secundarios, en función de que son los más propensos al escalado del escenario primario charco de fuego. Se toman estos dos tanques, además, como representación de cada subárea. Una primera subárea formada por los ocho tanques de fuel oil y una segunda formada por los cuatro tanques de diesel.

Se analizan cuatro posibles secuencias dominó, tomando, dos secuencias como las más probables y otras dos como las de mayor alcance dentro del área.

Las dos secuencias más probables se muestran en la figura 3.9 y la de mayor alcance se muestra en la figura 3.10.



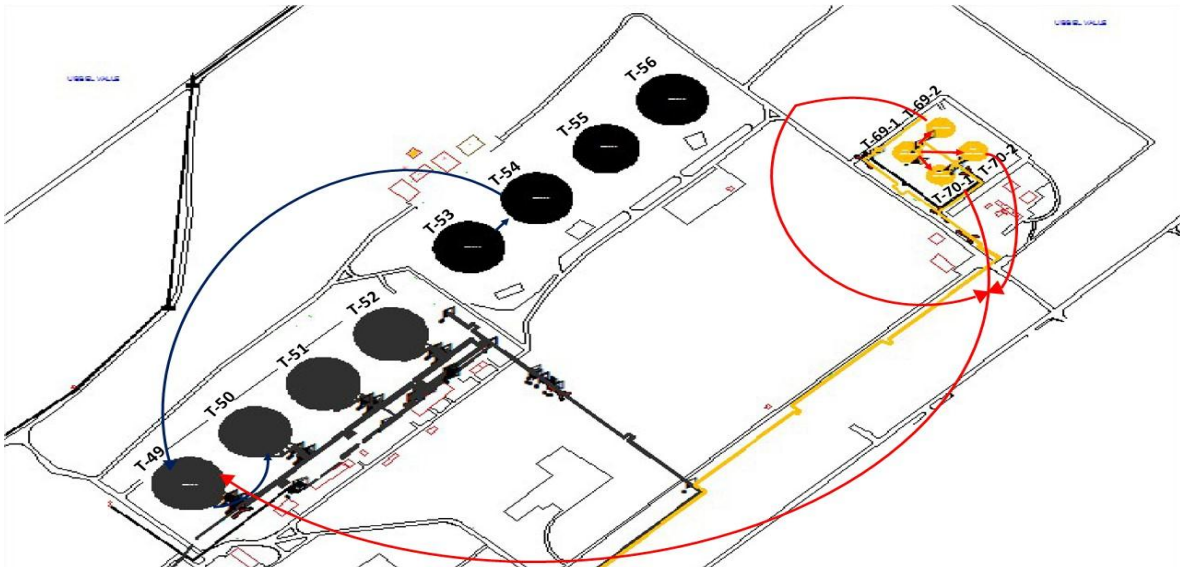
**Figura 3.9:** Secuencias dominó más probables tomando como accidente primario el tanque 53.

A partir de un accidente primario en el tanque 53, se pueden generar dos posibles escenarios secundarios relacionados a los tanques 54 y 52, debido a los altos niveles de radiación y su elevada probabilidad de escalado. Como accidentes terciarios se toman los tanques 55 y 51 producto de las radiaciones provenientes de los tanques 54 y 52 respectivamente. Como escenarios cuaternarios se toman los tanques 50 y 56 producto de las radiaciones del charco de fuego producido en los tanques 51 y 55 respectivamente.

De producirse un charco de fuego como accidente primario en el tanque 69-1, existen cuatro posibles unidades de procesos secundarias: los tanques 70-1, 70-2, 69-2 y 56; los tres primeros estarían dentro del área ocupada por el charco de fuego; mientras que, el tanque 56 estaría expuesto a altos niveles de radiación con una probabilidad de escalado del 99%. El accidente terciario es el tanque 55 y el cuaternario el 54, producto de la cercanía entre ellos.

Las combinaciones de eventos creíbles de mayor alcance se seleccionan teniendo en cuenta el alcance máximo de cada escenario, para analizar hasta dónde podría

influenciar el escalado del accidente con respecto a la distancia. En la figura 3.10 se muestran las dos combinaciones de sucesos analizadas.



**Figura 3.10:** Combinaciones de eventos dominó tomando como accidente terciario al tanque 49 a partir de dos posibles escenarios primarios en los tanques 53 y 69-1.

La primera secuencia mostrada en la figura 3.10 y en Anexo 8 es la relacionada con el escalado a partir de un accidente primario en el tanque 53. Se observa cómo a partir de un accidente primario en el tanque 53, es muy probable que falle el tanque 54, por lo que se establece a este último como la unidad de proceso secundaria. Del tanque 54 puede existir escalado a todos los tanques circundantes, por eso se toma al tanque 49 como unidad terciaria, ya que, a pesar de estar respectivamente alejado del tanque 54 y 53, es probable que ocurra el escalado hasta esta distancia si se tienen en cuenta los efectos sinérgicos de las radiaciones producto de los accidentes en los tanques 53 y 54. De esta forma, se analiza la ocurrencia del efecto dominó desde el punto de vista de las peores consecuencias. Como accidente cuaternario se toma al tanque 50, por el efecto que produciría un accidente terciario en el tanque 49 respecto al mismo.

Si ocurre un accidente primario en el tanque 69-1, existen tres posibles accidentes secundarios en los tanques 69-2, 70-1 y 70-2, ya que estos tres tanques se encuentran dentro del radio del charco de fuego, por lo que estos tanques serían

totalmente abrasados por las llamas. Para analizar las peores consecuencias se toma como accidente terciario al tanque 49 y como cuaternario al tanque 50.

Por lo que, de cualquier modo, si se produce efecto dominó, el alcance del mismo cubre toda el área de la Base en Tierra y de ocurrir BLEVE más bola de fuego, como accidente final, las radiaciones sobrepasarían los límites de la empresa y llegarían a alcanzar poblaciones vecinas como Versailles y Playa.

### 3.2.3- Cálculo de la probabilidad de escalado conjunta

La probabilidad de escalado conjunta se determina como el producto de la frecuencia del accidente primario y las probabilidades de escalado a diferentes niveles. Los resultados de probabilidad conjunta se muestran en la tabla 3.6

**Tabla 3.6:** Resultados de la probabilidad conjunta del efecto dominó.

Secuencia (1-2-3-4)	Probabilidad del suceso				Probabilidad Conjunta
	Primario	Secundario	Terciario	Cuaternario	
53-54,52-51,55-50,56	0,0750	1	1	0,9999	$7,4993 \cdot 10^{-2}$
69.1-70.1,70.2,69.2,56-55-54	0,0750	1	0,9999	1	$7,4993 \cdot 10^{-2}$
53-54-49-50	0,0750	1	0,0139	0,9999	$1,0424 \cdot 10^{-3}$
69.1-69.2,70.1,70.2-49-50	0,0750	1	0,0013	0,9999	$9,7490 \cdot 10^{-5}$

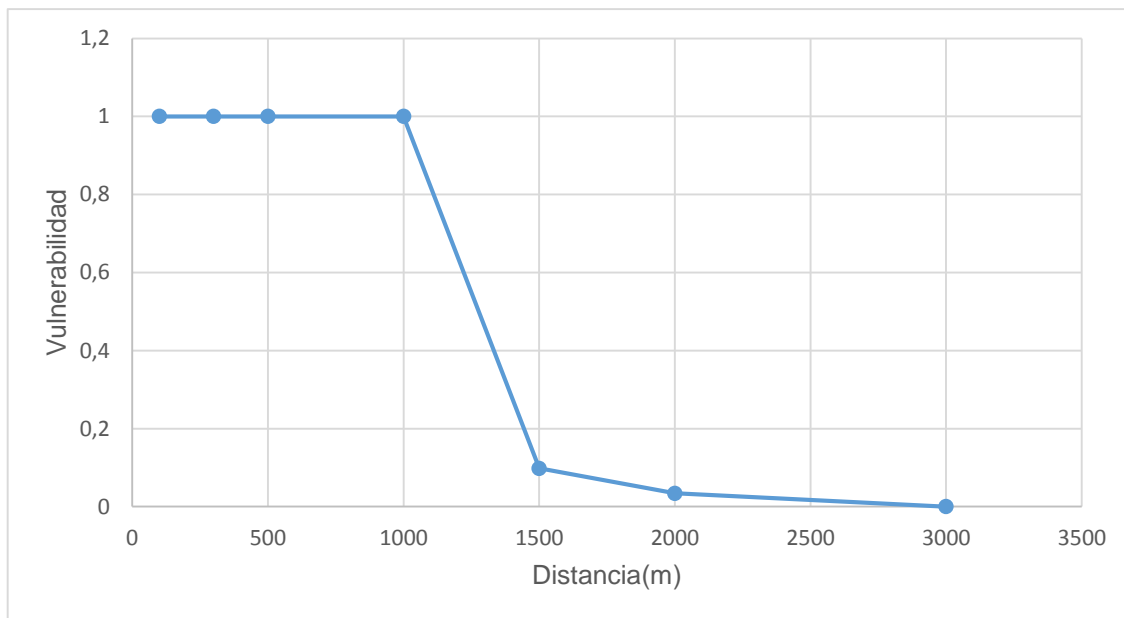
Los mayores valores de probabilidad conjunta corresponden a las secuencias donde es más probable que ocurra el escalado por radiación producto de un charco de fuego originado en los tanques 53 o 69-1. Las otras dos secuencias que son las de mayor alcance, presentan menor probabilidad, ya que, al ser mayor la distancia entre las unidades de proceso involucradas en el escalado, es menor la intensidad de la radiación y, por ende, la probabilidad de escalado.

### 3.3- Resultados y análisis del impacto individual y social debido al efecto continuado de los accidentes

El impacto individual traducido en el análisis de riesgos como curvas de isorriesgos es un paso previo de suma importancia en la cuantificación del riesgo social.

La vulnerabilidad expresa la sumatoria de las probabilidades de perjuicios a las personas debido a las quemaduras por radiación (en el caso de escenarios de incendios) y a la hemorragia pulmonar y rotura de tímpanos por sobrepresión (en el caso de los escenarios de explosión).

En la figura 3.11 se muestra los valores de vulnerabilidad.



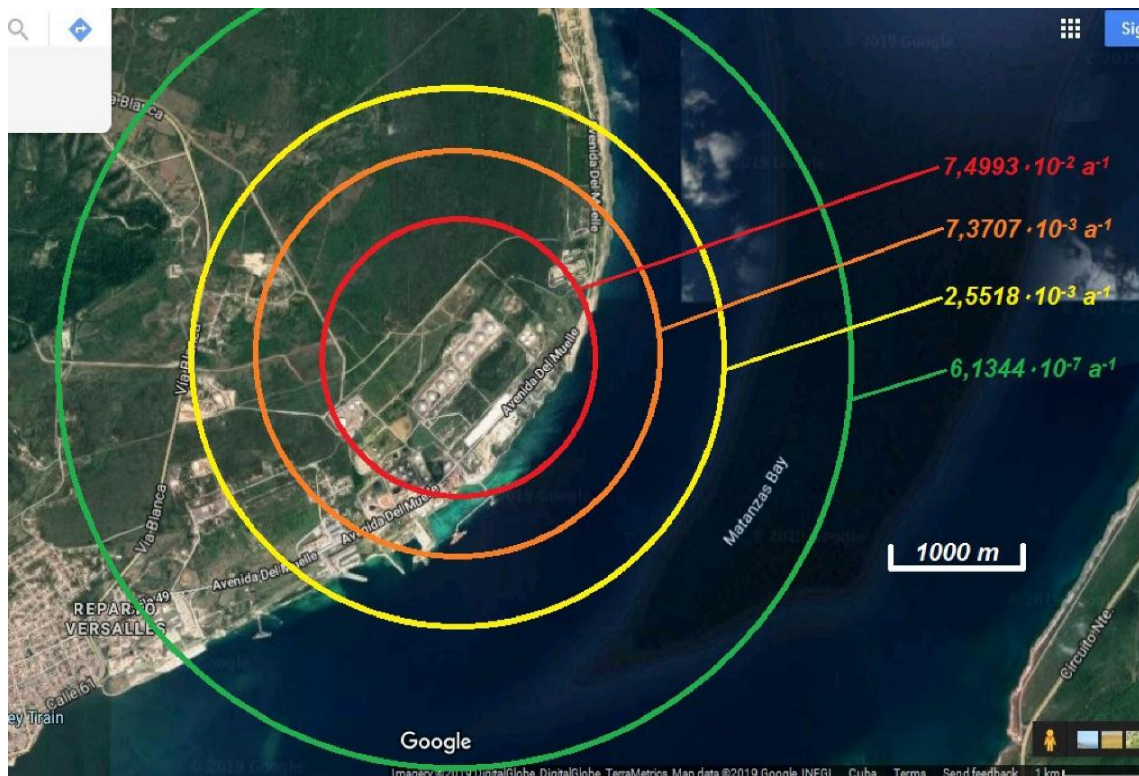
**Figura 3.11:** Curva de distancia vs vulnerabilidad.

Hasta una distancia de 1000 metros la vulnerabilidad tiene su máximo valor: 1. Esto significa que todas las personas que se encuentren dentro de este radio de afectación son totalmente vulnerables a sufrir daños producto de los accidentes. Se toman los valores de vulnerabilidad hasta una distancia de 3000 metros con

6.1344E-07 para posteriormente cuantificar los niveles de riesgo. Estos valores de vulnerabilidad coinciden con los obtenidos por Huyen y Tram, (2018).

### 3.3.1 Resultados y análisis de las curvas de riesgo- número de fatalidades

Con los valores de vulnerabilidad y probabilidad conjunta obtenida se determina el riesgo. Las curvas de isorriesgos se muestran en la figura 3.12



**Figura 3.12:** Curva de isorriesgos a partir del tanque 53.

El nivel de riesgo a una distancia de 1000 metros es  $7.4993 \cdot 10^{-2} a^{-1}$ , esto significa que cada 100 años pueden existir alrededor de 8 fatalidades producto del carácter continuado de accidentes en el área estudiada. A una distancia de 1500 metros pueden existir alrededor de siete fatalidades en trescientos años, y así, a medida que aumenta la distancia disminuyen el riesgo y, por ende, las posibles fatalidades. Según Wells, (2003) estos valores de riesgo son elevados, y no deben descuidarse

las medidas de seguridad industrial. Reniers y Cozzani, (2013) obtuvieron valores similares de riesgo en su investigación.

El impacto social debido al carácter continuado de accidentes se cuantifica a partir de las curvas de riesgo-número de fatalidades (Curvas R-N).

Las personas que pueden estar expuestas a estos niveles de riesgo son los trabajadores de la empresa. Existen un total de 381 trabajadores en el área de operaciones; mientras que, en las oficinas, 280; sumando 661 personas expuestas a estos niveles de riesgo.

En la figura 3.13 se muestra la curva R-N para el área analizada.

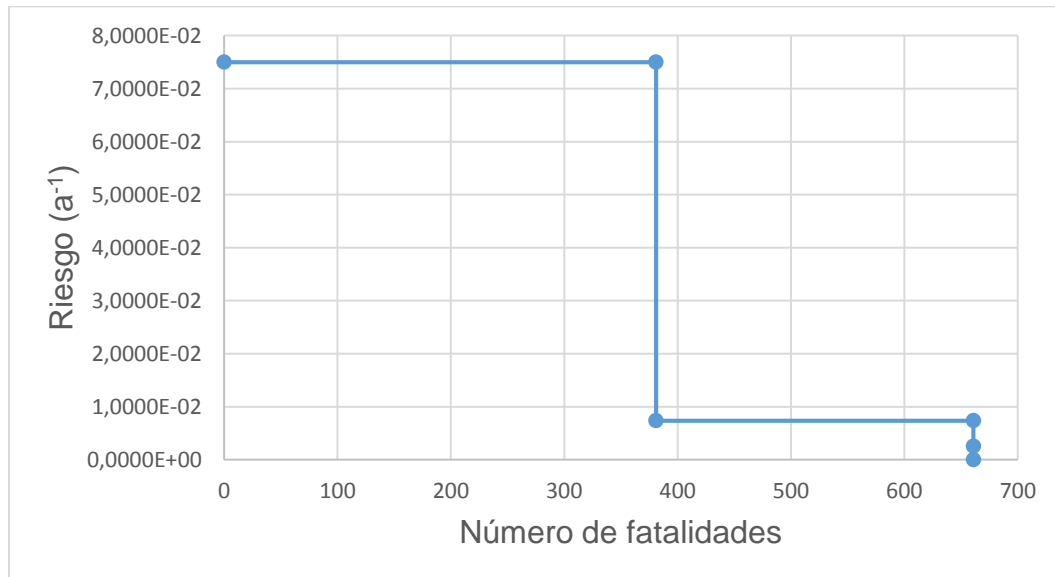


Figura 3.13: Curva R-N para el área de BST.

Pueden existir hasta casi 380 fatalidades producto a que estas personas estarían expuestas a un riesgo de  $7 \cdot 10^{-2} \text{ a}^{-1}$ . Además, pueden ocurrir más de 650 fatalidades con un riesgo menor de  $7,3707 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1}$ . Resultados semejantes fueron obtenidos por Cozzani *et al.*, (2006) y por Reniers y Cozzani, (2013).

Cozzani *et al.*, (2006) plantea que la influencia de los eventos de escalado sobre los valores de riesgos es fuertemente dependiente de la posición del equipo dentro del área y de las características de la unidad de proceso. Esto se evidencia en esta

investigación, ya que el tanque 53, de gran capacidad, es el más propenso a detonar la cadena de eventos, por el volumen que posee, por la frecuencia de derrames (obtenida a partir del análisis histórico), por la capacidad de propagarse el accidente a través de la radiación y por su posición centralizada en el área. De ocurrir un derrame en el tanque 53, existe un elevado riesgo de que se detone el efecto dominó, cuya magnitud de consecuencias, según HSE, (2016) lo convertiría en un accidente mayor. Es necesario reforzar las medidas de seguridad industrial respecto a esta unidad de proceso, por los altos valores de riesgo que se generan en torno a la misma.

### **3.4- Conclusiones parciales**

- 1) De todos los escenarios provocados por un derrame inicial de sustancia, el BLEVE más bola de fuego es el que presenta mayor radio de afectación, alcanzando sus radiaciones hasta 4,3 km desde el origen del accidente.
- 2) De las dos subáreas analizadas, las unidades de proceso con mayor potencial para ocurrir escenarios primarios dentro de la secuencia del efecto dominó son los tanques 53 y 69-1.
- 3) El cálculo de la probabilidad conjunta de cada cadena de eventos evidencia que tanto el tanque 53 como el 69-1 presentan altas probabilidades de efecto dominó para cada nivel.
- 4) Todas las personas expuestas a un radio de 1000 metros respecto al origen del accidente en el área poseen una vulnerabilidad máxima y siguen siendo vulnerables hasta un radio de 3000 metros.
- 5) Cada 100 años pueden existir alrededor de ocho fatalidades en un radio de 1000 metros debido al riesgo elevado al que están expuestas las personas.
- 6) Los valores de riesgos obtenidos a diferentes distancias se consideran elevados según la literatura especializada, alcanzando un valor a 1000 metros de  $7,4993 \cdot 10^{-2} a^{-1}$ .
- 7) Pueden ocurrir hasta 380 fatalidades producto a que estas personas están expuestas a un riesgo de  $7,4993 \cdot 10^{-2} a^{-1}$ ; mientras que, a un riesgo menor de  $7,3707 \cdot 10^{-3} a^{-1}$  pueden ocurrir más de 650 fatalidades.



## Conclusiones

1. La cuantificación del impacto social a través del uso de las permitió la determinación de los daños provocados por el efecto continuado de accidentes de incendio y explosión en la sociedad.
2. De todos los escenarios provocados por un derrame inicial de sustancia, el BLEVE más bola de fuego es el que presenta mayor radio de afectación, alcanzando sus radiaciones hasta 4,3 km desde el origen del accidente.
3. De las dos subáreas analizadas, las unidades de proceso con mayor potencial para ocurrir escenarios primarios dentro de la secuencia del efecto dominó son los tanques 53 y 69-1.
4. Los valores de riesgos obtenidos a diferentes distancias se consideran elevados según la literatura especializada, alcanzando un valor a 1000 metros de  $7,4993 \cdot 10^{-2} \text{ a}^{-1}$ .
5. Pueden ocurrir hasta 380 fatalidades producto a que estas personas están expuestas a un riesgo de  $7,4993 \cdot 10^{-2} \text{ a}^{-1}$ ; mientras que, a un riesgo menor de  $7,3707 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1}$  pueden ocurrir más de 650 fatalidades.

## **Recomendaciones**

1. Evaluar los efectos de la toxicidad de las sustancias involucradas en el proceso sobre las personas.
2. Aplicar la metodología de efecto continuado de accidentes en otras áreas de la empresa para la cuantificación de la probabilidad conjunta del efecto dominó, así como para la determinación del riesgo a diferentes distancias.
3. Determinar el riesgo social producto del carácter continuado de accidentes de toda la empresa.

## **Bibliografía**

- 1- Abbasi, T., Abbasi, S. A., (2018). Role of HAZOP in assessing risk of accidents in chemical process industries: capability and lacunae. *Int. J. Eng. Sci. Math.* 7.
- 2- Abdolhamidzadeh., Abbasi T., Rashtchian D., Abbasi S.A., (2018). Domino effect in process-industry accidents – An inventory of past events and identification of some patterns. *J. Loss Prev. Process Ind.* 24, 575–593.
- 3- Aboud., Alyaa., (2008). Planning of petrochemical industry under environmental risk and safety considerations. (Tesis en opción al grado de Máster de Ciencias Aplicadas en Ingeniería Química.). Universidad de Waterloo., Waterloo, Ontario, Canada.
- 4- ALOHA. (2016). EPA Software. Disponible en : [www.epa.gov/comeoaloha-software](http://www.epa.gov/comeoaloha-software).
- 5- André, L., Perrin,A., Dufaud, O., (2016). Consequence Assessments of a Cold BLEVE. Can We Do It Better? *Chem. Eng. Trans.* 48. <https://doi.org/10.3303>
- 6- Antonioni, G., Spadoni, G., Cozzani, V., (2009). Application of domino effect quantitative risk assessment to an extended industrial area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, 614–624.
- 7- Bagster, D., Pitblado, R.,(1991). The estimation of domino incident frequencies: an approach. *Process Safety Environment* 69, 196.
- 8- Bevi.,(2009) Reference Manual Bevi lisk assessments version 3.2.Neterlands.
- 9- Blengini, G.A., Blagoeva, D., Dewulf, J., Torres de Matos, C., Nita, V., VidalLegaz, B., Latunussa, C.E.L., Kayam, Y., Talens Peirò, L., Baranzelli, C., Manfredi, S., Mancini, L., Nuss, P., Marmier, A., Alves-Dias, P., Pavel, C., Tzimas, E., Mathieux, F., Pennington, D. and Ciupagea, C., 2017. Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials, in: Publications Office of the European Union. Luxemburg. <https://doi.org/10.2760/73303>

- 10-Bozzolan, J.,Oliveira, M., Neto, J., (2007). A Study on Domino Effects in Nuclear Fuel Cycle Facilities, International Nuclear Atlantic Conference, Santos, Brazil.
- 11-Casal, J., Montiel, H., Planas, E., Vílchez, J., ( 2002). Análisis del riesgo en instalaciones industriales, 2da ed. Ediciones UPC, Barcelona.
- 12-Center for Chemical Process Safety., (2000). Evaluating Process Safety in the Chemical Industry: A User's Guide to Quantitative Risk Analysis. American Institute of Chemical Engineers, New York (USA).
- 13-Changlong, Z., Juncheng, J., Xiongjun, Y., (2012). Study on ignition probability of flammable materials after leakage accidents. Procedia Engineering. [en línea]. Volume 45. Pages 435-441. [citado 6 diciembre 2017]. Disponible en [www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia). DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.182.
- 14-CONESA, V., (2000). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental., 3ra ed. ed. Edición Mundi-prensa., Madrid.
- 15-Cozzani V., Antonioni G., Khakzad N., Khan F., Taveau J., Reniers G. (2013). Quantitative Assessment of Risk Caused by Domino Accidents. Domino Effects in the Process Industries, Modeling, Prevention and Managing. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- 16-Cozzani, V., Antonioni, G., Nima K., Khany, F., Taveauz, J., Reniersx,G., Quantitative Assessment of Risk Caused by Domino Accidents. Domino Eff. Process Ind. 21.
- 17-Cozzani, V., Gubinelli, G., Salzano, E., 2006. Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events. J. Hazard. Mater. 129, 1–21.
- 18-Cozzani, V., Salzano, E., Campedel, M., Sabatini, M., Spadoni, G., (2007). The assessment of major accident hazards caused by external events. IChemE Symposium Series. No. 153.
- 19-De Haag, U., Ale, B.J.M., (1999). Guidelines for Quantitative Risk Assessment (Purple Book). Committee for the Prevention of Disasters, The Hague (NL).

- 20-Delvosalle, C., (1998). A Methodology for the Identification and Evaluation of Domino Effects. Rep. CRC/MT/003. Belgian Ministry of Employment and Labour, Bruxelles (B).
- 21-Denat, T., (2017). Creation of a Biodiversity Severity Index to evaluate the risks of accidental pollutions in the industry : a multi-criteria sorting approach (Dortorado). Universidadde Ciencias y letras de Paris, Paris.
- 22-Díaz, A., (2013). Análisis de riesgos en el área de almacenamiento de gas licuado del petróleo en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.). Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas, Matanzas.
- 23-Dueñas,J., (2018). Evaluación del impacto económico, ambiental y humano de posibles accidentes provocados por incendio y explosión y su efecto continuado en la Base de Crudos de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. (Trabajo de Diploma). UniversidadCamilo Cienfuegos de Matanzas, Matanzas.
- 24-Eyssettea, R., Lauretb, P., (2016). Near Field Blast Effects from BLEVE. Chem. Eng. Trans. 48. <https://doi.org/10.3303>
- 25-Fabbri, Binda, L., Bruinen, M., (2017). Accident Damage Analysis Module (ADAM) – Technical Guidance, EUR 28732 EN, 2017, ISBN 978-92-79-71879-3, doi:10.2760/719457.
- 26-Galán, F., D. Saturnino D., (2012). Explosión de equipos a presión, Análisis de riesgos y consecuencia. (Proyecto Final para la obtención del título de Ingeniero Naval, especialidad en Propulsión y Servicios del Buque). Universidad Politécnica de Catalunya., Cataluya.
- 27-Gómez, M., Zárate, L., Casal, J., (2008). Jet fires and the domino effect. Fire Saf. J. 43, 583–588.
- 28-Gorrens, B., De Clerck, W., De Jongh, K., Aerts, M., (2009). Domino effecten van en naar
- 29-Hedlund, Huess, F., (2018). Carbon dioxide not suitable for extinguishment of smouldering silo fires: static electricity may cause silo explosion. Biomass Bioenergy. <https://doi.org/10.1016>

- 30-Hosein, M.B., Dehghan, S. F., Hajizadeh, R., Sayed Mohammad Jafari<sup>4</sup> and Alireza Koochpaei,(2018). Modelling the Consequences of Explosion, Fire and Gas Leakage in Domestic Cylinders Containing LPG. *Ann. Med. Health Sci. Res.* 8.
- 31-HSE (Health and Safety Executive), (1984). *The Control of Major Hazards, Third Report of the HSC Advisory Committee on Major Hazards.* HMSO, London (UK).
- 32-HSE. (2016). *Prevention of fire and explosion, and emergency response on offshore installations. Third edition.* ISBN 978 0 7176 6326 2.
- 33-HSE. (2018). *Annual Science Review. Helping Great Britain work we.* Disponible en: <http://www.hse.gov.uk/horizons/>.
- 34-Kadri., Farid., Chatelet., Eric., Lalleme., Patrick., (2013). The assessment of risk caused by fire and explosion in chemical process industry: A domino effect based study. *J. Risk Anal. Crisis Response* 3, 66–76.
- 35-Khan, F., Abbasi, S., (1998). Models for domino effect analysis in chemical process industries. *Process Safety Progress* 17, 107.
- 36-Kidam., Kamarizan., Hurme., Markku., (2013). Analysis of equipment failures as contributors to chemical process accidents. *Process Saf. Environ. Prot.* 91, 61–78. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2012.02.001>
- 37-Kirti, B., Wehrstedta, K., Holger, K., (2015). Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE) of peroxy-fuels: Experiments and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation. *Energy Procedia* 66, 149–152. <https://doi.org/10.1016>
- 38-Kusumkant, D., Krothapalli, P., Kizhakkal, M., RAJAN., Mahesh, M., Sucheendran., (2016). Statistics of Fragment Dispersion by Explosion in a Fragment Generator Warhead. *Cent. Eur. J. Energ. Mater.* 13.
- 39-Lees, F.P., (1996). *Loss Prevention in the Process Industries, second ed.* Butterworth-Heinemann,
- 40-Lees, F.P., (2005). In: Mannan, S. (Ed.), *Loss Prevention in the Process Industries, third ed.* Butterworth-Heinemann, Oxford (UK).

- 41-Lisia, R., Consolob, G., Maschioc, G., Milazzo, M. F., (2014). Domino Effects Due to the Projection of Fragments: Estimation of the Impact Probability Using a Monte Carlo Simulation. *Chemical Engineering Transactions* 361–366. <https://doi.org/10.3303>
- 42-Llopart, S.C., (2001). Una nueva Metodología para la predicción de la gravedad de los accidentes industriales aplicando Analisis Historicos (TESIS DOCTORAL). Universidad Politecnica de Catalunya., Catalunya.
- 43-Loayza, J., Silva, M., Berzoy, C., Villanueva, C., Castillo, J., Laos, R., (2015). Design of a methodology for the investigation of chemical accidents at industrial level. *Quimica Ing Quimica* 18, 45–58.
- 44-Manzoor, M. A. B., Hussain, S., Wasim, A., Jahanzaib, M., (2018). An Empirical Analysis of a Process Industry to Explore the Accident Causation Factors: A Case Study of a Textile Mill in Pakistan. *J. Basic Appl. Sci.* 14.
- 45-Marhavilas, P. K., Koulouriotis, D. E., V. Gemeni., (2011). analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. *J. Loss Prev. Process Ind.* 24, 477–523.
- 46-Matlab (2013). Version 8.1.0.604. Produced by US and international patents.
- 47-Necci., Amos., (2015). Cascading events triggering industrial accidents: Quantitative Assessment of NaTech and Domino Scenarios. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.). Universidad de Bologna., Bologna.
- 48-Nima., Khakzad., Genserik., Reniers., (2015). Using graph theory to analyze the vulnerability of process plants in the context of cascading effects. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.04.015>.
- 49-Nomen, R., Sempere., Mariotti, J., Valeria., (2014). QRA including domino effect as a tool for Engineering Design. *Procedia Eng.* 84, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.406>.
- 50-Oxford (UK).
- 51-PNUMA, (1999). Control de riesgos de accidentes mayores. Manual práctico., 2da ed. Ediciones de Oficina Internacional de Trabajo, Ginebra.

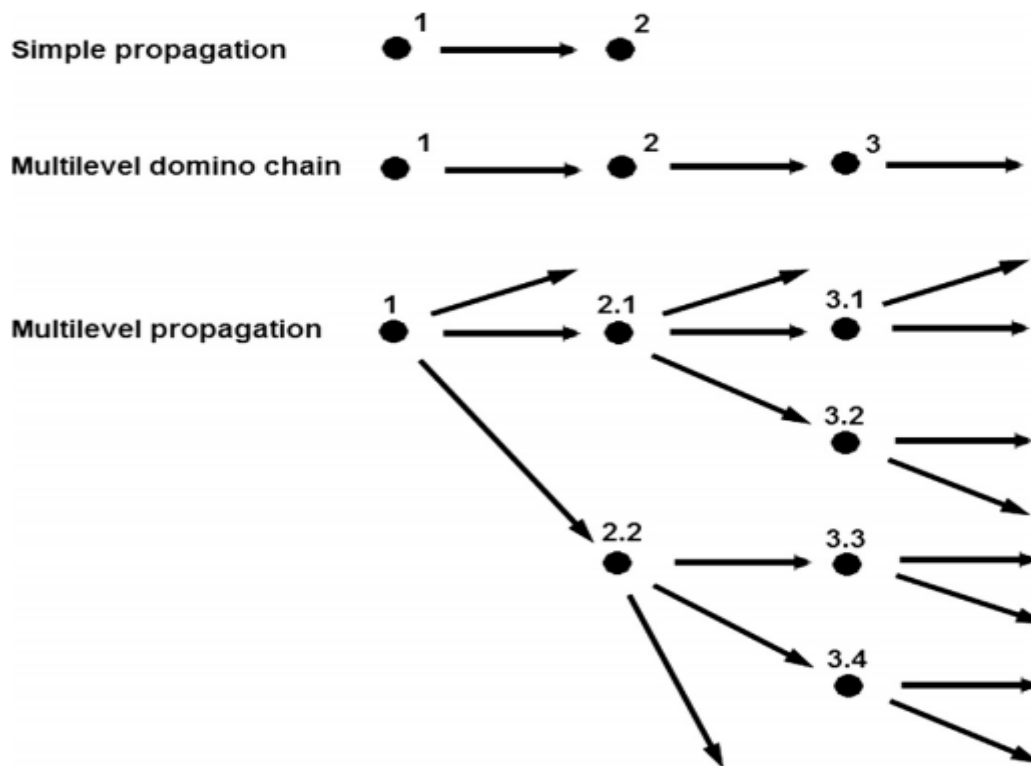
- 52-Poljanšek, K., Ferrer, M., De Groeve, T., Clark, I., (2007). Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less., in: Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2788/688605>,
- 53-Post, J.G., Bottelberghs, P.H., Vijgen, L.J., Matthijsen, A.J.C.M., (2003). Instrument Domino Effecten. RIVM, Bilthoven (The Netherlands).
- 54-Salzano, E., Antonioni, G., Landucci, G., Cozzani, V., (2013). Domino effects related to explosions in the framework of land use planning. Chemical Engineering Transactions. [en línea]. Vol.31. [citado 7 febrero 2018]. DOI: 10.3303/CET1331132. Disponible en: [www.aidic.it/cet](http://www.aidic.it/cet).
- 55-Seveso-inrichtingen. Rep. 07.0007. Flemish Ministry of Environment, Nature and Energy, Brussels (Belgium).
- 56-Ştefanescu, L., Botezan, C., Craciun, L., (2018). Vulnerability Analysis for two accident scenarios at an upper-tier seveso establishment in Romania. Geogr. Tech. 13. <https://doi.org/10.21163>
- 57-Toledo, A., Lugo, R., Orozco, J., López, Y., (2016). Riesgos por incendio o explosión: Métodos de análisis e índices para la evaluación.
- 58-Trotz, M., Ph.D., Isaacs, V., Prouty, C (2018). Environmental and Social Assessment. Water Sect. Resil. Nexus Sustain. Barbados WSRN S-Barbados.
- 59-Vallee, A., Bernuchon, E., Hourtolou, D., (2002). MICADO : Méthode pour l'identification et la caractérisation des effets dominos, Rep. INERIS-DRA-2002-25472, Direction des Risques Accidentels, Paris (France).
- 60-Wehmeier, G., Mitropetros, K., (2016). Fire Protection in the Chemistry Industry. Chemical Engineering Transactions [en línea]. Vol. 48, p 259-264. [citado 6 diciembre 2017]. DOI: 10.3303/CET1648044. Disponible en: [www.aidic.it/cet](http://www.aidic.it/cet).
- 61-Wells, G., (2003). Major Hazards and their management. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. 315 p.
- 62-Wieteska, G., (2018). The domino effect - disruptions in supply chains. LogForum 14, 492-506.



- 63-Yang T., Jing, J., Zhang, Z., Yang, Y., (2017). A Quantitative Risk Analysis Method for the High Hazard Mechanical System in Petroleum and Petrochemical Industry. Chem. Eng. Trans. 48.
- 64-Zarranejad, A., Ahmadi O., MSc2\*, (2016). Fire and explosion risk assessment in a chemical company by the application of Dow fire and explosion index. JOHE 4.
- 65-Zhou, Y.; Zhao, X., Zhao, Z., Chen, D.U., (2017). Research on fire and explosion accidents of oil depots. [en línea]. Vol. 51. [citado 7 diciembre 2017]. ISBN: . ISSN: 2283-9216. Disponible en: [www.aidic.it/cet](http://www.aidic.it/cet). 2016. Chem. Eng. Trans. 51. <https://doi.org/10.3303/CET1651028>.

## Anexos

Anexo 1: Ejemplos de propagación simple, cadena de dominó de múltiples niveles y patrones de propagación en paralelo de múltiples niveles.



Anexo 2: Conceptos necesarios para definir el efecto dominó.

Concepto.	Definición.
Escenario primario.	Un escenario de accidente que inicia la propagación del efecto dominó y el escalado a otros procesos o a unidades de almacenamiento provocando uno o varios escenarios de accidentes secundarios.
Escenario secundario.	Un escenario de accidentes causado por el impacto de un vector de escalado generado por un escenario de accidente primario.
Propagación.	En el caso de un efecto dominó espacial la propagación incluye a otras unidades o partes de equipos presentes en diferentes posiciones con respecto a la fuente del accidente primario. En el caso de un efecto dominó temporal existe propagación dentro de la misma unidad o parte del equipo.
Escalado.	Es la intensificación de las consecuencias globales de un evento indeseado.
Vector de escalado.	Un vector de efectos físicos generado por el escenario de accidente primario.

Fuente: Cozzani y Reniers, (2013).

Anexo 3: Definiciones dadas para efecto dominó por diferentes autores.

Autor (es).	Efecto dominó / Definición de accidente.
Tercer informe del Comité Asesor sobre Riesgos Mayores (HSE, 1984).	Los efectos de accidentes mayores en otras plantas en el sitio o sitios cercanos.
Bagster y Pitblado (1991).	Una pérdida de la contención de un elemento de la planta que resulta de un incidente importante en una unidad de planta cercana.
Lees (1996).	Un evento en una unidad que causa un evento adicional en otra unidad
Khan y Abbasi (1998b).	Una cadena de accidentes o situaciones en las que una cantidad de fuego / explosión / proyectil / tóxico generada por un accidente en una unidad en una industria causa accidentes secundarios y de orden superior en otras unidades.
Delvosalleet <i>al.</i> , (1998).	Una cascada de accidentes (efecto dominó) en la que las consecuencias de un accidente previo se incrementan para el (los) siguiente (s), tanto espacial como temporalmente, lo que lleva a un accidente mayor.
Uijt de Haag y Ale (1999).	El efecto de que la pérdida de contención de una instalación lleva a la pérdida de contención de otras instalaciones.
CCPS (2000).	un accidente que comienza en un elemento y puede afectar a elementos cercanos por impacto térmico, de explosión o de fragmentos.
Vallee <i>et al.</i> , (2002).	Un fenómeno accidental que afecta a una o más instalaciones en un establecimiento que puede causar un fenómeno accidental en un establecimiento adyacente, lo que lleva a un aumento general de las consecuencias.

Directiva del Consejo 2003/105 / EC (2003).	Una pérdida de contención en una instalación que es el resultado (directa e indirectamente) de una pérdida de contención en una instalación cercana. Los dos eventos deben suceder simultáneamente o en un orden posterior muy rápido, y los peligros del dominó deben ser mayores que los del evento inicial
Post <i>et al.</i> , (2003).	Un accidente grave en una llamada empresa expuesta como resultado de un accidente grave en una llamada empresa causante. Un efecto dominó es un evento posterior que ocurre como consecuencia de un accidente de dominó.
Lees (2005).	Un factor para tener en cuenta el peligro que puede ocurrir si la fuga de un material peligroso puede provocar la escalada del incidente, por ejemplo. una pequeña fuga que se incendia y daña por impacto de la llama en una tubería o recipiente más grande con el posterior derrame de un gran inventario de materiales peligrosos.
Cozzani <i>et al.</i> , (2006).	Secuencias accidentales que tienen al menos tres características comunes: (1) un escenario accidental primario, que inicia la secuencia de accidentes dominó; (2) la propagación del evento primario, debido a un vector de escalado generado por los efectos físicos del escenario primario, que resulta en el daño, como mínimo, de una parte del equipamiento secundario; y (3) uno o más eventos secundarios (es decir, incendio, explosión y dispersión tóxica), que involucran daños en partes de equipos (el número de eventos secundarios suele ser el mismo que el de los elementos dañados de la planta).
Bozzolan y Messias de Oliveira Neto (2007)	un accidente en el que un evento primario que se produce en un equipo primario se propaga a un equipo cercano, lo que desencadena uno o más eventos secundarios con graves consecuencias para las plantas industriales.
Gorrens <i>et al.</i> , (2009)	Un accidente importante en una instalación secundaria llamada que es causada por la falla de una fuente de peligros externa llamada.

Antonioni <i>et al.</i> , (2009)	La propagación de un evento de accidente primario a unidades cercanas, causando su daño y otros eventos de accidentes secundarios, lo que resulta en un escenario general más grave que el evento primario que desencadenó el escalado.
----------------------------------	---

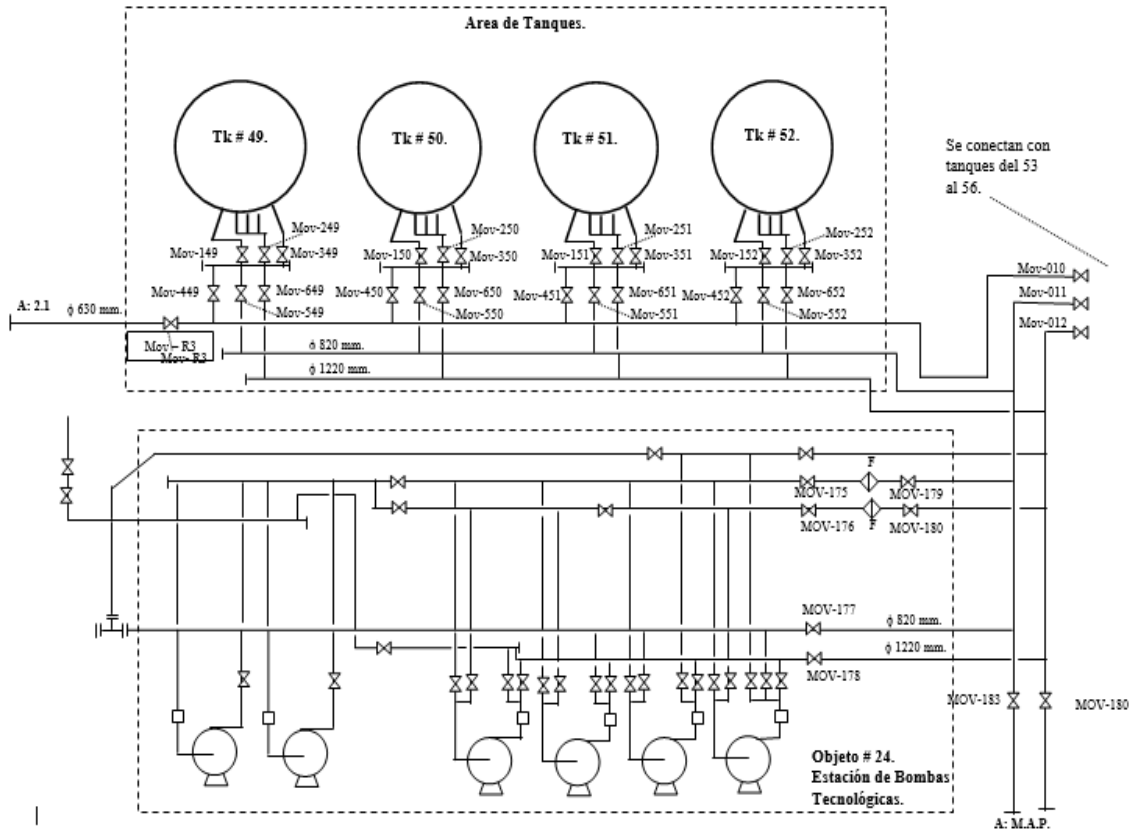
Fuente: Adaptado de Reniers (2010) y Abdolhamidzadeh et al. (2011).

Anexo 4: Categorización del efecto dominó.

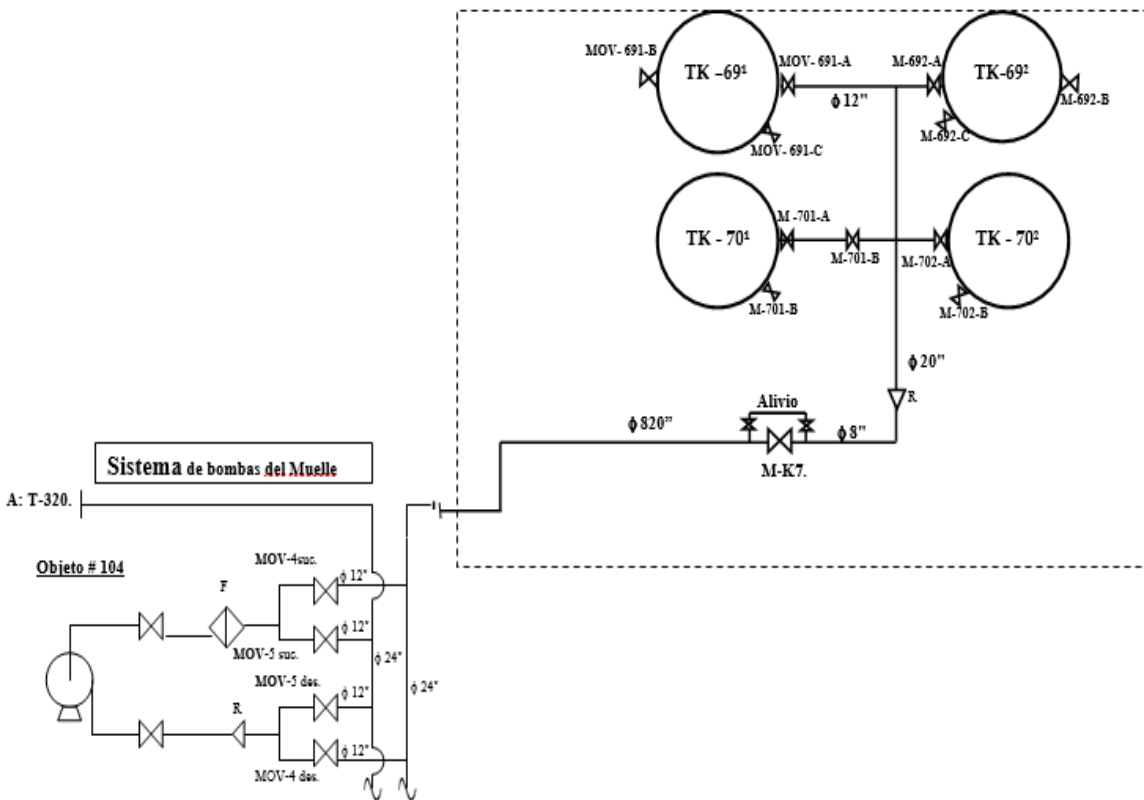
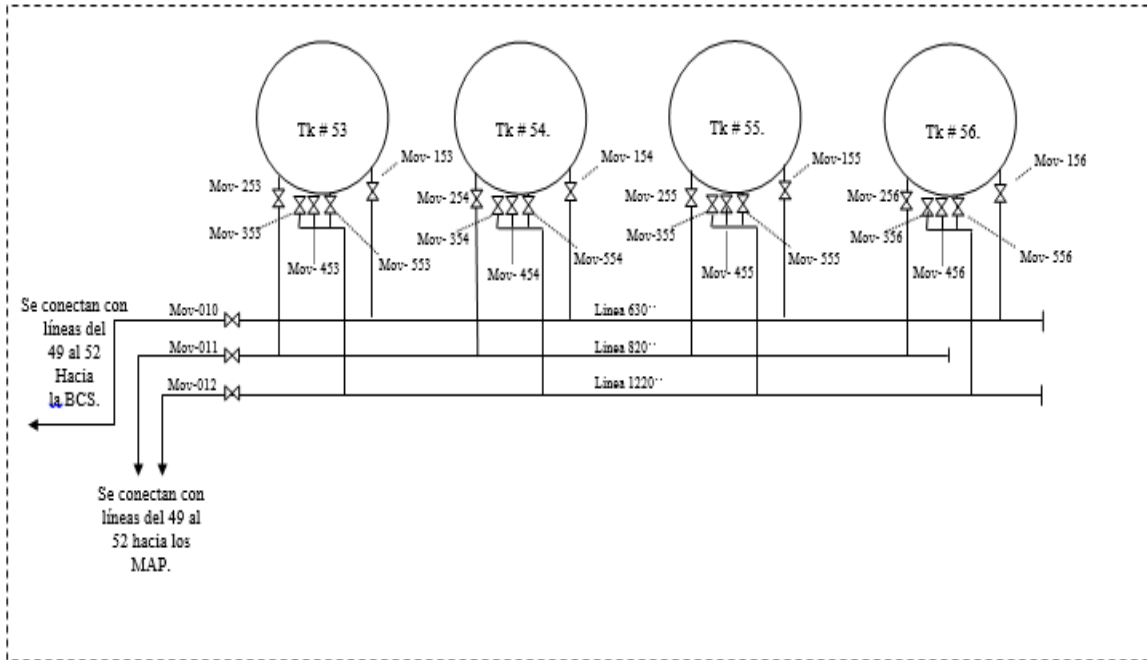
Tipo.	Tipos de instancias.	Definición de los tipos.
Tipo 1.	Interno.	El inicio y el final del vector de escalado que caracteriza el evento de dominó se encuentran dentro de los límites de la misma planta química.
	Externo.	El inicio y el final del vector de escalado que caracteriza el evento de dominó no están situados dentro de los límites de la misma planta química.
Tipo 2.	Directo.	El evento dominó ocurre como consecuencia directa del evento de dominó anterior.
	Indirecto.	El evento dominó ocurre como consecuencia indirecta de un evento de dominó anterior.
Tipo 3.	Temporal.	El evento dominó ocurre dentro de la misma área que el evento anterior, pero con un retraso.
	Espacial.	El evento dominó ocurre fuera del área donde tuvo lugar el evento anterior.
Tipo 4.	Serial.	El evento dominó ocurre como un enlace consecuente de la única cadena de accidentes causada por el evento anterior.
	Paralelo.	El evento dominó ocurre como uno de los varios enlaces consecutivos simultáneos de cadenas de accidentes causados por el evento anterior.

Fuente: Cozzani y Reniers, (2013).

## Anexo 5: Área de tanques de La Base en Tierra.







Anexo 6: Datos de las sustancias involucradas en el proceso.

<b>Parámetros</b>	<b>U/M</b>	<b>Diesel y Fuel Oil</b>
Destilación inicial	°C	200
Destilación final	°C	400
Densidad a 15 °C	g/cm <sup>3</sup>	0,82-0,87
Azufre total	% m/m	0,80
Temperatura de inflamación	°C	45

Fuente: Catálogo de sustancias de la ECCM.

Anexo 7: Datos de las corridas de ALOHA para todos los tanques involucrados en el proceso.

TK Fuente	TK Afec tado	Distancia(m)	P u n t o	Intensidad de radiación(KW /m <sup>2</sup> )	Escenari o	Volumen Tk. Afectado (m <sup>3</sup> )	LN (tt f)	Tiempo de falla (s)	Pr obit Y	Prob abilidad
<b>49</b>	<b>50</b>	<b>107</b>	<b>S W</b>	<b>68</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>4.02</b>	<b>56</b>	<b>9.38</b>	<b>0.9999</b>
<b>49</b>	<b>51</b>	<b>209</b>	<b>S W</b>	<b>18.5</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.49</b>	<b>243</b>	<b>6.66</b>	<b>0.95154</b>
49	52	314	S W	7.8	Tmin. Veloc. Viento	41532	6.47	645	4.86	
49	50	107	S W	61	Tmax.V eloc. Viento	41532	4.15	63	9.15	
49	51	209	S W	17.5	Tmax.V eloc. Viento	41532	5.56	259	6.55	
49	52	314	S W	7.6	Tmax.V eloc. Viento	41532	6.50	665	4.81	
49	50	107	S W	68	Tmin. Calma	41532	4.02	56	9.38	
49	51	209	S W	18.5	Tmin. Calma	41532	5.49	243	6.66	
<b>49</b>	<b>52</b>	<b>314</b>	<b>S W</b>	<b>7.9</b>	<b>Tmin. Calma</b>	<b>41532</b>	<b>6.46</b>	<b>636</b>	<b>4.89</b>	<b>0.4562</b>
49	50	107	S W	61	Tmax. Calma	41532	4.15	63	9.15	
49	51	209	S W	17.5	Tmax. Calma	41532	5.56	259	6.55	
49	52	314	S W	7.7	Tmax. Calma	41532	6.48	655	4.84	
49	53	461	SS W	3	Tmin. Veloc. Viento	41532	7.55	1900	2.87	
49	54	571	SS W	1.9	Tmin. Veloc. Viento	41532	8.07	3184	1.91	

49	55	675	SS W	1.4	Tmin. Veloc. Viento	41532	8. 41	4496	1.2 8	
49	56	780	SS W	0.97	Tmin. Veloc. Viento	41532	8. 83	6806	0.5 1	
49	53	461	SS W	3.1	Tmax. Veloc. Viento	41532	7. 51	1831	2.9 4	
49	54	571	SS W	2	Tmax. Veloc. Viento	41532	8. 01	3004	2.0 2	
49	55	675	SS W	1.4	Tmax. Veloc. Viento	41532	8. 41	4496	1.2 8	
49	56	780	SS W	1	Tmax. Veloc. Viento	41532	8. 79	6575	0.5 8	
<b>49</b>	<b>53</b>	<b>461</b>	<b>SS W</b>	<b>3.35</b>	<b>Tmin. Calma</b>	<b>41532</b>	<b>7. 42</b>	<b>1677</b>	<b>3.1 0</b>	<b>0.02 8717</b>
49	54	571	SS W	2.1	Tmin. Calma	41532	7. 95	2843	2.1 2	
49	55	675	SS W	1.45	Tmin. Calma	41532	8. 37	4321	1.3 5	
49	56	780	SS W	1.02	Tmin. Calma	41532	8. 77	6430	0.6 2	
49	53	461	SS W	3.1	Tmax. Calma	41532	7. 51	1831	2.9 4	
49	54	571	SS W	1.99	Tmax. Calma	41532	8. 01	3021	2.0 1	
49	55	675	SS W	1.4	Tmax. Calma	41532	8. 41	4496	1.2 8	
49	56	780	SS W	1	Tmax. Calma	41532	8. 79	6575	0.5 8	
49	69-1	920	W S W	0.66	Tmin. Veloc. Viento	7687	10 .1 6	25959	- 1.9 6	
49	69-2	967	W S W	0.6	Tmin. Veloc. Viento	7235	10 .2 8	29262	- 2.1 8	
49	70-1	934	W S W	0.64	Tmin. Veloc. Viento	7687	10 .2 0	26878	- 2.0 3	
49	70-2	980	W S W	0.69	Tmin. Veloc. Viento	7597	10 .1 2	24747	- 1.8 7	

49	69-1	920	W S W	0.69	Tmax. Veloc. Viento	7687	10 .1 1	24688	- 1.8 7
49	69-2	967	W S W	0.6	Tmax. Veloc. Viento	7235	10 .2 8	29262	- 2.1 8
49	70-1	934	W S W	0.66	Tmax. Veloc. Viento	7687	10 .1 6	25959	- 1.9 6
49	70-2	980	W S W	0.6	Tmax. Veloc. Viento	7597	10 .2 7	28981	- 2.1 6
49	69-1	920	W S W	0.72	Tmin. Calma	7687	10 .0 7	23528	- 1.7 8
49	69-2	967	W S W	0.65	Tmin. Calma	7235	10 .1 9	26732	- 2.0 2
49	70-1	934	W S W	0.7	Tmin. Calma	7687	10 .1 0	24290	- 1.8 4
49	70-2	980	W S W	0.62	Tmin. Calma	7597	10 .2 4	27927	- 2.1 0
49	69-1	920	W S W	0.69	Tmax. Calma	7687	10 .1 1	24688	- 1.8 7
49	69-2	967	W S W	0.6	Tmax. Calma	7235	10 .2 8	29262	- 2.1 8
49	70-1	934	W S W	0.64	Tmax. Calma	7687	10 .2 0	26878	- 2.0 3
49	70-2	980	W S W	0.6	Tmax. Calma	7597	10 .2 7	28981	- 2.1 6
49	50	107	S W	BF	BLEVE	41532			1
49	51	209	S W	BF	BLEVE	41532			1
49	52	314	S W	BF	BLEVE	41532			1
49	53	461	SS W	BF	BLEVE	41532			1
49	54	571	SS W	63.9	BLEVE	41532	4. 09	60	9.2 5

49	55	675	SS W	54.1	BLEVE	41532	4. 28	72	8.9 0	
49	56	780	SS W	45.4	BLEVE	41532	4. 48	88	8.5 4	
49	69-1	920	W S W	36.1	BLEVE	7687	5. 64	282	6.3 9	0.91 774
49	69-2	967	W S W	33.5	BLEVE	7235	5. 74	311	6.2 1	0.88 686
49	70-1	934	W S W	35.3	BLEVE	7687	5. 67	289	6.3 4	0.90 988
49	70-2	980	W S W	32.8	BLEVE	7597	5. 75	315	6.1 9	0.88 298

TK Fue nte	TK Afec tado	Dist ancia( m)	P un to	Intensidad de radiación(KW /(sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (ttf)	Tiemp o de falla (s)	Pr obi t Y	Prob abili dad
50	49	107	N E	66	Tmin. Veloc. Viento	41532	4.05 6785 742	57.788 26582	9.3 2	
50	49	107	N E	61	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.14 5808 133	63.168 64998	9.1 5	
<b>50</b>	<b>49</b>	<b>107</b>	<b>N E</b>	<b>68</b>	<b>Tmin. Calma</b>	<b>41532</b>	<b>4.02 3051 893</b>	<b>55.871 35932</b>	<b>9.3 8</b>	<b>0.99 999</b>
50	49	107	N E	61	Tmax. Calma	41532	4.14 5808 133	63.168 64998	9.1 5	
50	51	106	S W	69	Tmin. Veloc. Viento	41532	4.00 6555 25	54.957 23019	9.4 1	
50	52	207	S W	18.5	Tmin. Veloc. Viento	41532	5.49 4014 673	243.23 17452	6.6 6	
50	51	106	S W	61	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.14 5808 133	63.168 64998	9.1 5	

50	52	207	S W	17.5	Tmax. Veloc. Viento	41532	5.55 6808 605	258.99 49606	6.5 5	
<b>50</b>	<b>51</b>	<b>106</b>	<b>S</b> <b>W</b>	<b>67</b>	<b>Tmin.</b> <b>Calma</b>	<b>41532</b>	<b>4.03</b> <b>9792</b> <b>94</b>	<b>56.814</b> <b>57757</b>	<b>9.3</b> <b>5</b>	<b>0.99</b> <b>999</b>
<b>50</b>	<b>52</b>	<b>207</b>	<b>S</b> <b>W</b>	<b>19</b>	<b>Tmin.</b> <b>Calma</b>	<b>41532</b>	<b>5.46</b> <b>3879</b> <b>554</b>	<b>236.01</b> <b>12689</b>	<b>6.7</b> <b>2</b>	<b>0.95</b> <b>728</b>
50	51	106	S W	61	Tmax. Calma	41532	4.14 5808 133	63.168 64998	9.1 5	
50	52	207	S W	17.5	Tmax. Calma	41532	5.55 6808 605	258.99 49606	6.5 5	
<b>50</b>	<b>53</b>	<b>360</b>	<b>SS</b> <b>W</b>	<b>5.9</b>	<b>Tmin.</b> <b>Veloc.</b> <b>Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.78</b> <b>5399</b> <b>443</b>	<b>884.83</b> <b>34573</b>	<b>4.2</b> <b>8</b>	<b>0.23</b> <b>576</b>
<b>50</b>	<b>54</b>	<b>465</b>	<b>SS</b> <b>W</b>	<b>3.3</b>	<b>Tmin.</b> <b>Veloc.</b> <b>Viento</b>	<b>41532</b>	<b>7.44</b> <b>1963</b> <b>211</b>	<b>1706.0</b> <b>96362</b>	<b>3.0</b> <b>7</b>	<b>0.02</b> <b>6803</b>
<b>50</b>	<b>55</b>	<b>560</b>	<b>SS</b> <b>W</b>	<b>2.2</b>	<b>Tmin.</b> <b>Veloc.</b> <b>Viento</b>	<b>41532</b>	<b>7.90</b> <b>0138</b> <b>783</b>	<b>2697.6</b> <b>56691</b>	<b>2.2</b> <b>2</b>	<b>0.00</b> <b>2717</b> <b>9</b>
50	56	676	SS W	1.48	Tmin. Veloc. Viento	41532	8.34 8088 041	4222.1 00537	1.3 9	
50	53	360	SS W	5.5	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.86 4730 256	957.88 74203	4.1 3	
50	54	465	SS W	3	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.54 9663 714	1900.1 03645	2.8 7	
50	55	560	SS W	2	Tmax. Veloc. Viento	41532	8.00 7839 286	3004.4 18405	2.0 2	
50	56	676	SS W	1.4	Tmax. Veloc. Viento	41532	8.41 0881 973	4495.7 23869	1.2 8	
50	53	360	SS W	5.9	Tmin. Calma	41532	6.78 5399 443	884.83 34573	4.2 8	
50	54	465	SS W	3.2	Tmin. Calma	41532	7.47 6735 185	1766.4 64172	3.0 0	

50	55	560	SS W	2.1	Tmin. Calma	41532	7.95 2706 4	2843.2 59546	2.1 2	
<b>50</b>	<b>56</b>	<b>676</b>	<b>SS W</b>	<b>1.49</b>	<b>Tmin. Calma</b>	<b>41532</b>	<b>8.34 0478 584</b>	<b>4190.0 94576</b>	<b>1.4 1</b>	<b>0.00 0165 34</b>
50	53	360	SS W	5.2	Tmax. Calma	41532	6.92 8111 353	1020.5 64672	4.0 2	
50	54	465	SS W	3	Tmax. Calma	41532	7.54 9663 714	1900.1 03645	2.8 7	
50	55	560	SS W	2	Tmax. Calma	41532	8.00 7839 286	3004.4 18405	2.0 2	
50	56	676	SS W	1.4	Tmax. Calma	41532	8.41 0881 973	4495.7 23869	1.2 8	
50	69-1	815	W S W	0.95	Tmin. Veloc. Viento	7687	9.75 2718 523	17200. 92641	- 1.2 0	
50	69-2	867	W S W	0.81	Tmin. Veloc. Viento	7235	9.94 4940 265	20846. 47744	- 1.5 6	
50	70-1	834	W S W	0.9	Tmin. Veloc. Viento	7687	9.81 3814 483	18284. 60052	- 1.3 1	
50	70-2	880	W S W	0.8	Tmin. Veloc. Viento	7597	9.94 9312 313	20937. 81876	- 1.5 6	
50	69-1	815	W S W	0.9	Tmax. Veloc. Viento	7687	9.81 3814 483	18284. 60052	- 1.3 1	
50	69-2	867	W S W	0.8	Tmax. Veloc. Viento	7235	9.95 8977 713	21141. 17232	- 1.5 8	
50	70-1	834	W S W	0.85	Tmax. Veloc. Viento	7687	9.87 8403 49	19504. 55858	- 1.4 3	
50	70-2	880	W S W	0.88	Tmax. Veloc. Viento	7597	9.84 1611 81	18799. 99363	- 1.3 7	
50	69-1	815	W S W	0.87	Tmin. Calma	7687	9.85 2123 236	18998. 65063	- 1.3 8	



50	69-2	867	W S W	0.81	Tmin. Calma	7235	9.94 4940 265	20846. 47744	- 1.5 6	
50	70-1	834	W S W	0.9	Tmin. Calma	7687	9.81 3814 483	18284. 60052	- 1.3 1	
50	70-2	880	W S W	0.8	Tmin. Calma	7597	9.94 9312 313	20937. 81876	- 1.5 6	
50	69-1	815	W S W	0.9	Tmax. Calma	7687	9.81 3814 483	18284. 60052	- 1.3 1	
50	69-2	867	W S W	0.8	Tmax. Calma	7235	9.95 8977 713	21141. 17232	- 1.5 8	
50	70-1	834	W S W	0.87	Tmax. Calma	7687	9.85 2123 236	18998. 65063	- 1.3 8	
50	70-2	880	W S W	0.89	Tmax. Calma	7597	9.82 8843 312	18561. 47198	- 1.3 4	
50	49	107	N E	BF	BLEVE	41352	-	-	-	
50	51	106	S W	BF	BLEVE	41352	-	-	-	
50	52	207	S W	BF	BLEVE	41352	-	-	-	
50	53	360	SS W	BF	BLEVE	41352	-	-	-	
50	54	465	SS W	BF	BLEVE	41352	-	-	-	
50	55	560	SS W	69.2	BLEVE	41352	4.00 8090 625	55.041 67498	9.4 1	
50	56	676	SS W	57.6	BLEVE	41352	4.21 5421 098	67.722 67779	9.0 3	
50	69-1	815	W S W	54.8	BLEVE	7687	5.17 0587 181	176.01 81616	7.2 6	0.98 809
50	69-2	867	W S W	42.1	BLEVE	7235	5.48 0571 553	239.98 38317	6.6 9	0.95 449
50	70-1	834	W S W	44.4	BLEVE	7687	5.40 8396 5	223.27 32817	6.8 2	0.96 562

50	70-2	880	W S W	41.2	BLEVE	7597	5.49 5324 87	243.55 06357	6.6 6	0.95 154

TK Fuente	TK Afecado	Distancia(m)	Punto	Intensidad de radiación(KW /sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (tff)	Tiempo de falla (s)	Probit Y	Probabilidad
51	49	209	N E	18	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41352	<b>5.52 978 151</b>	<b>252.08 8827</b>	<b>6.6 0</b>	<b>0.94 52</b>
51	50	106	N E	67	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41352	<b>4.04 459 894</b>	<b>57.088 28562</b>	<b>9.3 4</b>	<b>0.99 999</b>
51	49	209	N E	17.5	Tmax. Veloc. Viento	41352	5.56 161 46	260.24 26863	6.5 4	
51	50	106	N E	61	Tmax. Veloc. Viento	41352	4.15 061 413	63.472 96921	9.1 5	
51	49	209	N E	18	Tmin. Calma	41352	5.52 978 151	252.08 8827	6.6 0	
51	50	106	N E	67	Tmin. Calma	41352	4.04 459 894	57.088 28562	9.3 4	
51	49	209	N E	17.5	Tmax. Calma	41352	5.56 161 46	260.24 26863	6.5 4	
51	50	106	N E	61	Tmax. Calma	41352	4.15 061 413	63.472 96921	9.1 5	
51	52	100	S W	69	Tmin. Veloc. Viento	41352	4.01 136 125	55.221 99035	9.4 0	
51	52	100	S W	70	Tmax. Veloc. Viento	41352	3.99 510 198	54.331 38086	9.4 3	
51	52	100	S W	75	<b>Tmin. Calma</b>	41352	<b>3.91 714 003</b>	<b>50.256 50703</b>	<b>9.5 8</b>	<b>1</b>

51	52	100	S W	70	Tmax. Calma	41352	3.99 510 198	54.331 38086	9.4 3	
51	53	256	SS W	12.5	Tmin. Veloc. Viento	41352	5.94 182 823	380.63 0174	5.8 4	0.79 955
51	54	360	SS W	5.9	Tmin. Veloc. Viento	41352	6.79 020 544	889.09 62021	4.2 7	0.23 27
51	55	466	SS W	3.3	Tmin. Veloc. Viento	41352	7.44 676 921	1714.3 15596	3.0 6	0.02 619
51	56	571	SS W	2.1	Tmin. Veloc. Viento	41352	7.95 751 24	2856.9 5714	2.1 1	0.00 1926 2
51	53	256	SS W	12	Tmax. Veloc. Viento	41352	5.98 795 709	398.59 9473	5.7 5	
51	54	360	SS W	5.48	Tmax. Veloc. Viento	41352	6.87 365 284	966.47 24912	4.1 2	
51	55	466	SS W	3	Tmax. Veloc. Viento	41352	7.55 446 971	1909.2 57523	2.8 6	
51	56	571	SS W	2	Tmax. Veloc. Viento	41352	8.01 264 529	3018.8 92393	2.0 1	
51	53	256	SS W	12.5	Tmin. Calma	41352	5.94 182 823	380.63 0174	5.8 4	
51	54	360	SS W	5.9	Tmin. Calma	41352	6.79 020 544	889.09 62021	4.2 7	
51	55	466	SS W	3.3	Tmin. Calma	41352	7.44 676 921	1714.3 15596	3.0 6	
51	56	571	SS W	2.1	Tmin. Calma	41352	7.95 751 24	2856.9 5714	2.1 1	
51	53	256	SS W	11.5	Tmax. Calma	41352	6.03 604 945	418.23 74988	5.6 6	
51	54	360	SS W	5.4	Tmax. Calma	41352	6.89 027 078	982.66 74703	4.0 9	

51	55	466	SS W	3	Tmax. Calma	41352	7.55 446 971	1909.2 57523	2.8 6	
51	56	571	SS W	2	Tmax. Calma	41352	8.01 264 529	3018.8 92393	2.0 1	
51	69-1	711	W S W	1.3	Tmin. Veloc. Viento	7687	9.39 828 548	12067. 67273	- 0.5 5	
51	69-2	768	W S W	1.1	Tmin. Veloc. Viento	7235	9.59 912 5	14751. 86799	- 0.9 2	
51	70-1	737	W S W	1.2	Tmin. Veloc. Viento	7687	9.48 873 374	13210. 05738	- 0.7 1	
51	70-2	782	W S W	1	Tmin. Veloc. Viento	7597	9.69 716 01	16271. 33256	- 1.1 0	
51	69-1	711	W S W	1.25	Tmax. Veloc. Viento	7687	9.44 260 489	12614. 53358	- 0.6 3	
51	69-2	768	W S W	1	Tmax. Veloc. Viento	7235	9.70 682 55	16429. 36399	- 1.1 2	
51	70-1	737	W S W	1.2	Tmax. Veloc. Viento	7687	9.48 873 374	13210. 05738	- 0.7 1	
51	70-2	782	W S W	1	Tmax. Veloc. Viento	7597	9.69 716 01	16271. 33256	- 1.1 0	
51	69-1	711	W S W	1.3	Tmin. Calma	7687	9.39 828 548	12067. 67273	- 0.5 5	
51	69-2	768	W S W	1.1	Tmin. Calma	7235	9.59 912 5	14751. 86799	- 0.9 2	
51	70-1	737	W S W	1.2	Tmin. Calma	7687	9.48 873 374	13210. 05738	- 0.7 1	
51	70-2	782	W S W	1	Tmin. Calma	7597	9.69 716 01	16271. 33256	- 1.1 0	
51	69-1	711	W S W	1.25	Tmax. Calma	7687	9.44 260 489	12614. 53358	- 0.6 3	

51	69-2	768	W S W	1	Tmax. Calma	7235	9.70 682 55	16429. 36399	- 1.1 2	
51	70-1	737	W S W	1.2	Tmax. Calma	7687	9.48 873 374	13210. 05738	- 0.7 1	
51	70-2	782	W S W	1	Tmax. Calma	7597	9.69 716 01	16271. 33256	- 1.1 0	
51	49	209	N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
51	50	106	N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
51	52	100	S W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
51	53	256	SS W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
51	54	360	SS W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
51	55	466	SS W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
51	56	571	SS W	63.9	BLEVE	41532	4.09 332 472	59.938 84076	9.2 5	0.99 999
51	69-1	711	W S W	51	BLEVE	7687	5.25 179 414	190.90 8477	7.1 1	0.98 257
51	69-2	768	W S W	46.4	BLEVE	7235	5.37 067 711	215.00 8403	6.8 9	0.97 062
51	70-1	737	W S W	48.8	BLEVE	7687	5.30 162 185	200.66 19891	7.0 2	0.97 831
51	70-2	782	W S W	45.3	BLEVE	7597	5.38 812 315	218.79 23602	6.8 6	0.96 856

TK Fue nte	TK Afe ctado	Dist ancia ( m)	P u nt o	Intensidad de radiación(KW /(sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (tff)	Tiempo de falla (s)	Pr obi t Y	Prob abili dad
<b>52</b>	<b>49</b>	<b>314</b>	<b>N E</b>	<b>7.9</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.4 555 407</b>	<b>636.21 76246</b>	<b>4.8 9</b>	<b>0.45 62</b>

52	50	207	N E	18.6	Tmin. Veloc. Viento	41532	5.48 792 3	241.75 45642	6.6 8	
<b>52</b>	<b>51</b>	<b>100</b>	<b>N E</b>	<b>75</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>3.9 123 34</b>	<b>50.015 55373</b>	<b>9.5 9</b>	<b>1</b>
52	49	314	N E	7.3	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.54 479 76	695.61 58627	4.7 2	
52	50	207	N E	17.5	Tmax. Veloc. Viento	41532	5.55 680 86	258.99 49606	6.5 5	
52	51	100	N E	69.5	Tmax. Veloc. Viento	41532	3.99 839 64	54.510 66495	9.4 3	
52	49	314	N E	7.9	Tmin.Ca lma	41532	6.45 554 07	636.21 76246	4.8 9	
52	50	207	N E	18.5	Tmin.Ca lma	41532	5.49 401 47	243.23 17452	6.6 6	
52	51	100	N E	75	Tmin.Ca lma	41532	3.91 233 4	50.015 55373	9.5 9	
52	49	314	N E	7.6	Tmax. Calma	41532	6.49 928 81	664.66 82743	4.8 1	
<b>52</b>	<b>50</b>	<b>207</b>	<b>N E</b>	<b>17.8</b>	<b>Tmax. Calma</b>	<b>41532</b>	<b>5.5 376 013</b>	<b>254.06 78464</b>	<b>6.5 8</b>	<b>0.94 295</b>
52	51	100	N E	69.5	Tmax. Calma	41532	3.99 839 64	54.510 66495	9.4 3	
52	53	155	SS W	34	Tmin. Veloc. Viento	41532	4.80 630 82	122.27 93532	7.9 4	
<b>52</b>	<b>54</b>	<b>258</b>	<b>SS W</b>	<b>12</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.9 831 511</b>	<b>396.68 84</b>	<b>5.7 6</b>	<b>0.77 637</b>
<b>52</b>	<b>55</b>	<b>362</b>	<b>SS W</b>	<b>5.8</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.8 047 162</b>	<b>902.09 16777</b>	<b>4.2 4</b>	<b>0.22 363</b>
<b>52</b>	<b>56</b>	<b>465</b>	<b>SS W</b>	<b>3.2</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>7.4 767 352</b>	<b>1766.4 64172</b>	<b>3.0 0</b>	<b>0.02 275</b>

52	53	155	SS W	32	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.87 481 4	130.94 97982	7.8 1	
52	54	258	SS W	10.15	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.17 235 03	479.31 13148	5.4 1	
52	55	362	SS W	5.1	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.95 005 38	1043.2 05841	3.9 8	
52	56	465	SS W	3	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.54 966 37	1900.1 03645	2.8 7	
<b>52</b>	<b>53</b>	<b>155</b>	<b>SS W</b>	<b>34.5</b>	<b>Tmin.Ca lma</b>	<b>41532</b>	<b>4.7 898 116</b>	<b>120.27 87017</b>	<b>7.9 7</b>	<b>0.99 851</b>
52	54	258	SS W	12	Tmin.Ca lma	41532	5.98 315 11	396.68 84	5.7 6	
52	55	362	SS W	5.8	Tmin.Ca lma	41532	6.80 471 62	902.09 16777	4.2 4	
52	56	465	SS W	3.2	Tmin.Ca lma	41532	7.47 673 52	1766.4 64172	3.0 0	
52	53	155	SS W	32	Tmax. Calma	41532	4.87 481 4	130.94 97982	7.8 1	
52	54	258	SS W	10.2	Tmax. Calma	41532	6.16 679 75	476.65 71532	5.4 2	
52	55	362	SS W	5.2	Tmax. Calma	41532	6.92 811 14	1020.5 64672	4.0 2	
52	56	465	SS W	3	Tmax. Calma	41532	7.54 966 37	1900.1 03645	2.8 7	
52	69-1	620	W S W	1.525	Tmin. Veloc. Viento	7687	9.21 790 34	10075. 91717	- 0.2 1	
52	69-2	667	W S W	1.5	Tmin. Veloc. Viento	7235	9.24 864 99	10390. 52828	- 0.2 7	
52	70-1	644	W S W	1.51	Tmin. Veloc. Viento	7687	9.22 907 32	10189. 09383	- 0.2 3	

52	70-2	678	W S W	1.48	Tmin. Veloc. Viento	7597	9.25 415 25	10447. 86093	- 0.2 8	
52	69-1	620	W S W	1.52	Tmax. Veloc. Viento	7687	9.22 161 44	10113. 37841	- 0.2 2	
52	69-2	667	W S W	1.4	Tmax. Veloc. Viento	7235	9.32 661 19	11233. 00808	- 0.4 1	
52	70-1	644	W S W	1.5	Tmax. Veloc. Viento	7687	9.23 658 15	10265. 88486	- 0.2 5	
52	70-2	678	W S W	1.35	Tmax. Veloc. Viento	7597	9.35 804 19	11591. 66878	- 0.4 7	
52	69-1	620	W S W	1.525	Tmin.Ca lma	7687	9.21 790 34	10075. 91717	- 0.2 1	
52	69-2	667	W S W	1.5	Tmin.Ca lma	7235	9.24 864 99	10390. 52828	- 0.2 7	
52	70-1	644	W S W	1.51	Tmin.Ca lma	7687	9.22 907 32	10189. 09383	- 0.2 3	
52	70-2	678	W S W	1.48	Tmin.Ca lma	7597	9.25 415 25	10447. 86093	- 0.2 8	
52	69-1	620	W S W	1.52	Tmax. Calma	7687	9.22 161 44	10113. 37841	- 0.2 2	
52	69-2	667	W S W	1.4	Tmax. Calma	7235	9.32 661 19	11233. 00808	- 0.4 1	
52	70-1	644	W S W	1.5	Tmax. Calma	7687	9.23 658 15	10265. 88486	- 0.2 5	
52	70-2	678	W S W	1.35	Tmax. Calma	7597	9.35 804 19	11591. 66878	- 0.4 7	
52	49	314	N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
52	50	207	N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
52	51	100	N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
52	53	155	SS W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	



52	54	258	SS W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
52	55	362	SS W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
52	56	465	SS W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
52	69-1	620	W S W	59.2	BLEVE	7687	5.0 833 158	161.30 80285	7.4 2	0.99 224
52	69-2	667	W S W	54.8	BLEVE	7235	5.1 826 556	178.15 52891	7.2 4	0.98 745
52	70-1	644	W S W	56.9	BLEVE	7687	5.1 280 934	168.69 5171	7.3 4	0.99 036
52	70-2	678	W S W	63.8	BLEVE	7597	5.0 011 59	148.58 52689	7.5 8	0.99 506

TK Fuente	TK Afec tado	Distancia(m)	P u n t o	Intensidad de radiación(KW /sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (ttf)	Tiempo de falla (s)	Pr obit Y	Prob abilidad
53	49	461	N N E	3.4	Tmin. Veloc. Viento	41532	7.40 822 936	1649.5 03087	3.1 3	0.03 0742
53	50	360	N N E	5.9	Tmin. Veloc. Viento	41532	6.78 539 944	884.83 34573	4.2 8	0.23 576
53	51	256	N N E	12.5	Tmin. Veloc. Viento	41532	5.93 702 223	378.80 52542	5.8 5	0.80 234
53	52	155	N N E	34	Tmin. Veloc. Viento	41532	4.80 630 821	122.27 93532	7.9 4	0.99 836
53	49	461	N N E	3.1	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.51 261 121	1830.9 88409	2.9 4	
53	50	360	N N E	5.2	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.92 811 135	1020.5 64672	4.0 2	
53	51	256	N N E	11.5	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.03 124 345	416.23 22718	5.6 7	

53	52	155	N N E	32	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.87 481 403	130.94 97982	7.8 1	
53	49	461	N N E	3.4	Tmin. Calma	41532	7.40 822 936	1649.5 03087	3.1 3	
53	50	360	N N E	5.9	Tmin. Calma	41532	6.78 539 944	884.83 34573	4.2 8	
53	51	256	N N E	12.5	Tmin. Calma	41532	5.93 702 223	378.80 52542	5.8 5	
53	52	155	N N E	34	Tmin. Calma	41532	4.80 630 821	122.27 93532	7.9 4	
53	49	461	N N E	3.1	Tmax. Calma	41532	7.51 261 121	1830.9 88409	2.9 4	
53	50	360	N N E	5.2	Tmax. Calma	41532	6.92 811 135	1020.5 64672	4.0 2	
53	51	256	N N E	11.5	Tmax. Calma	41532	6.03 124 345	416.23 22718	5.6 7	
53	52	155	N N E	32	Tmax. Calma	41532	4.87 481 403	130.94 97982	7.8 1	
<b>53</b>	<b>54</b>	<b>102</b>	<b>W S W</b>	<b>71</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>3.97 426 734</b>	<b>53.211 11691</b>	<b>9.4 7</b>	<b>1</b>
<b>53</b>	<b>55</b>	<b>212</b>	<b>W S W</b>	<b>18</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.52 497 551</b>	<b>250.88 01948</b>	<b>6.6 1</b>	<b>0.94 63</b>
<b>53</b>	<b>56</b>	<b>310</b>	<b>W S W</b>	<b>8</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.44 132 666</b>	<b>627.23 83788</b>	<b>4.9 2</b>	<b>0.46 812</b>
53	54	102	W S W	69	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.00 655 525	54.957 23019	9.4 1	
53	55	212	W S W	17	Tmax. Veloc. Viento	41532	5.58 956 452	267.61 90519	6.4 9	
53	56	310	W S W	7.6	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.49 928 808	664.66 82743	4.8 1	

53	54	102	W S W	71	Tmin. Calma	41532	3.97 426 734	53.211 11691	9.4 7	
53	55	212	W S W	18	Tmin. Calma	41532	5.52 497 551	250.88 01948	6.6 1	
53	56	310	W S W	8	Tmin. Calma	41532	6.44 132 666	627.23 83788	4.9 2	
53	54	102	W S W	68	Tmax. Calma	41532	4.02 305 189	55.871 35932	9.3 8	
53	55	212	W S W	17.4	Tmax. Calma	41532	5.56 328 427	260.67 75667	6.5 4	
53	56	310	W S W	7.8	Tmax. Calma	41532	6.46 993 578	645.44 22759	4.8 6	
<b>53</b>	<b>69-1</b>	<b>490</b>	<b>W</b>	<b>2.9</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7687</b>	<b>8.49 163 397</b>	<b>4873.8 23238</b>	<b>1.1 3</b>	<b>5.44 E-05</b>
<b>53</b>	<b>69-2</b>	<b>536</b>	<b>W</b>	<b>2.4</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7235</b>	<b>8.71 754 583</b>	<b>6109.1 6772</b>	<b>0.7 1</b>	<b>8.93 E-06</b>
<b>53</b>	<b>70-1</b>	<b>518</b>	<b>W</b>	<b>2.5</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7687</b>	<b>8.65 934 857</b>	<b>5763.7 78758</b>	<b>0.8 2</b>	<b>1.46 E-05</b>
<b>53</b>	<b>70-2</b>	<b>557</b>	<b>W</b>	<b>2.15</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7597</b>	<b>8.83 218 144</b>	<b>6851.2 16032</b>	<b>0.5 0</b>	<b>3.40 E-06</b>
53	69-1	490	W	2.8	Tmax. Veloc. Viento	7687	8.53 128 716	5070.9 68777	1.0 5	
53	69-2	536	W	2.2	Tmax. Veloc. Viento	7235	8.81 586 868	6740.3 60457	0.5 3	
53	70-1	518	W	2.4	Tmax. Veloc. Viento	7687	8.70 547 743	6035.8 82944	0.7 3	
53	70-2	557	W	2.01	Tmax. Veloc. Viento	7597	8.90 826 786	7392.8 4459	0.3 6	
53	69-1	490	W	2.9	Tmin. Calma	7687	8.49 163 397	4873.8 23238	1.1 3	

53	69-2	536	W	2.4	Tmin. Calma	7235	8.71 754 583	6109.1 6772	0.7 1	
53	70-1	518	W	2.5	Tmin. Calma	7687	8.65 934 857	5763.7 78758	0.8 2	
53	70-2	557	W	2.15	Tmin. Calma	7597	8.83 218 144	6851.2 16032	0.5 0	
53	69-1	490	W	2.7	Tmax. Calma	7687	8.57 238 26	5283.7 03739	0.9 8	
53	69-2	536	W	2.2	Tmax. Calma	7235	8.81 586 868	6740.3 60457	0.5 3	
53	70-1	518	W	2.4	Tmax. Calma	7687	8.70 547 743	6035.8 82944	0.7 3	
53	70-2	557	W	2.01	Tmax. Calma	7597	8.90 826 786	7392.8 4459	0.3 6	
53	49	461	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
53	50	360	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
53	51	256	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
53	52	155	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
53	54	102	W S W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
53	55	212	W S W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
53	56	310	W S W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
53	69-1	490	W	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
53	69-2	536	W	67.3	BLEVE	7235	4.95 047 443	141.24 19578	7.6 7	

53	70-1	518	W	69.1	BLEVE	7687	4.90 858 025	135.44 69776	7.7 5	
53	70-2	557	W	65.3	BLEVE	7597	4.97 489 91	144.73 42206	7.6 2	

TK Fuente	TK Afectado	Distancia(m)	Punto	Intensidad de radiación(KW /sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (ttf)	Tiempo de falla (s)	Probabilidad Y	Probabilidad
54	49	571	N N E	2.1	Tmin. Veloc. Viento	41532	7.95 270 64	2843.2 5955	2.1 2	
<b>54</b>	<b>50</b>	<b>465</b>	<b>N N E</b>	<b>3.3</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>7.44 196 321</b>	<b>1706.0 9636</b>	<b>3.0 7</b>	0.02 6803
54	51	360	N N E	5.9	Tmin. Veloc. Viento	41532	6.78 539 944	884.83 3457	4.2 8	0.23 576
54	52	258	N N E	12	Tmin. Veloc. Viento	41532	5.98 315 109	396.68 84	5.7 6	0.77 637
54	49	571	N N E	2.9	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.58 797 247	1974.3 0648	2.8 0	0.01 3903
54	50	465	N N E	3.1	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.51 261 121	1830.9 8841	2.9 4	
54	51	360	N N E	5.2	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.92 811 135	1020.5 6467	4.0 2	

54	52	258	N N E	11.5	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.03 124 345	416.23 2272	5.6 7	
54	49	571	N N E	2.05	Tmin. Calma	41532	7.97 993 663	2921.7 4592	2.0 7	
54	50	465	N N E	3.2	Tmin.Ca lma	41532	7.47 673 518	1766.4 6417	3.0 0	
54	51	360	N N E	5.9	Tmin.Ca lma	41532	6.78 539 944	884.83 3457	4.2 8	
54	52	258	N N E	12	Tmin.Ca lma	41532	5.98 315 109	396.68 84	5.7 6	
54	49	571	N N E	2	Tmax. Calma	41532	8.00 783 929	3004.4 1841	2.0 2	
54	50	465	N N E	3.05	Tmax. Calma	41532	7.53 098 56	1864.9 4269	2.9 0	
54	51	360	N N E	5.2	Tmax. Calma	41532	6.92 811 135	1020.5 6467	4.0 2	
54	52	258	N N E	11.5	Tmax. Calma	41532	6.03 124 345	416.23 2272	5.6 7	
<b>54</b>	<b>53</b>	<b>102</b>	<b>E N E</b>	<b>71</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>3.97 426 734</b>	<b>53.211 1169</b>	<b>9.4 7</b>	<b>1</b>
54	53	102	E N E	71	Tmax. Veloc. Viento	41532	3.97 426 734	53.211 1169	9.4 7	
54	53	102	E N E	71	Tmin.Ca lma	41532	3.97 426 734	53.211 1169	9.4 7	
54	53	102	E N E	69	Tmax. Calma	41532	4.00 655 525	54.957 2302	9.4 1	
<b>54</b>	<b>55</b>	<b>102</b>	<b>W S W</b>	<b>71</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>3.97 426 734</b>	<b>53.211 1169</b>	<b>9.4 7</b>	<b>1</b>
<b>54</b>	<b>56</b>	<b>203</b>	<b>W S W</b>	<b>20</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.40 591 813</b>	<b>222.72 0613</b>	<b>6.8 3</b>	<b>0.96 638</b>

54	55	102	W S W	69	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.00 655 525	54.957 2302	9.4 1	
54	56	203	W S W	19	Tmax. Veloc. Viento	41532	5.46 387 955	236.01 1269	6.7 2	
54	55	102	W S W	71	Tmin.Ca Ima	41532	3.97 426 734	53.211 1169	9.4 7	
54	56	203	W S W	20	Tmin.Ca Ima	41532	5.40 591 813	222.72 0613	6.8 3	
54	55	102	W S W	68	Tmax. Calma	41532	4.02 305 189	55.871 3593	9.3 8	
54	56	203	W S W	18	Tmax. Calma	41532	5.52 497 551	250.88 0195	6.6 1	
<b>54</b>	<b>69-1</b>	<b>401</b>	<b>W</b>	<b>4.5</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7687</b>	<b>7.99 514 964</b>	<b>2966.5 3428</b>	<b>2.0 5</b>	<b>0.00 1588 9</b>
<b>54</b>	<b>69-2</b>	<b>441</b>	<b>W</b>	<b>3.7</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7235</b>	<b>8.22 840 941</b>	<b>3745.8 7088</b>	<b>1.6 1</b>	<b>0.00 0349 4</b>
54	70-1	435	W	3.7	Tmin. Veloc. Viento	7687	8.21 634 101	3700.9 359	1.6 4	
<b>54</b>	<b>70-2</b>	<b>472</b>	<b>W</b>	<b>3.1</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7597</b>	<b>8.41 867 571</b>	<b>4530.8 9927</b>	<b>1.2 6</b>	<b>9.20 E-05</b>
54	69-1	401	W	4.2	Tmax. Veloc. Viento	7687	8.07 311 159	3207.0 6538	1.9 0	
54	69-2	441	W	3.5	Tmax. Veloc. Viento	7235	8.29 120 335	3988.6 3101	1.5 0	
54	70-1	435	W	3.6	Tmax. Veloc. Viento	7687	8.24 730 185	3817.3 1225	1.5 8	
54	70-2	472	W	3	Tmax. Veloc. Viento	7597	8.45 572 821	4701.9 294	1.1 9	
54	69-1	401	W	4.5	Tmin.Ca Ima	7687	7.99 514 964	2966.5 3428	2.0 5	

54	69-2	441	W	3.6	Tmin.Ca lma	7235	8.25 937 025	3863.6 6021	1.5 6	
<b>54</b>	<b>70-1</b>	<b>435</b>	<b>W</b>	<b>4.7</b>	<b>Tmin.Ca lma</b>	<b>7687</b>	<b>7.94 601 147</b>	<b>2824.2 8769</b>	<b>2.1 4</b>	<b>0.00 2118 2</b>
54	70-2	472	W	3.1	Tmin.Ca lma	7597	8.41 867 571	4530.8 9927	1.2 6	
54	69-1	401	W	4.2	Tmax. Calma	7687	8.07 311 159	3207.0 6538	1.9 0	
54	69-2	441	W	3.5	Tmax. Calma	7235	8.29 120 335	3988.6 3101	1.5 0	
54	70-1	435	W	3.55	Tmax. Calma	7687	8.26 310 631	3878.1 2205	1.5 5	
54	70-2	472	W	3	Tmax. Calma	7597	8.45 572 821	4701.9 294	1.1 9	
<b>54</b>	<b>49</b>	<b>571</b>	<b>N N E</b>	<b>63.9</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.09 332 472</b>	<b>59.938 8408</b>	<b>9.2 5</b>	<b>0.99 999</b>
54	50	465	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
54	51	360	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
54	52	258	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
54	53	102	E N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
54	55	102	W S W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
54	56	203	W S W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
54	69-1	401	W	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
54	69-2	441	W	BF	BLEVE	7235	-	-	-	
54	70-1	435	W	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
54	70-2	472	W	BF	BLEVE	7597	-	-	-	



TK Fuente	TK Afectado	Distancia(m)	Punto	Intensidad de radiación(KW /sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (ttf)	Tiempo de falla (s)	Probit Y	Probabilidad
55	49	675	NNE	1.35	Tmin. Veloc. Viento	41532	8.45 197 741	4684.3 2642	1.2 0	
55	50	560	NNE	2	Tmin. Veloc. Viento	41532	8.00 783 929	3004.4 1841	2.0 2	
55	51	466	NNE	3	Tmin. Veloc. Viento	41532	7.54 966 371	1900.1 0365	2.8 7	
55	52	362	NNE	5.35	Tmin. Veloc. Viento	41532	6.89 597 649	988.29 0306	4.0 8	
<b>55</b>	<b>49</b>	<b>675</b>	<b>NNE</b>	<b>5.4</b>	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.88</b> <b>546</b> <b>478</b>	<b>977.95</b> <b>6101</b>	<b>4.0</b> <b>9</b>	<b>0.18</b> <b>141</b>
55	50	560	NNE	2	Tmax. Veloc. Viento	41532	8.00 783 929	3004.4 1841	2.0 2	
55	51	466	NNE	3	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.54 966 371	1900.1 0365	2.8 7	
55	52	362	NNE	5.38	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.88 965 774	982.06 5235	4.0 9	
55	49	675	NNE	1.4	Tmin.Calma	41532	8.41 088 197	4495.7 2387	1.2 8	
<b>55</b>	<b>50</b>	<b>560</b>	<b>NNE</b>	<b>2.2</b>	<b>Tmin.Calma</b>	<b>41532</b>	<b>7.90</b> <b>013</b> <b>878</b>	<b>2697.6</b> <b>5669</b>	<b>2.2</b> <b>2</b>	<b>0.00</b> <b>2717</b> <b>9</b>
<b>55</b>	<b>51</b>	<b>466</b>	<b>NNE</b>	<b>3.2</b>	<b>Tmin.Calma</b>	<b>41532</b>	<b>7.47</b> <b>673</b> <b>518</b>	<b>1766.4</b> <b>6417</b>	<b>3.0</b> <b>0</b>	<b>0.02</b> <b>275</b>
<b>55</b>	<b>52</b>	<b>362</b>	<b>NNE</b>	<b>5.8</b>	<b>Tmin.Calma</b>	<b>41532</b>	<b>6.80</b> <b>471</b> <b>615</b>	<b>902.09</b> <b>1678</b>	<b>4.2</b> <b>4</b>	<b>0.22</b> <b>363</b>
55	49	675	NNE	1.35	Tmax. Calma	41532	8.45 197 741	4684.3 2642	1.2 0	

55	50	560	N N E	2	Tmax. Calma	41532	8.00 783 929	3004.4 1841	2.0 2	
55	51	466	N N E	3	Tmax. Calma	41532	7.54 966 371	1900.1 0365	2.8 7	
55	52	362	N N E	5.2	Tmax. Calma	41532	6.92 811 135	1020.5 6467	4.0 2	
<b>55</b>	<b>53</b>	<b>212</b>	<b>E N E</b>	<b>18</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.52 497 551</b>	<b>250.88 0195</b>	<b>6.6 1</b>	<b>0.94 63</b>
<b>55</b>	<b>54</b>	<b>102</b>	<b>E N E</b>	<b>70</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>3.99 029 598</b>	<b>54.070 8907</b>	<b>9.4 4</b>	<b>1</b>
55	53	212	E N E	17	Tmax. Veloc. Viento	41532	5.58 956 452	267.61 9052	6.4 9	
55	54	102	E N E	68	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.02 305 189	55.871 3593	9.3 8	
55	53	212	E N E	18	Tmin.Ca lma	41532	5.52 497 551	250.88 0195	6.6 1	
55	54	102	E N E	70	Tmin.Ca lma	41532	3.99 029 598	54.070 8907	9.4 4	
55	53	212	E N E	17	Tmax. Calma	41532	5.58 956 452	267.61 9052	6.4 9	
55	54	102	E N E	68	Tmax. Calma	41532	4.02 305 189	55.871 3593	9.3 8	
<b>55</b>	<b>56</b>	<b>110</b>	<b>W S W</b>	<b>63</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>4.10 935 336</b>	<b>60.907 3197</b>	<b>9.2 2</b>	<b>0.99 99</b>
55	56	110	W S W	60	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.16 448 624	64.359 6089	9.1 2	
55	56	110	W S W	62	Tmin.Ca lma	41532	4.12 743 374	62.018 5631	9.1 9	
55	56	110	W S W	60	Tmax. Calma	41532	4.16 448 624	64.359 6089	9.1 2	

55	69-1	323	W	7.1	Tmin. Veloc. Viento	7687	7.47 984 999	1771.9 7495	3.0 0	0.02 275
55	69-2	361	W	5.8	Tmin. Veloc. Viento	7235	7.72 044 605	2253.9 6474	2.5 5	0.00 7114 28
55	70-1	361	W	5.8	Tmin. Veloc. Viento	7687	7.70 837 765	2226.9 2648	2.5 7	0.00 7549 4
55	70-2	394	W	4.7	Tmin. Veloc. Viento	7597	7.94 841 447	2831.0 8261	2.1 3	0.00 2052 4
55	69-1	323	W	6.9	Tmax. Veloc. Viento	7687	7.51 213 79	1830.1 2199	2.9 4	
55	69-2	361	W	5.4	Tmax. Veloc. Viento	7235	7.80 119 468	2443.5 1946	2.4 0	
55	70-1	361	W	5.4	Tmax. Veloc. Viento	7687	7.78 912 628	2414.2 0733	2.4 3	
55	70-2	394	W	4.4	Tmax. Veloc. Viento	7597	8.02 294 697	3050.1 5281	1.9 9	
55	69-1	323	W	7.1	Tmin.Ca lma	7687	7.47 984 999	1771.9 7495	3.0 0	
55	69-2	361	W	5.8	Tmin.Ca lma	7235	7.72 044 605	2253.9 6474	2.5 5	
55	70-1	361	W	5.8	Tmin.Ca lma	7687	7.70 837 765	2226.9 2648	2.5 7	
55	70-2	394	W	4.7	Tmin.Ca lma	7597	7.94 841 447	2831.0 8261	2.1 3	
55	69-1	323	W	6.9	Tmax. Calma	7687	7.51 213 79	1830.1 2199	2.9 4	
55	69-2	361	W	5.4	Tmax. Calma	7235	7.80 119 468	2443.5 1946	2.4 0	
55	70-1	361	W	5.4	Tmax. Calma	7687	7.78 912 628	2414.2 0733	2.4 3	

55	70-2	394	W	4.4	Tmax. Calma	7597	8.02 294 697	3050.1 5281	1.9 9	
55	49	675	N N E	54.1	BLEVE	41532	4.28 145 297	72.345 4795	8.9 0	
55	50	560	N N E	65	BLEVE	41532	4.07 403 799	58.793 8928	9.2 9	
55	51	466	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
55	52	362	N N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
55	53	212	E N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
55	54	102	E N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
55	56	110	W S W	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
55	69-1	323	W	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
55	69-2	361	W	BF	BLEVE	7235	-	-	-	
55	70-1	361	W	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
55	70-2	394	W	BF	BLEVE	7597	-	-	-	

TK Fue nte	TK Afec tado	Dist ancia( m)	P u nt o	Intensidad de radiación(KW /(sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (ttf)	Tiempo de falla (s)	Pr obi t Y	Prob abili dad
56	49	780	N N E	1.1	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41532	<b>8.68 339 51</b>	<b>5904.0 5745</b>	<b>0.7 7</b>	<b>1.17 E-05</b>
56	50	676	N N E	1.4	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41532	<b>8.41 088 197</b>	<b>4495.7 2387</b>	<b>1.2 8</b>	<b>9.96 E-05</b>
56	51	571	N N E	2.02	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41532	<b>7.99 659 541</b>	<b>2970.8 2631</b>	<b>2.0 4</b>	<b>0.00 1538 2</b>

<b>56</b>	<b>52</b>	<b>465</b>	<b>N N E</b>	<b>3.3</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>7.44 196 321</b>	<b>1706.0 9636</b>	<b>3.0 7</b>	<b>0.02 6803</b>
56	49	780	N N E	1	Tmax. Veloc. Viento	41532	8.79 109 56	6575.4 3227	0.5 8	
56	50	676	N N E	1.35	Tmax. Veloc. Viento	41532	8.45 197 741	4684.3 2642	1.2 0	
56	51	571	N N E	2	Tmax. Veloc. Viento	41532	8.00 783 929	3004.4 1841	2.0 2	
56	52	465	N N E	3	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.54 966 371	1900.1 0365	2.8 7	
56	49	780	N N E	1.02	Tmin.Ca lma	41532	8.76 871 863	6429.9 2807	0.6 2	
56	50	676	N N E	1.4	Tmin.Ca lma	41532	8.41 088 197	4495.7 2387	1.2 8	
56	51	571	N N E	2.02	Tmin.Ca lma	41532	7.99 659 541	2970.8 2631	2.0 4	
56	52	465	N N E	3.25	Tmin.Ca lma	41532	7.45 921 545	1735.7 8572	3.0 4	
56	49	780	N N E	1	Tmax. Calma	41532	8.79 109 56	6575.4 3227	0.5 8	
56	50	676	N N E	1.35	Tmax. Calma	41532	8.45 197 741	4684.3 2642	1.2 0	
56	51	571	N N E	2	Tmax. Calma	41532	8.00 783 929	3004.4 1841	2.0 2	
56	52	465	N N E	3	Tmax. Calma	41532	7.54 966 371	1900.1 0365	2.8 7	
<b>56</b>	<b>53</b>	<b>310</b>	<b>E N E</b>	<b>8</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.44 132 666</b>	<b>627.23 8379</b>	<b>4.9 2</b>	<b>0.23 3885</b>
<b>56</b>	<b>54</b>	<b>203</b>	<b>E N E</b>	<b>20</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.40 591 813</b>	<b>222.72 0613</b>	<b>6.8 3</b>	<b>0.96 638</b>

			E N E		<b>Tmin. Veloc. Viento</b>		<b>4.12 743 374</b>	<b>62.018 5631</b>	<b>9.1 9</b>	<b>9.99 99</b>
<b>56</b>	<b>55</b>	<b>110</b>		<b>62</b>		<b>41532</b>				
56	53	310	E N E	7.6	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.49 928 808	664.66 8274	4.8 1	
56	54	203	E N E	16.6	Tmax. Veloc. Viento	41532	5.61 647 055	274.91 7363	6.4 4	
56	55	110	E N E	60	Tmax. Veloc. Viento	41532	4.16 448 624	64.359 6089	9.1 2	
56	53	310	E N E	8	Tmin.Ca lma	41532	6.44 132 666	627.23 8379	4.9 2	
56	54	203	E N E	20	Tmin.Ca lma	41532	5.40 591 813	222.72 0613	6.8 3	
56	55	110	E N E	62	Tmin.Ca lma	41532	4.12 743 374	62.018 5631	9.1 9	
56	53	310	E N E	7.6	Tmax. Calma	41532	6.49 928 808	664.66 8274	4.8 1	
56	54	203	E N E	16.6	Tmax. Calma	41532	5.61 647 055	274.91 7363	6.4 4	
56	55	110	E N E	60	Tmax. Calma	41532	4.16 448 624	64.359 6089	9.1 2	
<b>56</b>	<b>69-1</b>	<b>265</b>	<b>W</b>	<b>12</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7687</b>	<b>6.88 681 259</b>	<b>979.27 5082</b>	<b>4.0 9</b>	<b>0.18 141</b>
<b>56</b>	<b>69-2</b>	<b>288</b>	<b>W</b>	<b>9.1</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7235</b>	<b>7.21 147 541</b>	<b>1354.8 8982</b>	<b>3.4 9</b>	<b>0.06 5522</b>
<b>56</b>	<b>70-1</b>	<b>310</b>	<b>W</b>	<b>8</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7687</b>	<b>7.34 498 816</b>	<b>1548.4 1663</b>	<b>3.2 5</b>	<b>0.04 0059</b>
<b>56</b>	<b>70-2</b>	<b>333</b>	<b>W</b>	<b>6.9</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>7597</b>	<b>7.51 454 09</b>	<b>1834.5 2506</b>	<b>2.9 3</b>	<b>0.01 9226</b>
56	69-1	265	W	10.5	Tmax. Veloc. Viento	7687	7.03 770 306	1138.7 6892	3.8 1	

56	69-2	288	W	9	Tmax. Veloc. Viento	7235	7.22 396 173	1371.9 1346	3.4 7	
56	70-1	310	W	7.5	Tmax. Veloc. Viento	7687	7.41 791 669	1665.5 6001	3.1 1	
56	70-2	333	W	6.5	Tmax. Veloc. Viento	7597	7.58 202 364	1962.5 9654	2.8 1	
56	69-1	265	W	11	Tmin.Ca lma	7687	6.98 513 544	1080.4 5275	3.9 1	
56	69-2	288	W	9.1	Tmin.Ca lma	7235	7.21 147 541	1354.8 8982	3.4 9	
56	70-1	310	W	8	Tmin.Ca lma	7687	7.34 498 816	1548.4 1663	3.2 5	
56	70-2	333	W	6.9	Tmin.Ca lma	7597	7.51 454 09	1834.5 2506	2.9 3	
56	69-1	265	W	10.05	Tmax. Calma	7687	7.08 720 002	1196.5 5279	3.7 2	
56	69-2	288	W	9	Tmax. Calma	7235	7.22 396 173	1371.9 1346	3.4 7	
56	70-1	310	W	7.5	Tmax. Calma	7687	7.41 791 669	1665.5 6001	3.1 1	
56	70-2	333	W	6.5	Tmax. Calma	7597	7.58 202 364	1962.5 9654	2.8 1	
<b>56</b>	<b>49</b>	<b>780</b>	<b>N N E</b>	<b>45.4</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.47 956 692</b>	<b>88.196 4684</b>	<b>8.5 4</b>	<b>0.99 98</b>
<b>56</b>	<b>50</b>	<b>676</b>	<b>N N E</b>	<b>54</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.28 354 363</b>	<b>72.496 8873</b>	<b>8.9 0</b>	<b>0.99 995</b>
<b>56</b>	<b>51</b>	<b>571</b>	<b>N N E</b>	<b>63.9</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.09 332 472</b>	<b>59.938 8408</b>	<b>9.2 5</b>	<b>0.99 999</b>
<b>56</b>	<b>52</b>	<b>564</b>	<b>N N E</b>	<b>64.6</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.08 101 332</b>	<b>59.205 4333</b>	<b>9.2 7</b>	<b>0.99 999</b>

56	53	310	E N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
56	54	203	E N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
56	55	110	E N E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
56	69-1	265	W	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
56	69-2	288	W	BF	BLEVE	7235	-	-	-	
56	70-1	310	W	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
56	70-2	333	W	BF	BLEVE	7597	-	-	-	

TK Fuente	TK Afectado	Distancia(m)	Punto	Intensidad de radiación(KW /sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (ttf)	Tiempo de falla (s)	Probit Y	Probabilidad
69-1	49	920	E N E	1.59	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41532	<b>8.26 707 616</b>	<b>3893.5 4823</b>	<b>1.5 4</b>	<b>0.00 027</b>
69-1	50	815	E N E	2.4	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41532	<b>7.80 181 593</b>	<b>2445.0 3796</b>	<b>2.4 0</b>	<b>0.00 4661 2</b>
69-1	51	711	E N E	3.3	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41532	<b>7.44 196 321</b>	<b>1706.0 9636</b>	<b>3.0 7</b>	<b>0.02 6803</b>
69-1	52	620	E N E	4.45	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	41532	<b>7.10 411 397</b>	<b>1216.9 6334</b>	<b>3.6 9</b>	<b>0.09 5098</b>
69-1	49	920	E N E	1.58	Tmax. Veloc. Viento	41532	8.27 420 552	3921.4 0593	1.5 3	
69-1	50	815	E N E	2.4	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.80 181 593	2445.0 3796	2.4 0	
69-1	51	711	E N E	3.25	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.45 921 545	1735.7 8572	3.0 4	
69-1	52	620	E N E	4.4	Tmax. Veloc. Viento	41532	7.11 688 247	1232.6 0176	3.6 7	



69-1	49	920	E N E	1.59	Tmin.Ca lma	41532	8.26 707 616	3893.5 4823	1.5 4	
69-1	50	815	E N E	2.4	Tmin.Ca lma	41532	7.80 181 593	2445.0 3796	2.4 0	
69-1	51	711	E N E	3.3	Tmin.Ca lma	41532	7.44 196 321	1706.0 9636	3.0 7	
69-1	52	620	E N E	4.45	Tmin.Ca lma	41532	7.10 411 397	1216.9 6334	3.6 9	
69-1	49	920	E N E	1.58	Tmax. Calma	41532	8.27 420 552	3921.4 0593	1.5 3	
69-1	50	815	E N E	2.4	Tmax. Calma	41532	7.80 181 593	2445.0 3796	2.4 0	
69-1	51	711	E N E	3.25	Tmax. Calma	41532	7.45 921 545	1735.7 8572	3.0 4	
69-1	52	620	E N E	4.4	Tmax. Calma	41532	7.11 688 247	1232.6 0176	3.6 7	
<b>69-1</b>	<b>53</b>	<b>490</b>	<b>E</b>	<b>7.5</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.51 425 519</b>	<b>674.69 1255</b>	<b>4.7 8</b>	<b>0.41 294</b>
<b>69-1</b>	<b>54</b>	<b>401</b>	<b>E</b>	<b>12</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.98 315 109</b>	<b>396.68 84</b>	<b>5.7 6</b>	<b>0.77 637</b>
<b>69-1</b>	<b>55</b>	<b>323</b>	<b>E</b>	<b>18</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.52 497 551</b>	<b>250.88 0195</b>	<b>6.6 1</b>	<b>0.94 63</b>
<b>69-1</b>	<b>56</b>	<b>265</b>	<b>E</b>	<b>25.5</b>	<b>Tmin. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.13 138 895</b>	<b>169.25 2037</b>	<b>7.3 3</b>	<b>0.99 01</b>
69-1	53	490	E	7.4	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.52 942 32	685.00 2988	4.7 5	
69-1	54	401	E	11	Tmax. Veloc. Viento	41532	6.08 147 394	437.67 3825	5.5 8	
69-1	55	323	E	18	Tmax. Veloc. Viento	41532	5.52 497 551	250.88 0195	6.6 1	

69-1	56	265	E	27	Tmax. Veloc. Viento	41532	5.06 679 994	158.66 5774	7.4 5	
69-1	53	490	E	7.5	Tmin.Ca lma	41532	6.51 425 519	674.69 1255	4.7 8	
69-1	54	401	E	12	Tmin.Ca lma	41532	5.98 315 109	396.68 84	5.7 6	
69-1	55	323	E	18	Tmin.Ca lma	41532	5.52 497 551	250.88 0195	6.6 1	
69-1	56	265	E	25.5	Tmin.Ca lma	41532	5.13 138 895	169.25 2037	7.3 3	
69-1	53	490	E	7.4	Tmax. Calma	41532	6.52 942 32	685.00 2988	4.7 5	
69-1	54	401	E	11	Tmax. Calma	41532	6.08 147 394	437.67 3825	5.5 8	
69-1	55	323	E	18	Tmax. Calma	41532	5.52 497 551	250.88 0195	6.6 1	
69-1	56	265	E	27	Tmax. Calma	41532	5.06 679 994	158.66 5774	7.4 5	
69-1	69-2	51	S W	CF	Tmin. Veloc. Viento	7235	-	-	-	
69-1	69-2	51	S W	CF	Tmax. Veloc. Viento	7235	-	-	-	
69-1	69-2	51	S W	CF	Tmin.Ca lma	7235	-	-	-	
69-1	69-2	51	S W	CF	Tmax. Calma	7235	-	-	-	
69-1	70-1	51	N W	CF	Tmin. Veloc. Viento	7687	-	-	-	
69-1	70-1	51	N W	CF	Tmin. Veloc. Viento	7687	-	-	-	
69-1	70-1	51	N W	CF	Tmin.Ca lma	7687	-	-	-	
69-1	70-1	51	N W	CF	Tmax. Calma	7687	-	-	-	

69-1	70-2	71	W	CF	Tmin. Veloc. Viento	7597	-	-	-	
69-1	70-2	71	W	CF	Tmin. Veloc. Viento	7597	-	-	-	
69-1	70-2	71	W	CF	Tmin.Ca lma	7597	-	-	-	
69-1	70-2	71	W	CF	Tmax. Calma	7597	-	-	-	
<b>69-1</b>	<b>49</b>	<b>920</b>	<b>E N E</b>	<b>36.4</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.72 923 288</b>	<b>113.20 8685</b>	<b>8.0 8</b>	<b>0.99 896</b>
<b>69-1</b>	<b>50</b>	<b>815</b>	<b>E N E</b>	<b>43.2</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.53 569 584</b>	<b>93.288 4066</b>	<b>8.4 3</b>	<b>0.99 97</b>
<b>69-1</b>	<b>51</b>	<b>711</b>	<b>E N E</b>	<b>51.3</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.34 150 505</b>	<b>76.823 0749</b>	<b>8.7 9</b>	<b>0.99 992</b>
<b>69-1</b>	<b>52</b>	<b>620</b>	<b>E N E</b>	<b>59.6</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.17 204 48</b>	<b>64.847 9177</b>	<b>9.1 1</b>	<b>0.99 998</b>
69-1	53	490	E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
69-1	54	401	E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
69-1	55	323	E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
69-1	56	265	E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
69-1	69-2	51	S W	BF	BLEVE	7235	-	-	-	
69-1	70-1	51	N W	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
69-1	70-2	71	W	BF	BLEVE	7597	-	-	-	

TK Fue nte	TK Afe ctado	Dist ancia( m)	P u nt o	Intensidad de radiación(KW /(sqw)		Volumen Tk. Afectado (m3)	LN (ttf)	Tiemp o de falla (s)	Pr obi t Y	Prob abili dad
69-2	49	967	E N E	1.4	Tmin. Veloc. Viento	41532	8.41 088 197	4495.7 2387	1.2 8	

69-2	50	867	E N E	1.68	Tmin. Veloc. Viento	41532	8.20 485 861	3658.6 8332	1.6 6	
69-2	51	768	E N E	2.2	Tmin. Veloc. Viento	41532	7.90 013 878	2697.6 5669	2.2 2	
69-2	52	667	E N E	3	Tmin. Veloc. Viento	41532	7.54 966 371	1900.1 0365	2.8 7	
69-2	49	967	E N E	1.49	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>8.34 047 858</b>	<b>4190.0 9458</b>	<b>1.4 1</b>	<b>0.00 0165 34</b>
69-2	50	867	E N E	1.8	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>8.12 689 667</b>	<b>3384.2 8071</b>	<b>1.8 0</b>	<b>0.00 0687 14</b>
69-2	51	768	E N E	2.4	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>7.80 181 593</b>	<b>2445.0 3796</b>	<b>2.4 0</b>	<b>0.00 4661 2</b>
69-2	52	667	E N E	3.2	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>7.47 673 518</b>	<b>1766.4 6417</b>	<b>3.0 0</b>	<b>0.02 275</b>
69-2	49	967	E N E	1.4	Tmin.Ca lma	41532	8.41 088 197	4495.7 2387	1.2 8	
69-2	50	867	E N E	1.68	Tmin.Ca lma	41532	8.20 485 861	3658.6 8332	1.6 6	
69-2	51	768	E N E	2.2	Tmin.Ca lma	41532	7.90 013 878	2697.6 5669	2.2 2	
69-2	52	667	E N E	3	Tmin.Ca lma	41532	7.54 966 371	1900.1 0365	2.8 7	
69-2	49	967	E N E	1.49	Tmax. Calma	41532	8.34 047 858	4190.0 9458	1.4 1	
69-2	50	867	E N E	1.8	Tmax. Calma	41532	8.12 689 667	3384.2 8071	1.8 0	
69-2	51	768	E N E	2.4	Tmax. Calma	41532	7.80 181 593	2445.0 3796	2.4 0	
69-2	52	667	E N E	3.2	Tmax. Calma	41532	7.47 673 518	1766.4 6417	3.0 0	

69-2	53	536	E	5	Tmin. Veloc. Viento	41532	6.97 243 076	1066.8 1277	3.9 3	
69-2	54	441	E	7.7	Tmin. Veloc. Viento	41532	6.48 451 663	654.92 2317	4.8 4	
69-2	55	361	E	12	Tmin. Veloc. Viento	41532	5.98 315 109	396.68 84	5.7 6	
69-2	56	288	E	18.5	Tmin. Veloc. Viento	41532	5.49 401 467	243.23 1745	6.6 6	
<b>69-2</b>	<b>53</b>	<b>536</b>	<b>E</b>	<b>5.1</b>	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.95 005 379</b>	<b>1043.2 0584</b>	<b>3.9 8</b>	<b>0.15 386</b>
<b>69-2</b>	<b>54</b>	<b>441</b>	<b>E</b>	<b>8</b>	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>6.44 132 666</b>	<b>627.23 8379</b>	<b>4.9 2</b>	<b>0.46 812</b>
<b>69-2</b>	<b>55</b>	<b>361</b>	<b>E</b>	<b>12.5</b>	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.93 702 223</b>	<b>378.80 5254</b>	<b>5.8 5</b>	<b>0.80 234</b>
<b>69-2</b>	<b>56</b>	<b>288</b>	<b>E</b>	<b>20</b>	<b>Tmax. Veloc. Viento</b>	<b>41532</b>	<b>5.40 591 813</b>	<b>222.72 0613</b>	<b>6.8 3</b>	<b>0.96 638</b>
69-2	53	536	E	5	Tmin.Ca lma	41532	6.97 243 076	1066.8 1277	3.9 3	
69-2	54	441	E	7.7	Tmin.Ca lma	41532	6.48 451 663	654.92 2317	4.8 4	
69-2	55	361	E	12	Tmin.Ca lma	41532	5.98 315 109	396.68 84	5.7 6	
69-2	56	288	E	18.5	Tmin.Ca lma	41532	5.49 401 467	243.23 1745	6.6 6	
69-2	53	536	E	5.1	Tmax. Calma	41532	6.95 005 379	1043.2 0584	3.9 8	
69-2	54	441	E	8	Tmax. Calma	41532	6.44 132 666	627.23 8379	4.9 2	
69-2	55	361	E	12.5	Tmax. Calma	41532	5.93 702 223	378.80 5254	5.8 5	

69-2	56	288	E	20	Tmax. Calma	41532	5.40 591 813	222.72 0613	6.8 3	
69-2	69-1	51	N E	CF	Tmin. Veloc. Viento	7687	-	-	-	
69-2	69-1	51	N E	CF	Tmax. Veloc. Viento	7687	-	-	-	
69-2	69-1	51	N E	CF	Tmin.Ca lma	7687	-	-	-	
69-2	69-1	51	N E	CF	Tmax. Calma	7687	-	-	-	
69-2	70-1	73	N	CF	Tmin. Veloc. Viento	7687	-	-	-	
69-2	70-1	73	N	CF	Tmin. Veloc. Viento	7687	-	-	-	
69-2	70-1	73	N	CF	Tmin.Ca lma	7687	-	-	-	
69-2	70-1	73	N	CF	Tmax. Calma	7687	-	-	-	
69-2	70-2	51	N W	CF	Tmin. Veloc. Viento	7597	-	-	-	
69-2	70-2	51	N W	CF	Tmin. Veloc. Viento	7597	-	-	-	
69-2	70-2	51	N W	CF	Tmin.Ca lma	7597	-	-	-	
69-2	70-2	51	N W	CF	Tmax. Calma	7597	-	-	-	
<b>69-2</b>	<b>49</b>	<b>967</b>	<b>E N E</b>	<b>33.7</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.81 632 304</b>	<b>123.51 0114</b>	<b>7.9 2</b>	<b>0.99 825</b>
<b>69-2</b>	<b>50</b>	<b>867</b>	<b>E N E</b>	<b>39.6</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.63 401 87</b>	<b>102.92 6866</b>	<b>8.2 5</b>	<b>0.99 942</b>
<b>69-2</b>	<b>51</b>	<b>768</b>	<b>E N E</b>	<b>46.7</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.44 766 469</b>	<b>85.427 2122</b>	<b>8.6 0</b>	<b>0.99 984</b>
<b>69-2</b>	<b>52</b>	<b>667</b>	<b>E N E</b>	<b>55.2</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.25 870 746</b>	<b>70.718 518</b>	<b>8.9 5</b>	<b>0.99 996</b>

<b>69-2</b>	<b>53</b>	<b>536</b>	<b>E</b>	<b>67.8</b>	<b>BLEVE</b>	<b>41532</b>	<b>4.02 638 032</b>	<b>56.057 6329</b>	<b>9.3 8</b>	<b>0.99 999</b>
69-2	54	441	E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
69-2	55	361	E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
69-2	56	288	E	BF	BLEVE	41532	-	-	-	
69-2	69-1	51	N E	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
69-2	70-1	73	N	BF	BLEVE	7687	-	-	-	
69-2	70-2	51	N W	BF	BLEVE	7597	-	-	-	

Anexo 8: Secuencia de los escenarios para los tanques 53 y 69-1.

TK5 3	TK4 9	TK5 0	TK5 1	TK5 2	TK5 4	TK5 5	TK5 6	TK69- 1	TK69- 2	TK70- 1	TK70- 2	SECUENC IA
X												1
X	X											2
X		X										3
X			X									4
X				X								5
X					X							6
X						X						7
X							X					8
X								X				9
X									X			10
X										X		11
X											X	12
X	X	X										13
X	X		X									14
X	X			X								15
X	X				X							16
X	X					X						17
X	X						X					18
X	X							X				19
X	X								X			20
X	X									X		21
X	X										X	22
X	X	X	X									23
X	X	X		X								24

X	X	X			X							25
X	X	X				X						26
X	X	X					X					27
X	X	X						X				28
X	X	X							X			29
X	X	X								X		30
X	X	X									X	31
X	X	X	X	X								32
X	X	X	X		X							33
X	X	X	X			X						34
X	X	X	X				X					35
X	X	X	X					X				36
X	X	X	X						X			37
X	X	X	X							X		38
X	X	X	X								X	39
X	X	X	X	X	X							40
X	X	X	X	X		X						41
X	X	X	X	X			X					42
X	X	X	X	X				X				43
X	X	X	X	X					X			44
X	X	X	X	X						X		45
X	X	X	X	X							X	46
X	X	X	X	X	X	X						47
X	X	X	X	X	X		X					48
X	X	X	X	X	X			X				49
X	X	X	X	X	X				X			50
X	X	X	X	X	X					X		51
X	X	X	X	X	X						X	52
X	X	X	X	X	X	X	X					53
X	X	X	X	X	X	X		X				54
X	X	X	X	X	X	X			X			55
X	X	X	X	X	X	X				X		56
X	X	X	X	X	X	X					X	57
X	X	X	X	X	X	X	X	X				58
X	X	X	X	X	X	X	X		X			59
X	X	X	X	X	X	X	X			X		60
X	X	X	X	X	X	X	X				X	61
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			62
X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		63
X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	64
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		65
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	66
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	67



TK69-1	TK49	TK50	TK51	TK52	TK53	TK54	TK55	TK56	TK69-2	TK70-1	TK70-2	SECUENCIA IA
X												1
X	X											2
X		X										3
X			X									4
X				X								5
X					X							6
X						X						7
X							X					8
X								X				9
X									X			10
X										X		11
X											X	12
X	X	X										13
X	X		X									14
X	X			X								15
X	X				X							16
X	X					X						17
X	X						X					18
X	X							X				19
X	X								X			20
X	X									X		21
X	X										X	22
X	X	X	X									23
X	X	X		X								24
X	X	X			X							25
X	X	X				X						26
X	X	X					X					27
X	X	X						X				28
X	X	X							X			29
X	X	X								X		30
X	X	X									X	31
X	X	X	X	X								32
X	X	X	X		X							33
X	X	X	X			X						34
X	X	X	X				X					35
X	X	X	X					X				36
X	X	X	X						X			37
X	X	X	X							X		38
X	X	X	X								X	39

X	X	X	X	X	X							40
X	X	X	X	X		X						41
X	X	X	X	X			X					42
X	X	X	X	X				X				43
X	X	X	X	X					X			44
X	X	X	X	X						X		45
X	X	X	X	X							X	46
X	X	X	X	X	X	X						47
X	X	X	X	X	X		X					48
X	X	X	X	X	X			X				49
X	X	X	X	X	X				X			50
X	X	X	X	X	X					X		51
X	X	X	X	X	X						X	52
X	X	X	X	X	X	X	X					53
X	X	X	X	X	X	X		X				54
X	X	X	X	X	X	X			X			55
X	X	X	X	X	X	X				X		56
X	X	X	X	X	X	X					X	57
X	X	X	X	X	X	X	X	X				58
X	X	X	X	X	X	X	X		X			59
X	X	X	X	X	X	X	X			X		60
X	X	X	X	X	X	X	X				X	61
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			62
X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		63
X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	64
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		65
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	66
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	67

