

Trabajo Final de Máster

Investigación de siniestros mediante métodos de Ingeniería Forense

Autor

Luis Iván Sánchez Sánchez

Valencia, (2011/2012)

Tutor Investigación Externo: Dr. Pons i Grau Vicent

Tutor Investigación Interno: Dr. Martorell Alsina Sebastián Salvador

Curso: Máster Oficial en Seguridad Industrial y Medio Ambiente



DEDICATORIA

A mi madre quien con su infinito cariño y amor me dio las fuerzas para seguir adelante.

A mi padre quien con su gran esfuerzo hizo posible este sueño.

AGRADECIMIENTO

A mis familiares y amigos en especial a Marta Martínez, Patricia Martínez, Lourdes Armar, Esther Gil, Raquel Garrido ya que sin su apoyo no hubiese logrado mis objetivos.

Dr. Vicent Pons i Grau, Dr. Sebastián Martorrel y el Dr. Óscar Román Herrera Tarazón por su gran apoyo en mi formación.



RESUMEN

En el presente trabajo, se desarrolló una investigación del origen y las causas de un siniestro, determinando las circunstancias y los actores que intervienen para que acontezca un hecho no deseado. Mediante el uso de la metodología de Ingeniería Forense (ingeniería inversa), logramos determinar el comportamiento de un sistema dinámico y las consecuencias del daño originadas por tal suceso, las cuales son cuantificables a medida del grado de daño adquirido ante una pérdida.

ABSTRACT

In this paper, we developed an investigation of the origin and causes of an accident, determining the circumstances and actors involved to happen a fact spam. By using the methodology of forensic engineering (reverse engineering), we determine the behavior of a dynamical system and the consequences of damage caused by the event, which are quantifiable measure of the degree of damage acquired at a loss.

PALABRAS CLAVE

Siniestro, Ingeniería Forense, metodología, origen y causas.

KEYWORDS

Accident, Forensic Engineering, methodology, origin and causes.



ÍNDICE

Contenido

1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Objetivos del proyecto	6
1.4 Justificación del interés científico/ social y académico	7
2. Fundamentos teóricos de la investigación	8
2.1 Civilización del riesgo	8
2.2 Teoría de la protección	9
2.2.1 Evaluación de la amenaza, peligro, riesgo y detrimento.....	10
2.2.2 Nivel de seguridad y grado de protección	12
2.3 Teoría del caos.....	13
2.3.1 Sistemas caóticos	13
2.3.2 Entropía, caos y orden	14
2.4 Ingeniería forense	16
2.4.1 Metodología de la Ingeniería Forense	17
2.4.2 Metodología científica	19
2.4.3 Normatividad y conocimiento técnico	20
2.5 Metodología 5 “M”	22
2.6 Dinámica de los sistemas	23
2.6.1 Dinámica del fuego	23
2.7 Marco conceptual	27
3. Metodología	29
3.1 Circunstancias en las que acontece un siniestro	30
3.1.1 Clasificación del riesgo según su origen	34
3.1.2 Fenómenos y siniestros asociados al tipo de riesgo	35
3.2 Actores que intervienen en un siniestro	39
3.3 Investigación	41
4. Aplicación a la investigación de un siniestro	44
4.1 Siniestro a evaluar.....	44
4.1.1 Recolección de información	44
4.1.2 Inspección de campo	47
4.1.3 Descripción y evaluación del área.....	52
4.1.4 Generación de hipótesis	55
4.1.5 Búsqueda y análisis de evidencias.....	60
4.1.6 Rechazar o aceptar hipótesis.....	63
4.1.7 Origen, causa y conclusiones del siniestro.....	63
4.2 Determinar las consecuencias de daño ocasionados por un siniestro	66
5. Conclusiones y recomendaciones	70
6. Bibliografía	72
7. Anexos	74



1. Introducción

La creciente evolución del ser humano para el cumplimiento de sus necesidades, ha conllevado el incremento del uso de nuevas tecnologías y recursos naturales para su mejor desarrollo y el cumplimiento de sus necesidades.

En los últimos años la creciente industrialización ha generado una serie de preocupaciones para la sociedad misma, ya que esta revolución tecnológica ha generado un gran consumo de recursos, como es el caso del consumo energético, el agua, entre otros. La aportación que se tiene ante este cambio ya sea favorable para el ser humano, también es en gran medida una serie de problemas, los cuales actualmente son sujeto de estudio para la amortiguación de sus efectos al medio.

Ante los avances tecnológicos generados, el uso de sustancias peligrosas dentro de los procesos, el uso de maquinarias, materiales entre otros han originado una serie de amenazas a la seguridad natural y social, no solo causando un fuerte impacto económico para las diferentes actividades empresariales sino que además daños materiales, medio ambientales y sociales, o en el peor de los casos la muerte humana individual o colectiva.

El hecho es que el crecimiento de las necesidades humanas a llevado a un incremento en la evolución de la tecnología y por lo tanto, un incremento en los peligros que le rodean; a esta nueva sociedad se le denomina “sociedad de riesgos”.

Esta denominada sociedad de riesgos, tendrá que tomar medidas de protección y prevención ante los siniestros mediante la investigación de los actores que intervienen en su medio, para así poder cumplir con sus expectativas de vida, manteniendo así la mejor interacción entre las personas y el medio.

La brecha existente entre el riesgo y el siniestro, definirá una serie de actores secuenciales extraordinarios y repentinos en el tiempo, de los cuales emergen un sinnúmero de sucesos causantes de siniestros tecnológicos y ambientales, logrando con ello una alteración a un medio determinado. Muchos de estos siniestros no han sido identificados y muchos siguen siendo una interrogante en su investigación.

Para poder determinar la naturaleza de los siniestros, es necesaria la introducción del conocimiento de áreas especializadas dirigidas a la investigación de sucesos afectantes y dañinos.

Es tal el caso de la Ingeniería Forense, la cual se basa en la aplicación de la crítica y el saber tecnológico apoyada en el método del por qué de las cosas y así determinar la investigación de sucesos causantes de daños y trastornos mediante la investigación visual y objetiva de los diferentes actores que intervienen y correlacionan en un hecho ya acontecido, es decir, su principal esencia es el estudio de los siniestros.

Así pues, en este estudio, se explican algunos conceptos necesarios para el mejor entendimiento de las circunstancias en las que acontece un siniestro, se hace un análisis de los actores que intervienen en el mismo. Se expondrá el procedimiento que sigue la Ingeniería Forense en la interpretación correcta en la que acontece un siniestro. Observaremos casos reales de investigación, donde podremos analizar las distintas consecuencias que se derivan de un siniestro.

1.1 Antecedentes

Antiguamente, la visión que se tenía ante un hecho accidental e inusual cuando era de carácter inexplicable, lo delimitaban como un hecho divino o debido al destino propio; este hecho en la actualidad podría definirse como la falta del conocimiento mismo.



Ilustración 1. Foro romano

Históricamente hablando, en la época Romana el estudio de estos hechos ya denotaba un cambio absoluto en el saber, en las cortes de la antigua Roma también llamado foro romano, los jueces se sentaban a deliberar ante un hecho ocurrido, para así, hacer sus leyes.

He de ahí la palabra forense proveniente de la palabra latina *forensis*. Se refiere a "foro" en una clara alusión al foro romano. Se usa actualmente en referencia al debate de ideas, motivos, causas, así como en la presentación de evidencia.

Pero es en China durante la dinastía Tang, cuando en el siglo VII, Ti Yen Chieh se hizo famoso por utilizar la lógica y las pruebas forenses para resolver crímenes. Es en este punto donde los historiadores coinciden en el lugar y fecha del nacimiento de las ciencias forenses, las cuales desde su campo propio de estudio, proporcionan información útil para poder evaluar un aspecto concreto en un juicio, es decir, todo lo forense, por tanto, contiene un fuerte componente argumentativo, de confrontación entre distintas ideas, opiniones, versiones o evidencias.

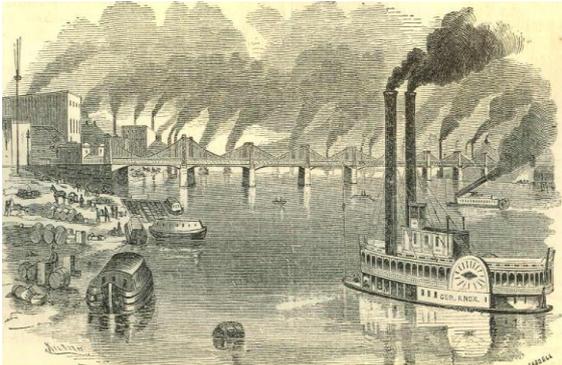


Ilustración 2. Revolución industrial

En el caso específico de la Ingeniería Forense, ésta tuvo su desarrollo más importante hasta el crecimiento de las ciudades, sobre todo a partir de la revolución industrial, ya que la cantidad de siniestros creció al mismo ritmo que la población.

Esta ciencia forense, ha logrado un avance significativo en la calidad de la investigación en todos los campos de la siniestralidad, para ello hace uso de personal especializado, como es el caso del ingeniero forense el cual se ocupa de los aspectos asociados a la determinación de las causas físicas o técnicas de los accidentes mediante la metodología que expone dicha área.

Actualmente, las circunstancias, los factores y actores influyentes a que se desarrolle un hecho no deseado y las consecuencias de daño originados. Han resultado en una serie de investigaciones actuales y que a la fecha son sujeto de estudio debido a la necesidad de la protección misma y supervivencia del ser humano.

La reciente investigación del orden como consecuencia del caos mismo en los sistemas dinámicos, su evolución temporal y dinámica, la influencia de los distintos factores y actores que intervienen para que un determinado sistema cambie su estado, el actual estudio ante una civilización de riesgos para la obtención de la protección misma y la supervivencia del ser humano, el estudio de siniestros mediante metodologías de investigación para la determinación de sus causas y efectos, todo esto ha llevado a un nuevo replanteamiento en el estado científico en relación a la investigación de los eventos siniestrales.



1.2 Planteamiento del problema

La investigación de siniestros hace frente a los inminentes cambios que exige una sociedad de riesgos expuesta a un constante peligro. Esto debido a riesgos de origen natural, humano y más aún tecnológico, siendo este último generado a medida del avance tecnológico continuo provocado por el ser humano, sea esto por el atendimiento de sus actuales y crecientes necesidades.

Aunque la investigación de siniestros ha sido completamente estudiada desde tiempos antiguos, la lectura ante la manera de comprender estos hechos mediante una visión objetiva y prevenible es un tanto limitado a nivel cultural.

Es por ello de la adopción de una metodología en la investigación de siniestros para el mejor entendimiento de los sucesos, aquellos sucesos caóticos, en los que ponen en amenaza la supervivencia del ser humano y la limitación de sentirse seguro y protegido.

Los modelos actuales que intervienen en una parte fundamental del entendimiento en la investigación de siniestros, marcan un cambio significativo para el conjunto de áreas actuales que se dedican a esta rama, ya sea el caso de la Ingeniería Forense, la cual hace uso de una metodología científica en conjunto a los conocimientos técnicos de la dinámica de los sistemas, su comportamiento, evolución en el espacio tiempo, así como los requerimientos gubernamentales necesarios que den lugar a una mejor calidad de vida con un constante aprendizaje del funcionamiento y actuación de los diversos factores y actores que influyen para que un siniestro pueda originarse.

La metodología de la ingeniería forense pretende determinar la causa raíz del siniestro ya acontecido, definiendo una serie de pasos lógicos, objetivos y determinísticos para la obtención de cómo es que el suceso fue adoptado como un hecho caótico.

Con la investigación de siniestros mediante métodos de Ingeniería Forense, se busca el mejor entendimiento de la actuación que tiene un hecho catastrófico ante la pérdida de bienes materiales, naturales y en el peor de los casos la muerte humana.

El poder comprender los factores y actores influyentes para determinar su origen y causas, determinar la magnitud del daño que puede originarse, para hacer frente a los cambios constantes y entrópicos que nos rodean y así mantener la supervivencia del ser humano.

Es por ello que el actual crecimiento tecnológico desmedido a consecuencia del ser humano, ha denotado un avance alarmante ante el peligro, donde la cultura y el ambiente mismo son actualmente susceptibles, de ahí la importancia del saber de los acontecimientos del medio que nos rodea y del que generamos en constante cambio.

Para poder entender mejor el problema es necesario que nos planteemos las siguientes cuestiones:

- ¿En qué circunstancias acontece un siniestro?
- ¿Qué actores intervienen para que se origine un siniestro?
- ¿Cuál es la interpretación veraz y objetiva de un siniestro mediante los métodos de ingeniería forense?
- ¿Qué consecuencias de daño se origina ante un siniestro?

Son entonces estas cuestiones las determinantes para la resolución del problema que se nos presenta, es decir, la determinación en la circunstancias los actores y la misma evolución del sistema mismo para la determinación metodológica en la investigación de siniestros sea cual sea su origen. Nos ayudaran a determinar el mejor entendimiento de un siniestro para la obtención de la protección y supervivencia humana.

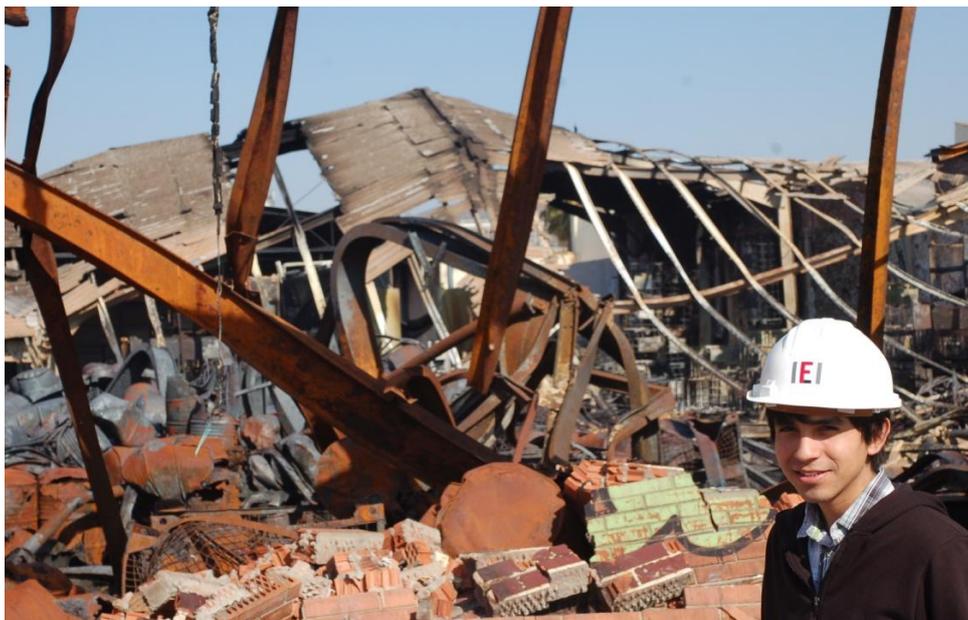


Ilustración 3. Incendio Vila de Cans

1.3 Objetivos del proyecto

Objetivo general.

Exponer los actores que interviene y las circunstancias en las que acontece un siniestro para la mejor interpretación que sigue la metodología de la Ingeniería Forense y así determinar el origen, causas y consecuencias de un siniestro.

Objetivos específicos.

- Estudiar las circunstancias en las que acontece el siniestro.
- Analizar de los actores que intervienen al acontecer un siniestro.
- Exponer el procedimiento que sigue la Ingeniería Forense, en la interpretación correcta y veraz de las diferentes discusiones que se pueden presentar al esclarecer un siniestro.
- Establecer el origen y las causas de ocurrencia de un siniestro.
- Determinar las consecuencias de daños ocasionados por un siniestro, donde se derivan daños en la propiedad, bienes e incluso lesiones en las personas y en algunos casos, con pérdidas de vida humanas.



Ilustración 4. Siniestros asociados a la investigación forense

1.4 Justificación del interés científico/ social y académico

El presente trabajo se desarrolla para el cumplimiento de los objetivos propuestos para obtener la titulación del Máster Oficial en Seguridad Industrial y Medio Ambiente, haciendo uso de las herramientas adquiridas durante la formación profesional y del curso mismo.

Las necesidades científicas/ sociales nos marcan como principios justificables del presente proyecto encaminado a un mejor desarrollo, las siguientes razones:

Valorar las circunstancias en las que acontece un siniestro, así mantendremos un mejor conocimiento sobre los factores y actores que puedan intervenir para que exista un acontecimiento de tal magnitud.



La investigación y el análisis de los actores que intervienen ante un hecho que conducen a daños y trastornos, proporciona medidas de protección y prevención de los siniestros.

Exponer una metodología la cual mantiene un aprendizaje continuo de los aspectos técnicos y científicos en una sociedad de riesgos, proporcionara un mayor entendimiento del origen, causas y consecuencias de la ocurrencia ante un siniestro.

Ilustración 5. Incendio Vila de Cans 2

El valorizar las consecuencias que conlleva un siniestro, mantendrá un foco activo del estudio de estos hechos y así disminuir en gran medida el efecto de pérdidas que se tiene ante un acontecimientos no deseados para el mantenimiento de un bienestar social/ ambiental y económico.

Para ello, hay que tomar partida de las circunstancias en las que estos acontecen, los actores influyentes a que esto suceda y esclarecer por metodología el origen, las causas y las consecuencias en las que incurre un suceso de tal magnitud. Permittiéndonos así asegurar una mejor calidad de la investigación, y mantener un estudio continuo de los aconteceres y lo que los provoca para la disminución de su impacto en la sociedad y el medio.



2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1 Civilización del riesgo

La civilización del riesgo fue consecuencia de la generación del gran riesgo tecnológico, con ella se nos plantea un nuevo problema y de extrema gravedad, dando lugar a la responsabilidad social para lograr hacer frente a los sucesos catastróficos, *Patrick Lagadec* [1]. Hoy en día, la existencia de zonas que se encuentran bajo la amenaza de graves destrucciones, contaminaciones y evacuaciones, son causas de grandes catástrofes tanto naturales como tecnológicas.

Entiéndase como una catástrofe a un desastre inevitable por alteración de un medio, entre ellos podemos encontrar dos tipos: catástrofe natural, que es la ruptura de un sistema natural ante un desastre y catástrofe tecnológica, que es un acontecimiento extraordinario y repentino que alteran de manera irreversible la estabilidad de un estado de cosas [2]. No todo acontecimiento extraordinario y repentino siempre es catástrofe, solo se puede considerar como catástrofe, en los siguientes casos:

- Solo será catástrofe aquellas eventualidades repentinas que ocasione una alteración destructiva (irreversible) en el entorno natural o urbano.
- Una catástrofe no es catástrofe si no hay un deterioro.
- En la medida que los trastornos ocasionados se perciben y se manifiestan públicamente.

Es un hecho actual que la tecnología se ha convertido en una fuente potencial de catástrofes y por tanto pérdidas, es por ello que ya no puede ser ignorada nuestra responsabilidad social, ya que estará en juego nuestra supervivencia. El valor catastrófico que se genera, viene dado por lo que se destruye no por lo que origina la destrucción. Las investigaciones actuales sobre estos fenómenos, se basan en la protección personal y el saber del por qué de estos, para así evitar en mayor medida pérdidas tanto económicas como humanas.

Para ello *Patrick Lagadec* [1] dice, hay que interrogarse en cuanto a las nuevas exigencias que la sociedad técnico-científica debe imponerse a sí misma si pretende reunir las condiciones necesarias para su desarrollo, esta es la verdadera tarea que es preciso acometer. Sin ideas preconcebidas; sin alarmismos, sin el terror que paraliza, sin la despreocupación que conduce al desastre. Pero si con la seriedad de nuestro pensamiento.



2.2 Teoría de la protección

Teoría que se basa en el cumplimiento de la primera necesidad del ser humano, la protección, para su propia supervivencia ante un peligro. El peligro es consecuencia del ambicioso crecimiento del ser humano al incrementar sus actividades para el logro de sus objetivos, es decir, una mejor calidad de vida. Para que el peligro pueda actuar, es necesaria la ayuda de un agente agresor el cual será el causante de un daño, independientemente a su procedimiento, origen y surgimiento. Es por ello de la ambición por alcanzar un estado confortable ante el peligro, es decir, la protección.

Francisco Díaz de la Cruz Dolores Carrillo [3], dice que la protección es una acción conducente a oponerse a los efectos o consecuencias perjudiciales que un agente agresor puede inducir sobre la naturaleza de un individuo o de una colectividad o sobre su entorno vital, provocando daños materiales o sociales, o inherentes a su bienestar o a su calidad de vida.

Existen dos mecanismos para conseguir la protección acorde al tipo de peligro:

- Mecanismos Intrínsecos: son involuntarios, inherentes a la naturaleza del individuo (comportamiento del individuo).
- Mecanismos Extrínsecos: fruto de un proceso de estudio y análisis del peligro y en la experiencia de causas, consecuencias, efectos (Información).

Para poder adquirir la protección, es necesario encontrar el equilibrio funcional entre estos dos mecanismos, para ello ambos deben de actuar en conjunto para lograr su objetivo. Dentro de las causas que hacen disminuir la eficacia de la protección ante una situación de catástrofe, encontramos:

- Falta del equilibrio entre alguno de los elementos de los mecanismos intrínsecos y extrínsecos.
- Grupos críticos, es decir, grupos con menor defensa ante un peligro como lo son aquellos condicionados físico/ mental (niños, ancianos, enfermos).

Como parte de la protección encontramos la seguridad, pero esta no es en si la protección, ya que no sirve de nada tener seguridad sin haber aprovechamiento de los conocimientos necesarios para actuar ante un peligro (mecanismo extrínseco), más que nada la seguridad es un componente añadido al grado de protección que un individuo pueda adquirir por medio de los conocimientos previos adquiridos mediante una planificación, formación y capacitación.



2.2.1 Evaluación de la amenaza, peligro, riesgo y detrimento

Estar bajo la amenaza de un peligro, es correr el riesgo de sufrir un daño causado por la actuación de un acto temerario en conjunto a un pensamiento imprudente que incrementaría el detrimento (deterioro) social de la comunidad.

La amenaza, el peligro y el riesgo son parte de un estado de actuación continuo para la generación de un daño ante un suceso catastrófico, es decir, a medida que tengo una amenaza he generado un peligro, y por consecuente un riesgo para una determinada población o sujeto.

La amenaza representa un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente [10].

Su análisis es más bien probabilístico ya que lo combina con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, y debido a la complejidad de los sistemas por la interacción de sus variables, es más complicado el deducir su ocurrencia [10].

Siendo entonces la amenaza el estado latente al peligro y este todo aquello que puede originar un daño.

La diferencia fundamental entre la amenaza, peligro y el riesgo, está en que la amenaza y el peligro están relacionados con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias.

El riesgo es resultado de 3 factores:

- Peligrosidad (P): conjunto de características intrínsecas a un fenómeno que lo hace peligroso (tipología, probabilidad de ocurrencia, dimensión espacial y temporal).
- Vulnerabilidad (V): Tanto por uno de la población, bien o servicio expuesto a un peligro que resultaría dañado por la acción de éste. Se expresa con una escala del 0 al 1, donde 0 ausencia total de daños y 1 el mayor nivel de daños, destrucción total.
- Exposición (E): conjunto de personas, bienes y servicios expuestos a la acción de un peligro.

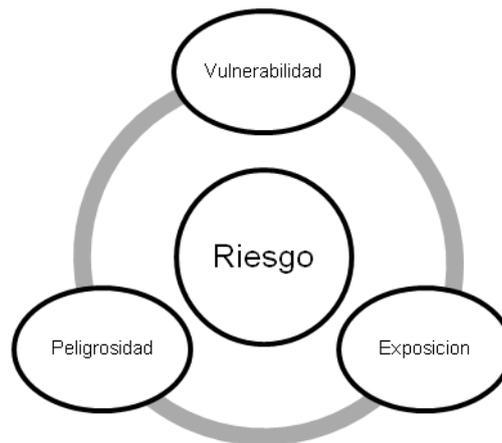


Ilustración 6. Factores aunados al riesgo

Existen dos tipos de riesgos.

- Riesgo absoluto (sociológico y colectivo): Valoración total de daños en un intervalo de tiempo determinado.
- Riesgo relativo (individual): Se obtiene dividiendo el riesgo absoluto por aquella magnitud sobre la que se ha aplicado.

Siendo entonces el riesgo la probabilidad de que ocurran daños y pérdidas materiales, ambientales y humanas por la falta del conocimiento.

Para obtener la probabilidad del riesgo ante un determinado peligro, se valora mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1. Riesgo

$$R = \text{Frecuencia de ocurrencia} \times \text{Daño que produce dicho peligro}$$

El daño generado puede ser calculado por la siguiente expresión:

Ecuación 2. Daño

$$D = \text{Numero de víctimas} / \text{sucesos ocurridos}$$

Para poder determinar el número de veces que se puede ocasionar un daño (Frecuencia).

Ecuación 3. Frecuencia

$$F = \text{Numero de sucesos provocados en un daño (D)} / \text{Intervalo de tiempo } \Delta T$$

Para poder disminuir el daño hay que adoptar medidas de protección y para la disminución de la frecuencia hay que evitar que se produzca tal suceso causante de daño.



Existen diferentes tipos de detrimento (deterioro):

- Detrimento tangible, evaluable u objetivo (cuantificable en el deterioro).
- Detrimento difícilmente evaluable o relativo (cuando la sociedad queda afectada por algún accidente).
- Detrimento intangible o subjetivo (penalizaciones que sufre una población a causa de una catástrofe, bien sea por la adopción de medidas de seguridad).

2.2.2 Nivel de seguridad y grado de protección

El nivel de seguridad se calcula como producto de tres factores:

Ecuación 4. Nivel de seguridad

$$Ns = fm * fa * fp$$

Francisco Díaz de la Cruz Dolores Carrillo [3] dice que el nivel de seguridad es un concepto cuantitativo que mide la eficacia global conseguida con las estructuras y actividades asociadas a la seguridad, y depende de factores económicos y culturales.

Se obtiene, teniendo en cuenta el rendimiento aportado por el material (f_m), la eficacia de la actuación de los sujetos activos (f_a , autoridades de protección) y el comportamiento de los sujetos pasivos (f_p , Población en general).

Francisco Díaz de la Cruz Dolores Carrillo [3], dice que el grado de protección se determina mediante una función de relación, dicho grado está relacionado cualitativamente con parámetros.

$$gp = f(ta, ns, c, ea, m, d, h, \dots)$$

Ns	Nivel de seguridad alcanzado.
Ta	Conocimiento que se tenga del tipo de accidente.
C	Nivel cultural de la población (comportamiento de las personas).
Ea	Estación del año.
M	Condiciones meteorológicas reinantes.
d, h	El día, hora su influencia puede ser sensible.

2.3 Teoría del caos

Esta teoría se refiere al tratamiento de sistemas dinámicos sensibles a las variaciones en las condiciones iniciales y los cambios que se generan en su comportamiento futuro, aun así siendo estos determinísticos dadas sus variables iniciales, complicando así su predicción.

2.3.1 Sistemas caóticos

Un sistema puede ser un átomo, molécula, compuesto, célula, organismo, cámara fotográfica, televisor, insecto, flor, tierra, sociedad, ciudad, galaxia, sol, en si cualquier pedazo de materia.

Entonces se define sistema como cualquier colección de materia que quiere estudiar, ósea aquella en que concentramos nuestra atención en un momento dado [7].

Siendo los sistemas dinámicos el objeto de estudio de dicha teoría, nos modelan cómo evolucionan estos con el paso del tiempo.

Hay dos tipos de sistemas dinámicos, los discretos y los continuos.

- Sistemas discretos: Varían con el tiempo paso a paso y se dividen en lineales (suma de dos soluciones es una solución) y no lineales (no hay proporcionalidad entre causa y efecto). *Carlos Madrid* [6].
- Sistemas continuos: El tiempo no corre paso a paso, si no que lo hace continuo. *Carlos Madrid* [6].

Un sistema visto desde el punto de vista del caos, es decir sistema caótico, es un sistema flexible y no lineal.

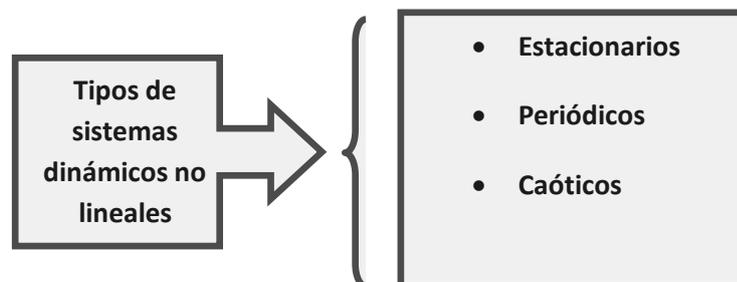


Ilustración 7. Sistemas no lineales



En los sistemas dinámicos no lineales, podría decirse que es un suceso indeterminado ya que la magnitud de este se mide por los valores del instante anterior, sin embargo, los valores de salida no son proporcionales a los valores de entrada, así, microcambios en el inicio pueden causar macrocambios en el estado final. Esta desproporción entre causa y efecto, marcan el comportamiento tan variado que presentan, determinando puntos fijos, orbitas periódicas, orbitas cuasiperiódicas y orbitas caóticas.

El comportamiento caótico de un sistema ya sean estos a niveles microscópico, macroscópico y cosmológico, nos dicen que:

- Un sistema mantiene una armonía organizada, simple y compleja en un caos determinado.
- Cada sistema actúa para conformar un equilibrio entre el caos y el orden.
- El desarrollo del caos en un sistema será en función al tiempo, ya que este no es lineal si no fractal según la perspectiva. Según *Ilya Prigogine* [4], este siempre es consecuencia de la inestabilidad.
- El cambio de las variables iniciales en un sistema determinaran la gran influencia sobre el resultado caótico.
- Los cambios que se generan por un pequeño efecto o distintas variables en una totalidad de un sistema tienden a la autoorganización para lograr el orden.

Todos los mecanismos que funcionan en nuestro planeta están impregnados de caos, toda naturaleza de sólidos, fluidos, sonidos, calor, luz, electricidad. Un ejemplo de sistema caótico podría ser un río, en donde cada partícula de agua sigue una trayectoria aleatoria e impredecible que sin embargo no rompe con la dinámica establecida en el mismo río.

2.3.2 Entropía, caos y orden

El caos desde la perspectiva del orden se refiere a la manifestación de acontecimientos de la vida cotidiana que son aparentemente aleatorios y desordenados. *John Briggs y F David Peat* [5].

Esta definición surge a partir de poder entender que el orden reduce en medida al desorden, pero es aquí donde surge el paradigma de que cualquier factor, por más mínimo que sea, puede afectar gradualmente al comportamiento y la evolución de la naturaleza misma.



Es entonces el caos encontrar el orden en el desorden mismo, ya que cada acción por mínima que sea, decide el futuro dramáticamente de un sistema, de esto surge la definición del caos, según, *Carlos Madrid* [6], “comportamiento aparentemente errático impredecible de algunos sistemas dinámicos”.

Teniendo en cuenta el comportamiento de un sistema caótico, podríamos decir entonces que, todo universo tiende a ser caótico, hacia la destrucción de los sistemas, la dispersión de la energía en sus formas más degradadas y al aumento de la entropía, ya que la estabilidad de un sistema depende de la entropía, todo esto es un proceso natural.

Se define entropía como el grado de desorden y de caos que existe en la naturaleza, es el segundo principio de la termodinámica que puede definirse esquemáticamente como el “progreso para la destrucción”, o “desorden inherente a un sistema” [7].

El aumento de la entropía resulta de dos distintos procesos:

- Principio de la reducción de la tensión: disminución de la energía potencial, debido a la interacción espontánea por fuerzas de campo.
- Principio de la dirección dinámica: orden alcanzado en las condiciones de un sistema afectado, agentes y sucesos que actúan de manera desordenada, es decir, una serie de fuerzas que intervienen mutuamente de forma constante (aumento de entropía).

Cuanto mejor sea la distribución en el grado de distribución de la energía, mayor será su entropía, ya que sin el grado de desorden no habría existencia de entropía.

Los sistemas, al llegar a su máximo nivel de aumento de entropía, desorden y equilibrio ya no puede regresar a su estado inicial, lo que significa una disminución imposible de la entropía; esto conlleva a la integración del sistema muerto al medio ambiente, es decir, el máximo de entropía al incorporarse y alcanzar el equilibrio y la estabilidad a que tiene el resto del universo.

Las sociedades son el único sistema que por medio de la aplicación de energía somos capaces de oponernos al caos y defendernos de la entropía, ya que la única forma de que la entropía de un sistema no aumente, es insertándole energía, normalmente en forma de trabajo. Prácticamente todos nuestros actos desde que nos levantamos hasta que nos vamos a la cama, tratan de hacer decrecer la entropía, intentando poner orden en el caos.

2.4 Ingeniería forense

La ingeniería forense aplica un sinfín de aplicaciones simultáneas o secuenciales de varios conocimientos y metodologías de la ingeniería, para poder dar respuesta a los distintos tipos comunes de fallos, eventos catastróficos y la pérdida general de los bienes.

Los ingenieros forenses normalmente analizan cualquier tipo siniestro, respondiendo a la pregunta, ¿que causó que esto suceda? Esto conlleva al análisis metodológico, ya sea como, accidentes de coches, derrumbes de edificios, accidentes industriales, explosiones y varias lesiones que cundan en lesiones y pérdidas significativas, no siendo estos los más comunes.

Definición según *Randall K. Noon* [8], La Ingeniería Forense es similar al análisis de fallas y análisis de causa raíz con respecto a las metodologías de ciencia y de ingeniería empleadas; asociada a los accidentes, crímenes, catástrofes, la degradación de los bienes y varios tipos de fallos.

El análisis de fallos hace referencia a la determinación de como una parte o componente fundamental de un sistema ha fallado, por ejemplo, selección de material, diseño, uso del producto, métodos de producción, mecánica de la falla dentro de la pieza, etc.

El análisis de la causa raíz hace referencia en aspectos de cómo fue gestión el fallo.

El asociamiento de ambos conlleva a una estructura solida en la investigación de la Ingeniería Forense, ya que el análisis de fallos determina la parte específica del fallo, mientras que el análisis de la causa raíz nos determinan un panorama amplio para que este no vuelva a ocurrir.

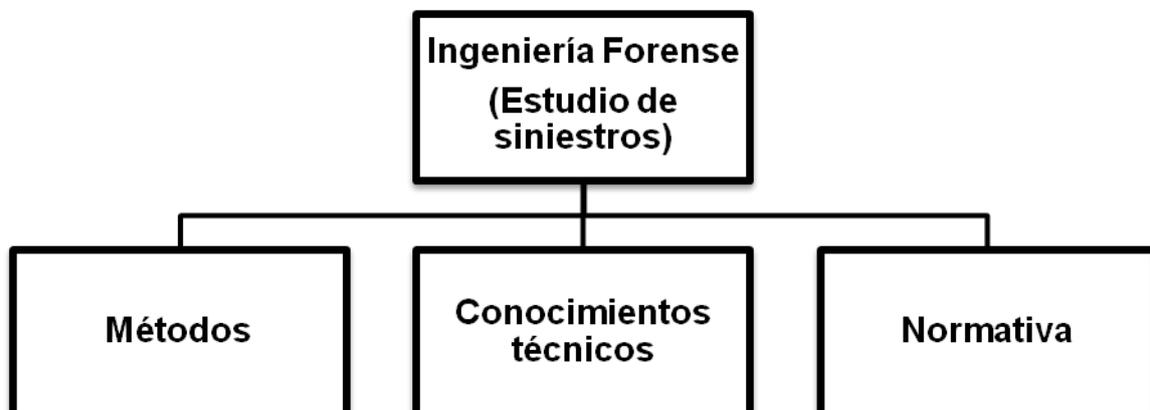


Ilustración 8. Requerimientos para el estudio de siniestros



2.4.1 Metodología de la Ingeniería Forense

Inicialmente a la investigación de siniestros, sólo el resultado final es conocido, esto podría ser una casa quemada, maquinaria dañada, derrumbe de una estructura, un accidente vehicular, etc.

Un ingeniero forense aplica normas y prácticas habituales de trabajo, por ejemplo, códigos de construcción, códigos de equipos mecánicos, fuego, especificaciones de materiales eléctricos, códigos de productos de almacenamiento y las especificaciones, métodos de instalación y diversas normas de seguridad, entre otros, todo esto con el fin de cumplir con los reglamentos y objetivos en la investigación.

Es entonces aplicada la “Ingeniería Inversa”, denotando una serie de preguntas las cuales son claves en el proceso de investigación para saber cómo se produjo el error, quién, qué, dónde, cuándo, por qué y cómo.

La información del testigo principal debe ser cuidadosamente examinada y evaluada, sus percepciones del evento también pueden estar influenciadas por su educación y formación, experiencias, su condición física con respecto a la vista o el oído, y los prejuicios sociales o culturales.

Metodología de la Ingeniería Forense:

- Evaluar lo que había antes del siniestro, y el estado en que estaba antes del siniestro.
- Evaluar lo que está presente después del siniestro, y en qué estado se encuentra actualmente.
- Elaboración de hipótesis, posibles formas que los factores y actores intervienen para dar lugar al siniestro (caos).
- Búsqueda de evidencias que niegan o apoyan las diversas hipótesis.
- Aplicar los conocimientos de ingeniería y la habilidad para relacionar los distintos hechos y pruebas en un escenario, para determinar su origen y causas del siniestro.



Ilustración 9. Metodología en la investigación de siniestros

Randall K. Noon [8], La lógica proporciona orden y coherencia a todos los hechos, principios, y las metodologías que afectan a un caso particular.

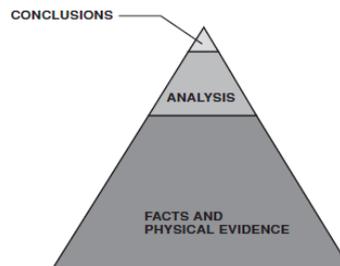


Ilustración 10. Pirámide de la investigación

En la ilustración 10 se muestra la evolución de la investigación de un siniestro, teniendo como base fundamental los diferentes factores y actores que intervienen en el suceso por medio de evidencias, posteriormente el análisis de ellas y culmina en el vértice superior al triángulo las conclusiones determinadas ante la investigación.

2.4.2 Metodología científica

Randall K. Noon [8], nos explica el método científico para la investigación de siniestros en la generación de hipótesis, mediante la reconstrucción de accidentes, fallos y siniestros en general.

Aplicación del método científico:

- Una hipótesis general de trabajo de investigación se propone sobre la base de las observaciones.
- A medida que se recopila más información, la hipótesis de trabajo original es modificada para abarcar la creciente evidencia.
- Después de cierto tiempo, la hipótesis de trabajo podría ponerse a prueba mediante la presencia de indicios que pueden no haber sido obvios o se pasaron por alto durante el esfuerzo de recopilación de información inicial.

Una hipótesis es considerada una reconstrucción completa, cuando cumple los siguientes requisitos:

- La hipótesis explica todas las observaciones verificadas.
- Cuando sea posible, la hipótesis predice con exactitud la existencia de más evidencia no conocidas previamente.
- La hipótesis es coherente con principios científicos aceptados, el conocimiento, y las metodologías.



Ilustración 11. Método científico



2.4.3 Normatividad y conocimiento técnico

El conocimiento técnico, será aquel que después de un proceso experimentado y estudiado por el ingeniero forense, actué de manera sinérgica junto a la investigación del siniestro, así en conjunto con la normativa aplicada, poder llegar a una investigación objetiva. Hablemos desde el comportamiento de los sistemas físico, químicos y mecánicos y cualquier otro conocimiento útil en la investigación.

Dentro del marco legal del cual hace uso la Ingeniería Forense, para la determinación de las condiciones de uso adecuadas para mantener un estado material, ambiental y humano equilibrado, hace presente una serie de decretos del gobierno español útiles para la investigación de los siniestros, las cuales nacen a posterior de un hecho catastrófico.

Estos reglamentos hacen de guía y alusión al ingeniero forense las condiciones de trabajo y funcionamiento donde se haya originado el siniestro, determinando las condiciones iniciales para poder saber si estas cumplían o no con los reglamentos necesarios de funcionamiento, para así determinar con mayor facilidad los factores que intervinieron en el origen del siniestro.

Cabe destacar que cada siniestro maneja un sinnúmero de afectantes que pueden originar un desencadenante de eventos inesperados, lo cual para cada uno de ellos se suele hacer uso de normas específicas al tipo de siniestro originado, de las cuales nombraremos las más esenciales.

Según la normativa consultada, a continuación se hace mención de solo algunas de las tantas normas empleadas para la investigación de siniestros en la Ingeniería Forense. Estas normas definen conocimiento fundamental para la investigación, ya que definen las condiciones y el mejor control del ámbito al riesgo que se genere.

Entre las más comunes encontramos:

Riesgos de incendio	REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.	Tiene por objeto de conseguir un grado suficiente de seguridad en caso de incendio en los establecimientos e instalaciones de uso industrial.
----------------------------	--	---



Riesgos laborales	<p>Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de la Seguridad Social.</p> <p>Ley de prevención de riesgos laborales (LPRL) ("B.O.E" 10-11-95) ley 31/1995 del 8 de noviembre</p>	<p>Tiene como objeto para el uso de la ingeniería forense la determinación en las que acontece un accidente laboral.</p> <p>Tiene por objeto promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.</p>
Riesgos eléctricos	<p>REAL DECRETO 614/2001, de 8 de junio BOE nº 148, de 21 de junio, guía técnica para la evaluación y prevención de riesgos eléctricos.</p>	<p>Tiene por objeto la protección de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, aplicándose a todos los lugares donde exista éste, ya sea el derivado de las propias instalaciones eléctricas o de los trabajos que se realicen en ellas o sus proximidades.</p>
Riesgos de explosión	<p>REAL DECRETO 681/2003, de 12 de junio BOE nº 145, de 18 de junio. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.</p>	<p>Tiene por objeto, la prevención de riesgos laborales, establecer las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores que pudieran verse expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.</p>
Riesgos químicos	<p>Reglamento sobre almacén de productos químicos. R.D. 668/1980, de 8-2-80 ("B.O.E" 14-4-80), y R.D. 3485/1983, de 14-12-83 ("B.O.E" 20-2-84).</p>	<p>Tiene por objeto establecer las condiciones de seguridad de las instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y trasiego de productos químicos peligrosos, entendiéndose por tales sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso.</p>
Riesgos de rayos y condiciones de edificación	<p>CTE código técnica de edificación</p>	<p>Es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.</p>



2.5 Metodología 5 “M”

Una vez ocurrido un siniestro, se comienza con la investigación de los actores de riesgo haciendo uso de diferentes técnicas y metodologías de investigación para llegar a su solución. Esta metodología tiene el fin de ayudar a generar ideas ordenadas en la investigación de siniestros para identificar las causas que lo originan [9].

Un método de análisis de uso frecuente para la investigación de un problema ya sea fallos, accidentes o siniestros, se fija en cinco pilares fundamentales alrededor de los cuales giran las posibles causas de un problema, en su mayoría definidas por Toyota. Las 5 “M” son:

- **Maquinaria:** Análisis de las entradas y salidas de cada maquinaria que intervienen en el proceso, así como de su funcionamiento de principio a fin y los parámetros de configuración, permitirá saber si la causa raíz de un problema está en ella. Es recomendable para la investigación aislar las partes o componentes hasta localizar el foco del problema.
- **Método:** Se trata de cuestionarse la forma de hacer las cosas.
- **Mano de obra (factor humano):** El personal puede ser el origen de un siniestro, ya sea por la falta de experiencia, información o bien por la temeridad ante una actividad o situación generadora de riesgo.
- **Medio ambiente:** Valorar las condiciones ambientales en el siniestro, ya que no es lo mismo un siniestro con una mayor expansión por viento a un día caluroso sin viento, esto determinara en función del daño que se ocasiona.
- **Materiales:** Rastreabilidad del material que puede cumplir ciertas especificaciones o ser defectuosas.

La metodología 5 “M” en conjunto de técnicas de investigación ya sea como, entrevistas a testigos, recolección de datos, inspección del sitio, etcétera que permiten hacer de una manera eficaz la determinación de los factores que intervienen en un siniestro.

Seguir una metodología de análisis estructurada como la anterior mencionada, permite ir acortando áreas concretas para detectar los factores de riesgo causantes de un siniestro.

Hay ocasiones en la que las fronteras entre alguna de las “M”, puede ser difusa, ya sea por su interacción ante un siniestro. Esto no supone un mayor problema en el análisis ya que se puede asignar una posible causa a cada uno de los elementos interactuantes y analizar los efectos de cada uno de ellas.



2.6 Dinámica de los sistemas

Herramienta y enfoque para entender el comportamiento de los sistemas a través del tiempo, es de utilidad entender el comportamiento de los sistemas ante un grado de aumento entrópico, como conocimiento técnico/científico para la investigación de siniestros.

Entre los sistemas más estudiados por la ingeniería forense encontramos.

- ✓ Dinámica del fuego.
- ✓ Dinámica de sistemas eléctricos.
- ✓ Dinámica de los materiales.
- ✓ Dinámica de los sistemas sociales.
- ✓ Dinámica de reacciones exotérmicas.

2.6.1 Dinámica del fuego

Cuando hay existencia de un siniestro de incendio, es necesario contar con los conocimientos técnicos básicos en la investigación de este, para ello es importante el determinar la dinámica del fuego estableciendo modelos acorde con lo que sucede.

Actualmente no hay existencia de alguna teoría del fuego, sin embargo hay existencia de estudios realizados ante este tema, ya sea:

- ✓ (1702) Becker y Stalh “teoría del flogisto (domesticación del fuego)”. Lo cual hace referencia que toda materia que contenga flogisto arde.
- ✓ Ley de la conservación de masas, la materia no se crea ni se destruye solo se transforma.
- ✓ (1770) Termodinámica.

A continuación observaremos la dinámica del fuego en un siniestro como no lo indica, *Juan Diego Gonzales Piñatel y Vicent Pons i Grau* [11-12].

El fuego es el proceso exotérmico. Al actuar una serie de hechos se logra provocar incendios, no siendo todas las combustiones fuegos.

Combustión: reacción oxido - reducción entre un combustible y un oxidante en el que existe el desprendimiento de calor, luz y reacción exotérmica.



La reacción de la combustión se puede producir de las siguientes maneras:

- ✓ Combustión completa (máxima oxidación).
- ✓ Combustión incompleta (no todo el combustible se oxida).
- ✓ Combustiones lentas (poca luz y emisión de calor).
- ✓ Combustiones rápidas (fuerte luz y emisión de calor).

- Propagación.

Conocer el tipo de evolución de las llamas que se tiene en un escenario dependiendo de su tipo de transmisión (conducción, convección y radiación).

- ✓ Conducción: fenómeno consistente en la propagación de calor entre dos cuerpos o partes de un mismo cuerpo a diferente temperatura debido a la agitación térmica de las moléculas, no existiendo un desplazamiento real de estas.

- ✓ Convección: transmisión de calor por movimiento real de las moléculas de una sustancia.

- ✓ Radiación: La radiación a la transmisión de calor entre dos cuerpos los cuales, en un instante dado, tienen temperaturas distintas, sin que entre ellos exista contacto ni conexión por otro sólido conductor. El ejemplo perfecto de este fenómeno es el planeta Tierra. Los rayos solares atraviesan la atmósfera sin calentarla y se transforman en calor en el momento en que entran en contacto con la tierra.

- Fenómenos de combustión.

La demostración de los efectos que se encuentran presente durante la escena del incendio, tales fenómenos como el carbonizado, oxidación, calcinación, cambios de color en los materiales, entre otros.

- ✓ Carbonización: fenómeno dado en combustibles orgánicos (madera, ser humano) se denotara por el grado de exposición a las temperaturas. La madera a altas temperaturas libera gases, vapor de agua y pirolisis (humo), los residuos existentes serán sobre todo carbón.

- ✓ Oxidación: materiales expuestos al calor y no se queman, presentan demarcaciones del fuego y deformaciones (oxígeno con sustancias como metales, piedras o tierra).



- ✓ Calcinación: presencia o también llamados horizontes de calor dado por los humos y gases calientes en superficies inorgánicas (paredes, suelos, etc.).
- ✓ Fusión de los materiales: reacción producida por un cambio de calor, muchos materiales sólidos se ablandan o funden a determinadas temperaturas.

Existen dos tipos de marcas de fuego, las producidas por el movimiento de las llamas y las producidas por la intensidad de calor.

- Marcas del fuego.
- ✓ Humo y Hollín (combustible que contiene carbón). Éste se deposita en las paredes y techos en la existencia de un incendio, muestra si hay una carga térmica especial.
- ✓ Rotura de vidrios, pudiendo ser de dos tipos, térmicas y por impacto.
- ✓ Líneas de demarcación de calor “V” Marcas, corrientes verticales, pueden conducir de la parte superior a la parte inferior, siendo en ocasiones el punto de origen del incendio.
- ✓ Líneas de demarcación de calor “U” Marcas, marcación del desarrollo de un incendio lento.
- ✓ Zonas protegidas del suelo por muebles, ropa y materiales que dejan marcas de zonas inclusivamente intactas.

En la investigación quien tenga la marcación “U” ò “V” inferior más baja, estará más cerca del origen.

Determinación de la temperatura; al identificar un tipo de material podremos determinar su temperatura de fusión, si este es producido por el calor dejando marcas en el incendio en la fusión de los materiales.

- Marcas en los materiales

Los materiales afectados nos pueden proporcionar pistas en la revelación del incendio, para poder determinar la dirección de propagación del calor, es el tal caso de la observación en:

- ✓ Coloración en la oxidación de los metales, presentando una coloración directa de las llamas en color azul y con poca afectación en marrón.

- ✓ Dirección de las puertas.
- ✓ Bombilla estirada (indica la dirección del origen del incendio).
- ✓ Estructuras metálicas (las columnas, vigas y pilares en la construcción) se abomban hacia el lugar procedente del incendio.
- ✓ Características de los cables eléctricos.

Principales características del cableado en la presencia de calor:

Coloración Azul – Verdoso hasta su ennegrecimiento Oxidación superficial del cobre

La rotura fácil del material indica fusión de material y reducción del conjunto de trenzado.

Al haber existencia de material fundido o pérdida de material trenzado, se habla del fenómeno cortocircuito, lo que quiere decir extremas temperaturas.

Fenómenos como, arco voltaico, sobre corrientes

Para la determinación en cuanto la trayectoria del fuego, es determinada en base a las condiciones en el entorno geométrico donde ocurre el incendio, cuestiones climatológicas y la distribución que se tiene del combustible.



Ilustración 12. Incendio Vila de Cans 3

2.7 Marco conceptual

A continuación, se dará un marco conceptual para definir los conceptos claves que deben estar claros para la comprensión del tema, luego de ver un marco teórico.

Civilización de riesgos.

Responsabilidad social para lograr hacer frente a los sucesos catastróficos, tomando medidas de protección y prevención ante los siniestros, mediante la investigación de los actores que intervienen en su medio, para así cumplir con sus expectativas de vida, manteniendo así un equilibrio ente las personas y el medio.

Amenaza, peligro, riesgo, daño, detrimento.

- Amenaza: Estado latente del peligro y del sujeto que pueda recibir un daño como consecuencia de aquel.
- Peligro: Todo aquello que puede producir un daño o un deterioro en la calidad de vida individual o colectiva de las personas.
- Riesgo: Probabilidad de que ocurran daños y pérdidas materiales, ambientales y humanas por la falta del conocimiento.
- Daño: efecto obtenido ante las consecuencias producidas por un siniestro sobre los bienes y la calidad de vida.
- Frecuencia: Numero de ocasiones en las que se repite un suceso no deseado.
- Detrimento: deterioro ocasionado por un daño ya sea material, ambiental o humano.

Nivel de seguridad y grado de protección.

El grado de protección se dará en función de la interacción con el nivel de seguridad alcanzado (equilibrio entre la seguridad y los estados económicos y culturales) y el conocimiento, y de las variables ambientales y temporales en que se encuentre.

Sistemas caóticos.

Sistema flexible y no lineal, donde los factores iniciales en el espacio tiempo pueden causar grandes cambios en el estado final del sistema, esto ocasionado por el aumento entrópico, causando un orden dentro del mismo caos y teniendo un comportamiento variado e indeterminado. En medida que el nivel entrópico aumenta el sistema, tiende al equilibrio mismo con la naturaleza.

Siniestro.

Evento accidental o incidental que ha causado daños o pérdidas materiales, medio ambientales y humanas; el siniestro será la causa de investigación para el ingeniero forense, las magnitudes de este dependerán del grado de daño ocasionado.

Ingeniería forense.

Ciencia que se encarga del estudio de siniestros asociados a los accidentes, crímenes, catástrofes, fallos en la degradación de bienes y pérdidas humanas. El estudio se basa en la aplicación de la crítica y el saber tecnológico mediante la investigación visual y objetiva de los actores que intervienen en un suceso causante de daños, haciendo uso de métodos científico, normativa y el conocimiento técnico, para la investigación de los siniestros y deliberación de la causa raíz.

5"M".

Metodología que implica 5 principales pilares en la investigación de un problema ya sea un fallo, accidente o siniestro, para determinar la causa raíz.

Dinámica del fuego.

Estado en el tiempo en el que se desarrolla un incendio, desde su nacimiento, propagación y trayectoria, determinando marcas que lo definen en la investigación.

Marco conceptual para la investigación de siniestros mediante métodos de Ingeniería Forense.



Ilustración 10. Investigación de siniestros

3. Metodología

Según las cuestiones generadas en el planteamiento del problema, definiremos un triángulo para conformar la investigación del presente trabajo, “Investigación de siniestros mediante métodos de Ingeniería Forense”.



Ilustración 13. Pirámide de la investigación

Una vez obtenido los conocimientos básicos definidos en el fundamento teórico, determinaremos las circunstancias y los actores que intervienen en un siniestro, a su vez haremos la interpretación objetiva y veraz de un siniestro aplicando el método de Ingeniería Forense para la determinación de las causas y su origen, asiendo uso de técnicas y herramientas de apoyo en la investigación, si aún así, la determinación de estas dependerán del siniestro y de los circunstancias en que se generen es más que nada por dar un seguimiento metodológico y el avance objetivo en una investigación.

Al igual determinaremos los daños ocasionados a consecuencia de un siniestro según su origen.



3.1 Circunstancias en las que acontece un siniestro

Para poder determinar las circunstancias en que se genera un siniestro, hay que definir una serie de términos útiles en el mejor entendimiento del tema.

- Circunstancia: conjunto de lo que está en torno a alguien o algo.

Las circunstancias están vinculadas al contexto y pueden influir, con mayor o menor determinación, en la esencia de las cosas.

- Siniestro: es el evento accidental o incidental provocador de daños o pérdidas económicas, materiales, medio ambientales y humanas.

Siendo un *Incidente*.

Como el suceso acontecido que tuvo el potencial de ser un accidente, donde hubo personas involucradas sin que sufrieran lesiones o se presentaran daños.

Siendo un *Accidente*.

Como un acontecimiento repentino, prevenible y no deseado.

Si bien hay existencia de un sinnúmero de accidentes e incidentes, de los más destacados encontramos los accidentes laborales y las enfermedades profesionales, ya que la mayor parte del día estamos expuestos al riesgo generado.

Enfermedad profesional.

Aquella enfermedad adquirida en el puesto de trabajo de un trabajador por cuenta ajena, y que dicha enfermedad que está recogida por la ley. Según el *Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio*.

Accidente laboral.

Proceso de interrumpir una actividad por la actuación de un riesgo.

Siendo el accidente laboral el objeto de estudio para la determinación de las circunstancias que le rodean para que sea generado, es de suma importancia definir cuando hay existencia de un accidente laboral para ello se definirá a continuación según el *Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio*:



Será accidente laboral cuando:

- La lesión generada sea física o psíquica.
- Aquellas funciones de ocasión o a consecuencia del trabajo realizado diario con el afán de mantener el buen funcionamiento de la empresa.
- Aquellos que actúen en función de salvamento mientras haya conexión con el trabajo.
- Se contraiga enfermedades a causa del trabajo realizado mientras que esta no se encuentre dentro de una enfermedad profesional.
- Enfermedades y defectos que pudiesen agravarse con el trabajo el cual se desempeña.
- Los infartos de miocardio, trombosis, hemorragias cerebrales o similares cuando se producen a causa o consecuencia del trabajo.
- La imprudencia profesional.

No se considera accidente laboral cuando:

- La imprudencia es voluntaria y temeraria.
- Cuando los infartos, trombosis, hemorragias no son causados a consecuencia del trabajo.
- Cuando este se genere al momento de estar cometiendo un delito.

En cuanto a las áreas generadoras de riesgos consecuentes a un accidente laboral, se deben implementar sistemas de seguridad añadidos para evitar esta serie de percances laborales. Estos son de uso obligatorio para las empresas, ya que el hecho de no estar protegida una zona de riesgo conlleva a la empresa a la pérdida económica por accidentes laborales, a excepción de que el área se encuentre asegurada pero esta sea violada ante el sujeto.

Ahora bien, teniendo un panorama más amplio del siniestro y los conceptos necesarios para el entendimiento de las circunstancias responderemos a la primera cuestión. ¿En qué circunstancias acontece un siniestro?

Acontece un siniestro a partir de que una situación está expuesta a una amenaza de peligro el cual de origen a un tipo de riesgo conllevando a un accidente o incidente (siniestro).

En una escala de tiempo podríamos decir que la amenaza, y el peligro son los primeros desencadenantes originarios de un riesgo. En medida que estos disminuyen, el riesgo dejara de existir.

Así, definiremos la amenaza como la advertencia a un hecho peligroso y al peligro como todo aquello que puede generar un daño. Sabiendo esto, podremos definir que el riesgo es la probabilidad de que un siniestro ocurra.

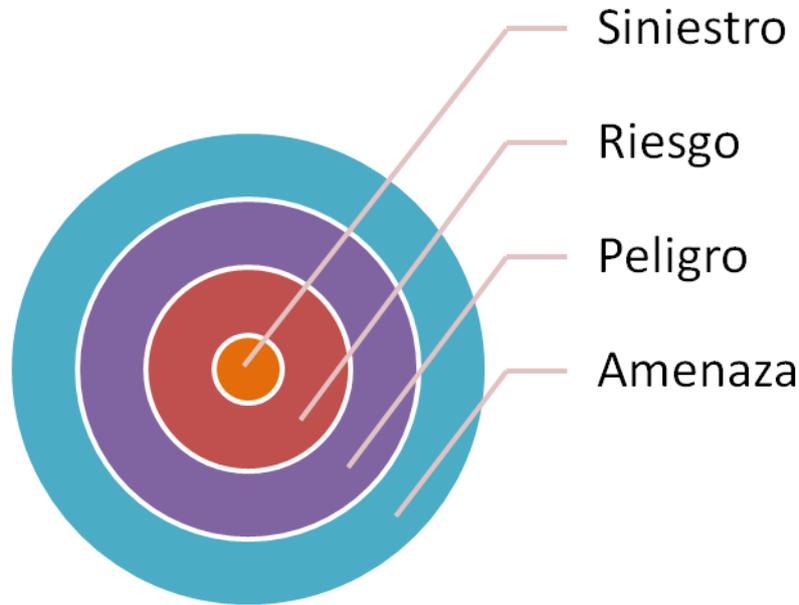


Ilustración 14. Zonificación de las circunstancias causantes en un siniestro

Entenderemos de la ilustración 14 que la amenaza, peligro y el riesgo son los factores causantes de un siniestro, pero con diferencias entre ellos y en la manera que actúan en el tiempo para poder conllevar el suceso.

El tipo de acción que se genere en un determinado lugar aunado al tipo de riesgo, las condiciones y actores necesarios serán las circunstancias principales al generar un siniestro.

Por lo tanto, las circunstancias en que se genera un siniestro serán:

- La existencia de un peligro el cual genere un tipo de riesgo asociado a una cierta actividad.
- El aumento entrópico de un sistema para la generación de un orden sobre el mismo caos, entiéndase que el caos genera orden, según la teoría del caos.
- Las condiciones necesarias para generar un siniestro, ya sean estas de origen de fallo natural, entiéndase ambientales ya sea como el clima, fallo tecnológico, entiéndase el uso de maquinaria y productos químicos y el tipo de actuación social o antisocial del ser humano.

- La intervención de actores que actúan en un determinado espacio tiempo e interactúan entre si para desencadenar un siniestro.

Entre otras circunstancias que son clave en la agravación de los siniestros encontramos:

- Que el lugar no cuente con los requerimientos necesarios para la protección y seguridad del mismo, ya sea como el uso de equipo de seguridad y medidas de seguridad pertinentes.
- La falta de capacitación y conocimiento sean circunstancias viables a generar o agravar un siniestro.

Siendo todas estas circunstancias, las determinantes para la generación de una serie de eventos no deseados. Ya que en medida que el caos aumenta su nivel de entropía, generando graves daños dependiendo de su magnitud, obteniendo pérdidas económicas, ambientales, materiales y en el peor de los casos muertes humanas.



Ilustración 15. Incendio de Fontestad, Localidad Museros.

3.1.1 Clasificación del riesgo según su origen

La existencia de un riesgo es una circunstancia fundamental en la generación de un siniestro, esta circunstancia es generada por un tipo de riesgo asociado a una actividad en especial. Entonces, se definen una gran variedad de tipos de riesgos según su origen:

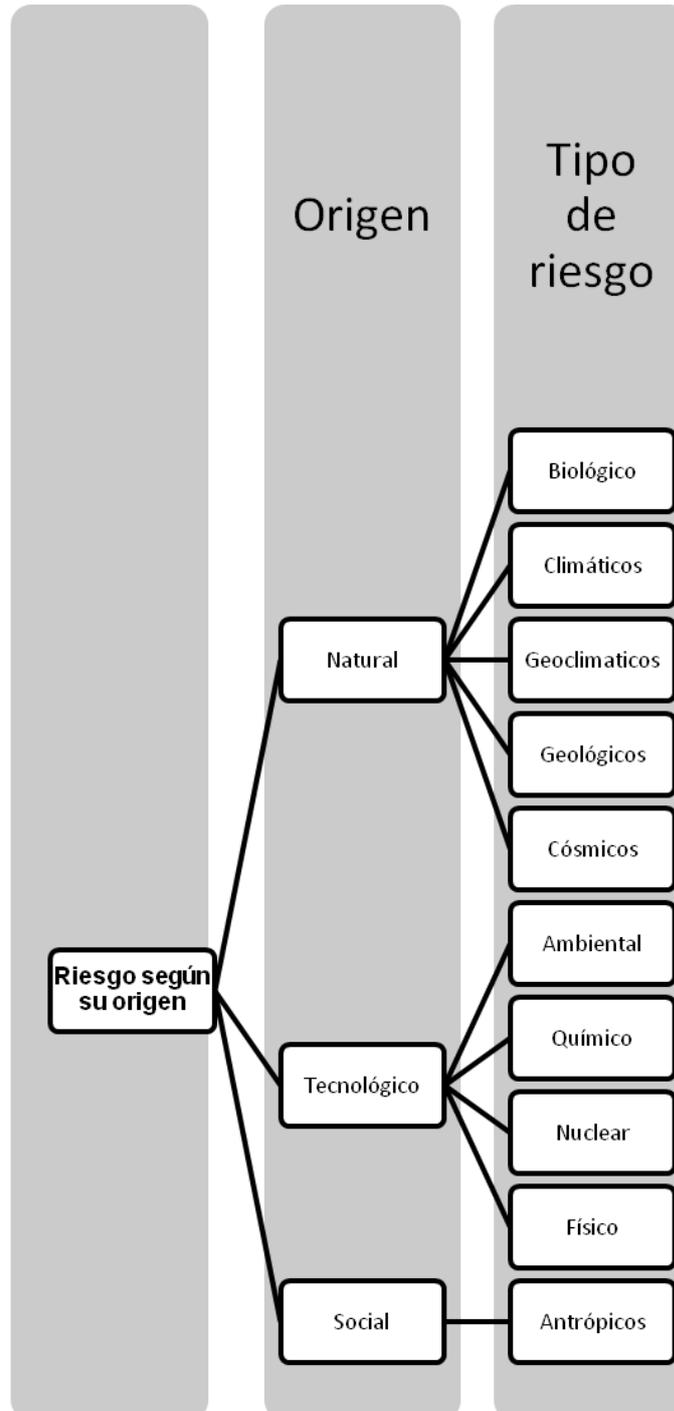


Ilustración 16. Diagrama de riesgos según su origen

3.1.2 Fenómenos y siniestros asociados al tipo de riesgo

Una vez definidas las circunstancias en las que acontece un siniestro, una de ellas siendo el tipo de riesgo originado por el peligro generado en una actividad en concreto, asociamos una serie de accidentes y fenómenos comunes según el tipo de riesgo.

Tipos de riesgo social: Riesgos de la actividad humana.

- Riesgos Antrópicos:
 - Actividades sociales: Trabajo, circulación de todo tipo de transporte, ocio, métodos, etc.
 - Actividades antisociales: Robos, atracos, sabotajes, atentados, vandalismo, temeridad.

Tipos de riesgo naturales: Riesgos asociados al comportamiento natural de los organismos y de los sistemas naturales.

- Riesgos Climáticos: Temperaturas extremas, vientos fuertes, déficit o exceso de precipitación.
- Riesgos Geoclimáticos: Inundaciones.
- Riesgos Geológicos: Movimiento de laderas, terremotos.
- Riesgos Cósmicos: Caída de asteroides.
- Riesgos Biológicos: Plagas y epidemias causadas frecuentemente por virus y bacterias.

Tipo de riesgo tecnológico: Riesgos fruto por efectos tecnológicos y percibidos como controlables.

- Riesgos Ambientales: Contaminación del agua, aire y suelo.
- Riesgos Nucleares: Explosiones nucleares, radiaciones ionizantes, (radiactividad en general).
 - Radioactividad: Propiedad de los núcleos de algún átomo de experimentar cambios espontáneos emitiendo radiaciones en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómica, existe la radiactividad natural y artificial y se divide en ionizante y no ionizante.
- Riesgos Físicos:
 - Mecánicos: Elementos geomecánicos, máquinas y herramientas, espacios confinados, recipientes a presión, manejo de herramientas manuales, mecanismos en movimiento.
 - No mecánicos: Iluminación, humedad, ruido, vibraciones, radiaciones ionizantes y no ionizantes, eléctricos (altas tensiones, electricidad

estática, cables en mal estado, conexiones eléctricas inadecuadas), incendios (temperaturas extremas).

- **Riesgos Químicos:** La forma material de un producto químico puede influir en como penetra en el organismo y en alguna medida en el daño que provoca. Las principales formas materiales de los productos químicos son sólidos, polvos, líquidos, vapores y gases, estos son provocadores de fenómenos de fuego, corrosión, toxicidad, reacciones químicas generales, etc.

Tipos de fenómenos:

- **Mecánicos:** Ondas de presión y proyectiles, características de las explosiones, manipulación de materiales.
- **Térmicos:** Radiación térmica, generada en los incendios.
- **Químicos:** Fugas o vertidos incontrolados de sustancias contaminantes, tóxicas y muy tóxicas.
- **Explosiones:** Hay varios tipos:
 - ✓ Vapor confinado (VCE).
 - ✓ Vapor no confinado (UVCE).
 - ✓ Polvos.
 - ✓ Expansión de vapor de un líquido en ebullición (BLEVE).



Ilustración 17. Explosión de polvo en reactor de secado al vacío

- **Incendios:** Causante de efectos térmicos por la transferencia de calor (entropía) a los organismos y objetos en su entorno. Hay varias formas:
 - ✓ Incendio charco (poolfire).
 - ✓ Llamarada (flashfire).
 - ✓ Bola de fuego (fireball).



Ilustración 18. Triángulo del fuego

Es iniciado por tres factores causales, es decir, fuel, oxígeno y una fuente de ignición (triángulo del fuego).



Ilustración 19. Incendio hotel albergue Vila Franca del Brezro



Ilustración 20. Incendio hotel Brasil, playa de Cádiz

- Escape de sustancias toxicas: propiedad de una sustancia con capacidad de producir un daño.

Clasificación y control de las sustancias.

A continuación se describe la clasificación de las sustancias peligrosas según el tipo de peligrosidad que generan:

- 1.- Explosivos.
- 2.- Gases.
- 3.- Líquidos inflamables.
- 4.- Sólidos inflamables.
- 5.- Sustancias oxidantes, comburentes y peróxidos.
- 6.- Materiales tóxicos, infecciosos y nocivos.
- 7.- Materiales radiactivos.
- 8.- Ácidos y bases.
- 9.- Residuos peligrosos (Diversos).



Ilustración 21. Diamante del fuego

La norma NFPA 704 es el código que explica el "diamante de fuego" establecido por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (inglés: National Fire Protection Association), utilizado para comunicar los riesgos de los materiales peligrosos. Es importante para ayudar mantener el uso seguro de productos químicos.

- Sistema de identificación en el transporte de sustancias peligrosas.

Para poder identificar una sustancia peligrosa las naciones unidas fija un número único de identificación a la sustancia, como código de registro. El código de riesgo se forma con el conjunto de números según los peligros que presenta una sustancia, por ejemplo:

- ✓ La nafta (combustible de automóviles) tiene número de ONU 1203 y sabemos que es un líquido inflamable y si le echamos agua cuando arde reacciona mal. Entonces el código de riesgo va a ser X30, la X porque reacciona mal con el agua, el 3 porque es un líquido inflamable y el cero porque no tiene otro riesgo.
- ✓ La acetona de número de ONU 1090 y su código de riesgo es X333, la X porque reacciona con el agua y 333 porque es muy inflamable. Cuando se repitan los números es porque el riesgo es alto.

Al igual pueden existir combinaciones las cuales nos indican el grado de riesgo que conlleva esa sustancia, es decir, una combinación 23, donde el riesgo primario es 2 (gases), y como riesgo secundario 3 (líquido inflamable), por lo tanto, el riesgo será de un gas inflamable. Este será en aumento según los riesgos secundarios que se añadan a él.



3.2 Actores que intervienen en un siniestro

La civilización de riesgos identifica tres tipos de siniestros según su origen, ya sea natural, tecnológico y social. Ocasionados por un tipo de riesgo determinado (químico, físico, biológico, nuclear o antrópico) siendo estos resultantes de 3 factores principales la peligrosidad, vulnerabilidad y la exposición, dando como circunstancia la intervención de uno o varios actores que difieren en función del lugar y sus condiciones, y que interactúan entre sí para así dar lugar a un hecho no deseado.

Es entonces un actor de riesgo, cualquier característica o fenómeno ya sea de origen natural, tecnológico o social. Estos son capaces de sumarse unos a otros y aumentar el nivel entrópico de los sistemas produciendo un fenómeno de interacción determinantes para ocasionar un siniestro.

Sería imposible definir de una manera concreta la gran diversidad de actores que intervienen en un siniestro, así que clasificaremos estos actores según los 5 pilares fundamentales en una investigación de accidentes, metodología 5 “M”.

- Medio ambiente: Intervención de actores de tipo de riesgo de origen natural, ya sean como el clima, virus o bacterias.
- Metodológicas: Intervención de actores de tipo de riesgo de origen social, ya sea por la imprudencia de no utilizar algún tipo de sistema que resguarde la seguridad, o bien no seguir las instrucciones.
- Maquinaria: Intervención de actores de tipo de riesgo tecnológico, ya sea como fallos eléctricos, fallo de maquinaria.
- Materiales: Intervención de actores de tipo de riesgo tecnológico, ya sea como sustancias químicas.
- Humanos: Intervención del ser humano como actor de tipo de riesgo social, ya sea como la temeridad, falta de conocimiento o vandalismo, etc.

De los actores mencionados anteriormente, se determinan ciertos fenómenos según su tipo de riesgo (como ya se hizo mención de los fenómenos en el tema anterior), los cuales suelen ser variantes en la intervención y la manera que actúan dependiendo del lugar y sus condiciones para desencadenar un siniestro. Es de todo esto la importancia del estudio de los siniestros y el daño que generan, para así definir sus circunstancias y los actores que intervienen, la frecuencia en que se origina mediante la evaluación del peligro, riesgo y el grado de daño que puede ocasionar, para así obtener un nivel de protección eficaz.

Por hacer mención de los más estudiados por la Ingeniería Forense:

Tabla 1. Fenómenos asociados al tipo de riesgo

Fenómenos asociados al tipo de riesgo	
Físico / Eléctricos	Altas tensiones Electricidad estática Cables en mal estado Conexiones eléctricas inadecuadas
Físicos / No mecánicos	Ruido Vibraciones Temperaturas extremas (incendios) Humedad Iluminación Radiaciones ionizantes y no ionizantes
Químicos	Material particulado Gases y vapores Líquidos Sólidos
Físico – Químicos / Mecánicos	Proyección de chispas y/o partículas Mecanismos en movimiento Sobrepresión de equipos Manipulación de materiales Manejo de herramientas manuales Maquinaria y equipo
Físico – Químicos (Incendio y/o explosiones)	Combustibles sólidos Líquidos inflamables Gases y vapores Fuentes de calor
Locales	Estructuras Señalización Orden y aseo Condiciones de almacenamiento Disposición de espacios Estados de los techos, pisos, escaleras, plataformas, etc.

Haciendo uso de la metodología de la Ingeniería Forense, se podrán determinar los actores que intervienen en un siniestro según las circunstancias y el lugar en el que se origino, como a su vez con el apoyo del conocimiento técnico, normativo, técnicas y de herramientas, como la recolección de información mediante entrevistas, inspección de campo y otras metodologías que serán de apoyo, podremos determinar y organizar el o los diferentes actores que interactúan y cuales son más determinísticos para que el siniestro se haya generado.

3.3 Investigación

Si bien cada siniestro es distinto dadas sus circunstancias y los actores que los desencadenan, el presentar una metodología y las técnicas necesarias para la investigación de los siniestros, definirán una mayor eficacia para la resolución de estos y determinar la magnitud que un siniestro puede ocasionar debido al daño que se ha generado.

Metodología ingeniería forense:

La metodología a utilizar se basará en el seguimiento de los pasos que conlleva una investigación de un siniestro y la formación de su informe mediante métodos de ingeniería forense.

Ingeniería inversa

1. Recolección de información (entrevistas, búsqueda de información).
2. Inspección del campo (observación e inspección, montaje fotográfico).
3. Descripción y evaluación del área (descripción del área, planimetría).
4. Generación de hipótesis.
5. Búsqueda y análisis de evidencias o muestras en el siniestro (pruebas de materiales).
6. Rechazar o aceptar hipótesis.
7. Origen del siniestro.
8. Causa del siniestro.
9. Análisis y conclusiones del siniestro.

Tabla 2. Etapas en el diseño de una investigación

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SINIESTRO	Recolección de información	Inspección de campo (Observación e inspección)	Descripción del área afectada	HIPÓTESIS	Búsqueda y análisis de evidencia	Rechazar o aceptar hipótesis	Origen	Causas	Análisis
	Entrevistas		Características del área						
	Búsqueda de información	Montaje fotográfico	Planimetría						
	Conocimiento técnico / Dinámica de los sistemas / Normatividad								

Equipo de protección personal:

El ingeniero forense al hacer una investigación deberá de cumplir los lineamientos para la protección de la salud y de seguridad en el trabajo, para así lograr el cumplimiento eficaz de una investigación.

El equipo de seguridad dependerá de la gravedad del siniestro, no será el mismo equipo de seguridad en un siniestro de incendio que en un siniestro nuclear, su asignación dependerá de la actividad en donde haya ocurrido el hecho y de la causa primordial de los daños, por ejemplo, un incendio.

Entre los equipos destacados, para el logro de una eficaz investigación encontramos:

Tabla 3. Uso de equipo de protección personal

	EPP	Imagen	Protección
Cabeza	Casco de seguridad		Proteger la cabeza golpes mecánicos. También puede proteger frente a otros riesgos de naturaleza mecánica, térmica o eléctrica.
Ojos	Gafas de seguridad		Protegen los ojos frente a impactos de partículas, salpicaduras de líquidos o de las radiaciones en trabajos de soldadura.
Oídos	Tapones auditivos		Protección contra el exceso de ruido, material particulado y vapores irritantes.

Vías respiratorias	Mascarilla		Actúan como elementos filtrantes para remover del ambiente contaminado el aire necesario para la respiración.
Cutánea	Guantes (nitrilo)		Protección para la manipulación de materiales causantes de riesgos en la adsorción por piel en el aislamiento de sustancias.
	Trajes especiales contra incendios, protección química y radiación.		Protección del cuerpo de daños en la piel, absorción de sustancias y afectación de órganos.
	Calzado (botas contra incendios)		Protección contra golpes y aislamiento de suelos contaminados.

4. Aplicación a la investigación de un siniestro

4.1 Siniestro a evaluar

A continuación se presentara la investigación de un siniestro mediante los métodos de la Ingeniería Forense, donde también se definirán las distintas técnicas y metodologías empleadas en el uso de la investigación.

La presente investigación fue determinada por el Dr. Vicent Pons i Grau y el Dr. Óscar Román Herrera Tarazón, del cual haremos apoyo para la interpretación veraz y objetiva de un siniestro mediante métodos de ingeniería forense y determinar así las causas y el origen mediante apoyo de metodologías de investigación.

Incendio ocurrido en las naves industriales de la empresa “X”, en el extrarradio de la ciudad de Madrid.



Ilustración 22. Lugar del siniestro

4.1.1 Recolección de información

Se realiza una investigación previa para determinar un breve relato de lo ocurrido y la búsqueda de información relevante en la investigación.

Objetivos:

- ✓ Reconstrucción del hecho.

Tabla 4. Técnicas empleadas en la recolección de datos

Técnicas	Utilidad
Entrevistas (quien, que, donde, cuando, porque y como).	Recolección de información de testigos principales, dueños y todo aquel involucrado en el sitio u observador.
Búsqueda de información.	Ya sea el caso de datos necesarios en la investigación.



De la recolección de datos se obtuvo la siguiente información:

Entrevista

De la cual podemos relacionar hechos para determinar una breve historia de lo ocurrido, siendo en esta ocasión el vigilante propio de la empresa quien fue interrogado.

- ✓ El incendio afectó a dos naves industriales. En adelante se referencian como Nave 1, situada al este, destinada a almacenamiento; y Nave 2, situada al oeste, destinada a oficinas así como otros servicios tales como restaurante.
- ✓ En estas instalaciones se celebran bodas, bautizos y comuniones, disponiéndose además de cierta extensión ajardinada a tal efecto, y un extenso parking de vehículos.
- ✓ La empresa también cuenta con todo el material y aparatos necesarios para desarrollar su actividad de catering, entendiéndose por tal la prestación de servicios y material necesario, tanto para convenciones, stands, publicaciones, ferias, etc.
- ✓ El presente incendio ocurre un lunes con las primeras luces del día, siendo detectado alrededor de las 6:40am horas por el vigilante propio de la empresa, en dos naves propiedad de la empresa “X”, junto a la empresa “Y”, en el extrarradio de la ciudad de Madrid.
- ✓ En ese momento la actividad en las naves era nula, habiéndose accedido a ellas por última vez durante la noche anterior, alrededor de las 23:30 horas para estacionar un camión en el extremo norte de la nave 1.
- ✓ Se trata de un camión rígido con su caja posterior descapotada, de la marca IVECO, con matrícula XXXX. Habitualmente se estacionaba en el exterior, pero al estar cargado y dada la amenaza de lluvia se aparcó en el interior de la nave. Según indica el vigilante, cuando se dio cuenta del incendio éste ya estaba relativamente extendido por una de las naves; alertando inmediatamente a los bomberos y a los propietarios.



- ✓ A la llegada de los Bomberos el fuego ya afectaba a las dos naves, limitándose los mismos a controlar las llamas y evitar que éstas afectaran a otras instalaciones próximas, así como minimizar los efectos sobre las instalaciones aeroportuarias.
- ✓ El recinto cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión con cámaras perimetrales, registrando y grabando de forma permanente lo que ocurre en el exterior. Las imágenes se almacenan en unos discos duros que se encuentran en la planta de oficinas dentro de la nave 2.
- ✓ La acción de las llamas en las oficinas y su total destrucción, no permite la recuperación de las imágenes. En las inmediaciones existen otras cámaras de grabación.

Búsqueda de información adicional.

- ✓ Los terrenos ocupan una superficie de unos 78.000 m² en los que existe una superficie construida, de unos 35.500 metros distribuidos en diversas edificaciones.
- ✓ Ambas naves se emplazan en una parcela propiedad de la empresa 'Y', el cual cede los terrenos por un tiempo de 25 años con la condición de que al finalizar su contrato, suscrito en el año 1995, la empresa inquilina "X" debe ceder las dos naves que ella misma en su día construyó.

Una vez reconstruidos los hechos ocurridos, según las entrevistas realizadas y la investigación de información, ya sean como datos cástrales, los cuales serán de utilidad en la investigación, se procede entonces a la investigación de campo.

4.1.2 Inspección de campo

Se hace una inspección del sitio y se observa con detalle cualquier aspecto fundamental en la investigación.

Objetivo.

- ✓ Observación e inspección del campo afectado radial e interior para evaluar el daño ocasionado.
- ✓ Descripción del área afectada para evaluar las condiciones en las que se encuentra actualmente.

Tabla 5. Técnicas empleadas en la inspección de campo

Técnica	Utilidad
Montaje fotográfico.	Durante todo el periodo de investigación se hace uso de un montaje fotográfico del área y los alrededores en el cual ocurrió el siniestro, además de toda aquella evidencia y muestras que sean requeridas o presuman un posible papel en la intervención del siniestro.

Tras el incendio y la extinción del mismo, no cabe lamentar daños personales aunque sí cuantiosos daños materiales, el mismo es de destrucción total, tanto a nivel de contenido como por daños sobre las construcciones, que se han visto colapsadas. Estos daños son de mayor consideración en la nave 1 que en la nave 2.

Se procede a realizar la inspección ocular sobre el escenario donde el mismo se desarrolla, destacando los siguientes hechos:

Inspección perimetral de las instalaciones.



Ilustración 23. Cercado metálico

Todo el complejo está cercado por un vallado metálico con un único acceso, si bien relativamente fácil de franquear.



Ilustración 24. Fachada al oeste

La fachada principal al oeste del conjunto linda con una zona asfaltada destinada al estacionamiento o parking, la cual está completamente despejada de mercancías.



Ilustración 25. Fachada al este

En el lado este existe una campa en la que se almacenaba material muy diverso al aire libre (cajas, sillas, cámaras frigoríficas, bombonas de gas butano, materiales de construcción, urinarios, etc).



Ilustración 26. Inspección perimetral de la instalación

Frente a la fachada sur de la nave 1, hay diversas bombonas de butano afectadas a semiafectadas por el fuego, las cuales fueron sacadas del interior de las naves por los bomberos.

Inspección perimetral de la zona afectada por el fuego.

Ambas edificaciones están próximas entre sí, dispuestas de forma paralela con un pasillo de unos 4 metros de ancho entre ambas; pero separadas de cualquier otra instalación o edificación.

El pasillo intermedio aparece completamente lleno de escombros y elementos estructurales colapsados.



Ilustración 27. Cerramiento de la fachada

El cerramiento de la fachada de la nave 2 se presenta completamente abierto, siendo calcinado su aislamiento interior de espuma rígida de poliuretano, material combustible.

El frontis metálico de la parte superior del cerramiento, muestra huellas de calor principalmente en su mitad norte.



Ilustración 28. Fachada sur de la instalación

En la fachada sur de la nave 2, el frontis metálico muestra una huella de calor (línea amarilla en la fotografía). Esta forma de la cubierta sin duda hizo que el humo, el calor y las llamas ascendentes, tendieran a desplazarse preferentemente de derecha a izquierda en el interior, facilitando la propagación en este sentido.

También se observan los restos de las cámaras del sistema de captación de imágenes por medio de un circuito cerrado de televisión propio (destacadas en rojo en la fotografía).



Ilustración 29. Fachada norte de la instalación

La fachada norte posee daños más intensos, en ella existe una puerta de acceso a vehículos que aparece cerrada, con oxidaciones intensas en su ángulo superior izquierdo.

Hacia la izquierda, hacia la nave 1, los daños aumentan considerablemente, pasando de existir tonalidades marrones sobre las chapas metálicas, fruto de la oxidación, a coloraciones más oscuras y azuladas, fruto de la reducción del metal.

En la parte este del conjunto se comprueban los daños sobre la nave 1, la fachada sur, pese a mostrar una total destrucción, es la menos afectada de esta nave. La fachada lateral derecha de la nave, recayente al este, muestra una destrucción y colapso total, que es tanto más agresiva cuanto más al norte (véase fotografía siguiente).



Ilustración 30. Vista aérea de la zona de afectación



Ilustración 31. Huella de calor en vista aérea

Mediante una vista aérea del siniestro se puede observar las huellas de calor sobre la cubierta.

El estado general de la cubierta, extiende una notable diferencia entre ambas naves en cuanto a la oxidación que muestra el chapado metálico.

Se distinguen los puntos donde ha habido mayor intensidad de llamas. En la nave 1, existen grandes extensiones que presentan intensas oxidaciones así como zonas azuladas debidas a reducción por presencia de llama directa. En cambio la nave 2 no presenta huellas de tal intensidad a excepción de su ángulo noreste, y principalmente en el lado exterior de la fachada.

Inspección del interior de las áreas afectadas.

En primer lugar, se accede a la Nave 2, a la zona sur, menos afectada por el incendio. En la planta baja hay un comedor, cocina y vestuarios, que no resultaron afectados por las llamas de forma directa. La estructura de hormigón de esta zona es a simple vista, completamente estable.



Ilustración 32. Zona de afectación en el interior del inmueble



Ilustración 33. Área de oficinas

La planta de piso que alberga las oficinas, sí aparece completamente arrasada. En ella todos los equipos informáticos y mobiliario presentan una calcinación completa, si bien las zonas perimetrales del extremo sur están menos afectadas. No existe elemento alguno recuperable.



Ilustración 34. Área de almacenamiento

Entre esta zona de oficinas y el cuerpo principal de la nave, se halla una zona de almacenamiento que consta de planta baja en la que había diversos productos y un altillo en el que se almacenaban minimotos.



Ilustración 35. Interior de la nave 2

Se entra al interior del cuerpo principal de esta misma nave 2, el cual ofrece una vista bastante diáfana sólo obstaculizada por los elementos estructurales de cubierta colapsada y restos de maquinaria o bancos de trabajo carbonizados.

El material almacenado era en su gran mayoría madera, habiendo quedado ésta totalmente carbonizada a excepción del interior de algún apilamiento que aparece ahora disperso.



Ilustración 36. Cerramientos de la nave 2

No existen graves o grandes afectaciones puntuales ocasionadas por contenido combustible, y sí se observa que el calor desarrollado al arder espuma rígida de los cerramientos, ha participado en los daños ocasionados en esta nave 2.

El acceso a la nave 1 se realiza mediante su fachada sur, existiendo una destrucción total de las instalaciones y afectaciones más graves, tanto a nivel de contenido como estructurales. Debido al colapso de la cubierta se realiza un desescombro selectivo con maquinaria pesada.



Ilustración 37. Instalaciones nave 1

Destaca sobre otras huellas, la característica huella de calor existente sobre la fachada vecina, así como los daños causados en zonas puntuales.

En el interior de esta nave aparecen multitud de restos de diverso equipamiento y material de cocina, y mobiliario, quedando únicamente y como es lógico, su estructura metálica. También hay una zona particularmente afectada en la que se almacenaban lonas de material plástico.

4.1.3 Descripción y evaluación del área

Mediante la recolección de información y la observación e inspección del área afectada podremos determinar las condiciones estructurales el uso que se les daba y los distintos sistemas que se pueden encontrar en las instalaciones antes de originarse el siniestro y poder hacer su demostración topográficamente mediante planos.

Objetivos:

- ✓ Determinar las condiciones estructurales del área, el uso y los materiales estructurales.
- ✓ Determinar los diferentes tipos de mecanismos que se emplean en el lugar ya sea como eléctricos, drenaje y sistemas de seguridad.
- ✓ Demostración topográfica del área en el que se origino el siniestro.

Técnicas empleadas:

Tabla 6. Técnicas aplicadas en la investigación de campo

Técnica	Utilidad
Planimetría	Realizar los oportunos planos del lugar del siniestro, considerados necesarios para representar topográficamente el mismo, así como todos sus mecanismos y sistemas que lo incluyan.

- Características del área

Tabla 7. Características de la nave 1

Nave 1
Tiene una superficie aproximada de 1.220 m ² de superficie en planta.
De estructura metálica con cubierta de vertiente a un agua (hacia el este) a base de cerchas tipo belga de perfiles metálicos de sección cuadrangular y plancha metálica galvanizada.
Los cerramientos se resuelven con un murete de hormigón de aproximadamente un metro de altura y remate hasta la cubierta con planchas metálicas tipo sándwich, con relleno aislante en su interior de espuma rígida de poliuretano.
Está dedicada a almacén, existiendo en todo su perímetro interior estanterías metálicas repletas de materiales y enseres muy variados Existen zonas de altillo sobre las cuales también existía mercancía almacenada.
Sólo existe instalación de alumbrado compuesta por lámparas de 400W.

Tabla 8. Características de la nave 2

Nave 2

Cuenta con 1.100 m² de superficie en planta.

Su obra es de idénticas características constructivas, a excepción de su extremo sur, dedicado a oficinas donde la obra se resuelve por medio de estructura de hormigón y cerramientos acristalados.

Destinada en gran parte de su superficie a taller, principalmente de carpintería, existiendo material almacenado a tal efecto así como maquinaria para realizar los trabajos de reparación, mantenimiento y montajes como: escaleras, escenarios, paramentos, etc. En esta nave existe tanto instalación de alumbrado como de fuerza.

El extremo sur de este recinto alberga en planta baja una zona de vestuarios, comedor para los trabajadores y una cocina. La planta superior está íntegramente destinada a oficinas, con diversos despachos y mesas de trabajo con sus correspondientes equipos informáticos y archivo.

Cabe indicar que todo suministro eléctrico en las instalaciones quedaba anulado desde el cuadro principal.

Respecto a las medidas de protección contra incendios las instalaciones con que cuenta la empresa, las mismas se reducen a extintores móviles en el interior de las instalaciones, no poseyendo ni bocas equipadas contra incendios o hidrantes exteriores, ni sistemas de detección, alarma de incendios y medidas de protección pasivos.

- Planimetría y realización del croquis.

Haciendo uso de las siguientes técnicas:

Tabla 9. Técnicas de planimetría

Técnica empleada	Descripción
Técnicas de detalles	Propias del investigador
Técnicas fotogramétricas	Realizadas por tomas fotográficas
Técnicas G.P.S.	Receptor vía satélite
Métodos de coordenadas	Localización de una evidencia en distancia

Se deben realizar los planos del lugar del siniestro, necesarios para la representación topográfica de este.

Tabla 10. Tipos de planos empleados

Tipo de plano	Información a detallar
Plano Topográfico	Muestra el plano del terreno en el cual está ubicada nuestra instalación afectada.
Plano Layout	Muestra detalladamente el plano de la planta afectada en vista superior.
Plano de instalaciones	Muestra de todo aquel mecanismo eléctrico y fontanería ubicados en la instalación
Plano de elementos de seguridad	Muestra todo aquellos elementos de seguridad en las instalaciones ya sean, salidas de emergencia, extintores, rociadores, alarmas contra incendio.



Ilustración 38. Delimitación del plano topográfico

El uso de herramientas actuales en mapeo de zonas ha facilitado el trabajo en la elaboración de planos topográficos del terreno en el cual se encuentra ubicada el área de afectación del siniestro.

Para poder detallar el layout del área afectada es necesaria la reconstrucción del sitio mediante el uso de la información captada en el proceso de recolección de datos.

Haciendo uso de herramientas de diseño de instalaciones y planos, se realiza el layout en vista superior haciendo referencia del área afectada delimitando las áreas del lugar y su función principal, al igual detallando mecanismos eléctricos y de fontanería y mecanismos de seguridad en las instalaciones ya sean, salidas de emergencia, extintores, rociadores, alarmas contra incendio.

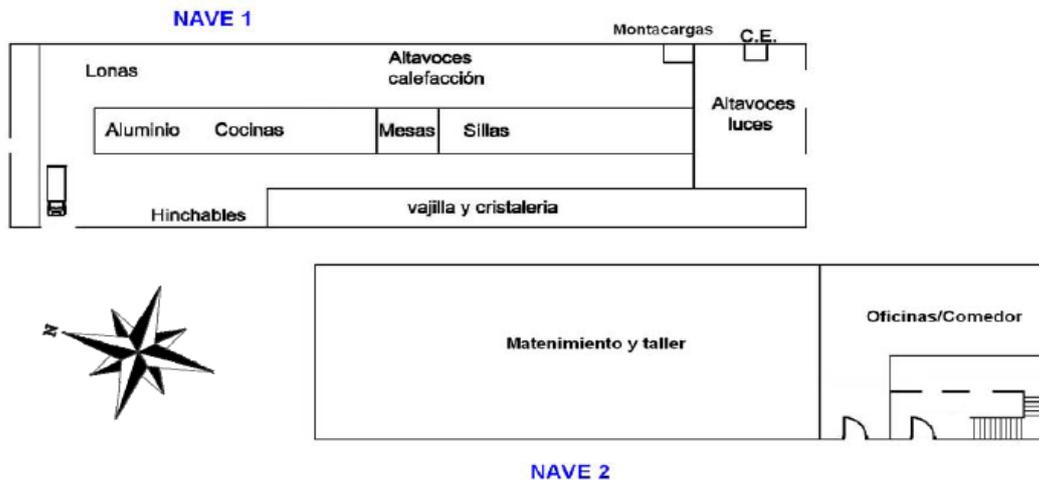


Ilustración 39. Layout del área afectada

4.1.4 Generación de hipótesis

Objetivo

- ✓ Mediante las investigaciones previas, explicar todas las observaciones verificadas.

La afectación sobre los diferentes elementos estructurales y materiales, facilita las claves para establecer una serie de hipótesis por lo cual pudo haber ocurrido el siniestro dado el comportamiento, frente a las llamas o el calor de los mismos.

Las observaciones realizadas desde el exterior de las naves permiten establecer el sentido de propagación general de las llamas en el presente incendio y aproximar una zona de origen relativamente reducida.

Mediante las vistas aéreas, se estudia la dirección del colapso estructural, así como las huellas de llama o calor existentes.



Ilustración 40. Caída de la cubierta nave 2

En la nave 2, que resultó menos afectada, se observa inmediatamente por la dirección de caída de la cubierta, que la propagación fue de norte a sur, plasmándose huellas de llama significativas sobre los frontis metálicos, tanto en el interior como en el exterior.



Ilustración 41. Huellas de calor

En este mismo frontis metálico, existen huellas puntuales de calor en el tercio norte, que evidencian el desarrollo del incendio en el interior. Estas huellas son de menor intensidad que en la fachada contraria, donde la afectación fue más intensa y con ataque de las llamas desde la nave 1, visible sobre las planchas del cerramiento.

Sobre este mismo cerramiento lateral recayente al pasillo medianero, existe un indicador de propagación muy claro por medio del cono de ataque, plasmado en base a los diferentes grados de afectación de la chapa. Este indicador evidencia que el fuego se propagó de norte a sur en la nave 2.



Ilustración 42. Cono de ataque



Ilustración 43. Zonas de afectación nave 1

Respecto a la nave 1, se comprueba la existencia de dos zonas principales de afectación, definidas por la tonalidad azulada del chapado metálico que refleja una reducción del material, una de ellas situada en el tercio sur y la otra en el norte.

Entre ambas zonas existen indicadores de propagación estructurales que definen una propagación de norte a sur, como por ejemplo lesiones direccionales sobre estanterías con mercancía.



Ilustración 44. Afectación en los materiales de la nave 1

Se puede comprobar también en el interior, la afectación sobre los apilamientos de perfilaría de aluminio que se han visto parcialmente fundidos, los cuales muestran una dirección de propagación también de norte a sur y preferentemente de este a oeste.

La zona de origen del tercio norte se extiende unos 20 metros junto a la fachada este y queda definida por la tonalidad azulada fruto de la reducción superficial de las planchas de cero y mediante la apertura de la cubierta (véase zona identificada en la ilustración 45).



Ilustración 45. Afectación área norte nave 1

En esta zona norte existen dos áreas de afectación, una destinada al almacenamiento de lonas y otra de tableros de madera, siendo ambas de grave afectación, si bien todavía quedan partes intactas de los apilamientos.



Ilustración 46. Almacenamiento de lonas y tableros de madera

Estas dos áreas dentro del área de origen del incendio norte, corresponden a dos focos de incendio (focos 1 y 2), desde donde se propagaron las llamas al resto de instalaciones (véase ilustración 46).

En el área sur, existe una afectación idéntica desde donde también se propagaron las llamas, definiéndose éste como un nuevo foco del incendio, foco 3 (Véase ilustración 47).



Ilustración 47. Afectación área sur nave 1

Véase ilustración 48, el esquema de los focos definidos anteriormente:

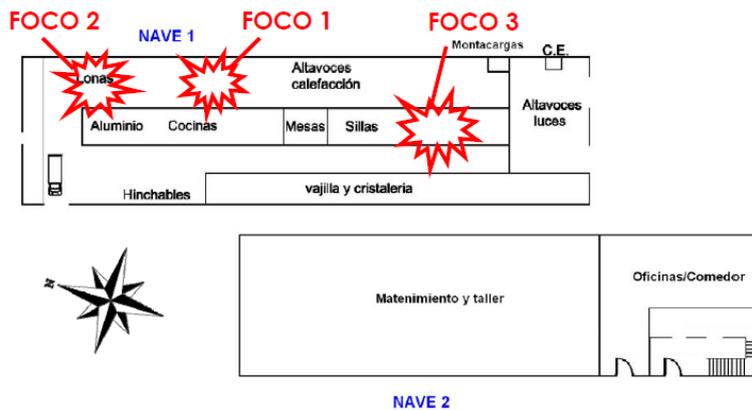


Ilustración 48. Layout de los focos definidos en la investigación



Ilustración 49. Focos de ataque

Al ser detectados 3 focos de incendio de los cuales se puede definir una propagación sobre el mismo sentido de norte a sur se puede definir que el siniestro pudiera haber sido causado por los siguientes actores:

Algún tipo de fallo eléctrico que definió una propagación del fuego, ya sea por las instalaciones eléctricas del área o bien por el camión previamente estacionado antes de ocurrir el siniestro.

Disposición de material combustible en las áreas afectadas que determinaran un aumento de entropía (carga térmica) en los materiales de almacenamiento ya que de todos los focos de afectación en ambos se muestra una gran destrucción y un solo sentido de propagación, difiriendo en la localización de cada uno.

4.1.5 Búsqueda y análisis de evidencias

Objetivo.

- ✓ Dadas las observaciones realizadas, se procede a examinar con detenimiento los restos existentes en el lugar o lugares en los que se cree hipotéticamente se origina el siniestro.

Con referencia así el vehículo IVECO estacionado en la zona norte de la nave 1 fuese el causante de un fallo eléctrico se dispone a su análisis:



El camión presenta afectaciones sobre la cara externa de su carrocería, siendo estas procedentes desde la parte posterior desde su caja de carga.

Ilustración 50. Vehículo IVECO

Comprobados los restos en su interior, tanto en el compartimento motor como en el habitáculo de pasajeros, no existen evidencias de fallo eléctrico interno. El cableado se presenta con la clásica coloración verdosa que identifica la presencia de cloruros de cobre que se dan al calcinarse la funda plástica protectora del cable sobre el mismo. Caso de una avería de tipo eléctrico, el cableado aparecería desnudo y con colores rojizos.



Ilustración 51. Cableado eléctrico del vehículo

Entre los restos de la instalación eléctrica de la nave, se observa que la misma únicamente contaba con un cuadro eléctrico en su extremo sur desde el cual se daba alimentación a diversos focos de alumbrado suspendidos de la estructura de la cubierta. No existía instalación eléctrica de fuerza o alimentación a maquinaria alguna, ni a cargadores o baterías.

Los cables presentan el aislante plástico carbonizado y adherido a los conductores de cobre, lo que evidencia un ataque exterior de las llamas, presentando el cobre una coloración azulada, producto de la acción del ácido clorhídrico generado a partir de la emisión de cloro por parte del aislante plástico al consumirse y combinarse éste con la humedad ambiental, que ataca a la superficie del metal de cobre, quedando ésta con esta coloración característica.



Ilustración 52. Cableado eléctrico de la instalación

No se observa en los elementos presentes evidencias o indicios de fallo eléctrico alguno.



Ilustración 53. Calcinación de materiales en el foco 1

En lo referente a la primera de ellas, foco 1, donde se almacenaban las lonas, éstas aparecen con un elevado grado de calcinación, quedando sin embargo apilamientos de las mismas carbonizados perimetralmente, lo cual resulta llamativo al no presentarse una afectación direccional por alcance del fuego.

Este hecho indica que las llamas han afectado por todos sus costados a los apilamientos de lonas, siendo éste un indicio de la existencia de diversas direcciones de afectación opuestas y de la presencia de sustancias acelerantes de la combustión.



Ilustración 54. Oquedades en el foco 1

Entre los apilamientos, existen oquedades causadas por la acumulación de estas sustancias acelerantes, las cuales ocasionan afectaciones puntuales y carbonizaciones localizadas. Estas evidencias son conocidas como 'cavernas'.



Ilustración 55. Oquedades y calcinación en el foco 2

En lo referente al foco 2, se comprueba la existencia de los mismos efectos anteriormente descritos, con combustiones bajas y perimetrales, pero esta vez sobre tableros de madera apilados.

Establecido pues que en ambos focos (1 y 2) existen indicios de derrame de sustancias acelerantes de la combustión, se realiza una toma de muestras en cada uno de ellos con el objeto de realizar un análisis químico de presencia de acelerantes. No se realizó toma de muestras en el Foco 3 dado que este foco fue desescombrado completamente por la Policía Científica de forma previa a nuestra investigación.

Las muestras fueron remitidas al Instituto de Tecnología Química, donde fueron sometidas a análisis, sometidas a extracción líquido-sólido a temperatura ambiente con diclorometano. El extracto fue concentrado y analizado en un cromatógrafo HP-Masas.

El resultado analítico indica textualmente lo siguiente:

- ✓ “La muestra M1 (foco 1): presenta compuestos típicos de combustión de madera y plásticos junto a restos de hidrocarburos aromáticos en el rango de composición de una gasolina comercial: xilenos (c2-alquilbencenos), trimetilbencenos (c3-alquilbencenos) y c1-naftalenos.
- ✓ La muestra M2 (foco 2): presenta compuestos típicos de combustión de madera y plásticos.

En resumen, en la muestra M1 se ha encontrado compuestos comunes en composición a la gasolina comercial, que se pueden considerar acelerantes de la combustión”.



4.1.6 Rechazar o aceptar hipótesis

Embase a los estudios los análisis realizados y a las evidencias encontradas, se desmienten o se aceptan las hipótesis generadas.

En el solo caso que ninguna de las hipótesis sea la correcta, es necesaria la retro inspección en la investigación, para determinar si ha quedado alguna pista suelta esencial en la investigación que no haya podido ser encontrada a simple vista.

Se rechaza la hipótesis de un fallo eléctrico tanto en el origen de las instalaciones como en el vehículo estacionado por efectos de lluvia, ya que el cableado no presenta ningún tipo de señal que este haya originado algún tipo de presencia de fallo eléctrico como ya se comento en el punto anterior.

En cambio, la sola existencia de los tres focos diferenciados entre sí, la ausencia de una trayectoria natural y no forzada de las llamas, y el hallazgo de acelerantes en uno de ellos, lugar en el que no debiera existir tal sustancia al no ser consustancial de la actividad, establece la naturaleza del incendio, a consecuencia de sustancias combustibles, verificando y aceptando esta hipótesis.

4.1.7 Origen, causa y conclusiones del siniestro

Se define entonces que el hecho no deseado accidental debido a la gran pérdida económica y material generada y no lamentando pérdidas humanas define un siniestro de categoría 2.

Las circunstancias dan origen a una situación expuesta a una amenaza de peligro el cual dio origen a un riesgo conllevado así al origen del siniestro.

En una escala de espacio y tiempo se define la misma evolución del sistema para generar el caos existente, esto debido al incremento de entropía en la propia dinámica del mismo.

Origen:

Dada la investigación del siniestro y las condiciones de los materiales expuestos con anterioridad se determino el origen del incendio en distintos puntos de la nave 1, como se muestra en la ilustración 50.



Ilustración 56. Orígenes del incendio

Causas:

Dadas las investigaciones previas, se define una serie de actores interactuantes entre sí que difieren en función del lugar y sus condiciones determinando un grado de daño. Entre los actores encontrados en la investigación y haciendo uso de la metodología 5 “M” la cual será de apoyo para generar ideas organizadas y así facilitar el esclarecimiento de los actores afectantes; se determinan entonces los siguientes actores:

1. Medio ambiente: La participación de actores ambientales como el viento, son participes de la propagación norte-sur del incendio.
2. Métodos: La falta de sistemas de seguridad contra incendios, exponen actores metodológicos para la prevención de riesgos.
3. Maquinaria: No se determino ningún actor consecuente de un tipo de riesgo mecánico, eléctrico durante la investigación.
4. Materiales: La presencia de un actor principal como en este caso lo es el acelerador combustible debido a 3 factores que desencadenaron el incendio (oxígeno, combustible, calor) y añadiendo el material sensible almacenado en el área afectada determinaron el aumento entrópico del siniestro.
5. Humanos: Como ya se menciona anteriormente la existencia de 3 focos diferenciados entres si, la ausencia de una trayectoria natural y no forzada de las llamas, el hallazgo de gasolina comercial en uno de ellos, lugar en el que no debería existir tal sustancia al no ser consustancial de la actividad, define un actor humano determinante en la generación del siniestro.



Análisis y conclusiones:

Es entonces la intervención de todos los actores mencionados anteriormente para determinar un riesgo resultante de 3 factores:

1. La peligrosidad generada por el tipo de riesgo.
2. La exposición de los bienes expuestos al riesgo.
3. La vulnerabilidad de los bienes afectados expuestos a actores interactuantes.

Gracias a la investigación, se determina el origen y las causas del siniestro. Es entonces donde se define que el origen del riesgo es tecnológico y humano.

Siendo tecnológico por la existencia de un tipo de riesgo químico que origino en un incendio debido a una sustancia de tipo 3 (liquido inflamable) según la clasificación de sustancias según su tipo de riesgo.

Siendo de origen humano por la existencia de un riesgo entrópico de origen antisocial, lo cual nos define un accidente no laboral, sino más bien intencionado.

Es entonces el incendio un acto provocado de forma intencionada en al menos 3 focos del incendio causados por la actuación del combustible y el material que en el área se encontraba; aunado a esto que no existieran métodos de seguridad y el ambiente necesario para su propagación, determinaron en un grado de daño en magnitudes de pérdidas considerables económicas y materiales, que pudieran haber sido disminuidas en menor grado ante la presencia del siniestro.



4.2 Determinar las consecuencias de daño ocasionados por un siniestro

Para poder determinar las consecuencias de daño ocasionados por un siniestro, hay que entender el origen y causa de los daños.

Como se ha mencionado anteriormente el daño es:

Efecto obtenido ante las consecuencias producidas por un siniestro sobre los bienes y la calidad de vida, es decir, la pérdida.

EL siniestro es evaluable en 3 categorías, según su daño originado [1]:

- Categoría 1: daños materiales en instalaciones, sin daños externos.
- Categoría 2: posibles víctimas, daños materiales en las instalaciones, repercusiones exteriores, limitados a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.
- Categoría 3: posibles víctimas, daños materiales grave o alteraciones en el medio ambiente en zonas extensas en el exterior de la instalación industrial.

Si aun así para la empresa la principal pérdida es el estado económico en sus bienes y servicios, existen diferentes tipos de pérdidas a consecuencia del daño originado por un siniestro, entre las cuales podemos clasificarlas en:

- Pérdidas económicas: Grado de afectación ante un siniestro, debido al deterioro en el estado de bienes y servicios en términos monetarios.
- Pérdidas materiales: Grado de afectación ante un siniestro, debido al deterioro en el estado de los bienes.
- Pérdidas medio ambiente: Grado de afectación ante un siniestro, debido al deterioro en el estado de los organismos y el medio.
- Pérdidas sociales: Grado de afectación ante un siniestro, debido al deterioro en el ser humano o colectivos.

Para poder determinar las consecuencias de siniestro, hay que cuantificar el estado de las pérdidas, para determinar el grado de deterioro y determinar si es cuantificable para ello existen 3 clasificaciones del tipo de detrimento (deterioro):

- Detrimento tangible, evaluable u objetivo (cuantificable en el deterioro).
- Detrimento difícilmente evaluable o relativo (cuando la sociedad queda afectada por algún accidente).
- Detrimento intangible o subjetivo (penalidades que sufre una población a causa de una catástrofe).



La cuantificación constituye la unión entre la identificación del daño y su posterior valoración económica.

Para nuestro caso en particular, anteriormente estudiado en el que se determinaron el origen y las causas de un siniestro, podremos determinar el tipo de pérdida generada y como cuantificar su grado de detrimento.

Teniendo un siniestro de categoría 2 por la exposición que se tubo al medio ambiente. Entre las pérdidas generadas por el siniestro mediante la inspección de campo se lograron encontrar perdidas de carácter, económico, material y ambientales.

Teniendo un tipo de detrimento tangible, evaluable u objetivo, en medida a que no existió afectaciones de tipo social.

En cuanto a la pérdida de material, para determinar sus consecuencias de daño, podemos cuantificarlo mediante un inventario de pérdidas, donde se evalúa, lo que se tenía, lo recuperable y lo perdido.

En cuanto a la pérdida económica, para determinar sus consecuencias financieras, se determinara a medida que lo invertido en bienes y servicios sea considerada una perdida ya sea parcial o total en términos monetarios.

Ecuación 5. Pérdida económica

$$\text{Pérdida económica} = \text{Invertido en bienes y servicios} - \text{lo recuperado}$$

En cuanto a la pérdida ambiental las consecuencias de daño dependerán del tipo de sistema al cual afecte, ya sea agua, suelo, aire y el medio en general.

Para determinar la cuantificación de pérdida medioambiental, se evalúan los siguientes aspectos:

- Valoración a la exposición: Consiste en la estimación cuantitativa de la concentración que pueden alcanzar las sustancias químicas en el medio receptor. Dicha concentración es la dosis de una sustancia, recibida por un organismo, en caso de un siniestro ya sean derrames, vertidos, fugas, incendios, etc.

En nuestro caso, para evaluar el daño ambiental obtenido por el incendio, hay existencia de modelos de simulación que permiten estimar la concentración esperada de dicha sustancia o agentes desencadenantes de daño en cada comportamiento ambiental (programas de simulación). Estas expresiones

exigen una gran cantidad de información razonable sobre la sustancia (propiedades físico-químicas, medio receptor, capacidad de propagación, cantidades involucradas en el siniestro).

Todos los derechos de propiedad intelectual están reservados. Prohibida la reproducción y/o difusión por terceros de este informe de modo completo, parcial o extractos del mismo sin autorización previa y por escrito de los titulares, excepto en procedimiento judicial objeto de la pericia conforme a las prescripciones legales de la normativa de propiedad intelectual.

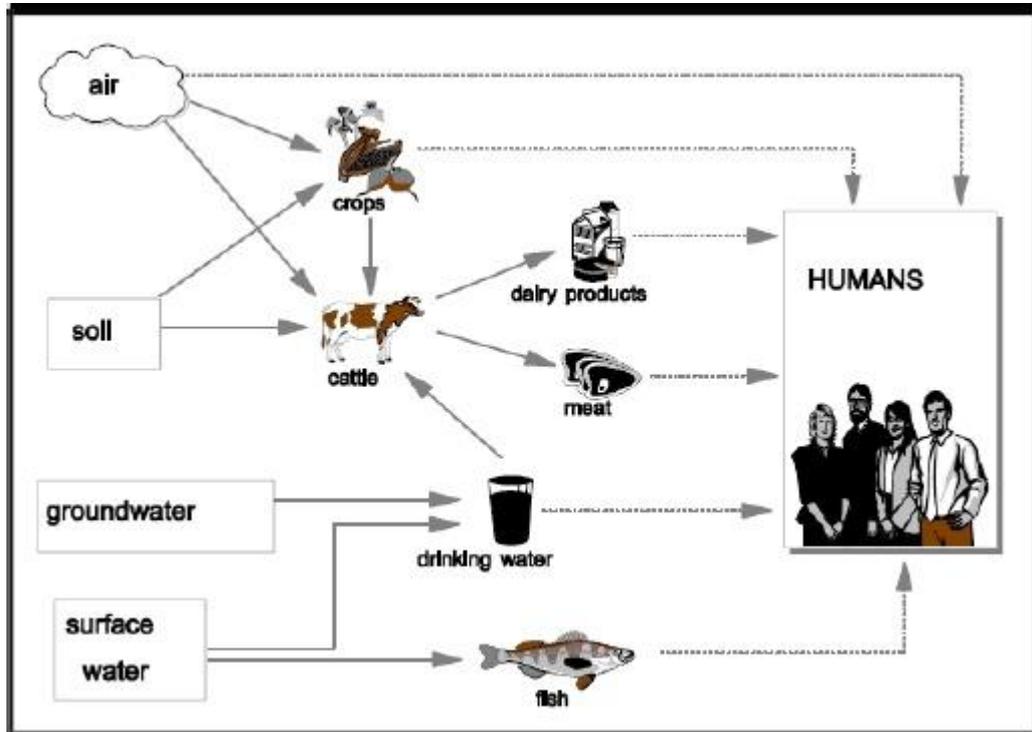


Ilustración 57. Diagrama de exposición ante un daño

En la ilustración 57 se observa un diagrama de exposición integrado a los efectos que se tiene ante un daño generado por un siniestro.

Como se puede observar la principal eventualidad de un daño máximo generado es el ser humano, pasando una pre-afectación y no menos importante el medio natural, donde el ser humano puede ser expuesto por diferentes maneras.

- ✓ Exposición por inhalación del aire.
 - ✓ Exposición por ingestión y contacto dérmico con el suelo.
 - ✓ Exposición por consumo de alimentos.
 - ✓ Exposición por ingestión de agua, procedente de aguas subterráneas contaminadas.
- Valoración de los efectos: Determina la intensidad del daño ocasionado por el siniestro mediante el empleo de umbrales de toxicidad, con el fin de estimar la relación entre la dosis o el nivel de exposición a una sustancia y la incidencia y la severidad de un efecto.



Se realiza mediante exámenes toxicológicos que evalúan el riesgo o el peligro que un agente químico puede ocasionar sobre la estructura y función de los ecosistemas. Estos ensayos consisten en mantener diferentes organismos a distintas concentraciones de sustancias por un tiempo determinado, con el fin de establecer la dosis límite a dicha sustancia para el organismo expuesto, según la intensidad de los efectos que pueda experimentar.

De esta forma se obtiene para cada receptor ecológico el riesgo de que una sustancia química alcance concentraciones suficientes para originar los efectos asociados a cada uno de los niveles de exposición que han sido objeto de valoración.

En cuanto a la pérdida social, dependerá del daño generado y si este puede ser cuantificable, es decir si el detrimento es difícilmente evaluable o relativo, intangible o subjetivo, entre las consecuencias que podemos encontrar son:

- ✓ Muerte de un ser humano o colectivos.
- ✓ Lesiones físicas o psíquicas.
- ✓ Penalidades sociales ante una catástrofe (exposición a contaminantes).

El daño generado puede ser calculado por la siguiente expresión:

$$D = \text{Numero de víctimas} / \text{sucesos ocurridos (frecuencia)}$$

Para poder disminuir el daño hay que adoptar medidas de protección y para la disminución de la frecuencia hay que evitar que se produzca tal suceso causante de daño.

Para ello el estudio como es el caso del análisis probabilístico de riesgos, será de gran utilidad para la determinación que los efectos que se pudiesen tener ante un tipo de riesgo y así lograr la disminución de los efectos y las consecuencias que lleve con si un siniestro.



5. Conclusiones y recomendaciones

Los estudios actuales en la investigación de los siniestros mediante métodos de ingeniería forense ya sea cual sea su origen (natural, tecnológico, social) definen una serie de circunstancias y actores que intervendrán para la generación de dicho suceso, sean estas circunstancias y actores variables dependiendo del lugar, la actividad y las condiciones iniciales.

La constante evolución y la generación de riesgos en la pérdida de la protección del ser humano ha conllevado al surgimiento de metodologías de investigación como es el caso de la ingeniería inversa, en la reconstrucción de los hechos para el entendimiento del porque de sus razones, como evitarlos o disminuir en gran medida sus efectos.

Aunque en la actualidad no se tenga aún la capacidad de determinar el momento espacio – tiempo y las magnitudes en daño que se generarán ante un siniestro. Debido a la variabilidad de estos hechos y la evolución dinámica de los mismos sistemas en la generación del caos, ya que por el momento son indeterminados, debido a la inestabilidad de su actuación.

La importancia de determinar su origen y las causas de un siniestro son imprescindibles para el mejor entendimiento y el comportamiento de su dinámica, la determinación de los actores que intervienen para poder conllevar un siniestro, las circunstancias que influyen y así entender su porque.

El uso de una metodología forense en la investigación de siniestros, define un avance científico/social importante, ya que como se puede observar en la investigación realizada, la comprensión del peligro y los riesgos que nos rodean, el impacto que tendrán sobre nuestra vida y el daño que estos generen, determinan un avance fundamental en aquellos estudios, los cuales pretenden manipular estos eventos no deseados o bien disminuir sus efectos, mediante el uso de técnicas de evaluación a las condiciones iniciales y las probables variaciones que pudiesen ocurrir en un determinado hecho, su frecuencia y el impacto que tendrían, es el caso, por ejemplo, del estudio de análisis probabilísticos de riesgos, mas sin embargo, son solo un camino de las investigaciones previas mediante la metodología de la Ingeniería Forense.

El avance en el mejor entendimiento en la evolución de los sistemas dinámicos a través del tiempo, son otro aspecto fundamental que la misma investigación de siniestros proporciona información para entender su complejidad, es el caso, de la teoría del caos, donde siendo el ser humano el único sistema que lucha



contra la entropía, determina una serie de conceptos de estudio en la actualidad ante el orden de los sistemas caóticos.

Otro avance, ante la investigación de siniestros mediante métodos de ingeniería forense, podemos hablar de la cuantificación de su daño, a raíz de las consecuencias generadas y la magnitud en que se presentan, son determinantes para la evaluación de su grado de afectación en pérdidas económicas, materiales y principalmente ambientales que en mayor medida determinan una afectación inherente al ser humano.

El uso de una investigación mediante una ingeniería inversa, define un camino fundamental para la determinación del porque de las cosas, la evolución y cambio en el tiempo de los sistemas y su dinámica, todo mediante la valoración veraz y objetiva del origen, causas y consecuencias que conlleva un siniestro.

La herramienta anterior presentada solo define un paso importante en la investigación de los acontecimientos en la vida del ser humano para la determinación de su daño, las consecuencias y valorización de éstas, y así obtener la supervivencia de una civilización del riesgo y satisfacer una necesidad primordial del ser humano, es decir, una eficaz protección ante la evolución del mismo y el impacto generado en su vida y el medio en el que vive.

Recomendaciones

- Mantener un estudio continuo de los siniestros, cual sea su estado original (natural, tecnológico, social), para la determinación de los distintos actores y circunstancias que rodean a los sistemas.
- Mantener un constante aprendizaje de los sistemas dinámicos, para desarrollar eficientes investigaciones en los diferentes escenarios, en los cuales pueda conllevar una serie de hechos no deseados.
- Hacer uso de los sistemas metodológicos propuestos, y de las herramientas necesarias en la investigación de siniestros, para la mejor interpretación veraz y objetiva de ellos.
- Fomentar el mejor desarrollo en la obtención de la protección para disminuir los daños consecuentes a un siniestro.
- Desarrollar una mentalidad a la civilización del riesgo, la cual, haga uso de la investigación para la obtención de la protección misma, así como también, un constante aprendizaje a los actores y circunstancias que acontece un siniestro.



6. Bibliografía

[1] **[Lagadec, 1983] Lagadec, Patrick** “Civilización del Riesgo (catástrofe tecnológica y responsabilidad social)”. Ed. Mapfre, 1983, VII, XXVII.

[2] **[Artículo]** “La civilización del riesgo” Artículo.

[3] **[Díaz de la cruz, Dolores carrillo, 1991] Francisco Díaz de la cruz, Dolores carrillo** “Teoría de la protección (Límites socio-económicos)”. Ed. Mapfre, 1991, 1-70.

[4] **[Prigogine, 1993] Prigogine, Ily** “Las leyes del caos”. Ed. Laterza, 1993, 1-38.

[5] **[Briggs, Peat] John Briggs, F. David Peat I** “Las 7 leyes del caos, ventajas de una vida caótica”. Artículo.

[6] **[Madrid, 2011] Madrid, Carlos** “La mariposa y el tornado, Teoría del caos y cambio climático”. Ed. Editec, 2011, 1-68.

[7] **[Artículo]** “Entropía, caos y orden”. Artículo.

[8] **[Noon, 2001] K. Noon, Randall** “Forensic engineering investigation”. Ed. CRC Press LLC, 2001, 17-39.

[9] **[Cabrera, 2007] Mauro Cabrera Alarcón** “Investigación de accidentes de trabajo utilizando el diagrama de causa-efecto (ISHIKAWA)”. Artículo.

[10] **[Cardona A.] Omar Darío Cardona A.** “Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo”. Artículo.



[11] [González, 2006] **González Piñatel, Juan Diego** “Forensita aplicada a la investigación de incendios y explosiones”. Ed. CEP, 2006, 5-1, 13-1.

[12] [Pons, 2003] **Dr. Pons i Grau, Vicent** “Dinámica del fuego”. Ed. Bullent, 2003.

[13] [1986] “Manual de protección contra incendios”. Ed. Mapfre. Decimosexta edición.

[14] [Herrero, 2012] **Pablo Herrero** “Las 5 M; como método para localizar la causa raíz de un problema”. Artículo.

[15] [1995] “Ley de prevención de riesgos laborales; ley 31/1995 8 de noviembre”. RD.

[16] [Presentación] “Clasificación de los riesgos”. Presentación.

[17] [Informe] **Dr. Óscar Román Herrera y Dr. Vicent Pons i Grau** “Informe técnico forense sobre el origen y causa del incendio”. Informe.

[18] [1995] “Ley general de la seguridad social; ley 171994 de 20 de junio”. RD.

[19] [Artículo] “Base de la cuantificación ambiental”. Artículo.

[20] [Artículo] “Identificación de sustancias peligrosas”. Artículo.



7. Anexos

Glosario.

Actor: Toda característica o fenómeno que al interactuar uno o más de ellos en el medio generan un siniestro.

Agente: Toda causa activa o todos aquellos que tienen poder para producir un efecto.

Agresor: El que tiene el propósito de hacer o causar daño.

Amenaza: Estado latente del peligro y del sujeto que pueda recibir un daño como consecuencia de aquel.

Caos: Imprevisibilidad de las variables en la interacción de los sistemas en determinación de la causalidad de los eventos por un aumento de entropía.

Catástrofe: Grado de daño ocasionado por un hecho natural o tecnológico.

Circunstancia: Conjunto de lo que está en torno a alguien o algo.

Condiciones: Estado variaciones en un sistema en la determinación de su estado caótico.

Daño: Efecto obtenido ante las consecuencias producidas por un siniestro sobre los bienes y la calidad de vida.

Desorden: Nivel de caos obtenido en un sistema.

Detrimento: Deterioro ocasionado por un daño ya sea material, ambiental o humano.

Entropía: Segundo principio de la termodinámica, explica el nivel de energía transferido de un sistema a otro.

Fenómeno: Proceso asociada a un tipo de riesgo en la generación de un siniestro.

Frecuencia: Número de veces que puede producirse un suceso en un intervalo de tiempo y que puede ocasionar daño.

Orden: Estabilidad caótica de los sistemas en el espacio y el tiempo.

Peligro: Todo aquello que puede producir un daño o un deterioro en la calidad de vida individual o colectiva de las personas.

Protección: Nivel de satisfacción ante las necesidades de mantener una seguridad ocasionados por la amenaza de un peligro o consecuente a un daño.

Sistema: Conjunto de elementos que interactúan entre si para la obtención de un todo.

Riesgo: Probabilidad de que ante un determinado peligro, se produzca un cierto daño.

Siniestro: Evento accidental o incidental que ha causado daños o pérdidas materiales, ambientales y sociales.

Temeridad: Acto de acercarse conscientemente a un peligro sin estar adecuadamente preparado para evitar sus consecuencias.

Termodinámica: Rama de la física que determina los estados de equilibrio de la energía a nivel macroscópico.



Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1. Foro romano	2
Ilustración 2. Revolución industrial	3
Ilustración 3. Incendio Vila de Cans	5
Ilustración 4. Siniestros asociados a la investigación forense	6
Ilustración 5. Incendio Vila de Cans 2	7
Ilustración 6. Factores aunados al riesgo	11
Ilustración 7. Sistemas no lineales	13
Ilustración 8. Requerimientos para el estudio de siniestros	16
Ilustración 9. Metodología en la investigación de siniestros	18
Ilustración 10. Pirámide de la investigación	18
Ilustración 11. Método científico	19
Ilustración 12. Incendio Vila de Cans 3	26
Ilustración 13. Pirámide de la investigación	29
Ilustración 14. Zonificación de las circunstancias causantes en un siniestro	32
Ilustración 15. Incendio de Fontestad, Localidad Museros.	33
Ilustración 16. Diagrama de riesgos según su origen	34
Ilustración 17. Explosión de polvo en reactor de secado al vacío	36
Ilustración 18. Triángulo del fuego	36
Ilustración 20. Incendio hotel Brasil, playa de Cádiz	37
Ilustración 19. Incendio hotel albergue Vila Franca del Brezo	37
Ilustración 21. Diamante del fuego	38
Ilustración 22. Lugar del siniestro	44
Ilustración 23. Cercado metálico	47
Ilustración 24. Fachada al oeste	48
Ilustración 25. Fachada al este	48
Ilustración 26. Inspección perimetral de la instalación	48
Ilustración 27. Cerramiento de la fachada	48
Ilustración 30. Vista aérea de la zona de afectación	49
Ilustración 28. Fachada sur de la instalación	49
Ilustración 29. Fachada norte de la instalación	49
Ilustración 31. Huella de calor en vista aérea	50
Ilustración 32. Zona de afectación en el interior del inmueble	50
Ilustración 33. Área de oficinas	50
Ilustración 34. Área de almacenamiento	51
Ilustración 35. Interior de la nave 2	51
Ilustración 36. Cerramientos de la nave 2	51
Ilustración 37. Instalaciones nave 1	51
Ilustración 38. Delimitación del plano topográfico	54
Ilustración 39. Layout del área afectada	55
Ilustración 42. Cono de ataque	56
Ilustración 40. Caída de la cubierta nave 2	56
Ilustración 41. Huellas de calor	56
Ilustración 43. Zonas de afectación nave 1	57
Ilustración 44. Afectación en los materiales de la nave 1	57



Ilustración 45. Afectación área norte nave 1	57
Ilustración 46. Almacenamiento de lonas y tableros de madera.....	58
Ilustración 48. Layout de los focos definidos en la investigación	58
Ilustración 47. Afectación área sur nave 1	58
Ilustración 49. Focos de ataque	59
Ilustración 51. Cableado eléctrico del vehículo	60
Ilustración 50. Vehículo IVECO.....	60
Ilustración 52. Cableado eléctrico de la instalación	61
Ilustración 53. Calcinación de materiales en el foco 1	61
Ilustración 54. Oquedades en el foco 1	61
Ilustración 55. Oquedades y calcinación en el foco 2.....	62
Ilustración 56. Orígenes del incendio	64
Ilustración 57. Diagrama de exposición ante un daño	68

Índice de ecuaciones.

Ecuación 1. Riesgo.....	11
Ecuación 2. Daño	11
Ecuación 3. Frecuencia	11
Ecuación 4. Nivel de seguridad.....	12
Ecuación 5. Pérdida económica.....	67

Índice de tablas.

Tabla 1. Fenómenos asociados al tipo de riesgo	40
Tabla 2. Etapas en el diseño de una investigación.....	41
Tabla 3. Uso de equipo de protección personal	42
Tabla 4. Técnicas empleadas en la recolección de datos	44
Tabla 5. Técnicas empleadas en la inspección de campo.....	47
Tabla 6. Técnicas aplicadas en la investigación de campo	52
Tabla 7. Características de la nave 1	52
Tabla 8. Características de la nave 2.....	53
Tabla 9. Técnicas de planimetría	53
Tabla 10. Tipos de planos empleados.....	54