

APLICACIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA.

Julián Uribe Botero¹, Libardo Antonio Londoño Ciro²

¹ Ingeniero mecánico, Magíster(c) en gestión integral de riesgos laborales. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. email: juribo8@hotmail.com.

² PhD en Ingeniería, Director de calidad académica de la institución Universitaria Digital de Antioquia. email: libaranto@gmail.com.

RESUMEN

La gestión de las emergencias hace parte fundamental de la seguridad y salud en el trabajo. Los incendios se constituyen como las emergencias más comunes en las industrias de nuestro país y en todo el mundo. Por medio del proceso de análisis multi atributo, específicamente el proceso de análisis jerárquico (AHP), los factores de riesgo fueron identificados en las investigaciones que se han realizado usando este método de análisis. El nivel de importancia de cada factor fue calculado por medio de un grupo de expertos que aplicaron el proceso de análisis jerárquico. Los resultados de la investigación pueden ser usados para tener una evaluación detallada el riesgo de incendio que permitiría a los inversionistas o propietarios tomar medidas para reducir las posibles pérdidas en caso de incendio; a las compañías de seguro realizar incrementos en las primas de riesgo basados en la evacuación del riesgo; a los departamentos de bomberos el nivel de cumplimiento de los requerimientos normativos.

Palabras clave: factores de riesgo, proceso de análisis jerárquico, riesgo de incendio, nivel de importancia.

Recibido: 15 de enero de 2021. Aceptado: 25 de abril de 2021

Received: January 15, 2021. Accepted: April 25, 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.33571/rpolitec.v17n33a5>

APPLICATION OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS IN FIRE RISK ASSESSMENT OF INDUSTRIAL OCCUPANCIES

ABSTRACT

Emergency management is a fundamental part of occupational safety and health. Fires are the most common emergencies in the industries of our country and throughout the world. Applying the multi-criteria analysis method, the investigations using the analytic hierarchy process (AHP) in fire risk assessment allowed the identification of fire risk factor. An experts group was consulted about the level of importance of fire risk factors in the fire risk evaluation, for these purpose each expert used the AHP. Results of research can be use to perform the detailed assessment of fire risk, allowing state owners and investors to carry out actions for reduce possible losses in case of fire. Insurance companies can perform the detailed assessment of fire risks on the object and to calculate a risk extra charge to an insurance premium. Fire departments can determine the compliance of a condition of object with requirements of regulations.

Keywords: risk factors, analytic hierarchy process, fire risk, priority.

Cómo citar este artículo: J.U. Botero, L.A. Londoño-Ciro. "Aplicación del proceso de análisis jerárquico para la evaluación del riesgo de incendio en la industria colombiana", Revista Politécnica, vol. 17, no.33 pp.64-75, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33571/rpolitec.v17n33a5>

1. INTRODUCCIÓN

Gestionar la seguridad y la salud en los lugares de trabajo contempla la necesidad de gestionar las emergencias que se puedan presentar. Según el decreto 1072 del año 2015, los empleadores deben implementar y mantener las disposiciones necesarias en materia de prevención, preparación y respuesta ante emergencias. Los incendios, no solo en Colombia, sino en el mundo, se constituyen como emergencias comunes. Un incendio mayor en una industria puede ocasionar daños materiales, muertes, interrupción del negocio y pérdidas de mercado; en efecto el 40% de los pequeños negocios no asegurados no reabren después de un incendio mayor [1]

El proceso de gestión de riesgos propuesto por la ISO 31000, risk management-Principles and guidelines del año 20089, plantea que el tratamiento del riesgo y el establecimiento de controles se debe realizar después de la valoración de los riesgos (risk assessment) con la finalidad de llevar el riesgo al nivel aceptable para la organización. Para el caso de la gestión del riesgo de incendio, la evaluación se ha realizado históricamente de diferentes maneras; en su libro denominado Evaluation of Fire Safety, los autores explican los modelos probabilísticos, deterministas y estocásticos para valorar el riesgo de incendio y encuentran los métodos de ranking, de índice o métodos por puntos muy aplicables y útiles cuando se desea una cuantificación del riesgo de incendio donde no se requiere gran sofisticación y donde la priorización es el objetivo fundamental y un análisis teórico a profundidad no es costo eficiente o apropiado [2].

Los modelos de valoración del riesgo de incendio como el Meseri, Gustav Purt, Max Gretener y DOW (industria química) son sistemas de valoración de seguridad contra incendio multi atributos, sin embargo, ninguno de ellos hace una distinción entre la intensidad y la importancia de los atributos del riesgo. El proceso de análisis jerárquico (AHP) es una herramienta poderosa para la realización de valoraciones multi atributo [2], ha sido ampliamente revisado y aplicado en la literatura, además permite diferencias la intensidad o grado de importancia de los atributos.

2. PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO

El proceso de análisis jerárquico (AHP) es una metodología de análisis multiatributo o multicriterio desarrollada por el doctor Thomas L. Saaty [3]. Este método fue diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El resultado del AHP es una jerarquización de prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de selección. El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de manera gráfica y eficiente organizar la información de un problema (en el caso de este artículo el riesgo de incendio), descomponerla y analizarla por partes.

El proceso de análisis jerárquico se fundamenta en:

- La estructuración de un modelo jerárquico.
- Priorización de los elementos.
- Comparaciones pareadas entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante la asignación de pesos.
- Nivel de importancia de las alternativas de acuerdo con los pesos.
- Síntesis.
- Análisis de consistencia.

Las comparaciones pareadas entre los elementos son fundamentales, el AHP utiliza una escala de 1 a 9 para calificar la preferencia o relevancia de los elementos.

Tabla 1: Escala fundamental para la calificación de preferencias en AHP [4].

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro.	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Una vez las comparaciones entre atributos han sido realizadas y se tiene el grado de importancia de los atributos es necesario chequear el grado de consistencia obtenido.

La idea de la consistencia es ilustrada en el siguiente ejemplo: En una matriz de comparación, si proporcionamos un valor de 3 al primer criterio sobre el segundo y asignamos un valor de 3 al segundo criterio con respecto al tercero, el valor de preferencia del primer criterio con respecto al tercero debería ser $3 \times 3 = 9$. Sin embargo, si el tomador de decisiones ha asignado un valor como 5 o 7, habría un cierto nivel de inconsistencia en la matriz de juicios.

La seguridad contra incendios es un problema complejo que involucra o se ve afectado por múltiples factores, por esta razón la generación o selección de atributos es un paso de vital importancia en el desarrollo del modelo Jerárquico. Algunos autores sugieren la revisión de la literatura o el uso de un panel de expertos para identificar los atributos de un problema en particular [4].

La selección de los atributos es usualmente más arbitraria con resultados dispares; por esta razón la selección de los atributos recae sobre las siguientes categorías: Delphi o un proceso de consenso formal de expertos, escenarios de incendio basados en datos estadísticos, Árboles de análisis de procesos jerárquicos [2]

3. RESULTADOS

3.1. Estructuración del modelo jerárquico

Para la selección de los atributos se realizó una revisión sistemática de estudios que utilizaron el proceso análisis jerárquico en la evaluación del riesgo de incendio; el resultado de esta búsqueda fue complementada con una búsqueda manual.

Los términos empleados para la búsqueda fueron los siguientes: Risk Assessment AND Fire evaluation AND Hierarchy. Para tener unos resultados más precisos se afinaron los parámetros de búsqueda avanzada para que en el título aparecieran los siguientes términos: Fire AND Risk Assessment. Las bases de datos consultadas fueron: Scencedirect, Medlineplus, Web of science y Cochrane.

Después de la revisión de los artículos que se muestran en la **tabla 2** se seleccionaron las categorías definidas en el artículo “Applying Multi-Criteria Analysis Methods for Fire Risk Assessment” [5], por plantear una estructura jerárquica aplicable a todos los artículos y centrarse en el estudio del riesgo de incendio de manera general:

Tabla 2: Artículos empleados para la selección de atributos e identificación de subcategorías.

Titulo	Año	Autores	Lugar de publicación
Application of the Model based on Fuzzy Consistent Matrix and AHP in the Assessment of Fire Risk of Subway Tunnel	2014	Jun-peng Gao Zhi-sheng Xu Ding-li Liu Huan-huan Cao	Changsha, China
Assessment on Logistics Warehouse fire Risk based on Analytic Hierarchy Process	2012	REN Shaoyun	Langfang, Hebei, China
Fire Risk Evaluation of Subway	2009	HUANG Jing	Lang fang, China
Fire risk assessment with scoring system, using the support vector machine approach	2015	Chun Kit Lau Kin Keung Lai Yan Pui Lee Jiangze Du	Hong Kong, China
Research on Standardization Method of Risk Assessment for Fire Public Liability Insurance in Assembly Occupancies and Underwriting Auditing	2011	HAN Hai-yun	Lang fang, China
Applying Multi-Criteria Analysis Methods for Fire Risk Assessment	2015	Julia Pushkina Vladimirs Jansons Konstantins Didenko	Riga, Letonia
Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method	2017	Fang Liu Shengzhong Zhao Miaocheng Weng Yongqiang Liu	Chongqing, China

- Las medidas de tratamiento del riesgo
- Las características propias de la industria
- La gestión para la atención de incendios.

En cada una de las categorías identificadas se agruparon las siguientes subcategorías que fueron identificadas en todos los artículos estudiados:

Tabla 3: Subcategorías en medidas de tratamiento del riesgo

Medidas de tratamiento del riesgo
Fuentes de combustible
Fuentes de ignición
Dimensiones del edificio
Resistencia al fuego de la estructura
Diseño estructural
Personas expuestas
Departamento de bomberos
Fuente de ignición externas

Tabla 4: Subcategorías en características propias de la industria

Características propias de la industria
Extinción automática
Detección, notificación y alarma.
Instalaciones para la evacuación
Compartimentación
Control de humo
Brigada de emergencias
Extinción Manual
Fuente de agua externa

Tabla 5: Subcategorías en gestión para la atención de incendios

Gestión para la atención de incendios
Pruebas y mantenimiento
Procedimientos y entrenamiento
Planes de emergencia

3.2. Nivel de importancia de las categorías.

Para calcular el nivel de importancia de cada una de las categorías se seleccionaron tres artículos que presentan una estructura de agrupación de las subcategorías similar y calcular el nivel de importancia de las categorías y se decide utilizar el promedio entre cada categoría de los artículos como el nivel de importancia de la categoría para este estudio apoyándose en la sugerencia presentada por algunos autores [4].

Tabla 6: Nivel de importancia de categorías del artículo “Fire risk assessment with scoring system, using the support vector machine approach” [7]

Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method		
Categoría		Peso
Factores que causan incendios		0.2209
Métodos de protección pasiva		0.1989
Métodos de protección activa		0.2675
Gestión de atención de incendios		0.1845
Habilidad de lucha contra incendios de la brigada		0.1282
Total		1
Categoría		Peso
Las características propias de la industria		0.2209
Las medidas de tratamiento del riesgo		0.5946
La gestión para la atención de incendios		0.1845
Total		1

Tabla 7: Nivel de importancia de categorías del artículo “Applying Multi-Criteria Analysis Methods for Fire Risk Assessment” [6]

Applying Multi-Criteria Analysis Methods for Fire Risk Assessment		
Categoría		Peso
Existencia de medidas de prevención y protección de incendios		0.369
Características de la edificación		0.462
Gestión para la atención de incendios		0.169
Total		1
Categoría		Peso
Las características propias de la industria		0.462
Las medidas de tratamiento del riesgo		0.369
La gestión para la atención de incendios		0.169
Total		1

Tabla 8: Nivel de importancia de categorías del artículo “Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method” [8]

Fire risk assessment with scoring system, using the support vector machine approach			
Categoría	Puntos	Peso	
Fuentes de Combustible	144	0.072	
Fuentes de ignición	272	0.136	
Identificación de personas en riesgo	422	0.211	
Rutas de evacuación	292	0.146	
Equipos de extinción y detección de incendios	288	0.144	
Procedimiento y entrenamiento	170	0.085	
Pruebas y mantenimiento	272	0.136	
Registro de seguridad	140	0.07	
Total	2000	1	
Categoría	Peso		
Las características propias de la industria	0.419		
Las medidas de tratamiento del riesgo	0.29		
La gestión para la atención de incendios	0.291		
Total	1		

Tabla 9: Nivel de importancia entre las categorías.

Promedio tres estudios	
Categoría	Peso
Las características propias de la industria	0.36730000
Las medidas de tratamiento del riesgo	0.41786667
La gestión para la atención de incendios	0.21483333
Total	1

3.3. Nivel de importancia de las subcategorías.

Para determinar el grado de importancia de cada subcategoría se conformó un panel de 18 expertos pertenecientes al sector del diseño de protecciones contra incendios, del sector asegurador y del sector Bomberos. Cada uno de los expertos aplicó el proceso de análisis jerárquico para realizar las comparaciones pareadas de las subcategorías dentro de cada categoría.

En las figuras 1, 2 y 3 se muestra el resultado del ordenamiento jerárquico de los atributos según los expertos para cada una de las categorías.

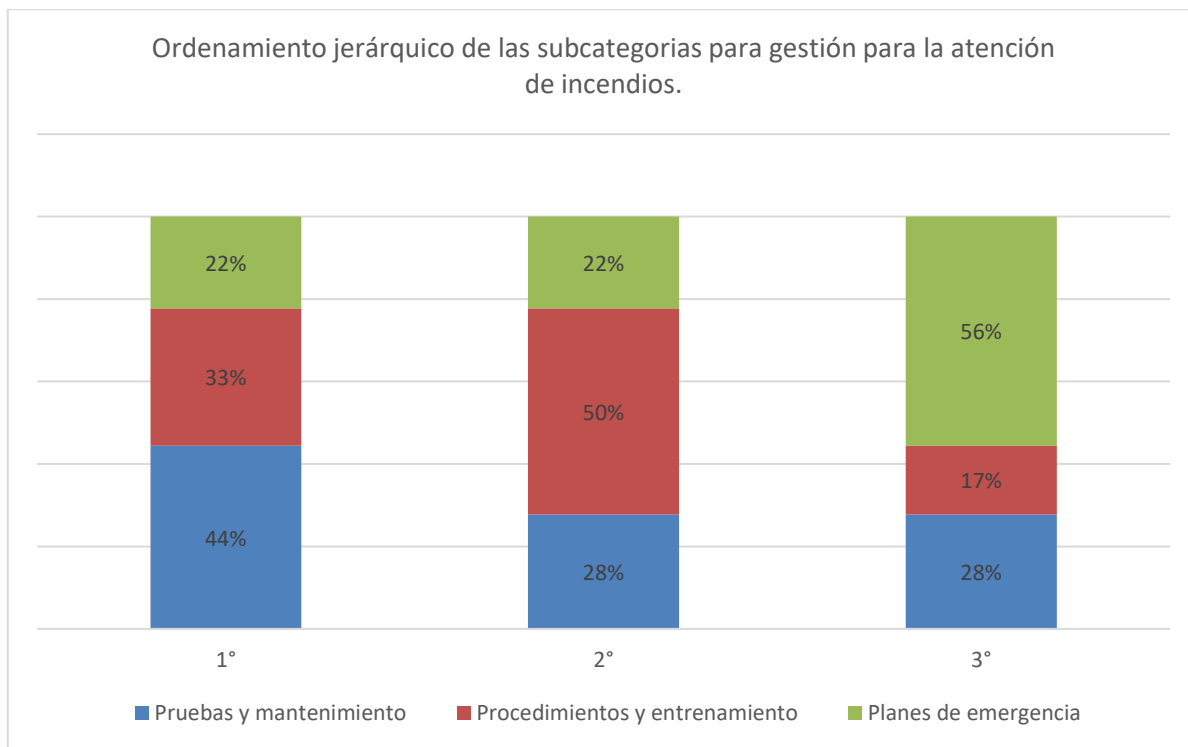


Figura 1: Ordenamiento jerárquico según los expertos para gestión para la atención de incendio.

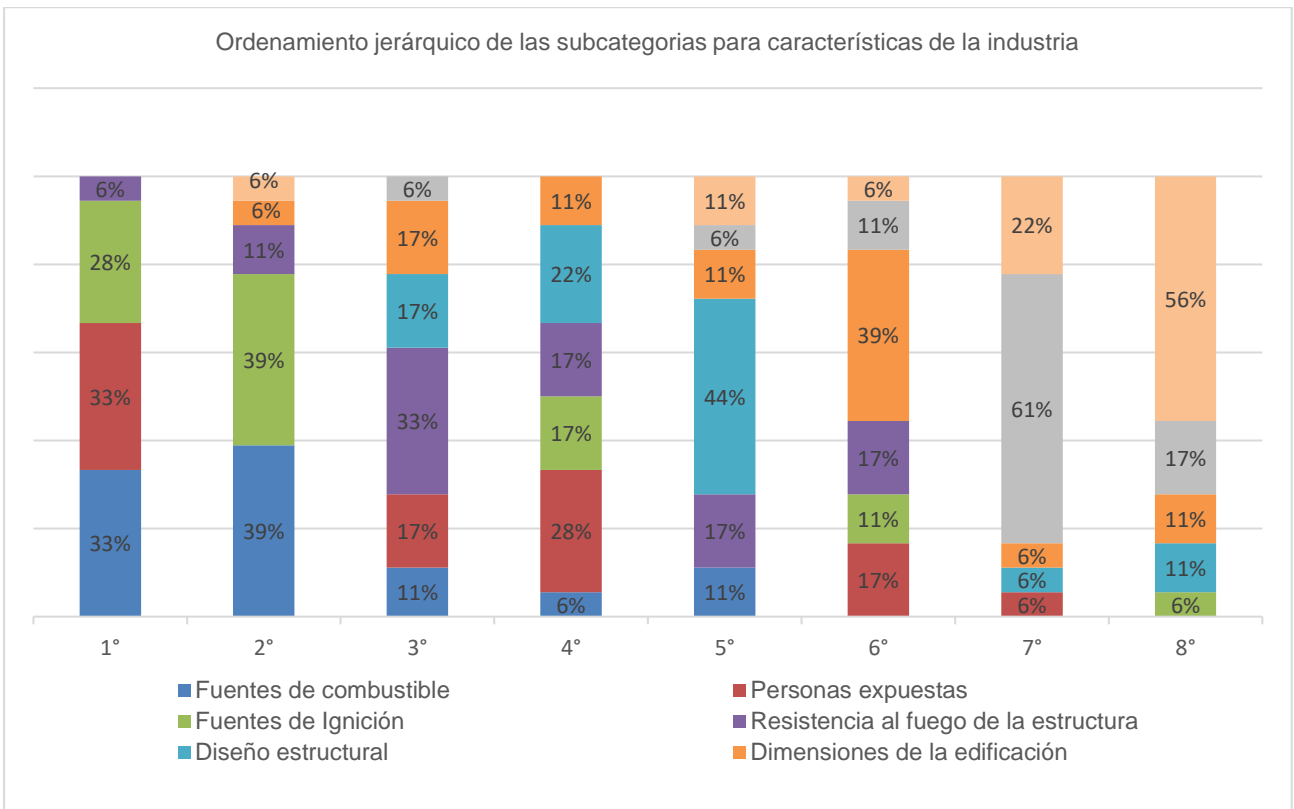


Figura 2: Ordenamiento jerárquico según los expertos para características de la industria.

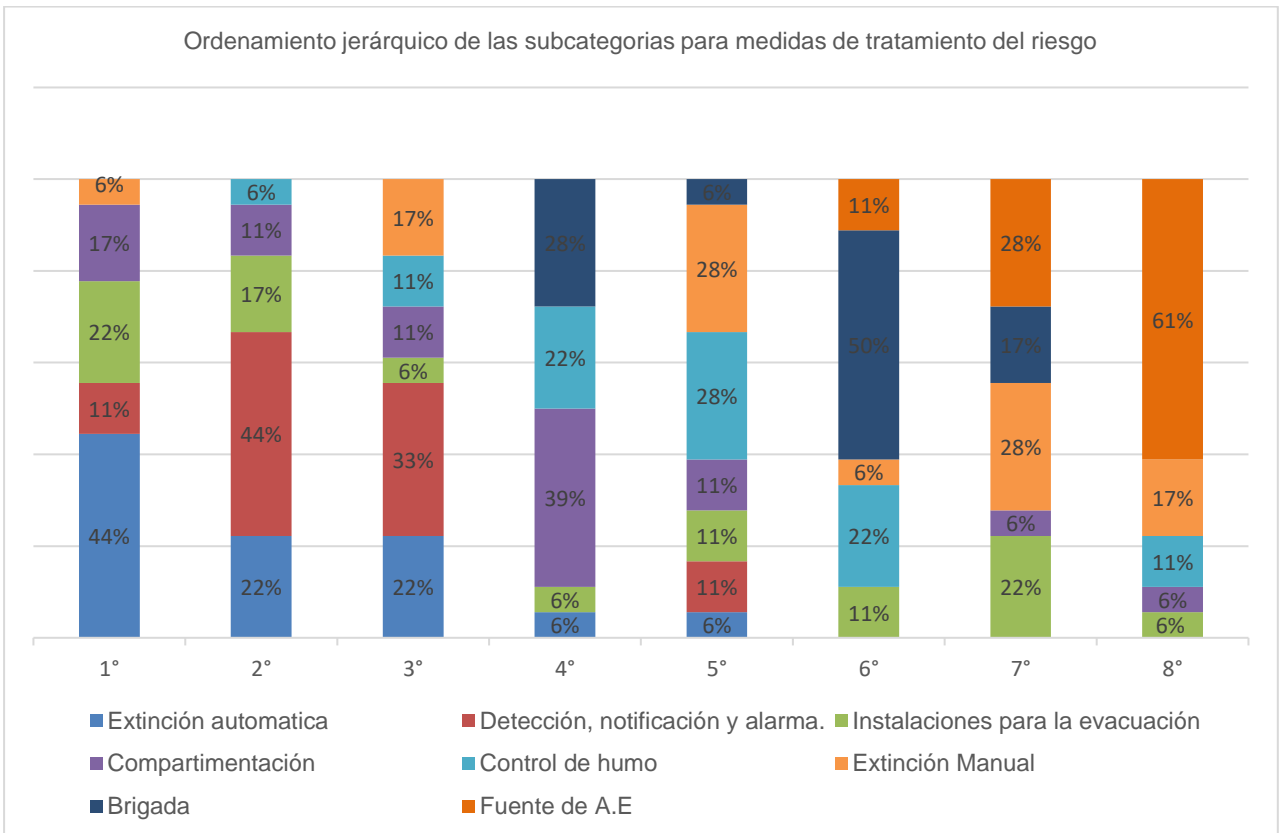


Figura 3: Ordenamiento jerárquico según los expertos para medidas de tratamiento del riesgo.

La matriz de comparaciones pareadas para cada una de las categorías se construyó partiendo del consenso existente entre los expertos y para aquellas posiciones donde no se logró consenso entre los expertos se usó la consistencia. Para este trabajo al igual que lo hizo Larsson [6] se utilizó el promedio como el grado definitivo en la comparación pareada cuando el primer cuartil no era menor que en un grado y el tercer cuartil no era mayor que en un grado al ser comparados con el valor de la mediana.

Tabla 10: Cálculo de prioridades para Características de la industria.

Características	Fuentes de Combustible	Personas Expuestas	Fuentes de Ignición	Resistencia	Diseño	Dimensiones	Fuentes Ext	Bomberos	Prioridad
Fuentes de Combustible	0.35	0.541	0.365	0.257	0.243	0.244	0.17	0.152	0.290144
Personas Expuestas	0.12	0.18	0.365	0.257	0.243	0.244	0.17	0.152	0.2160674
Fuentes de Ignición	0.12	0.06	0.122	0.257	0.243	0.244	0.17	0.152	0.1705806
Resistencia	0.12	0.06	0.041	0.086	0.081	0.147	0.17	0.152	0.1065547
Diseño	0.12	0.06	0.041	0.086	0.081	0.049	0.17	0.152	0.0943454
Dimensiones	0.07	0.036	0.024	0.029	0.081	0.049	0.102	0.152	0.0678539
Fuentes Ext	0.07	0.036	0.024	0.017	0.016	0.016	0.034	0.065	0.0348626
Bomberos	0.05	0.026	0.017	0.012	0.012	0.007	0.011	0.022	0.0195915

Tabla 11: Cálculo de prioridades para medidas de tratamiento del riesgo.

Tratamiento	Extinción Automática	Detección, notificación y alarma	Instalaciones de evacuación	Compartimentación	Control de humo	Brigada de Emergencias	Extinción Manual	Fuentes de agua externa	Prioridad
Extinción Automática	1	3	3	3	5	7	7	7	0.3452
Detección, notificación y alarma	0.3	1	3	3	3	3	3	7	0.2022
Instalaciones de evacuación	0.3	0.3	1	1	1	3	3	5	0.1098
Compartimentación	0.3	0.3	1	1	1	3	3	5	0.1098
Control de humo	0.2	0.3	1	1	1	3	3	5	0.1035
Brigada de Emergencias	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	1	1	5	0.0533
Extinción Manual	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	1	1	5	0.0533
Fuentes de agua externa	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0.022

Tabla 12: Cálculo de prioridades para Gestión para la atención de incendios.

Gestión para la atención de incendios.	Pruebas y mantenimiento	Procedimientos y entrenamiento	Planes de emergencia	Prioridad
Pruebas y mantenimiento	1	1	3	0.4285
Procedimientos y entrenamiento	1	1	3	0.4285
Planes de emergencia	0.33	0.33	1	0.1428

Para validar el nivel de coherencia conseguido en las matrices de comparación para cada una de las categorías se realizó el cálculo de consistencia y se validó que su valor fuera inferior al 10%, un valor adecuado cuando el número de factores comparados es inferior a 10 [7].

Tabla 1: Consistencia CR para Características de la industria.

Características	Fuentes de Combustible	Personas Expuestas	Fuentes de Ignición	Resistencia	Diseño	Dimensiones	Fuentes Ext	Bomberos	Sumatoria de pesos	
Prioridad	0.2	0.22	0.22	0.1	0.09	0.06	0.03	0.02		
F C	0.2	0.22	0.22	0.32	0.29	0.34	0.18	0.14	1.96	8.811
P E	0.2	0.22	0.22	0.32	0.29	0.34	0.18	0.14	1.96	8.811
F I	0.2	0.22	0.22	0.32	0.29	0.34	0.18	0.14	1.96	8.811
Res	0.07	0.07	0.07	0.10	0.09	0.20	0.18	0.14	0.964	8.83
Dis	0.07	0.07	0.07	0.10	0.09	0.06	0.18	0.14	0.825	8.51
Dim	0.04	0.04	0.04	0.03	0.09	0.06	0.10	0.14	0.591	8.50
F Ext	0.04	0.04	0.04	0.02	0.01	0.02	0.03	0.06	0.296	8.135
B	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.168	8.089
									Total	68.50
									LB max	8.563
									C.I	0.080
									RI	1.404
									CR	0.057

Tabla 15: Consistencia CR para gestión para la atención de incendios.

Gestión	Pruebas y mantenimiento	Procedimientos y entrenamiento	Planes de emergencia	Sumatoria de pesos	
Prioridad	0.429	0.429	0.143		
Pruebas y mantenimiento	0.429	0.429	0.429	1.285	3
Procedimientos y entrenamiento	0.429	0.429	0.429	1.285	3
Planes de emergencia	0.143	0.143	0.143	0.428	3
				Total	9
				Lambda max	3
				C.I	0
				RI	0.525
				CR	0

4. CONCLUSIONES

- Los atributos que caracterizan el riesgo de incendio y su nivel de importancia permitirán a los gestores de riesgos enfocar sus esfuerzos en aquellas condiciones que tienen una mayor relevancia sobre el nivel de riesgo.
- En el AHP de las características de la industria, se presentó una división entre los expertos que consideraban que los factores asociados a las fuentes de combustible y de ignición eran los más relevantes y entre los expertos que consideraban que las personas expuestas era el factor más relevante. Esta situación se puede ver explicada en la muy conocida practica de decir que el propósito principal de la gestión del riesgo de incendio es proteger la vida.
- La gestión del riesgo de incendio a través de las medidas de tratamiento del riesgo y la gestión para la atención de las emergencias tiene una importancia preponderante en la gestión del riesgo de incendio con un peso de 63,26%.
- Las medidas de tratamiento del riesgo tienen el mayor peso dentro de la gestión del riesgo de incendio en las industrias, esta situación significa para los gestores de riesgos de las industrias considerar las protecciones automáticas y el diseño seguro si quiere obtener una reducción importante en la exposición al riesgo de incendio.
- Los sistemas automáticos de extinción de incendios y los sistemas automáticos de detección de incendios son los atributos más relevantes dentro de las medidas de tratamiento del riesgo, esta situación refleja la necesidad de gestionar el riesgo de incendio por medio de estas medidas.
- El desarrollo de los planes de emergencia para la atención de incendios en industrias requiere la disponibilidad de las medidas de tratamiento del riesgo como sistemas automáticos de extinción, a los sistemas automáticos de detección notificación y alarma, a los sistemas manuales de extinción de incendios, a la existencia de medios de evacuación para tener una reducción significativa en el nivel de riesgo.

5. REFERENCIAS

- [1] W. Meade. (1991). A First Pass at Computing the Cost of Fire Safety in a Modern society. Chapel Hill, NC: The Herndon Group, Inc, pp. 1-2.
- [2] D. Rasbash, G. Ramachandran, B. Kandola, J. Watts y M. Law. (2009). Evaluation of fire safety. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- [3] T. L. Saaty. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1., pp. 83-98.
- [4] R. L. Keeny y Raiffa, H. (1976). Decisions with multiple objectives. New York: John Wiley.
- [5] J. Pushkina, J. Vladimirs y D. Konstantins. (2015). Applying Multi-Criteria Analysis Methods for Fire Risk Assessment. DE GRUYTER; Safety of Technogenic Environment.
- [6] D. Larsson. (2000). Developing the Structure of a Fire Risk Index Method for Timber-frame Multi-storey Apartment Buildings. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden.
- [7] T. L. Saaty. (2012) Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World., Pittsburgh: RWS Publications.
- [8] J. M. Moreno Jiménez, «EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP). FUNDAMENTOS, METODOLOGÍA Y APLICACIONES.,» Dpto. Métodos Estadísticos. Facultad de Económicas, Zaragoza..
- [9] C. KitLau, K. Keung Lai, Y. Pui Lee y J. Du. (2015). Fire risk assessment with scoring system, using the support vector machine approach. Fire Safety Journal, p. 188–195.
- [10] F. Liu, S. Zhao, M. Weng y Y. Liu. (2017). Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method. Safety Science, p. 26–40.