

# Lógica Difusa para la Evaluación de Riesgos en una Planta de Gas LP

Irasema Carrera Muñoz

Área de Mantenimiento Industrial  
Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez  
Xicotepec, Pue.; México  
irasema.carrera@utxicotepec.edu.mx

**Abstract**— Nowadays, assessing risks is essential in the technological sector. These assessments are commonly carried out by experts in the field and/or through statistical techniques regarding the likelihood of triggering events. In the vast majority of cases, evaluations commence with vague information and uncertainty in the data. Therefore, fuzzy logic theory will be employed to model the relevant information for risk analysis in an LP Gas plant.

The outcomes can be utilized pedagogically in the Industrial Electro-Mechanics field of the Technological University of Xicotepec de Juárez, to quantify and subsequently prioritize safety indicators and the consequences of accidents, aiming to reduce uncertainty in safety analysis.

**Keyword**— *Fuzzy logic, inference rules, decision-making.*

**Resumen**— En el ámbito tecnológico actual, la evaluación de riesgos es esencial y se realiza mediante expertos y técnicas estadísticas. En particular, la lógica difusa se utiliza para modelar información incierta al analizar riesgos en plantas de Gas LP. Estos resultados se emplean didácticamente en la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez para medir y priorizar indicadores de seguridad y consecuencias de accidentes en Electro-Mecánica Industrial. El objetivo es reducir la incertidumbre en el análisis de seguridad y mejorar la prevención de riesgos en la operación de la planta.

**Palabras claves**— *Lógica difusa, reglas de inferencia, toma de decisiones.*

## I. INTRODUCCIÓN

La mejora continua en las plantas industriales y el uso de herramientas tecnológicas están desempeñando un papel fundamental en el fortalecimiento de la calidad y la seguridad de los procesos industriales que involucran sustancias químicas potencialmente peligrosas, como el gas LP. Esta tendencia es esencial para mitigar y reducir los riesgos asociados con la manipulación y el almacenamiento de estas sustancias.

La investigación que se propone se centra en la evaluación del daño a las personas que trabajan en plantas de gas LP en caso de una liberación accidental de este gas. Esta evaluación es crucial para comprender y minimizar los riesgos en el entorno laboral. Aquí se considerarán varios aspectos:

**Evaluación de Riesgos Ambientales:** Se analizará detenidamente el entorno físico y ambiental de la planta, incluyendo la infraestructura, sistemas de contención, sistemas de seguridad y protocolos de respuesta en caso de una liberación de gas. Esto ayudará a identificar posibles puntos de falla y a mejorar la prevención y mitigación de incidentes.

**Consecuencias en el Personal:** Se estudiarán las posibles consecuencias para el personal que trabaja en la planta en caso de un accidente con gas LP. Esto incluye la exposición a sustancias peligrosas, posibles lesiones, efectos a largo plazo en la salud y el bienestar del personal, así como la capacidad de respuesta y evacuación en caso de emergencia.

**Tecnologías de Seguridad:** Se explorarán las tecnologías disponibles para mejorar la seguridad en la manipulación y el almacenamiento de gas LP. Esto puede incluir sistemas de monitoreo avanzados,

sistemas de detección de fugas, sistemas de extinción de incendios automáticos y equipos de protección personal mejorados.

**Capacitación y Formación:** Se considerará la importancia de la capacitación y formación continua del personal en materia de seguridad y respuesta a emergencias. Un personal bien entrenado puede ser la primera línea de defensa en la prevención de accidentes y en la reducción de daños en caso de un incidente.

**Normativas y Regulaciones:** Se revisarán las regulaciones y normativas locales e internacionales que rigen la seguridad en el manejo de gas LP. Esto garantizará que la planta esté en cumplimiento con las leyes aplicables y que se sigan las mejores prácticas de seguridad.

## II. LÓGICA DIFUSA

Una de las características esenciales de la lógica difusa es que permite utilizar el lenguaje ordinario como lenguaje de descripción en una computadora, incorporando así el conocimiento de un experto en una tarea determinada. Introduce la imprecisión y la subjetividad propia de la actividad humana en un procedimiento automatizado. La lógica difusa emula una de las funcionalidades “inteligentes” de los seres humanos: el razonamiento con incertidumbre [1].

La lógica difusa es una herramienta útil para el control de procesos industriales complejos, sistemas de diagnóstico y otros sistemas expertos. Fue introducida por el Dr. Lofti Zadeh de la universidad de Berkeley en 1965 como una herramienta matemática para tratar con incertidumbres.

Básicamente contiene una premisa basada en la lógica clásica, recordando que contiene dos posibilidades verdadero o falso. Mientras que con el enfoque de la lógica difusa una contiene un porcentaje entre el 0 y el 1 . Lo que nos permite que una situación pueda ser parcialmente cierta como parcialmente falsa.

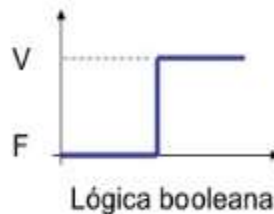


Fig. 1: Esquema de la lógica booleana.



Fig. 2: Esquema de la lógica multi-valuada.

De tal forma que, una persona que mide 1.80 m puede ser considerada mucho más alta o apenas levemente más alta que otro que mide 1.60 m. Esta interpretación nos permite expresar esta diferencia entre diferentes conjuntos de valores que expresan, la relación lingüística entre, un poco más alto y un poco más bajo , etc.

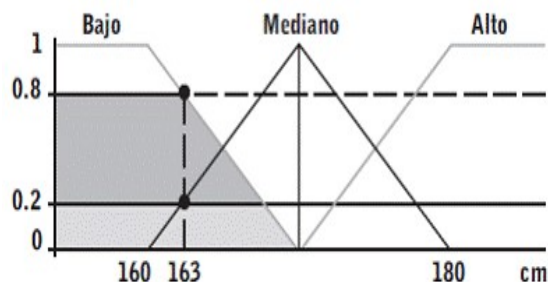


Fig. 3: Esquema de la lógica multi-valuada de la altura.

Por lo que, si los datos disponibles no proporcionan un tratamiento estadístico adecuado, los enfoques difusos pueden resolver esta situación, ya que funcionan bien para abordar los parámetros mal caracterizados y poder definir con facilidad las variables lingüísticas [2].

### III. FUZZIFICACIÓN

Se observa en la Fig. 4, los subprocesos internos para generar un modelo difuso. Partimos con los parámetros de entrada y salida para así poder crear las etiquetas lingüísticas mediante la creación de conjuntos difusos para cada uno los parámetros propuestos.

Este proceso se llama fuzzificación. Continuamos, con el establecimiento de un conjunto de reglas que nos permitirán transformar la entrada en la salida mediante la metodología de Mamdani. El valor que se genera deberá de defuzzificarse con el objetivo de conseguir un valor entendible para evaluar un riesgo potencial en la planta y así poder contrarrestar este potencial peligro.

De lo cual se obtiene una salida proporcional con una cierta categoría designada para cada riesgo. Estos subprocesos se llevarán a cabo mediante el Fuzzy toolbox de Matlab.



Fig. 5: Esquema de evaluación de riesgos para las emisiones de gas LP.

*A. Entradas del Modelo Difuso*

Existen múltiples elementos que se involucran en los cálculos para la evaluación de riesgos en las plantas químicas.

Plantaremos por lo menos dos preguntas para asignarlas a variables y así lograr un resultado adecuado: ¿Cuáles son las consecuencias del accidente generado? ¿Qué tan segura es mi planta de Gas LP?

Está claro que estas preguntas dependen de otros factores, que a su vez dependen de otros más.

Con un gran número de factores, necesitaremos gran cantidad de información con la que no contamos, y al mismo tiempo la generación de esta involucraría gran cantidad de recursos económicos para obtenerla.

Existen, algunas variables, tales como "fuga por picadura", "incendio ocasionado por chispa", que se pueden encontrar utilizando medidas especiales como "probabilidad de accidentes", pero existen muchos otros que no, como por ejemplo el "factor humano".

Este modelo difuso trabaja con un número reducido de variables que se agrupan en dos variables principales para poder cualificar en lugar de cuantificar. Lo que nos permitirá evaluar los riesgos en las plantas de Gas LP y así poder tomar decisiones que me contrarresten estos.

En las tablas I y II, se crearon conjuntos difusos para todas las entradas.

**Tabla I: Criterios de seguridad en plantas de gas lp**

	<b>Criterio Utilizado</b>
Alta	Cuando el lugar es en clima con temperaturas altas, cuando es un medio altamente corrosivo para los materiales de almacenaje existen cerca conexiones eléctricas o aparatos que produzcan algún tipo de chispa.
Medio	Cuando el clima tiene temperaturas medias y el material de seguridad y de almacenaje está en malas condiciones.
Bajo	Cuando por descuido se tiene una fuga mínima por abrir mal, alguna válvula de descarga.

**Tabla II: Criterios de las consecuencias de los accidentes dentro de mi planta de gas lp**

	<b>Criterio Utilizado</b>
Intoxicación Por inhalación	Una exposición prolongada a los efectos por respirar Gas LP son dolor de cabeza, náuseas, vómitos, tos, dificultad al respirar, mareos, somnolencia, desorientación y, en casos extremos, convulsiones, inconsciencia, incluso la muerte.
Fuga por picadura	Aunque el gas es incoloro e inodoro, se le adiciona etil mercaptano para que tenga ese olor característico y puedan detectarse las posibles fugas en los recipientes o en las tuberías para suministro
Exposición directa en los ojos	Si el gas entra en contacto con los ojos provoca congelamiento, hinchazón y daño ocular. Si hay contacto con la piel, puede ocasionar quemaduras frías.
Incendio ocasionado por chispa	Cuando hay contenedores de gas, se debe cuidar de que no existan cerca tomas de corriente, que no se utilice celular, que no haya antenas de televisión por cable, porque la más mínima chispa puede producir un incendio porque el gas es expandible en el ambiente, aparte de que, si el gas no es consumido en su totalidad en el incendio, se puede generar monóxido de carbono que es tóxico para nuestro organismo.

B. Salidas del Modelo Difuso

Definiremos la categoría de riego con la siguiente ecuación:

$$R=CS$$

Observamos que C serán las consecuencias del accidente y S la seguridad de la planta química. Como se muestra en la Tabla III, se crearon conjuntos difusos de salida.

Tabla III: Criterios nivel de riesgos en Plantas De Gas Lp

	Criterio Utilizado
Muy Alto	Exposición prolongada en la piel, ojos o inhalación, causando daños críticos al organismo o muerte, exposición a artículos que pudieran ocasionar cualquier tipo de chispa y generar una explosión.
Alto	El gas no sea consumido por completo (en caso de incendio) y se convierta en monóxido de carbono, el cual es toxico para nuestro organismo, pequeñas fugas de gas que provoquen consecuencias delicadas a la salud como irritación en la piel, desmayo, vomito abundante.
Medio	Cuando exista fuga, se inhale o irrite solo un poco la piel, cuando el tanque de almacenaje presente deterioro, pero aún esté en condiciones medias de uso.
Bajo	Equipo de seguridad en condiciones media y que los tanques o tuberías presenten alguna fuga mínima que sea detectada a tiempo y pueda repararse o cambiarse el equipo al momento
Muy Bajo	Válvulas o conexiones deteriorados que no presentan fuga y pueden tener una reparación

C. Fuzzificación

En el proceso de fuzzificación, las funciones de membresía definidas para la entrada y salida son aplicadas a valores actuales para determinar el valor de verdad de cada regla. En esta investigación se utilizaron funciones de membresía tipo Gaussiana.

La función de pertenencia del subconjunto difuso bajo y alto son se definen como:

$$= \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2[(x - a)(b - a)]^2, & x \in (a, m) \\ 1 - 2[(x - b)(b - a)]^2 & x \in (m, b) \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (1)$$

Se muestran un extracto en la figura 6. De los grados de membresía se seguridad de la planta LP.

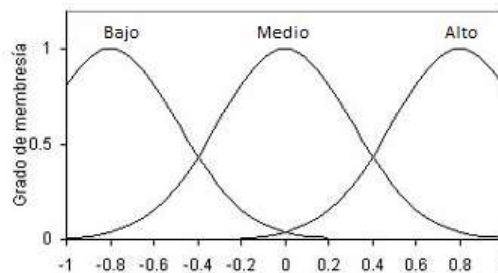


Fig. 6: Graficas de membresía se seguridad en la planta de gas LP.

*D. Razonamiento Aproximado Multicondicional*

La lógica difusa es un sistema para poder tomar decisiones basado en reglas lingüísticas [3].

La base de conocimiento contiene información general que pertenece al dominio de conocimiento para el problema. Un sistema experto difuso, tiene la forma: “SI A, ENTONCES B”, donde A y B son conjuntos difusos.

La forma general del razonamiento aproximado multicondicional es:

$$\begin{aligned}
 & \text{Regla 1: Si } X \text{ es } A_1 \rightarrow Y \text{ es } B_1 \\
 & \text{Regla 2: Si } X \text{ es } B_1 \rightarrow Y \text{ es } B_2 \\
 & \dots\dots\dots \\
 & \text{Regla } n: \text{ Si } X \text{ es } A_n \rightarrow Y \text{ es } B_n \\
 & \text{Hecho: Si } X \text{ es } A' \\
 & \text{Conclusion: Si } Y \text{ es } B' \qquad (2)
 \end{aligned}$$

Dada n reglas SI - ENTONCES donde  $A', A_j \in F(x) \forall j \in N$  y  $B_j \in F(y) \forall j \in N$  conjuntos de valores de las variables X y Y, esta forma de razonamiento es típica en los controladores construidos con lógica difusa. [4].

Por ejemplo: "si la seguridad de la planta de Gas LP es alta y las consecuencias del accidente dentro de mi planta de Gas LP es" Intoxicación por inhalación " ENTONCES el nivel de riesgo es muy bajo".

*E. Defuzzificación*

El sistema arroja los datos del modelo de forma natural, por lo que necesitamos operadores libres junto a un recurso extra lógico llamado defuzzificación [5].

Una vez evaluadas las reglas, los valores que obtenidos son difusos por lo que, es necesario convertir estas salidas difusas en un valor crisp (valor real) mediante el método del centro de gravedad.

$$\bar{y} = \frac{\int_s y \mu_b(y) dy}{\mu_b(y)} \qquad (3)$$

Donde S es el soporte de B.

De acuerdo con el método del centro de gravedad, el valor nítido de la variable de salida se calcula encontrando el valor de la variable del centro de gravedad de la función de pertenencia para el valor difuso.

Las funciones de pertenencia para los subconjuntos difusos

de las salidas son los siguientes (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo) que serán representados del 0 al 100% para mostrar el riesgo de cada combinación.

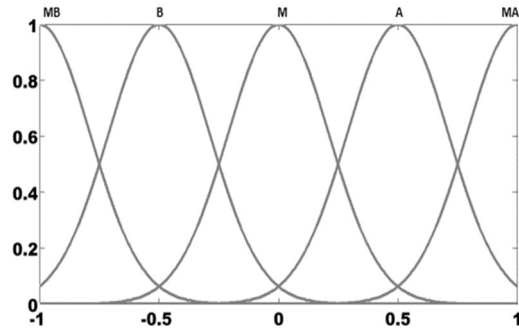


Fig. 7. Subconjunto Difuso de las variables de salida.

Por ejemplo, como se muestra en la figura 8, si el parámetro consecuencia del accidente es 50 unidades y el parámetro seguridad de la planta de Gas LP es 50, entonces el riesgo será 60.

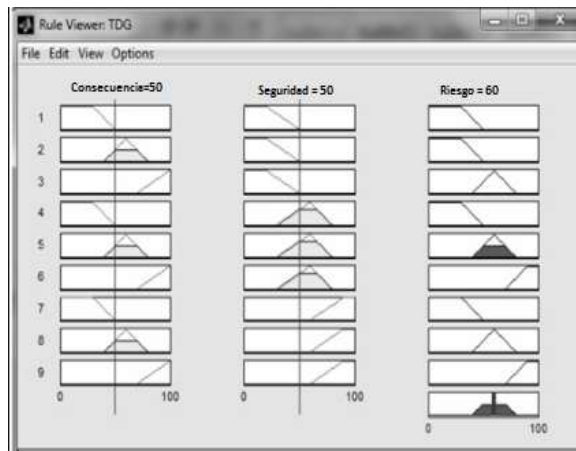


Fig. 8. Aplicación del método del centroide

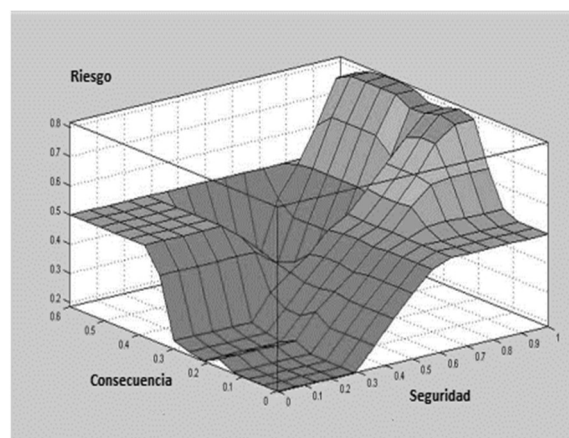


Fig. 9. Representación en 3D de

#### IV. CONCLUSIONES

Este modelo permite hacer un algoritmo para analizar los posibles accidentes causados en una planta de gas LP, lo que conlleva a evaluar los riesgos que implican ciertos accidentes.

Se mencionan las principales variables dentro de nuestro modelo.

1. Consecuencias de accidentes
2. Seguridad en plantas de gas LP

Se han establecido funciones de pertenencia y reglas para vincular las variables de entrada y salida para que mediante la defuzzificación se obtengan valores nítidos. Al usar este modelo permitirá arrojar una evaluación realista del riesgo de liberaciones de gas LP accidentales. Y, se hace énfasis en la sencilla simulación y la eficacia de lograr resultados muy certeros

#### REFERENCIAS

- [1] Santos, M.: Lógica fuzzy, aproximación al razonamiento humano. Cooperación Internacional, 7, 93-112 (2001).
- [2] L. Zadeh, "Fuzzy logic and approximate reasoning" Synthese, vol 30, 1975, pp. 407-428.
- [3] L. A. Zadeh, "Decision making in a fuzzy environment," Management Science, vol. 17, no. 4, pp. B141-B164, 1970
- [4] Kaplan, R.S and Norton, D.P., The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action, Harvard Business School Press, Cambridge, MA., 2006.
- [5] I. Carrera, A. Maldonado, G. Mendoza, "Implementación del Cuadro Integral de Mando Basado en Lógica Difusa en una Universidad Tecnológica Mexicana" Congreso Internacional de Computación México-Colombia, pp. 121-125