



Aplicación de la lógica difusa al análisis de riesgo por rayo. Parte I

Yelennis Godoy
Olga S. Suárez

Recibido: Octubre del 2006
Aprobado: Diciembre del 2006

Resumen / Abstract

En este trabajo se aplica la teoría de la lógica difusa al análisis de riesgo sobre la base de los criterios recogidos en la IEC 62305-2, con el objetivo de desarrollar una herramienta sencilla, de fácil utilización y entendimiento, que le brinde al diseñador la posibilidad de una mayor interpretación a la subjetividad envuelta en el análisis, utilizando el lenguaje para evaluar las características de la instalación en estudio y el riesgo de impacto de rayo.

Palabras clave: Análisis de riesgo, lógica difusa, rayo

In this work is applied the fuzzy logic to the analysis of risk on the base of the approaches picked up in the IEC 62305-2, with the objective of developing a simple tool, of easy use and understanding, as well as him of to the designer the possibility of a bigger interpretation to the subjectivity wrapped in the analysis using the language to evaluate the characteristics of the installation in study and the risk of lightning impact.

Key words: Analysis of risk, fuzzy logic, lightning

INTRODUCCIÓN

Las edificaciones están expuestas al daño producido por el impacto directo o indirecto de las descargas atmosféricas. Distintas protecciones se diseñan e instalan para evitar o reducir las pérdidas de vidas humanas, de los servicios al público y de patrimonio cultural. El análisis de riesgo de impacto de rayo constituye la herramienta para que los diseñadores evalúen la necesidad de protección y dispongan las medidas más adecuadas en dependencia de la situación en la que se encuentre el objeto a proteger.

Existen normas internacionales de análisis de riesgo y varios países han desarrollado sus normas nacionales. En Cuba estaba aprobada la NC 96-02-09, la cual plantea un procedimiento que no abarca todo el estudio de riesgo; recientemente el Comité Electrotécnico Cubano (CEC) aprobó la

IEC 62305-2 que propone un análisis profundo pero a su vez muy extenso y de difícil comprensión.

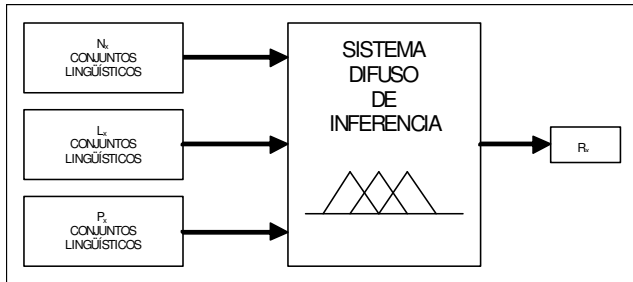
Se introducen los conceptos y utilidades de la lógica difusa en el análisis de riesgo de impacto de rayo.

SISTEMA DIFUSO

Para el análisis de riesgo utilizando la lógica difusa, se establece un sistema difuso principal. Este tiene tres variables de entrada y una variable de salida, como se muestra en la figura 1.

En el esquema del sistema difuso se observa que, la evaluación lingüística del componente de riesgo (R_x) depende de las evaluaciones lingüísticas del número promedio anual de eventos peligrosos N_x , de la pérdida resultante (L_x) y de la probabilidad de daño (P_x), así como la relación entre ellas.

Para evaluar cada uno de los componentes de los riesgos R_1 , R_2 y R_3 , se ajusta el sistema difuso principal.



Esquema del sistema difuso de análisis de riesgo.

1

PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO APLICANDO LÓGICA DIFUSA

Se aplica el siguiente procedimiento:

1. Identificación del objeto que se va a proteger y sus características.
2. Identificación de todos los tipos de pérdida en el objeto y el riesgo relacionado R (R_1 , R_2 y R_3).
3. Identificación de los componentes de riesgo (R_x) para cada tipo de pérdida identificada.
4. Evaluación lingüística de R_x para cada tipo de pérdida identificada:
 - a) Cálculo de N_x .
 - b) Selección de P_x .
 - c) Evaluación lingüística de L_x .
 - d) Obtención de las funciones de membresía de N_x , L_x y P_x .
 - e) Obtención de la salida R_x .
5. Evaluación de la necesidad de protección:
 - a) Si ningún R_x de cada R se evalúa lingüísticamente como **no tolerable**, entonces no hay necesidad de adoptar o mejorar las medidas de protección contra rayo.
 - b) Si algún R_x de un R se evalúa lingüísticamente como **no tolerable**, entonces hay necesidad de adoptar medidas de protección contra rayo o mejorarlas.
6. Identificación del tipo de protección a adoptar, según el R_x evaluado de **no tolerable**.
7. Reevaluación de la necesidad de protección variando P_x en el R_x evaluado de **no tolerable**.

Identificación del objeto que se va a proteger y sus características

Según el objeto a proteger se relacionan los datos necesarios para el análisis de riesgo. La tabla 1 sirve de guía para el diseñador.

TABLA 1

Datos y características del objeto a proteger

Características de la edificación		
Parámetro	Símbolo	Valor
Dimensiones (m)	L, W, H	
Factor de ubicación	C_d	
Densidad de descargas a tierra (1/km ² /año)	N_g	
Características de la línea eléctrica que entra a la edificación		
Parámetro	Símbolo	Valor
Longitud (m)	L_c	
Altura de la línea (m)	H_c	
Altura (m) de la edificación conectada al extremo b del servicio	H_b	
Transformador	C_t	
Factor de ubicación de la línea	C_d	
Factor ambiental	C_e	

Identificación de todos los tipos de pérdidas en el objeto y el riesgo relacionado R (R_1 , R_2 y R_3)

Dependiendo de las características del objeto a proteger y su contenido se identifican las pérdidas que pueden ocurrir y los riesgos que se relacionan a las mismas.

Identificación de los componentes de riesgo (R_x) para cada tipo de pérdida identificada

Teniendo los riesgos de las pérdidas que pueden ocurrir y conociendo las características del objeto a proteger se identifican los componentes de dichos riesgos apoyándose en las expresiones siguientes:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z \quad \dots(1)$$

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad \dots(2)$$

$$R_3 = R_B + R_V \quad \dots(3)$$

Evaluación lingüística de R_x para cada tipo de pérdida identificada

- a) Cálculo de N_x .

Se calcula N_x para cada componente de riesgo identificado a partir de las características del objeto a proteger y utilizando las expresiones dadas en la tabla 2.

TABLA 2
Fuente de daño y expresiones de N_x

Fuente de daño	Expresiones de N_x
Descargas en la edificación	$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6}$
Descargas cerca de la edificación	$N_M = N_g \cdot (A_m - A_d \cdot C_d) \cdot 10^{-6}$
Descargas en una edificación a la que está conectado un servicio	$N_{Da} = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot C_t \cdot 10^{-6}$
Descargas en un servicio que entra a la edificación	$N_L = N_g \cdot A_L \cdot C_d \cdot C_t \cdot 10^{-6}$
Descargas cerca de un servicio que entra a la edificación	$N_I = N_g \cdot A_I \cdot C_e \cdot C_t \cdot 10^{-6}$

b) Selección de P_x .

Según las protecciones contra rayo instaladas en el objeto a proteger se selecciona la probabilidad de daño apoyándose en las tablas dadas en la referencia 1.

EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO A VIDAS HUMANAS

La probabilidad de que una descarga atmosférica en la edificación cause daño a las vidas humanas (P_A) depende de las medidas de protección contra rayos típicas adoptadas para evitar dicho daño.

Los valores de P_A se proponen en tres conjuntos difusos.

El conjunto **baja** corresponde a edificios con una eficiente equipotencialización del suelo o aislamiento eléctrico de los bajantes expuestos.

El conjunto **media** corresponde a la colocación de notificaciones de aviso.

El conjunto **alta** corresponde a cuando no hay medidas de protección.

EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO FÍSICO

La probabilidad de que una descarga atmosférica en la edificación cause daños físicos (P_B) depende del nivel de protección contra rayos (LPL) alcanzado en la edificación.

Los valores de P_B se proponen en siete conjuntos difusos.

El conjunto **muy baja** corresponde a la edificación con un techo de metal o un sistema de salida de aire con protección completa en todas las instalaciones del techo contra impactos directos de rayos, y un marco continuo de metal o de hormigón reforzado que actúe como bajante natural.

El conjunto **baja** corresponde a la edificación con un sistema de salida de aire que cumpla con un sistema de protección de rayo (LPS) clase I, y un conjunto continuo de elementos metálicos o de hormigón reforzado que actúe como bajante natural.

El conjunto **media 1** corresponde a la edificación protegida por un LPS clase I.

El conjunto **media 2** corresponde a la edificación protegida por un LPS clase II.

El conjunto **media 3** corresponde a la edificación protegida por un LPS clase III.

El conjunto **alta** corresponde a la edificación protegida por un LPS clase IV.

El conjunto **muy alta** corresponde a la edificación cuando no está protegida por un LPS.

EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLO DE LOS SISTEMAS INTERNOS POR IMPACTO DIRECTO

La probabilidad de que una descarga atmosférica en la edificación cause fallos en los sistemas internos (P_C) depende de la protección coordinada a través de un conjunto de dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias (SPD), estos dispositivos a su vez dependen del LPL para el cual han sido diseñados.

Los valores de P_C se proponen en cinco conjuntos difusos:

El conjunto **muy baja** corresponde a la protección coordinada de dispositivos con mejores características de protección en comparación con los requisitos definidos para LPL I.

El conjunto **baja** corresponde a la protección coordinada de dispositivos para un LPL I.

El conjunto **media** corresponde a la protección coordinada de dispositivos para un LPL II.

El conjunto **alta** corresponde a la protección coordinada de dispositivos para un LPL III o IV.

El conjunto **muy alta** corresponde cuando no hay protección coordinada con SPD.

EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLO DE LOS SISTEMAS INTERNOS POR IMPACTO INDIRECTO

La probabilidad de que una descarga atmosférica cerca de la edificación cause fallos en los sistemas internos (P_M) depende de las medidas de protección contra rayo (LPM) adoptadas, según el factor K_{MS} que tiene en

cuenta el desempeño de las mismas. En la referencia 1 se muestra la metodología para hallar K_{MS} . Si hay protección coordinada con SPD el valor de P_M es el menor entre P_{SPD} y P_{MS} .

Los valores de la probabilidad P_M se proponen en nueve conjuntos. Los valores de máxima pertenencia en cada conjunto corresponden a los valores de probabilidad en función de K_{MS} dados en la referencia 1.

EVALUACIÓN DE LAS PROBABILIDADES P_U , P_V , P_W Y P_Z

La probabilidad de que una descarga atmosférica en un servicio conectado a la edificación cause daño a las vidas humanas (P_U), depende de las características del apantallado del servicio, de la tensión soportada de impulso de los sistemas internos conectados al servicio, de las medidas de protección típicas (restricciones físicas, notificaciones de aviso, etc.), y del SPD que se encuentra en la entrada del servicio.

La probabilidad de que una descarga atmosférica en un servicio conectado a la edificación cause daños físicos (P_V), y la probabilidad de que una descarga atmosférica en un servicio conectado a la edificación cause fallos en los sistemas internos (P_W) dependen de las características del apantallado del servicio, de la tensión soportada de impulso de los sistemas internos conectados al servicio y de los SPD instalados.

Si no hay SPD para la conexión equipotencial los valores de P_U y P_V son igual al valor de P_{LD} , siendo P_{LD} la probabilidad de fallo de los sistemas internos debido a una descarga en el servicio conectado. Si hay SPD para conexión equipotencial, los valores de P_U , P_V y P_W son los menores entre P_{SPD} y P_{LD} . De igual modo sucede con el valor de P_W si hay o no protección coordinada con SPD.

Para los valores de la probabilidad P_{LD} se proponen once conjuntos difusos. Los valores de máxima pertenencia en cada conjunto corresponden a los valores de probabilidad.¹ En el caso de la probabilidad P_V de los riesgos R_1 , R_2 y R_3 y la probabilidad P_W del riesgo R_1 , se proponen tres conjuntos para evaluar los componentes de riesgo en caso de que no haya SPD, los valores de probabilidad que tienen la máxima pertenencia en estos conjuntos son menores que los valores de probabilidad que tienen máxima pertenencia de los once conjuntos anteriores.

Los valores de máxima pertenencia en cada conjunto corresponden a los valores de probabilidad P_{LD} según la resistencia (R_s) de pantalla del cable y la tensión soportada de impulso (U_w) del equipo a proteger.¹

La probabilidad de que una descarga atmosférica cerca de un servicio conectado a la edificación ocasione fallos en los sistemas internos (P_Z) depende de las características del apantallado del servicio, de la tensión soportada de impulso del sistema conectado al servicio y de las medidas de protección adoptadas.

Si no hay protección coordinada con SPD, el valor de P_Z es igual al valor de P_{LI} , siendo P_{LI} la probabilidad de fallo de los sistemas internos debido a la descarga en el servicio conectado. Si hay protección coordinada con SPD, el valor de P_Z es el menor entre P_{SPD} y P_{LI} .

Los valores de la probabilidad P_{LI} se proponen en catorce conjuntos difusos. Para el riesgo R_1 , se agrega un conjunto para evaluar el componente R_Z en caso de que no haya SPD, el valor de probabilidad de máxima pertenencia de este conjunto es menor que los valores de probabilidad de máxima pertenencia de los catorce conjuntos anteriores.

Los valores de máxima pertenencia en cada conjunto corresponden a los valores de probabilidad P_{LI} según la resistencia R_s de pantalla del cable y la tensión soportada de impulso U_w del equipo a proteger.¹

c) Evaluación lingüística de L_x .

PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS POR TENSIONES DE PASO Y CONTACTO

Los valores de las pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso y de contacto a su vez, se proponen en tres conjuntos difusos dependiendo de si las personas se encuentran dentro o fuera de la edificación a proteger y de los valores de resistencia de contacto según el tipo de superficie del suelo o del piso del lugar. Los conjuntos difusos correspondientes se muestran en la tabla 3.

En el conjunto **baja** se proponen los valores correspondientes a la relación de las pérdidas de vidas humanas por lesiones debidas a tensiones de paso y contacto que se hallan dentro de la edificación con una resistencia de contacto mayor a 10 kΩ y las que se encuentran fuera de la edificación con una resistencia de contacto mayor a 1 kΩ.

En el conjunto **media** se proponen los valores correspondientes a la relación de la pérdida de vidas humanas debidas a lesiones por tensiones de paso y contacto que se encuentran dentro de la edificación con resistencia de contacto menor e igual a 10 kΩ.

En el conjunto **alta** se proponen los valores correspondientes a la relación de las pérdidas de vidas humanas que se encuentran dentro de la edificación debida a lesiones por tensiones de contacto y de paso para una resistencia de contacto menor e igual a 1 kΩ.

TABLA 3
Evaluación lingüística de las pérdidas L_A y L_U de R_1

Valores de resistencia de contacto según superficie del suelo o del piso ($k\Omega$)		Conjuntos difusos de pérdidas debidas a lesiones por tensiones de contacto y de paso	
		Personas dentro de edificación	Personas fuera de edificación
$r < 1$	Agrícola, hormigón	Alta	Baja
$1 < r \leq 10$	Mármol, cerámica	Media	Baja
$r > 10$	Gravilla, alfombra, tapete, asfalto, linóleo, madera	Baja	Baja

PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS DEBIDAS AL DAÑO FÍSICO

Los valores de las pérdidas de vidas humanas debidas al daño físico se proponen en treinta conjuntos difusos dependiendo de las medidas adoptadas para reducir las consecuencias de un incendio, el riesgo de incendio de la edificación y la pérdida en presencia de un peligro especial (tabla 4).

TABLA 4
Evaluación lingüística de las pérdidas L_B y L_V de R_2

r	Lf	0,1					
	h rf	1	2	5	10	20	50
Protegido 0,5	B	C9	C11	C14	C16	C18	C18
	N	C16	C18	C20	C20	C22	C23
	A	C20	C22	C24	C25	C26	C27
	EXP	C25	C26	C28	C28	C29	C30

PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS DEBIDAS AL FALLO DE LOS SISTEMAS INTERNOS

Los valores de las pérdidas de vidas humanas debidas al fallo de los sistemas internos se proponen en dos conjuntos difusos según el tipo de edificación (tabla 5).

El conjunto **baja** corresponde a las edificaciones hospitalarias.

El conjunto **alta** corresponde a las edificaciones con riesgo de explosión.

TABLA 5
Evaluación lingüística de las pérdidas L_C , L_M , L_W y L_Z de R_1

Tipo de edificación	Conjuntos difusos de las pérdidas de vidas humanas debidas al fallo de los sistemas internos
Riesgo de explosión	Alta
Hospitalaria	Baja

PÉRDIDAS DEL SERVICIO AL PÚBLICO DEBIDAS AL DAÑO FÍSICO

Para los valores de las pérdidas del servicio al público debidas al daño físico se proponen nueve conjuntos difusos dependiendo del tipo de servicio, el riesgo de incendio de la edificación a proteger y las medidas de protección adoptadas para reducir las consecuencias del mismo, como se muestra en la tabla 6.

El conjunto **muy baja** corresponde a la relación entre los servicios de televisión (TV), telecomunicación (TLC) y electricidad, de gas y agua, riesgo de incendio bajo, normal o alto y que tengan o no adoptadas medidas de protección para reducir este.

El conjunto **baja** corresponde a la relación entre los servicios de TV, TLC y electricidad, de gas y agua, riesgo de incendio normal o alto y que tengan adoptadas medidas de protección de operación manual para reducir este.

El conjunto **media 1** corresponde a la relación entre los servicios de TV, TLC y electricidad, de gas y agua, riesgo de incendio normal o alto y no tengan medidas de protección para reducir este.

El conjunto **media 2** corresponde a la relación entre los servicios de TV, TLC y electricidad, de gas y agua, riesgo de incendio alto o explosión y que tengan adoptadas medidas de protección de operación automáticas para reducir estos.

El conjunto **media 3** corresponde a la relación entre los servicios de TV, TLC y electricidad, de gas y agua, riesgo de incendio alto o explosión y que tengan adoptadas medidas de protección de operación manual para reducir estos.

El conjunto **media 4** corresponde a la relación entre los servicios de TV, TLC y electricidad, de gas y agua, riesgo de incendio alto o explosión y no tengan medidas de protección para reducir estos.

El conjunto **alta 1** corresponde a la relación entre el servicio de gas y agua, existencia del riesgo de explosión y que tengan adoptadas medidas de protección de operación automática para reducir este.

El conjunto **alta 2** corresponde a la relación entre el servicio de gas y agua, existencia del riesgo de explosión y que tengan adoptadas medidas de protección manual para reducir este.

El conjunto **muy alta** corresponde a la relación entre el servicio de gas y agua, existencia del riesgo de explosión y que no tengan adoptadas medidas de protección para reducir este.

TABLA 6
Evaluación lingüística de las pérdidas L_B y L_V de R_2 , debidas al daño físico

Medidas de protección para reducir las consecuencias de un incendio	Riesgo de incendio	Pérdida debida a daños físicos	
		Servicio de gas, agua	Servicio TV, TLC y electricidad
Una de las siguientes medidas: extintores, instalaciones de extinción fijas de operación manual, instalaciones de alarma manuales, hidrantes, compartimientos a prueba de incendio, vías de escape protegidas	Explosión	Alta 2	Media 3
	Alto	Media 3	Baja
	Normal	Baja	Baja
	Bajo	Baja	Baja

PÉRDIDAS DEL SERVICIO PÚBLICO DEBIDAS AL FALLO DE LOS SISTEMAS INTERNOS

Los valores de las pérdidas del servicio al público debidas al fallo de los sistemas internos se proponen en dos conjuntos difusos según el tipo de servicio, como se muestra en la tabla 7.

El conjunto **baja** corresponde a los servicios de TV, TLC y de electricidad.

El conjunto **alta** corresponde a los servicios de gas y agua.

PÉRDIDAS DEL PATRIMONIO CULTURAL DEBIDAS AL DAÑO FÍSICO

Los valores de las pérdidas de patrimonio cultural debidas al daño físico se proponen en nueve conjuntos difusos dependiendo del riesgo de incendio de la edificación a proteger y las medidas de protección adoptadas para reducir las consecuencias del mismo, tal y como se muestra en la tabla 8.

Partiendo de las características del objeto a proteger y apoyándose en las tablas de la 2 a la 7, se evalúan de forma lingüística las pérdidas identificadas.

d) Obtención de las funciones de membresía de N_x , L_x y P_x .

En el *Toolbox Fuzzy de Matlab*, se abren los sistemas difusos de cada componente de riesgo identificado y en el visor de reglas se introducen los valores de las entradas N_x , L_x y P_x anteriormente halladas. Estos valores se introducen en la parte inferior izquierda del visor de reglas, en el *ítem input*, como se observa en las figuras 2 y 3.

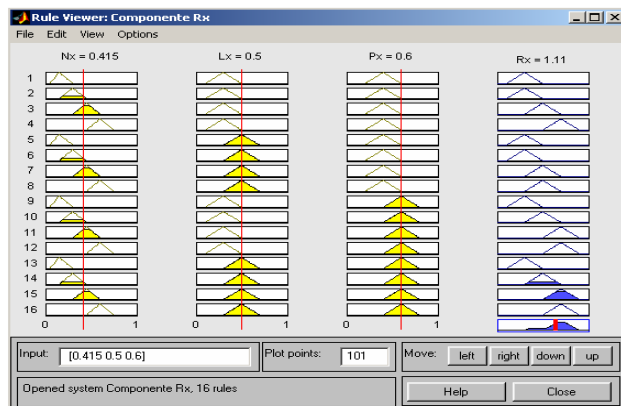
e) Obtención de la evaluación de la salida R_x . Al introducir los valores de las entradas N_x , L_x y P_x en el visor de reglas de cada componente de riesgo identificado se obtiene la evaluación de R_x . En las figuras 2 y 3 se observa el visor de reglas del sistema difuso R_x , donde las reglas activadas están oscurecidas, el gráfico que describe la inferencia está en la parte inferior derecha y el valor numérico resultante, que expresa si R_x es Tolerable o No Tolerable, está en la parte superior derecha.

TABLA 7
Evaluación lingüística de las pérdidas L_B y L_V de R_2 , debidas al fallo de sistemas internos

Tipo de servicio	Conjuntos difusos de las pérdidas debidas al fallo de los sistemas internos
Servicios de gas y agua	A
Servicios TV, TLC y electricidad	B

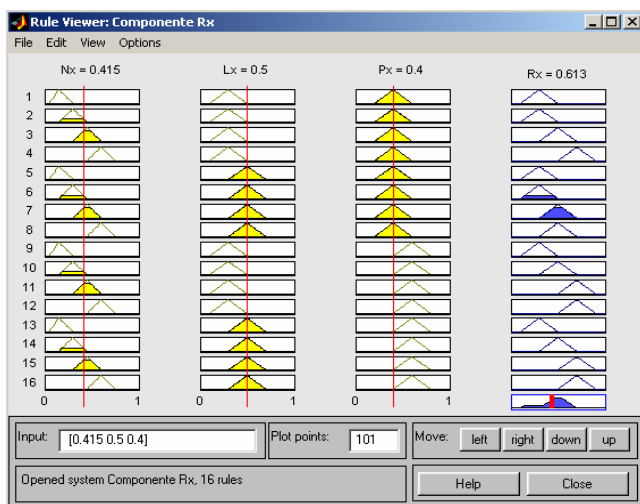
TABLA 8
Evaluación lingüística de las pérdidas L_B y L_V de R_3

Medidas de protección para reducir las consecuencias de un incendio	Riesgo de incendio	Pérdida debida a daños físicos
Una de las siguientes medidas: extintores, instalaciones de extinción fijas de operación manual, instalaciones de alarma manuales, hidrantes, compartimientos a prueba de incendio, vías de escape protegidas	Explosión	Alta 2
	Alto	Media 3
	Normal	Baja
	Bajo	Muy baja



Visor de reglas del sistema difuso R_x . Evaluación de R_x no tolerable.

2



Visor de reglas del sistema difuso R_x . Evaluación de R_x tolerable.

3

Evaluación de la necesidad de protección

a) Si los R_x de cada R se evalúan lingüísticamente como **tolerables**, entonces no hay necesidad de adoptar o mejorar las medidas de protección contra rayo. La evaluación **tolerable** corresponde cuando $R_x \leq 1$.

b) Si algún R_x de un R se evalúa lingüísticamente como **no tolerable**, entonces hay necesidad de adoptar medidas de protección contra rayo o mejorarla. La evaluación **no tolerable** corresponde cuando $R_x > 1$.

Identificación del tipo de protección a adoptar, según el R_x evaluado de no tolerable

Para reducir el valor de R_x evaluado de no tolerable, se selecciona una nueva P_x adoptando o mejorando las medidas de protección correspondientes a dicho componente.

Reevaluación de la necesidad de protección variando P_x en el R_x evaluado de no tolerable

En el visor de reglas se sustituye el valor de P_x anterior por el nuevo valor seleccionado a partir de las medidas de protección que se adoptan para disminuir el valor.

El diseñador puede observar directamente que al variar P_x se modifica el valor de R_x hasta que sea **no tolerable** o hasta encontrar el valor mínimo de este. En las figuras 2 y 3 se observa el visor de reglas del sistema difuso R_x , donde se introducen los valores de las entradas y se obtiene el valor de la salida. En la figura 2 para $N_x = 0,415$, $L_x = 0,5$ y $P_x = 0,6$ se obtiene $R_x = 1,11$ **no tolerable**. En la figura 3 se observa que al variar $P_x = 0,6$ a $P_x = 0,4$ se obtiene $R_x = 0,613$ **tolerable**.

CONCLUSIONES

La aplicación de las propiedades de la lógica difusa permite realizar el análisis de riesgo de impacto de rayo a partir de los criterios y la experiencia de especialistas, creándose un sistema difuso que tiene en cuenta la subjetividad envuelta en el análisis y a sus vez constituye una herramienta de sencilla utilización.

Los diseñadores tienen mayor interacción con el proceso al poder evaluar de forma lingüística las variables que se involucran.

El sistema difuso abarca los razonamientos contenidos en la norma 62305-2, sin embargo, hay una reducción de la complejidad en el procedimiento a seguir. También se incluyen los últimos estudios de las características espacio-temporales del número de días de tormenta en el país.

REFERENCIA

1. IEC 62305-2. *Protection Against Lightning*, Part 2: Risk Management, 2006.

AUTORAS

Yelennis Godoy

Ingeniera Electricista, Empresa de Proyectos de la Industria Básica (EPROB), Ciudad de La Habana, Cuba

e-mail: yelennis@eprob.cu

Olga S. Suárez

Ingeniera Electricista, Doctora en Ciencias Técnicas, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail: susana@electrica.cujaee.edu.cu