

Corrientes de Falla Difusas: Teoría y Aplicaciones

Dr. Julio Romero Agüero

**Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)
Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE)**

Dr. Alberto Vargas

**Instituto de Energía Eléctrica
Universidad Nacional de San Juan (IEE-UNSJ), Argentina**

Tabla de Contenido

1. Introducción
2. Conjuntos difusos
3. Principio de extensión difuso
4. Método Vertex
5. Corrientes de falla difusas
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Publicaciones

1. Introducción

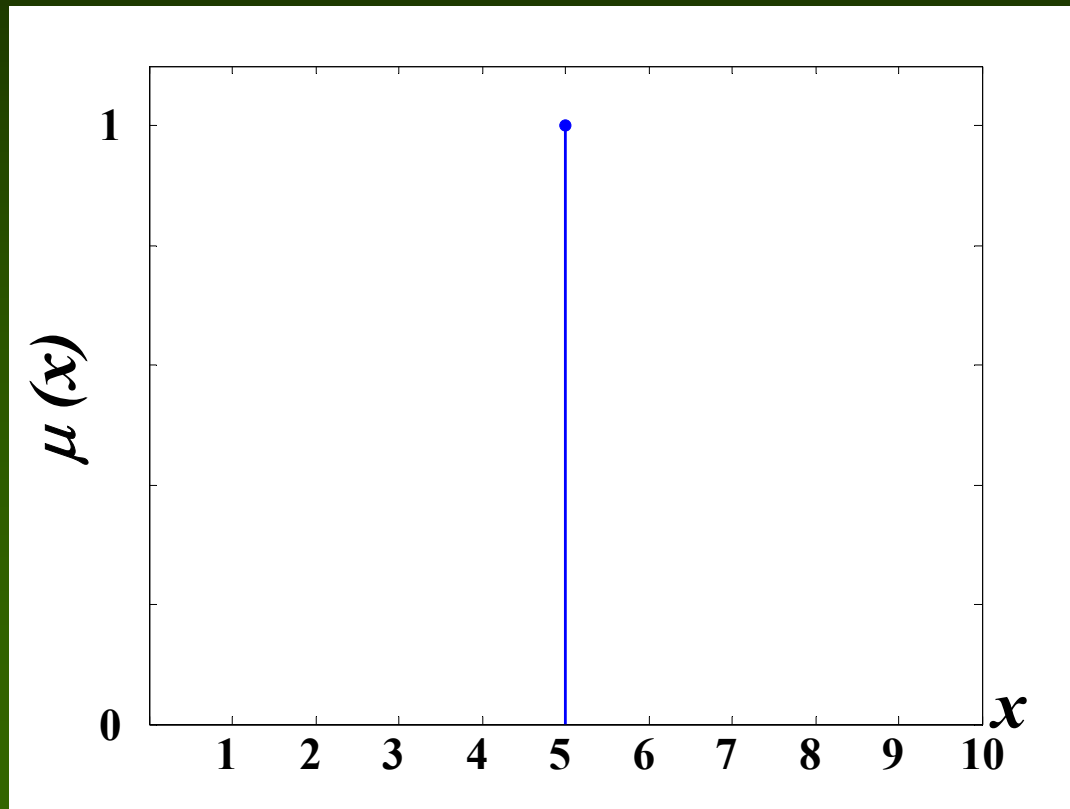
- En muchos problemas de ingeniería y ciencias, el cálculo de soluciones confiables depende de la disponibilidad de valores precisos para las variables de las ecuaciones de los modelos
- Sin embargo, en la práctica diaria estos valores no pueden ser obtenidos porque la información usualmente es incompleta, imprecisa, “ruidosa”, vaga, cualitativa o lingüística
- Por lo tanto es necesario introducir variables inciertas para modelar la información disponible e implementar procedimientos para calcular funciones de estas variables
- Para resolver este problema, una práctica utilizada es modelar las variables inciertas como números difusos y utilizar procedimientos basados en el principio de extensión difuso para evaluar las funciones correspondientes

Tabla de Contenido

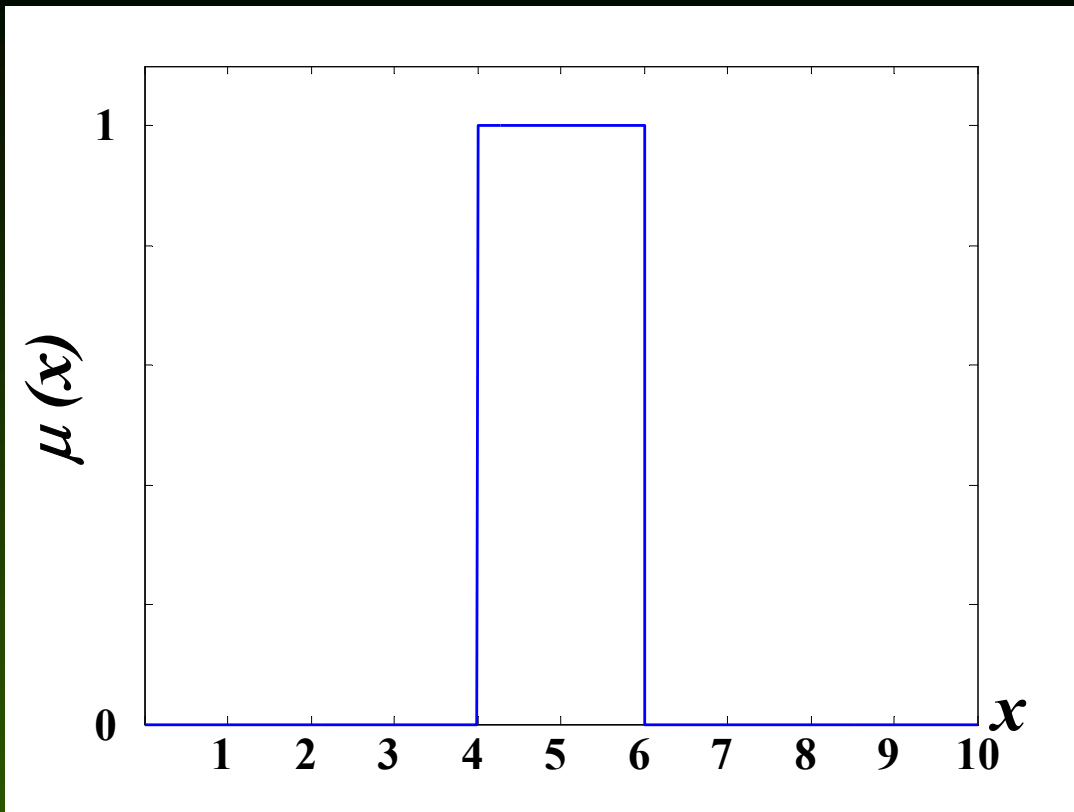
1. Introducción
2. Conjuntos difusos
3. Principio de extensión difuso
4. Método Vertex
5. Corrientes de falla difusas
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Publicaciones

2. Conjuntos difusos

Conjunto clásico (crisp) $\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases}$



“5”



“Aproximadamente 5”

Conjunto difuso tipo 1

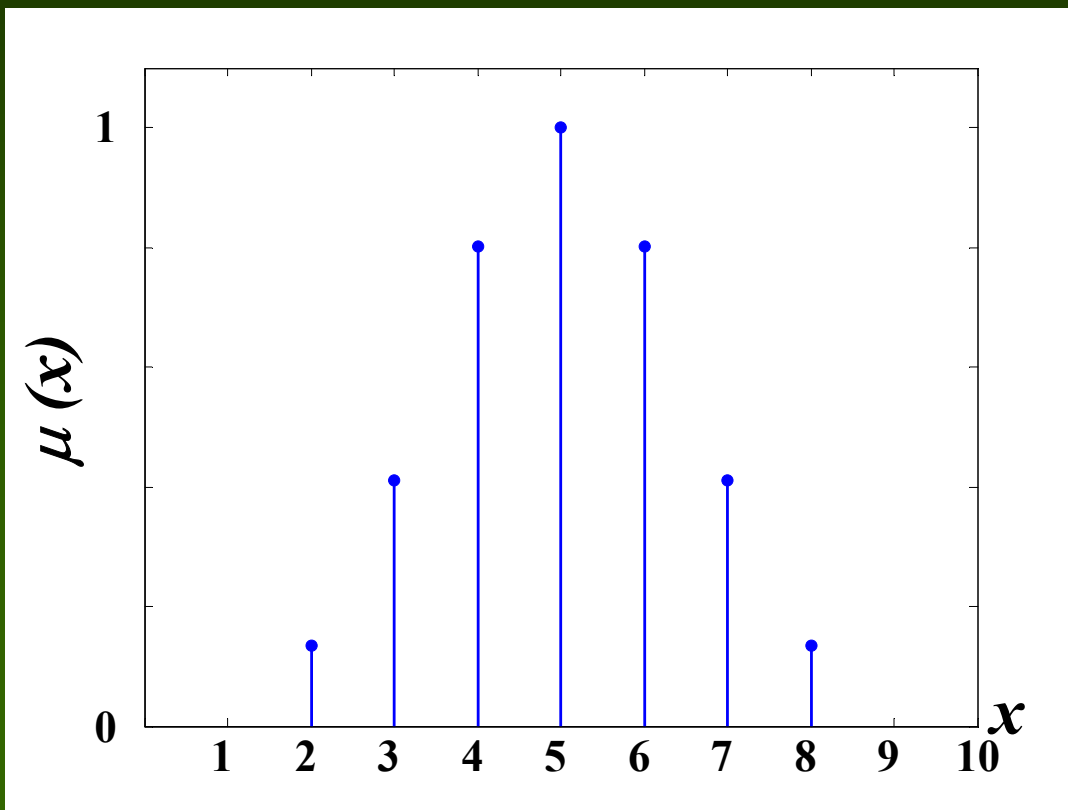
$$A = \left\{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \right\}$$

$$\mu_A(x) \in [0, 1]$$

Conjunto difuso tipo 1 discreto

$$A = \sum_{x \in X} \frac{\mu_A(x)}{x}$$

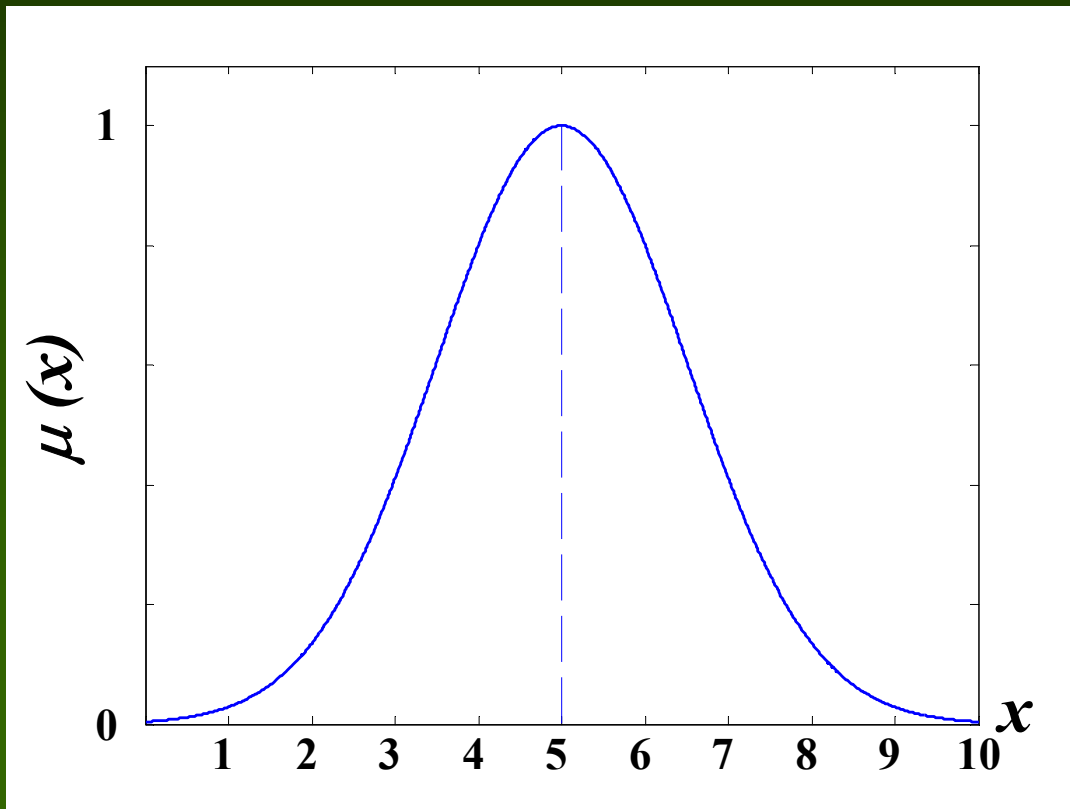
$$A = \frac{0.13}{2} + \frac{0.41}{3} + \frac{0.80}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0.80}{6} + \frac{0.41}{7} + \frac{0.13}{8}$$



“Aproximadamente 5”

Conjunto difuso tipo 1 continuo

$$A = \int_{x \in X} \frac{\mu_A(x)}{x}$$



“Aproximadamente 5”

Conjunto difuso tipo 2

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x}$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \int_{u \in J_x} \frac{f_x(u)}{u}, \quad J_x \subseteq [0,1]$$

Conjunto difuso tipo 2 de intervalo

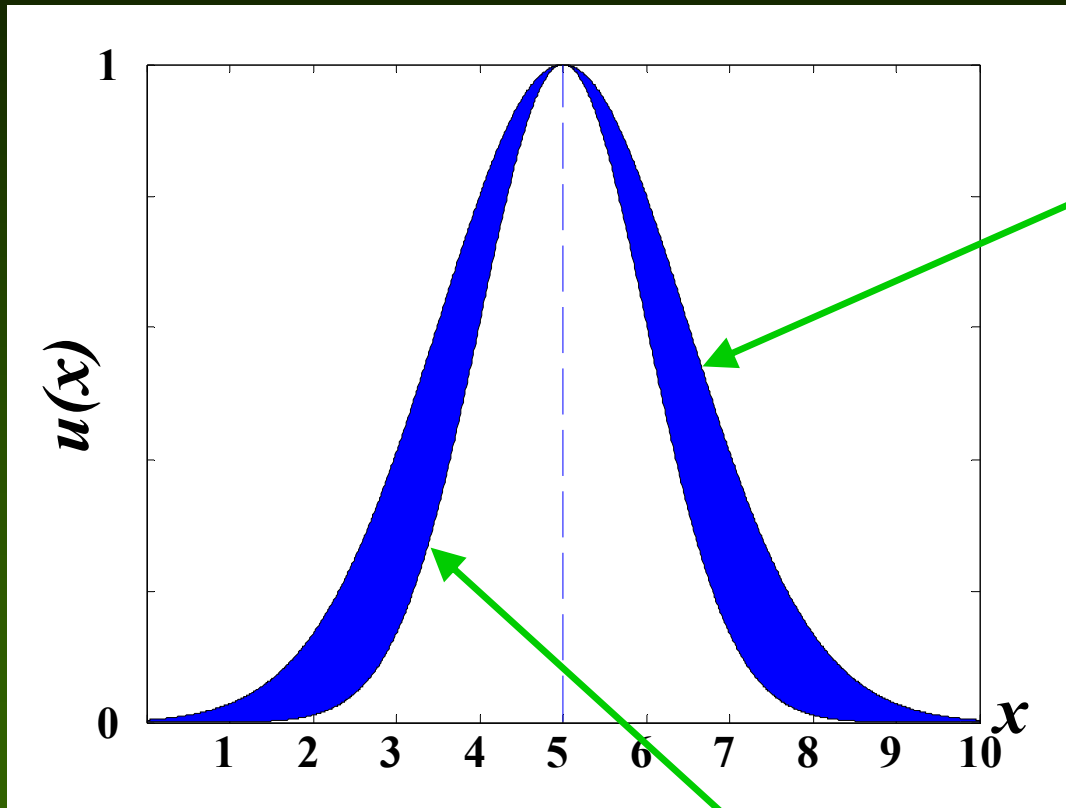
$$f_x(u) = 1, \quad \forall u \in J_x \subseteq [0,1]$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \int_{u \in J_x} \frac{1}{u}, \quad J_x \subseteq [0,1]$$

Función de pertenencia superior

$$\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$$

“Aproximadamente 5”

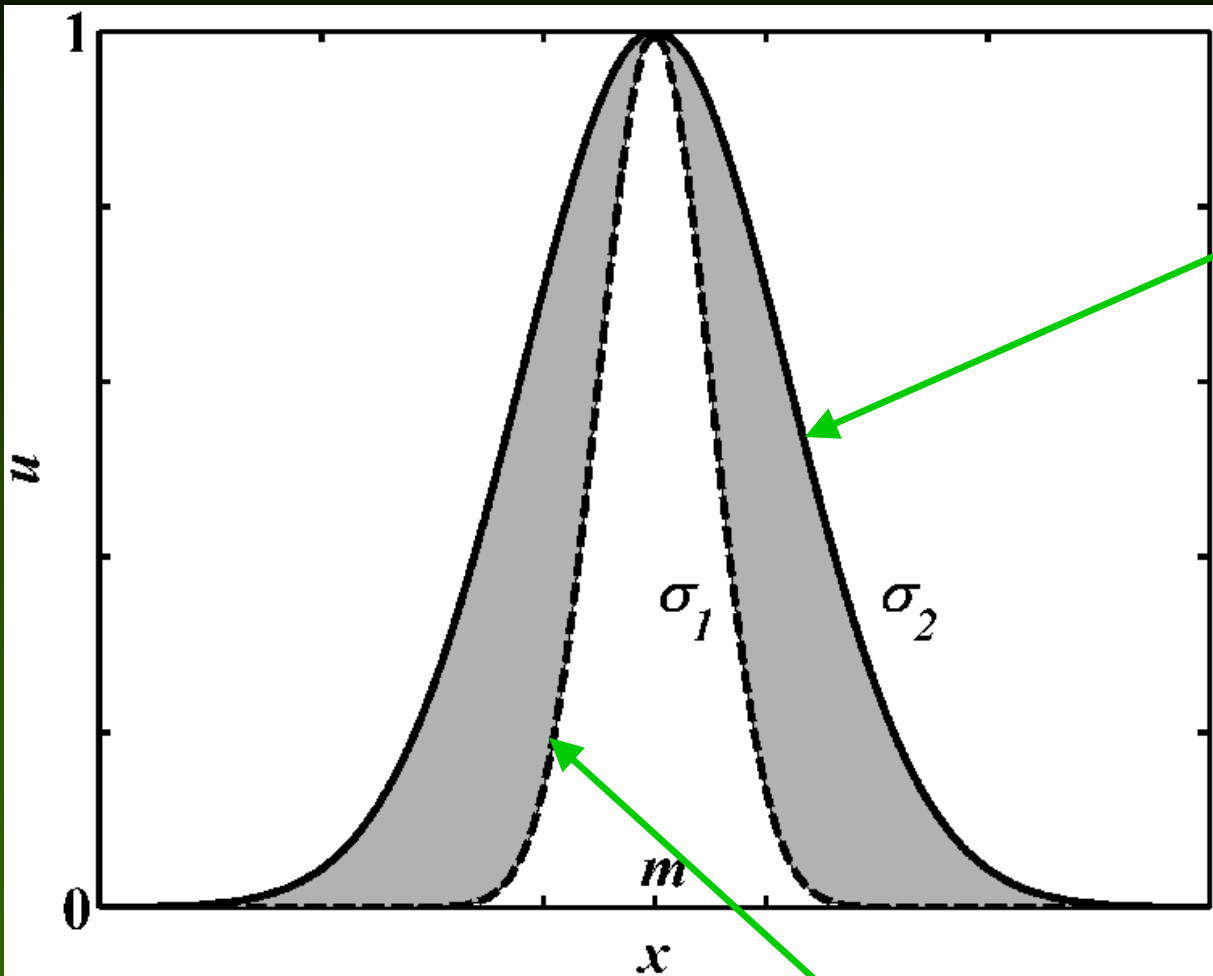


$$\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$$

Función de pertenencia inferior

“Aproximadamente m ”

Función de pertenencia superior



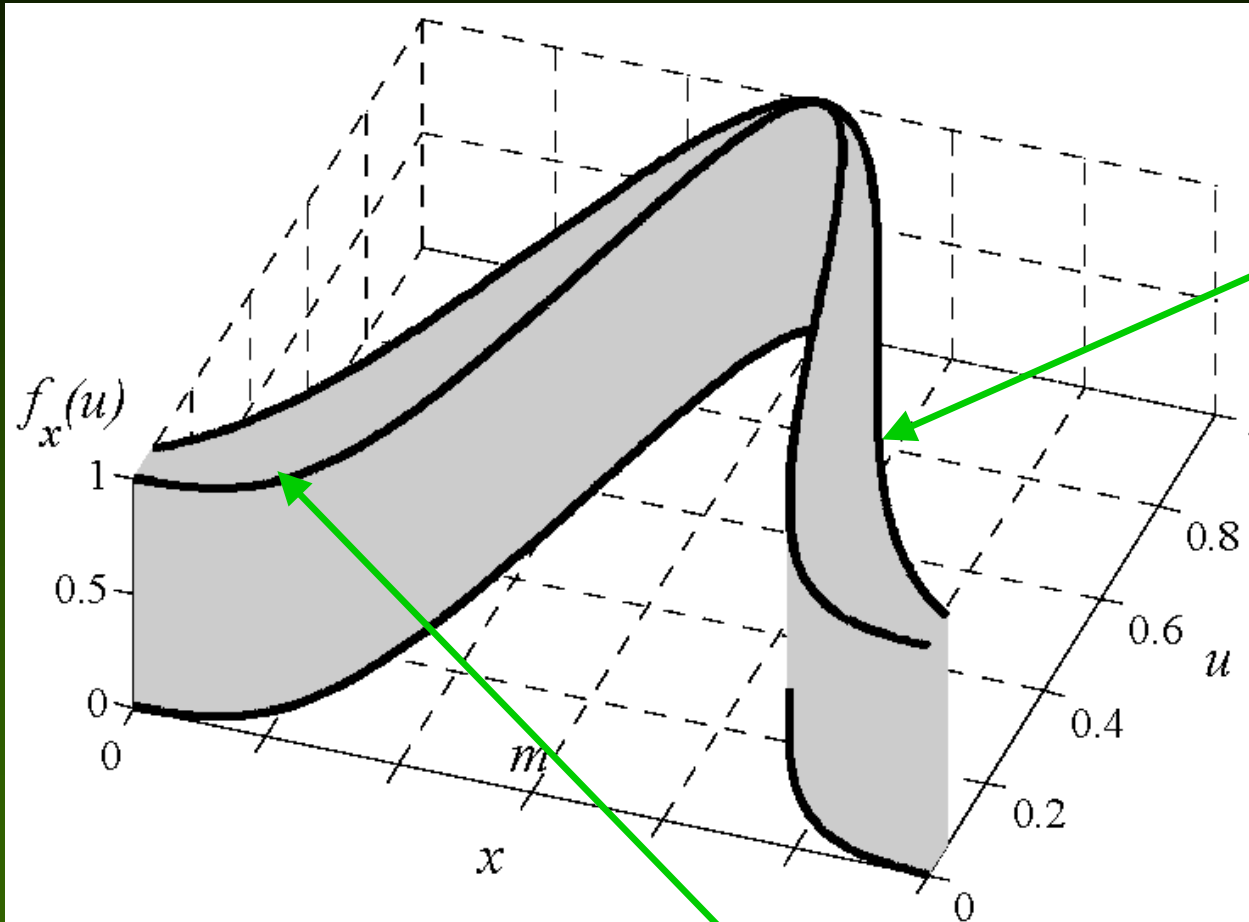
$$\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$$

$$\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$$

Función de pertenencia inferior

“Aproximadamente m ”

Función de pertenencia superior



$$\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$$

$$\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$$

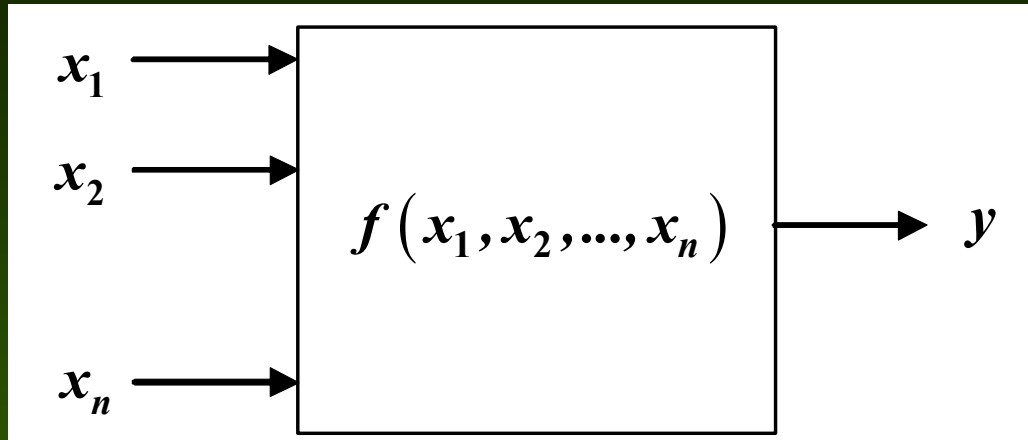
Función de pertenencia inferior

Tabla de Contenido

1. Introducción
2. Conjuntos difusos
3. Principio de extensión difuso
4. Método Vertex
5. Corrientes de falla difusas
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Publicaciones

3. Principio de extensión difuso

Herramienta matemática fundamental para el cálculo de funciones de variables difusas



Para conjuntos difusos tipo 1

$$B = \left\{ \left(y, \mu_B(y) \right) \mid y = f(x_1, \dots, x_n), (x_1, \dots, x_n) \in X \right\}$$

$$\mu_B(y) = \bigvee_{y=f(x_1, \dots, x_n)} \left\{ \mu_{A_1}(x_1) \star \dots \star \mu_{A_n}(x_n) \right\}$$

Implementación práctica mediante el método vertex

Para conjuntos difusos tipo 2 de intervalo

$$\tilde{B} = \left\{ \left(y, \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \mid y = f(x_1, \dots, x_n), (x_1, \dots, x_n) \in X \right\}$$

Solamente es necesario realizar operaciones con las funciones de pertenencia superior e inferior

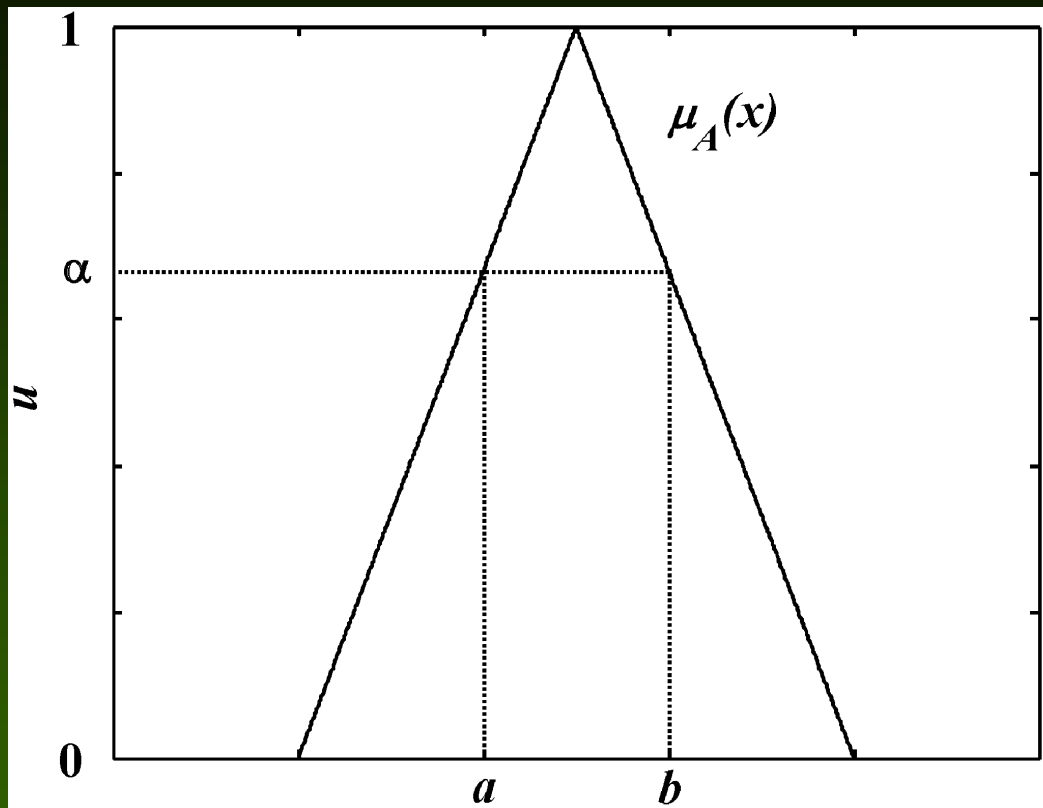
$$\bar{\mu}_{\tilde{B}}(y) = \bigvee_{y=f(x_1, \dots, x_n)} \left\{ \bar{\mu}_{\tilde{A}_1}(x_1) \star \dots \star \bar{\mu}_{\tilde{A}_n}(x_n) \right\}$$

$$\underline{\mu}_{\tilde{B}}(y) = \bigvee_{y=f(x_1, \dots, x_n)} \left\{ \underline{\mu}_{\tilde{A}_1}(x_1) \star \dots \star \underline{\mu}_{\tilde{A}_n}(x_n) \right\}$$

Tabla de Contenido

1. Introducción
2. Conjuntos difusos
3. Principio de extensión difuso
4. Método Vertex
5. Corrientes de falla difusas
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Publicaciones

4. Método Vertex



$$r = 2$$

$$c_1 = (a_1, b_1)$$

$$c_2 = (a_1, b_2)$$

$$c_3 = (a_2, b_1)$$

$$c_4 = (a_2, b_2)$$

$$I_{i\alpha} = [a_i, b_i], \quad i = 1, 2, \dots, r \quad N = 2^r$$

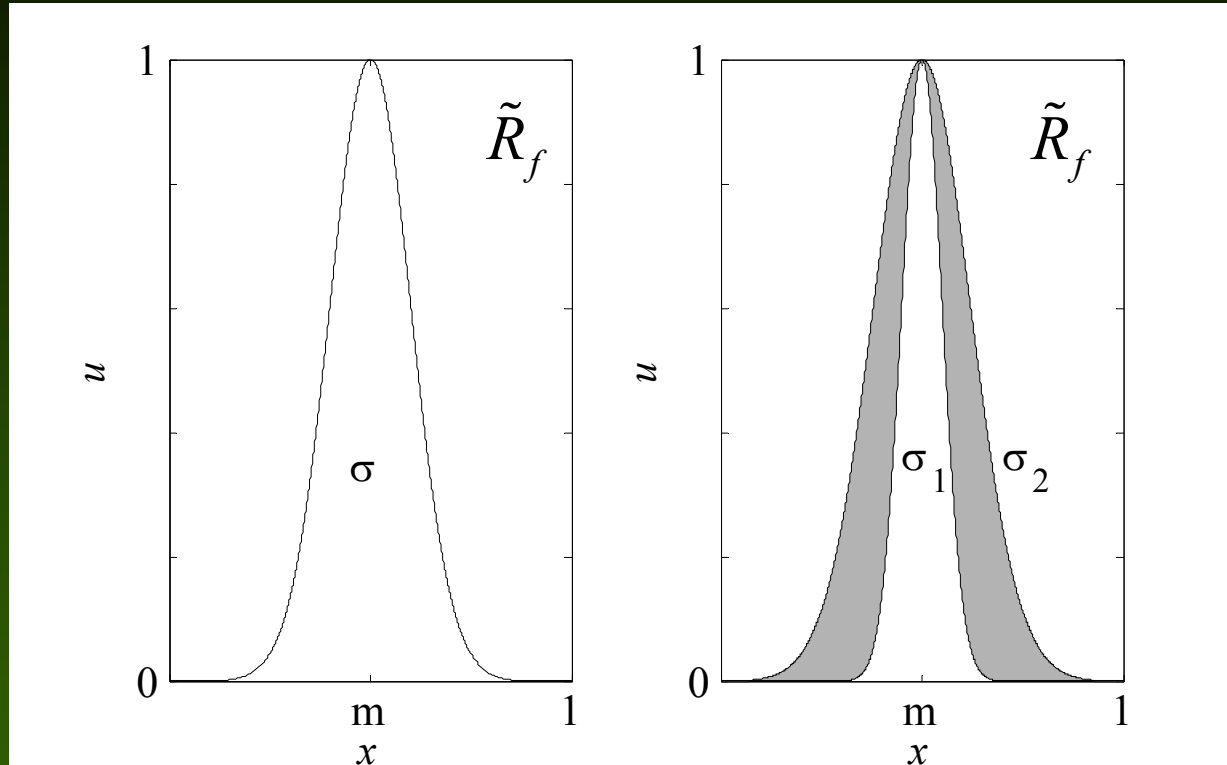
$$B_\alpha = f(I_{1\alpha}, I_{2\alpha}, \dots, I_{r\alpha}) = \left[\min_j (f(c_j)), \max_j (f(c_j)) \right] \quad j = 1, 2, \dots, N$$

Tabla de Contenido

1. Introducción
2. Conjuntos difusos
3. Principio de extensión difuso
4. Método Vertex
5. Corrientes de falla difusas
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Publicaciones

5. Corrientes de falla difusas

Modelar R_f y U_{pf} como números difusos tipo 1 o tipo 2



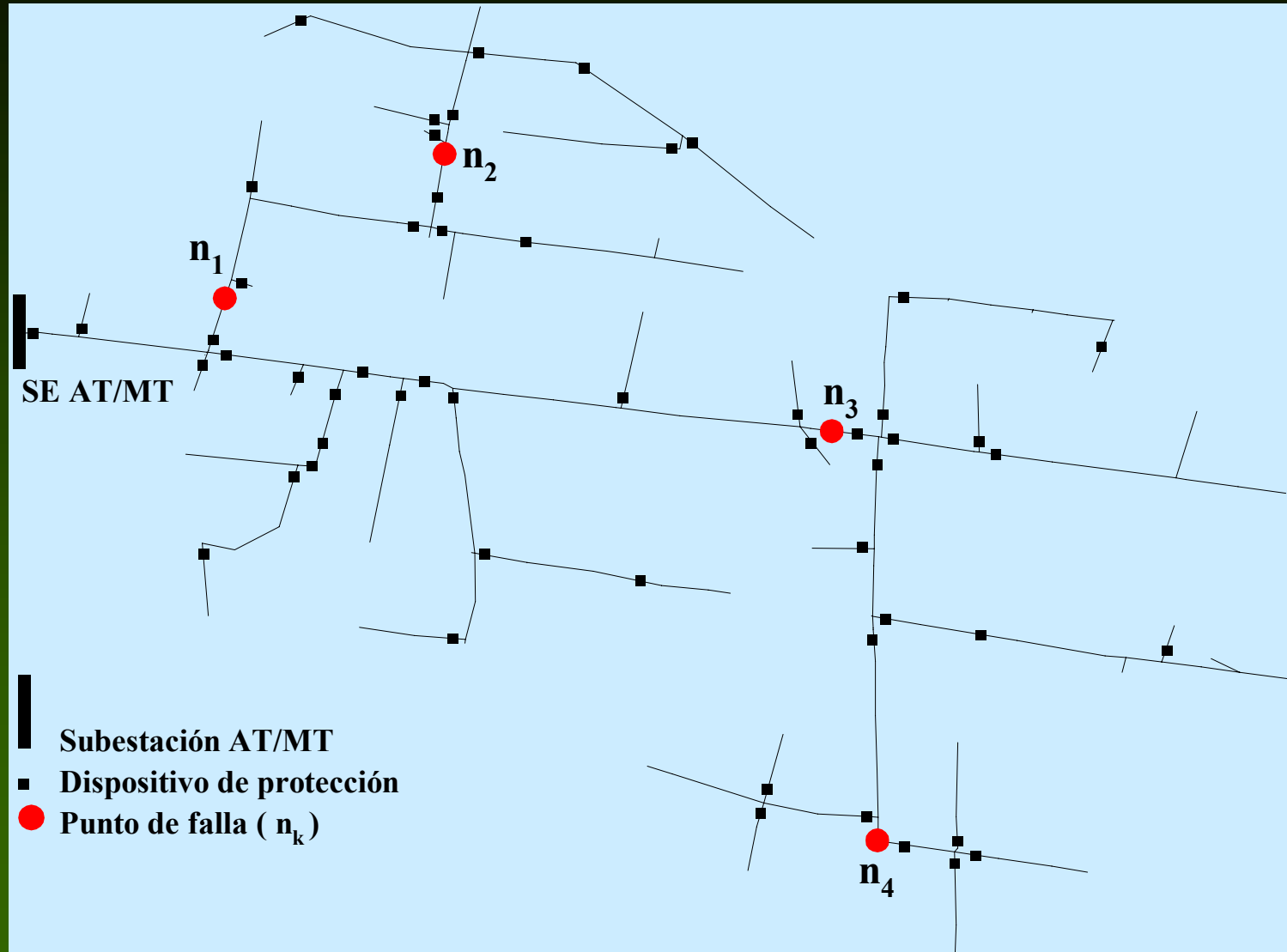
Utilizar principio de extensión difuso y método vertex para evaluar ecuaciones de falla clásicas

$$I_{fk} = 3U_{pfk} / \sqrt{\left(2R_k^+ + R_k^0 + 3R_f\right)^2 + \left(2X_k^+ + X_k^0\right)^2}$$

Tabla de Contenido

1. Introducción
2. Conjuntos difusos
3. Principio de extensión difuso
4. Método Vertex
5. Corrientes de falla difusas
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Publicaciones

6. Resultados



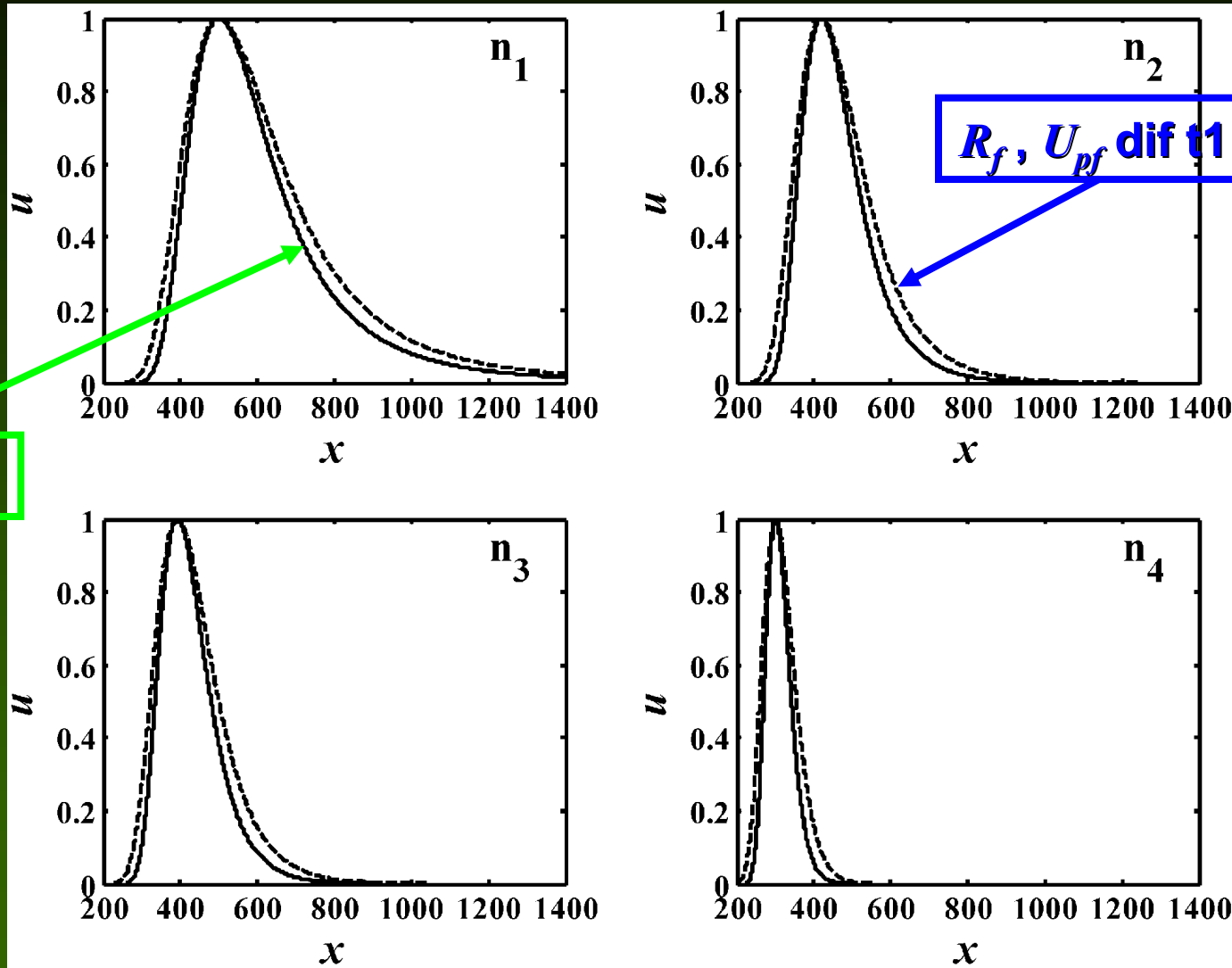
Parámetros del alimentador

n_k	U_{pfk} (V)	R_k^0 (Ω)	X_k^0 (Ω)	R_k^+ (Ω)	X_k^+ (Ω)
n_1	7505.9	1.872	4.229	1.557	0.953
n_2	7486.1	5.226	10.895	4.392	2.470
n_3	7449.6	6.424	12.707	5.938	2.765
n_4	7437.4	13.153	23.533	12.836	5.020

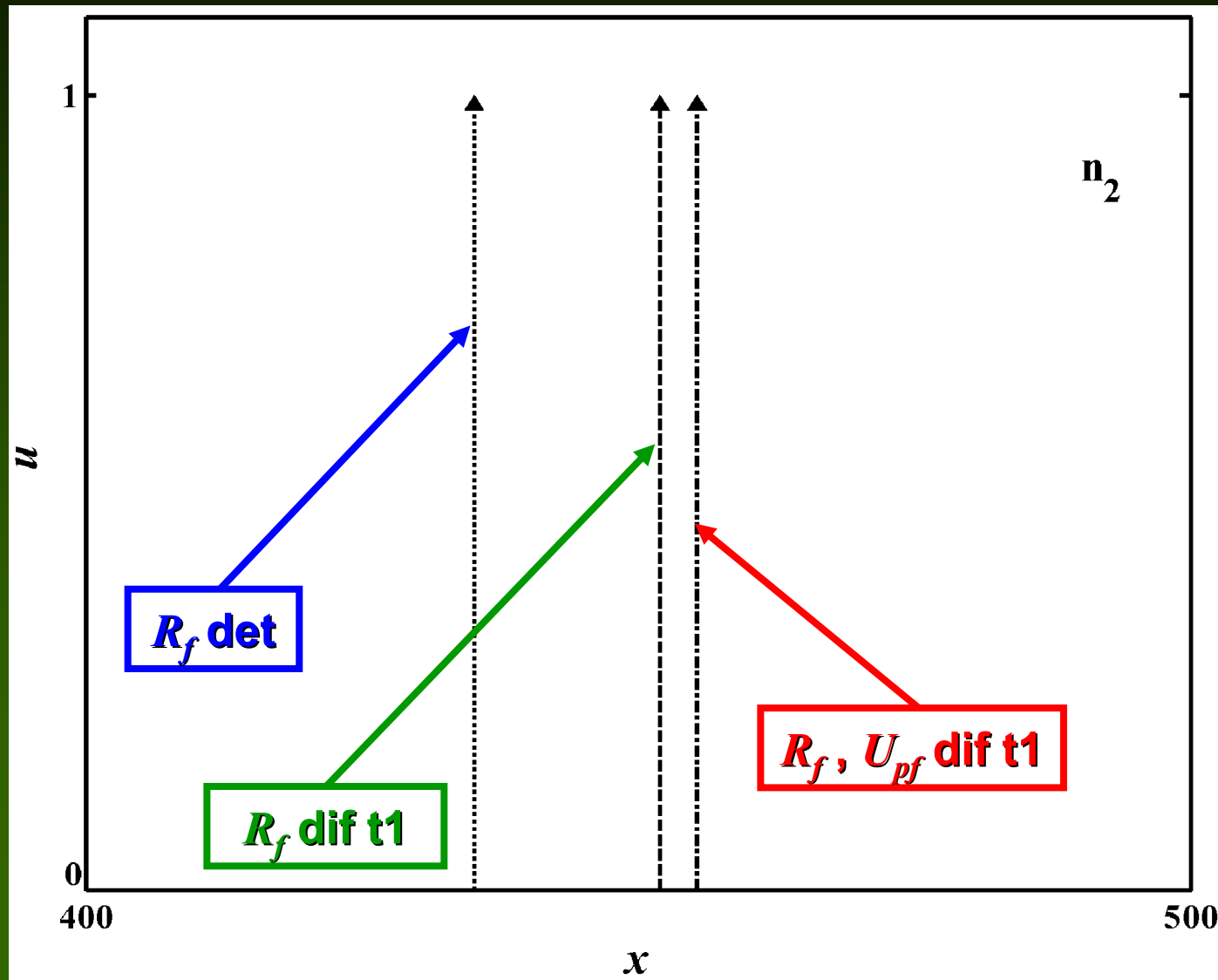
Parámetros de los conjuntos difusos

	m	σ_1	σ_2
\tilde{R}_f	15Ω	3Ω	5Ω
\tilde{U}_{pfk}	U_{pfk}	$0.02U_{pfk}$	$0.06U_{pfk}$

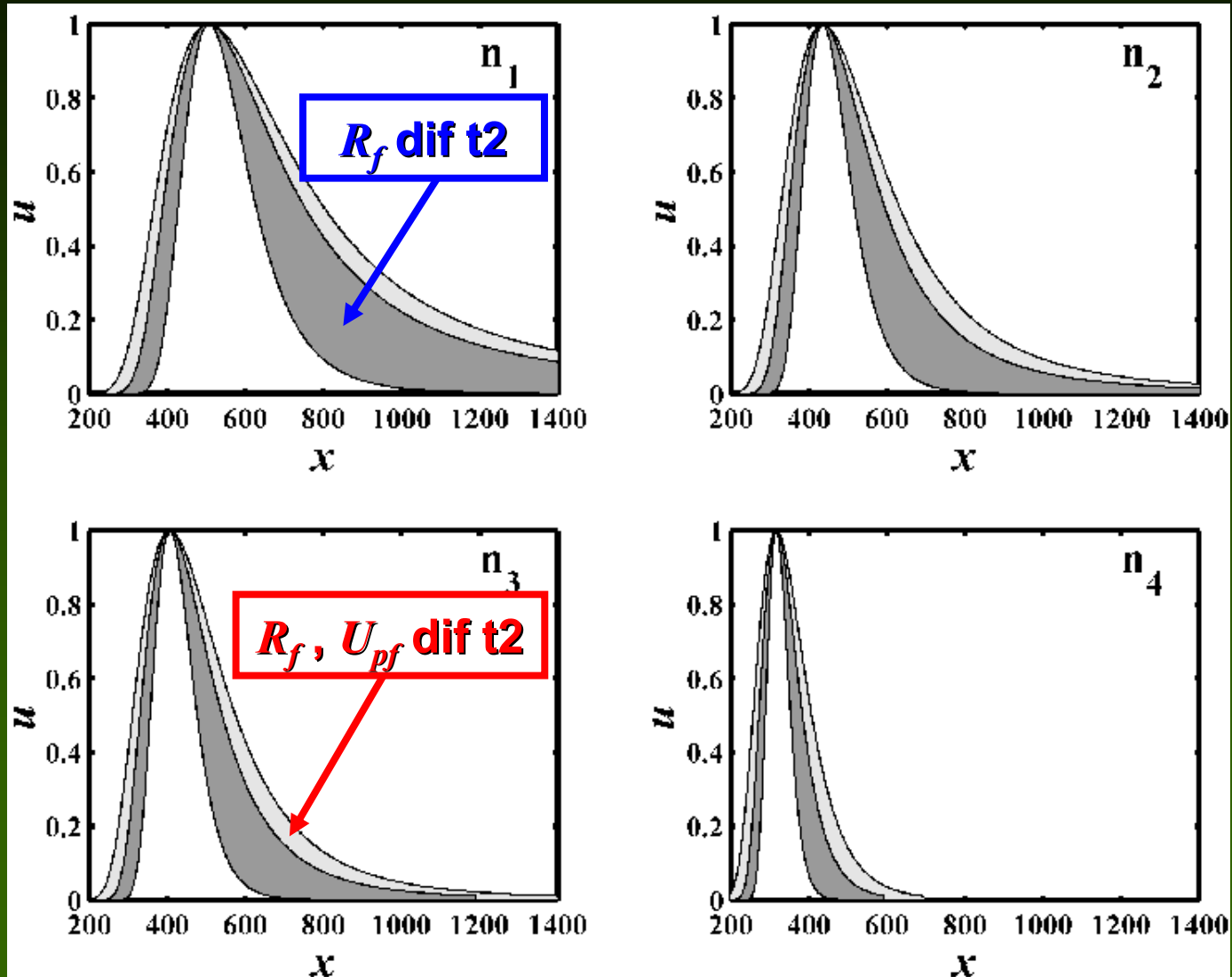
Corrientes de falla difusas tipo 1



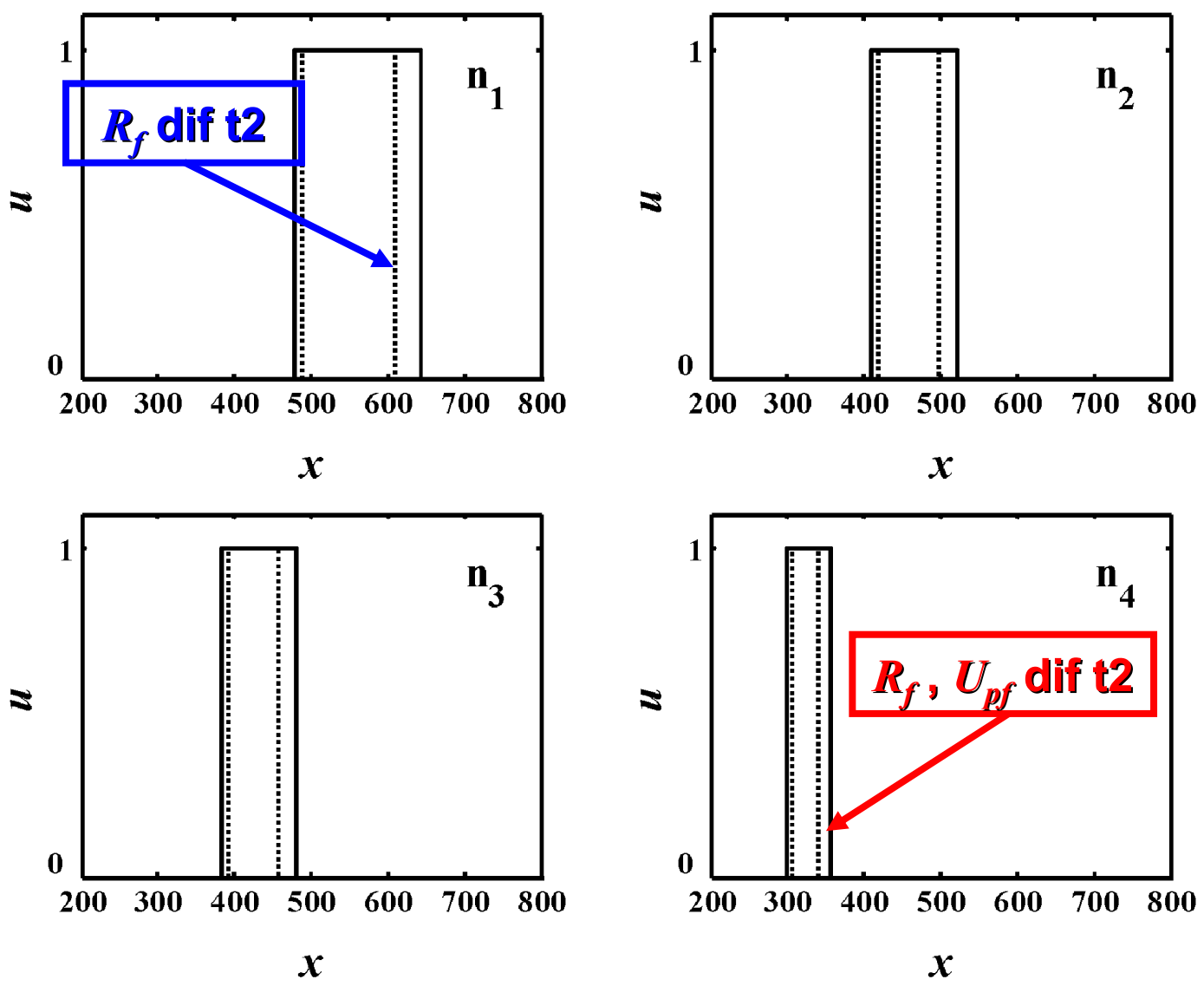
Valores más posibles de corrientes de falla para R_f determinística, R_f difusa tipo 1 y R_f, U_{pf} difusa tipo 1



Corrientes de falla difusas tipo 2



Centroides – Valores más posibles de corrientes de falla para R_f difusa tipo 2 y R_f, U_{pf} difusos tipo 2

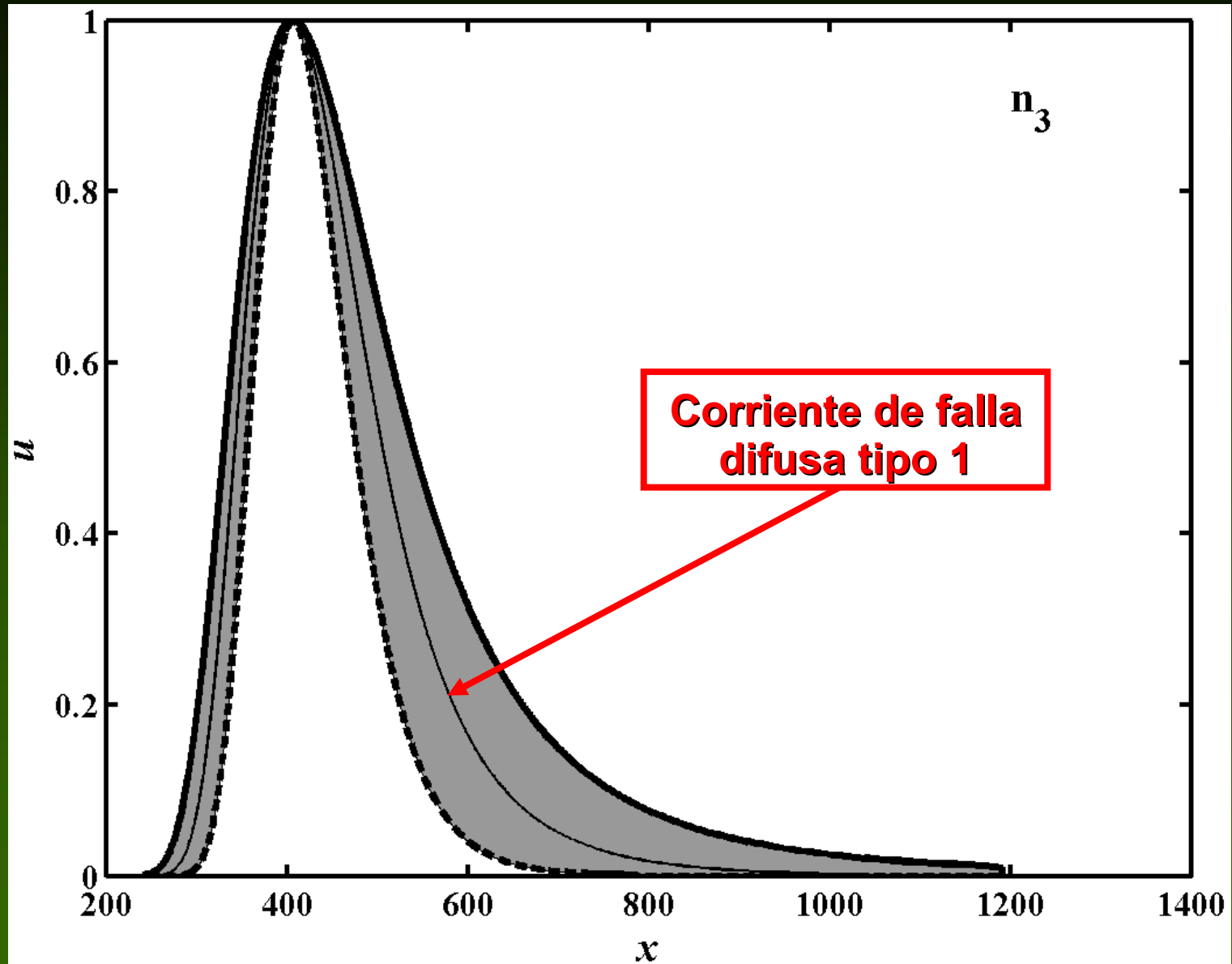


Centroides – Valores más posibles de corrientes de falla para R_f difusa t2 $[l_{1k}, r_{1k}]$ y R_f, U_{pf} difusos t2 $[l_{2k}, r_{2k}]$

n_k	l_{1k}	r_{1k}	l_{2k}	r_{2k}
n_1	487.95	609.57	477.61	643.10
n_2	418.70	497.79	408.97	522.54
n_3	391.28	457.75	381.95	479.72
n_4	306.32	340.96	298.49	355.38

$$l_{2k} < l_{1k} < r_{1k} < r_{2k}$$

Comparación entre corrientes de falla difusa tipo 1 y tipo 2



Comparación entre valores más posibles para corrientes de falla determinísticas, difusas tipo 1 y tipo 2

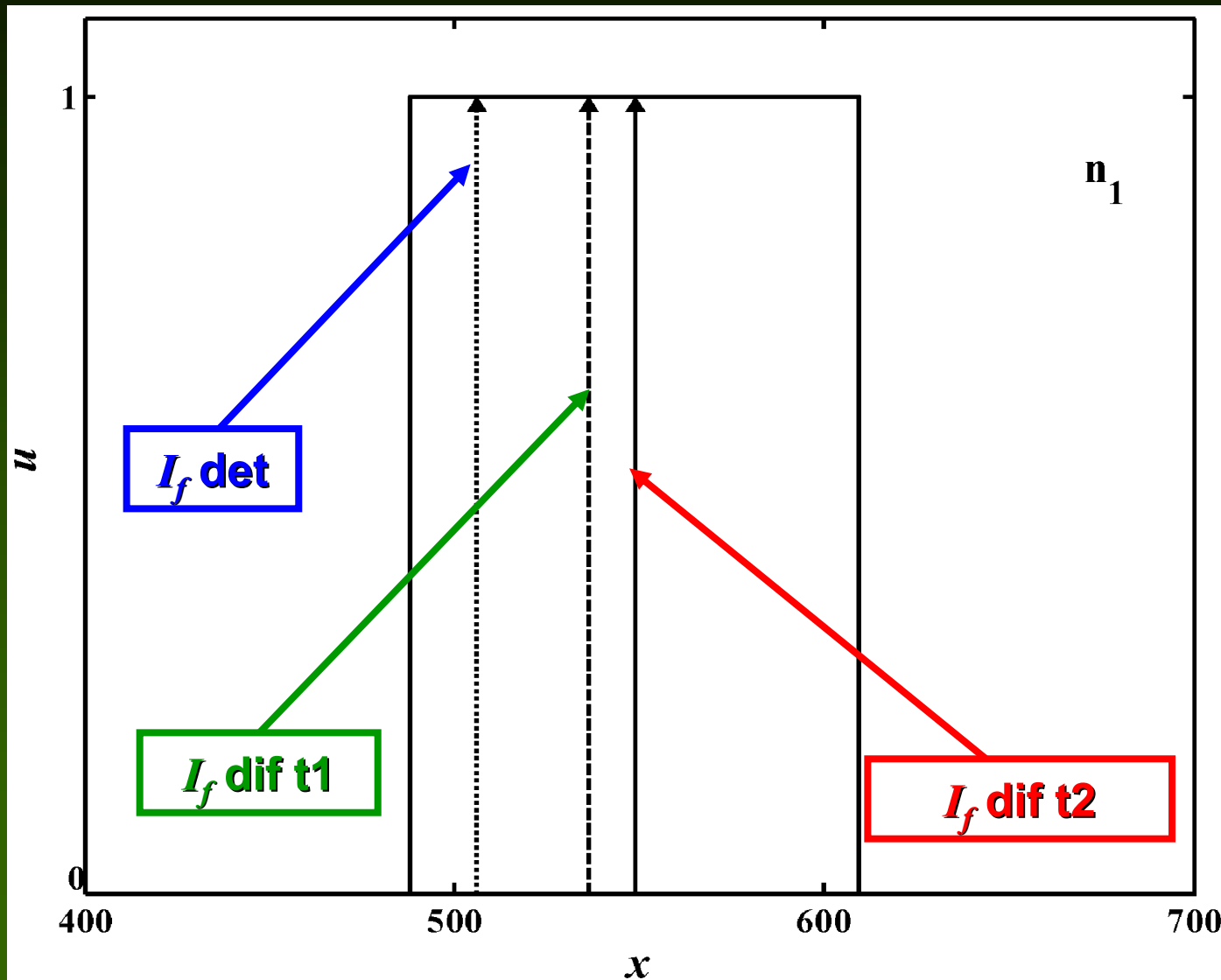


Tabla de Contenido

1. Introducción
2. Conjuntos fuzzy
3. Principio de extensión fuzzy
4. Método Vertex
5. Corrientes de falla fuzzy
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Publicaciones

7. Conclusiones

1. Se ha introducido un nuevo concepto en sistemas eléctricos de potencia: Corrientes de Falla Difusas (CFD)
2. Se ha desarrollado una metodología de cálculo de CFD basada en la aplicación del principio de extensión y la teoría de números difusos
3. La metodología facilita la utilización del conocimiento experto y los datos cualitativos usualmente disponibles en los sistemas de distribución
4. La metodología permite modelar las incertidumbres asociadas a las variables más influyentes del cálculo de corrientes de falla en sistemas de distribución
5. La metodología es aplicable a otros problemas científicos y de ingeniería en los que sea necesario realizar cálculos con variables inciertas y exista deficiencia en la información

Tabla de Contenido

1. **Introducción**
2. **Conjuntos fuzzy**
3. **Principio de extensión fuzzy**
4. **Método Vertex**
5. **Corrientes de falla fuzzy**
6. **Resultados**
7. **Conclusiones**
8. **Publicaciones**

8. Publicaciones

1. J. Romero Agüero, A. Vargas, **Calculating functions of type-2 fuzzy numbers for fault current analysis**, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Special Edition on Extension to Type-1 Fuzzy Sets, (en prensa)

www.geocities.com/drjera

¡GRACIAS!