

Descargas parciales

- ▶ Una descarga parcial (DP) es una descarga eléctrica localizada en una pequeña porción de un aislante eléctrico.
- ▶ Pueden producir fallas catastróficas en equipos de energía eléctrica.
- ▶ El análisis de DP se ha convertido en una herramienta importante para la evaluación de la degradación del aislante en dispositivos de gran potencia [1].

Árboles eléctricos y su dimensión fractal

- ▶ Los árboles eléctricos son generados por DP que producen un deterioro lento y progresivo en el aislamiento que crece en forma de ramificaciones [1].
- ▶ Se pueden clasificar según su dimensión fractal (d_f): del tipo rama ($1 < d_f < 2$) o tipo bosque ($2 < d_f < 3$).

Metodología

- ▶ Se cuenta con dos series de tiempo de pulsos de descargas parciales medidas durante el crecimiento de árboles eléctricos a 10kV y 12kV.
- ▶ La dimensión fractal del árbol correspondiente a 10kV es 1.89 y la dimensión fractal del árbol correspondiente a 12kV es 1.99 utilizando el método box-counting. (Fig 1 muestra los árboles).
- ▶ Se estudian las descargas parciales con sistemas dinámicos, se reconstruye el espacio de fase y se calcula su dimensión fractal para relacionarla con la de los árboles eléctricos.

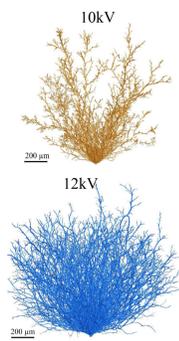


Fig. 1: [4]

Reconstrucción del espacio de fase

- ▶ El método *delay coordinate embedding* propuesto por Takens nos permite reconstruir el espacio de fase de un sistema dinámico desde una sola variable observable dada por la serie $\{x_0, x_1, \dots, x_N\}$ [2].
- ▶ Para una dimensión de incrustación m suficientemente grande y un delay de incrustación τ apropiado, los puntos m -dimensionales:

$$p(t) = (x_t, x_{t+\tau}, x_{t+2\tau}, \dots, x_{t+(m-1)\tau})$$

produce un espacio de fase equivalente al del sistema original.

Series de Tiempo

- ▶ Para la reconstrucción del atractor se considera la series de tiempo Q_1 y Q_2 de la amplitud del pulso o carga aparente (Q) de las descargas parciales para 10kV y 12kV respectivamente.

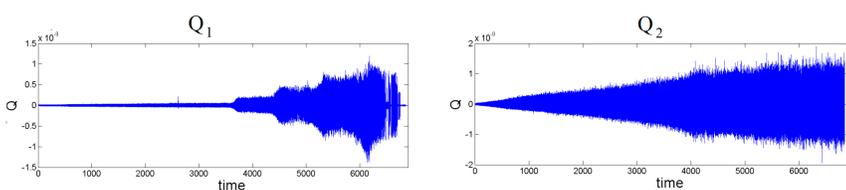


Fig. 2: Series de tiempo Q_1, Q_2 de la carga aparente Q para 10kV y 12kV respectivamente.

Delay de Incrustación

- ▶ Para calcular el delay óptimo de incrustación τ , Fraser & Swinney proponen usar el primer mínimo de la información mutua entre x_t y $x_{t+\tau}$.
- ▶ La información mutua cuantifica la cantidad de información que se tiene del estado $x_{t+\tau}$ asumiendo que conocemos el estado x_t [2].
- ▶ El delay óptimo para la serie de Q_1 es $\tau = 10$ y para la serie de Q_2 es $\tau = 8$ como se puede apreciar en la Fig 3.

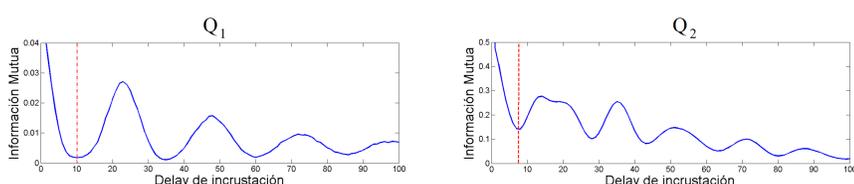


Fig. 3: Primer mínimo en $\tau = 10$ y $\tau = 8$ para Q_1 y Q_2 respectivamente.

Dimensión de incrustación

- ▶ Para calcular la dimensión de incrustación m mínima requerida, se estudia el método del vecino falso cercano (fnn) propuesto por Kennel.
- ▶ Los vecinos falsos son los puntos cercanos que bajo pocas iteraciones se alejan mucho unos de otros. Cuando esta función se acerca a cero nos indica la dimensión apropiada [2]. Para nuestro caso es $m = 6$.

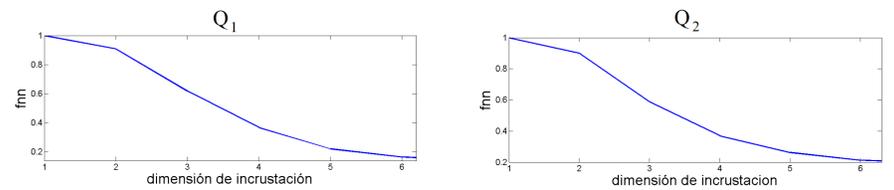


Fig. 4: Para ambas series la función se acerca a cero para $m = 6$.

Atractor extraño

- ▶ Test determinismo: $i_1 = 0.924, i_2 = 0.878$ los cuales son cercanos a 1, por lo tanto se comprueba que Q_1 y Q_2 son determinísticas [2].
- ▶ Máximo exponente de Lyapunov positivo: $\lambda_1 = 0.113$ y $\lambda_2 = 0.189$, por lo tanto las series provienen de un sistema dinámico caótico.
- ▶ Se reconstruye el espacio de fase, que correspondería a un atractor extraño para ambas series y se muestra una proyección en la Fig 5.

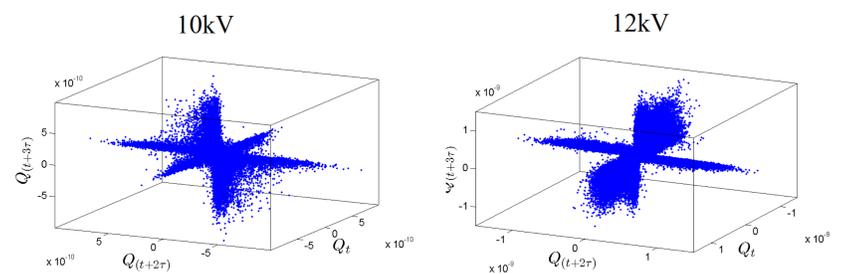


Fig. 5: Proyección del espacio de fase para Q_1 y Q_2 respectivamente.

Dimensión fractal del atractor extraño

- ▶ Se aplica el método de Grassberger and Procaccia [3] que utiliza la dimensión de correlación que es calculada como $d(\log(\text{CNR}))/d(\log(r))$ con CNr integral de correlación (para Θ función heaviside):

$$\text{CNR} = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j} \Theta(r - \|x_i - x_j\|)$$

- ▶ La dimensión del atractor para 500 datos es de 1.984 para Q_1 y de 2.303 para los Q_2 (Fig 6.)

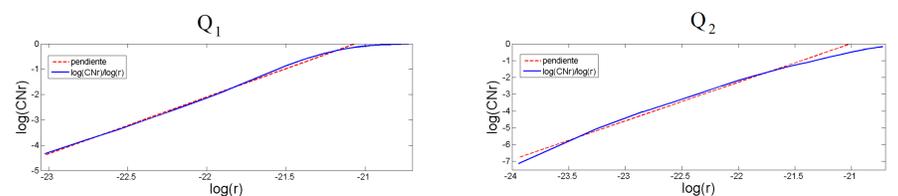


Fig. 6: Las pendientes son de 1.984 para 10kV y de 2.303 para 12kV.

Conclusiones

- ▶ Se logra determinar que las DP son un fenómeno determinístico y se reconstruye el atractor extraño asociado a su sistema dinámico.
- ▶ La dimensión fractal de los atractores extraños parecen mostrar una relación directa con la de los árboles eléctricos, pero estos resultados no son concluyentes debido a la pequeña porción de datos utilizados.

Referencias

- [1] R. Schurch *Study of the Dynamics of Partial Discharges under Different Voltage Frequencies and Waveforms*
- [2] M. Perc *Introducing nonlinear time series analysis in undergraduate courses*. 2004.
- [3] J. Theiler *Estimating fractal dimension*. 1989
- [4] R. Schurch *Partial discharge energy and electrical tree volume degraded in epoxy resin*. 2015