

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“APLICACIÓN DE MONITOREO EN LÍNEA DE DESCARGAS  
PARCIALES AL GENERADOR ELÉCTRICO DE LA UNIDAD TV2  
EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ING. GONZALO  
ZEVALLOS G.”**

### **EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)**

Previa a la obtención del grado de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD  
ESPECIALIZACIÓN POTENCIA**

**CARLOS EDUARDO ESPINOZA TORRES**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2015**

## AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por guiar mi camino, a mis padres por su apoyo durante toda mi vida , a mi esposa e hijos por su comprensión, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación por dame esta oportunidad de graduación .

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico en memoria de mis padres a mi esposa e hijos por su dedicación y entrega.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

**Ing. Fernando Vaca U.**

EVALUADOR

---

**Ing. Jonathan Moncada L.**

EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Informe me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

.....  
Carlos Eduardo Espinoza Torres

## RESUMEN

En la primera parte de este trabajo se hace una breve descripción de la problemática, que me llevó a plantear la ejecución del proyecto de monitoreo en línea de las descargas parciales en el estator del generador de la unidad TV2 de la Central Termoeléctrica “Ing. Gonzalo Zevallos G.”, lo cual sirvió para justificar la necesidad de instalar el equipo de monitoreo en línea. Luego de esto se trata brevemente sobre que son las descargas parciales, sus efectos que producen en el aislamiento del estator, así como también los diferentes mecanismos de falla que pueden presentarse en el generador. Seguidamente se presenta el procedimiento y método utilizado como solución para monitorear las descargas parciales presentes en el generador durante su operación normal, se describe los diferentes componentes que conforman el equipo indicando su función específica dentro del proyecto.

En la segunda parte se hace un análisis de los resultados obtenidos del monitoreo en línea durante un período de un año y cinco meses, determinando el tipo de mecanismo de falla encontrado, y por consiguiente las medidas a tomar a futuro ya sea para una reparación parcial o total del generador eléctrico, considerando las novedades encontradas y su tipo de gravedad.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO 1.....	1
1. METODOLOGÍA O SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA....	1
1.1 Detección de descargas parciales en línea.....	1
1.1.1 Definición de descargas parciales.....	2
1.1.2 Estudios previos a la Implementación del proyecto .....	3
1.1.3 Componentes del equipo de monitoreo en línea .....	5
1.2 Separación de ruido.....	10
1.2.1 Frecuencia .....	10
1.2.2 Separación direccional de ruido atendiendo al tiempo de arribo.....	12
CAPÍTULO 2.....	15
2. RESULTADOS OBTENIDOS .....	15
2.1 Parámetros a considerar para determinar el tipo de mecanismo de falla .....	15
2.2 Representaciones gráficas de mecanismos de falla clásicos.....	16
2.3 Resultados obtenidos del monitoreo en línea realizado al generador eléctrico de la unidad TV2. ....	18
2.4 Curvas de tendencias de las descargas parciales y de número de pulsos.....	20
2.5 Curvas en fase resuelta de las descargas parciales obtenidas por fase en el generador eléctrico unidad TV2.....	24
2.6 Análisis de los resultados obtenidos del monitoreo en línea de las	

descargas parciales.....	26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXOS .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Representación de las descargas parciales.....	3
Figura 1.2. Curva de tendencias de descargas parciales generador TV2 .....	4
Figura 1.3. Ubicación del acoplador capacitivo.....	7
Figura 1.4. Acoplador capacitivo modelo PDA CEF/80/18/5. ....	7
Figura 1.5. Caja de terminación .....	8
Figura 1.6. Parte interior de la caja de terminación .....	9
Figura 1.7. Conexión del equipo PDA PREMIUM .....	10
Figura 1.8. Separación direccional de ruido tiempo de arribo. ....	13
Figura 1.9. Sensores de máquina generador eléctrico TV2 .....	14
Figura 1.10. Sensores del sistema generador eléctrico TV2 .....	14
Figura 2.1. Representación gráfica de descarga a las ranuras. ....	16
Figura 2.2. Representación gráfica de descargas internas. ....	17
Figura 2.3. Representación gráfica descargas cerca del conductor. ....	17
Figura 2.4. Curvas de tendencias de descargas parciales en la fase U .....	21
Figura 2.5. Curvas de tendencias de descargas parciales en la fase V .....	21
Figura 2.6. Curvas de tendencias de descargas parciales en la fase W .....	22
Figura 2.7. Curvas de tendencias del número de pulsos de descargas fase U .....	22
Figura 2.8. Curvas de Tendencias del número de pulsos de descargas fase V ....	23
Figura 2.9. Curvas de Tendencias del número de pulsos de descargas fase W ...	23
Figura 2.10. Gráfica obtenida en fase resuelta de las descargas en la fase U .....	24
Figura 2.11. Gráfica obtenida en fase resuelta de las descargas en la fase V .....	25
Figura 2.12. Gráfica obtenida en fase resuelta de las descargas en la fase W .....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características técnicas generador eléctrico.....	3
Tabla 2: Criterio de evaluación de descargas parciales.....	5
Tabla 3: Especificaciones técnicas del acoplador capacitivo.....	8
Tabla 4: Tiempo de arribo direccional.....	14
Tabla 5: Tabla de medición de descargas parciales realizadas el 31-01-2013.....	18
Tabla 6: Tabla de medición de descargas parciales realizadas el 20-02-2013.....	19
Tabla 7: Tabla de medición de descargas parciales realizadas el 08-03-2013..	19
Tabla 8: Tabla de medición de descargas parciales realizada el 31-07-2013 .....	20

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata sobre la aplicación de la técnica predictiva de monitoreo en línea de descargas parciales en el estator del generador eléctrico de la unidad TV2 de la Central Térmica “Ing. Gonzalo Zevallos G.” de CELEC EP ELECTROGUAYAS debido al deterioro de su aislamiento, ya que este ha venido presentando una alta actividad de descargas parciales que se detectaron con la unidad fuera de servicio mediante pruebas eléctricas aplicadas a este equipo.

En vista de esto se optó por instalar un equipo de monitoreo en línea para realizar el seguimiento del estado del generador durante su funcionamiento normal.

Con el uso de esta nueva técnica se da a conocer una de las prácticas de mantenimiento que actualmente se está utilizando, con la ayuda de la tecnología moderna como mantenimiento predictivo aplicados a los generadores eléctricos en sus condiciones normales de funcionamiento, en la cual están sometidos a los esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos con la particularidad de que no es necesario sacar fuera de servicio al generador para ejecutar ensayos eléctricos para la verificación del estado de su aislamiento.

El contenido de este trabajo será de gran ayuda ya que se proporcionara la técnica de diagnóstico del estado del generador durante su ciclo de vida operacional, solucionará la salida imprevista de la máquina debido a que mediante el monitoreo en línea de las descargas parciales presentes en este generador determinará el momento adecuado para realizar su reparación contando con los recursos y repuestos necesarios.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. METODOLOGÍA O SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA**

Como primera instancia es importante definir brevemente que son las descargas parciales, antes de detallar la metodología de solución implementada para anticiparse ante una falla que pudiera producirse en el generador eléctrico bajo estudio.

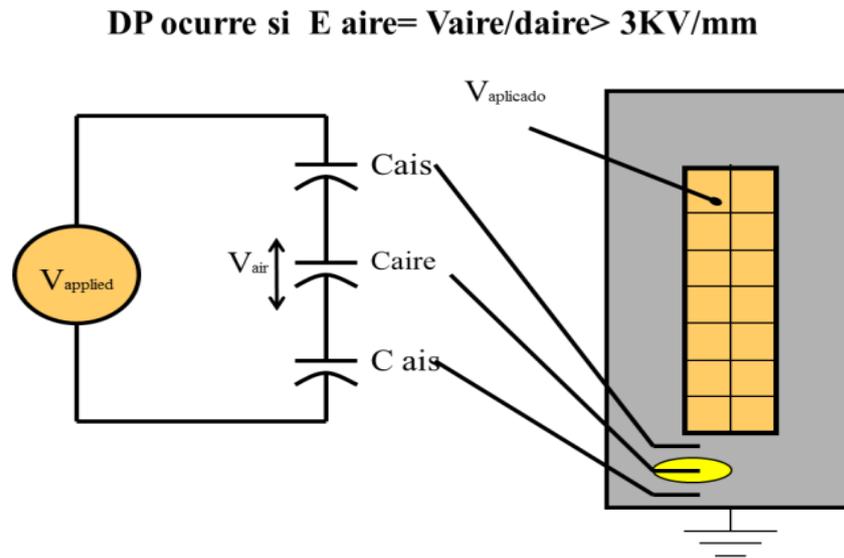
#### **1.1 Detección de descargas parciales en línea**

Se definirá primeramente porqué se producen las descargas parciales sus causas, para luego más adelante tratar sobre los estudios previos a la implementación del proyecto de monitoreo en línea de las descargas parciales

en el generador eléctrico, posteriormente se dará a conocer sobre los diferentes componentes que forman parte del equipo instalado

### **1.1.1 Definición de descargas parciales**

Se define a las descargas parciales, como chispas que se producen en huecos o vacíos existentes en el aislamiento principal del estator, producto de su deterioro con el tiempo por el uso y los esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos al cual está sometido el generador durante su vida operacional, estas chispas o descargas son creadas por la existencia de una diferencia de potencial en el interior del hueco o vacío y ocurre cuando el voltaje por milímetro (V/mm) excede el punto de ruptura eléctrica del gas en el interior del hueco, en la Figura 1.1 se observa el voltaje que se crea en el hueco existente en el interior del aislamiento para ese caso el gas es aire. Es importante considerar que si las descargas parciales no son controladas y monitoreadas adecuadamente puede fácilmente llevar a fallar un generador, aclarando que las descargas parciales es un síntoma de la existencia de un problema más no es la causa, para lo cual es conveniente el control de su magnitud al determinar su existencia.



**Figura 1.1. Representación de las descargas parciales. Fuente: [1]**

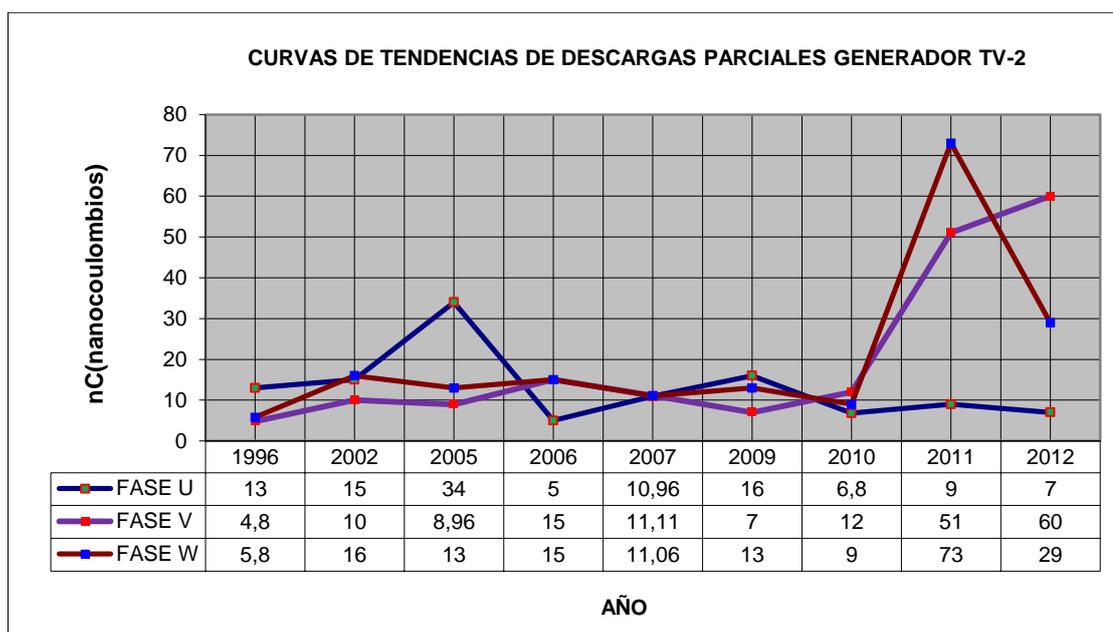
### 1.1.2 Estudios previos a la Implementación del proyecto

El generador eléctrico de la unidad TV2 de la Central Termoeléctrica “Ing. Gonzalo Zevallos Guzmán”, es del tipo rotor cilíndrico enfriado por hidrógeno el cual cuenta con 37 años de servicio continuo cuyas características técnicas se detallan a continuación en la Tabla 1:

<b>Potencia</b>	<b>85,8 MVA</b>	<b>Tipo</b>	<b>MB-H</b>
<b>Voltaje</b>	13800 V	Presión de Hidrógeno	2,11 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Amperaje</b>	3593 A.	Conexión del Estator	Y
<b>Factor de Potencia</b>	0,85	Clase de Aislamiento	B
<b>N° de fases</b>	3	Voltaje de Excitación	250 V d.c.
<b>Frecuencia</b>	60	Corriente de Campo	1000 A d.c.
<b>Velocidad</b>	3600	N° de Serie	233079
<b>N° de Polos</b>	2	Fecha Fabricación	abril-1977
<b>Marca</b>	Mitsubishi	Procedencia	Japón

**Tabla 1: Características técnicas generador eléctrico. Fuente: [3]**

A este generador en los últimos 16 años durante los mantenimientos mayores y anuales programados, se le han realizado una serie de pruebas eléctricas con la unidad fuera de servicio, para determinar el estado de su aislamiento. Entre las más importantes pruebas realizadas es la de descargas parciales la cual es más sensible al deterioro del aislamiento, durante este seguimiento periódico se pudo observar una tendencia del incremento de las descargas parciales en las fases V y W de más del 100% en el año 2011 a valores de 51 y 73  $\eta$ C (nanocoulombios) respectivamente como se lo puede observar en la curva de tendencias de la Figura 1.2



**Figura 1.2. Curva de tendencias de descargas parciales generador TV2**

De acuerdo a los criterios adoptados por los fabricantes de generadores eléctricos y en especial del fabricante de nuestro generador de marca Mitsubishi los cuales se basan en normas establecidas por la JAPAN

IERE COUNCIL ver Tabla 2 para aislamientos a base de resina epoxica y mica criterio aplicado para pruebas de descargas parciales realizadas con generador fuera de servicio .Donde (q) es la carga aparente medida en  $\eta\text{C}$  ( nanocoulombios) debido a los pulsos de corriente producto de las descargas parciales. Como se puede observar según el criterio antes indicado nuestra máquina entraría en el inciso tres esto es en estado crítico, si las descargas parciales han alcanzado tal magnitud lo recomendable es la instalación de un equipo de monitoreo en línea de descargas parciales con máquina en servicio, para de esta manera realizar una mejor evaluación de la causa de la misma y un seguimiento más oportuno de las tendencias, lo anterior es un criterio adoptado por la CFE ( Comisión Federal de Electricidad de México ) ente de reconocida experiencia a nivel internacional en lo que se refiere a los estudios sobre descargas parciales.

INCISO	CRITERIO	EVALUACIÓN
1	$q < 10 \eta\text{C}$	Bueno
2	$q \geq 10 \eta\text{C}$	Observación
3	$q \geq 30 \eta\text{C}$	Crítico
4	$q \geq 100 \eta\text{C}$	Posible ruptura del aislamiento

**Tabla 2: Criterio de evaluación de descargas parciales. Fuente: [5]**

### 1.1.3 Componentes del equipo de monitoreo en línea

#### Acopladores Capacitivos

El primer paso para la detección de descargas parciales es la instalación de los sensores o acopladores capacitivos en un lugar

cercano a la fuente de las descargas parciales ver Figura 1.3, en nuestro caso utilizamos los acopladores capacitivos que son capacitores de epóxico mica (EMC), de marca ADWEL de procedencia canadiense cuyas características técnicas son de 80 pF (picofaradios) ver Figura 1.4, estos acopladores bloquean la señal de 60 Hz y pasan la señal de descargas parciales de alta frecuencia. Esto resulta obvio comparando la impedancia de un capacitor de 80 pF (picofaradios) a una frecuencia de potencial típico 60 Hz con una frecuencia típica de descargas parciales de 83 MHz como se lo puede apreciar utilizando la fórmula 1.1 para el cálculo de la reactancia capacitiva [1]

$$X_c = 1 / 2\pi fC \quad (1.1)$$

Dónde:

$X_c$  = Reactancia capacitiva

$f$  = Frecuencia

$C$  = Capacitancia

Alta impedancia bloquea

$$X_c (60 \text{ Hz}) = 1 / 2\pi(60\text{Hz})80\text{pF} = 33 \text{ M}\Omega$$

Baja impedancia pasa

$$X_c (83 \text{ MHz}) = 1 / 2\pi(83\text{MHz})80\text{pF} = 24 \Omega$$

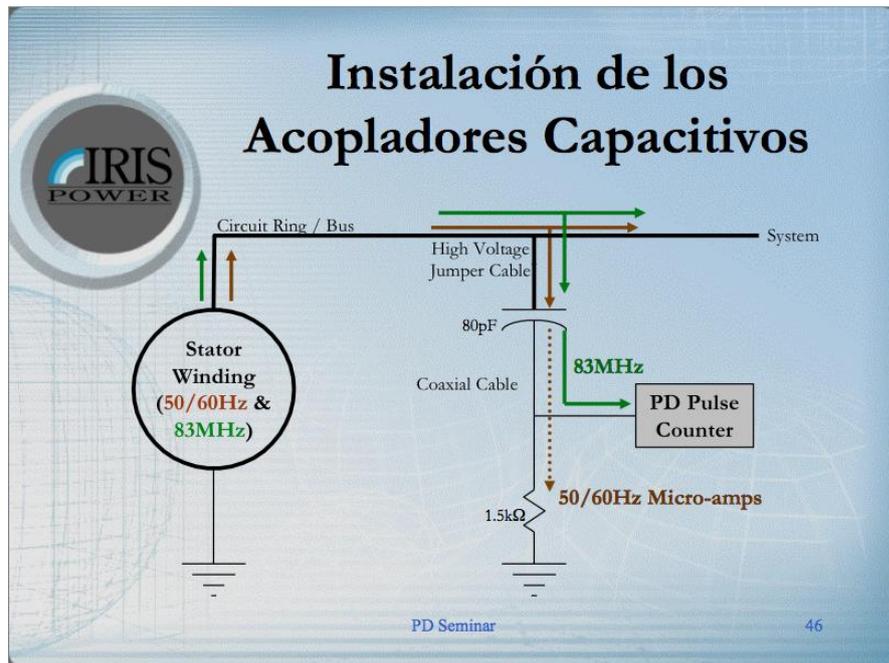


Figura 1.3. Ubicación del acoplador capacitivo. Fuente:[1]



Figura 1.4. Acoplador capacitivo modelo PDA CEF/80/18/5. Fuente:[6]

MODELO	<b>PDA- CEF/ 80 / 18 /5</b>
CAPACITANCIA	80 pF, $\pm 3$ pF
VOLTAJE WITHSTAND	40 KV A.C. A 60 Hz por un minuto 68 KV D.C. por un minuto
FACTOR DE POTENCIA	Menos de 0,1 % a 1 KHz
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	No menos de 100 G $\Omega$ a 1000 V D.C.
DESCARGA PARCIAL	A 18 KV RMS con menos de 2 pC

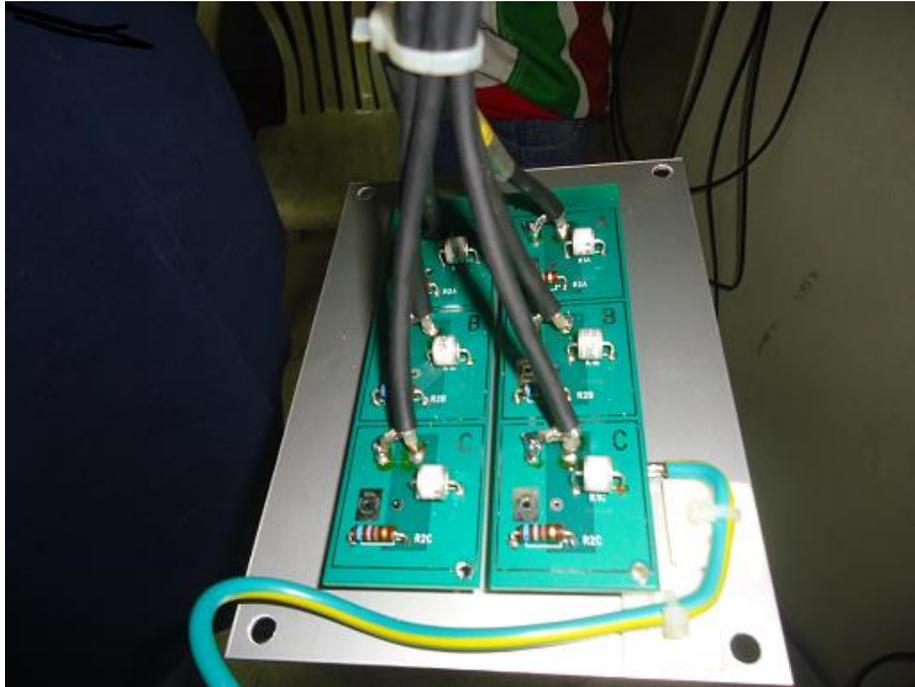
**Tabla 3: Especificaciones técnicas del acoplador capacitivo. Fuente:[6]**

### Caja de terminación

Los cables coaxiales de los EMC (capacitores de epóxico mica) son llevados a la caja de terminación Figura 1.5, estos cables se aseguran de manera permanente a la parte posterior del panel como se muestra en la Figura 1.6. Dentro de la caja de terminación hay protectores de picos eléctricos y resistores para mejorar el proceso de lectura de datos de descargas parciales.



**Figura 1.5. Caja de terminación**



**Figura 1.6. Parte interior de la caja de terminación**

### **Equipo portátil de detección de descargas parciales**

Este equipo se denomina PDA PREMIUM que sirve para captar las señales de alta frecuencia que procesan los acopladores capacitivos que están instalados en los terminales del generador eléctrico, los pulsos de descargas parciales son transformados en señales digitales, el equipo para obtener las señales de descargas parciales se conecta temporalmente a la caja de terminación vía cable coaxial usando generalmente conectores BNC (Bayonet Neill Concelman), una computadora portátil controla al instrumento PDA , el cual se conecta vía puerto USB y procesa las señales a través del software PDA PREMIUM 120 II lo indicado se puede observar en la Figura 1.7



**Figura 1.7. Conexión del equipo PDA PREMIUM**

## **1.2 Separación de ruido**

En esta parte del capítulo 1 se tratará en primera instancia el tema de las bandas de frecuencias aplicables para la detección de las descargas parciales, posteriormente hablaremos sobre el método de separación de las señales de ruido de los pulsos de descargas parciales aplicado en el proyecto implementado.

### **1.2.1 Frecuencia**

Unas de las formas más efectivas de eliminar el ruido es hacer pruebas a frecuencias lo suficientemente elevadas para que solo se detecten pulsos de descargas parciales de frecuencia  $> 50$  MHz, y los pulsos de ruido de frecuencias bajas  $< 20$  MHz sean eliminados la clave está en seleccionar un rango de frecuencia apropiado de manera tal que el

coeficiente señal ruido sea tan alto que solo las señales de descargas parciales puedan ser detectadas, sin detectar pulsos de ruido.

Los sensores establecen el límite del nivel bajo de la frecuencia, los sensores de 80 pF (picofaradios) terminados a una impedancia de 50 ohmios, limitan la banda de detección de baja frecuencia a 40 MHz. A esta frecuencia la señal de ruido es virtualmente eliminada y por lo tanto el coeficiente señal ruido es extremadamente alto. Limitando el sensor para que sólo detecte señales de alta frecuencia, reduce un poco la cantidad total de energía de descargas parciales, pero elimina la necesidad de recurrir a un experto para discriminar entre ruido y descarga parcial.

El segundo nivel de control de frecuencia es el instrumento de prueba, este tiene una amplitud de banda de 0,1-350 MHz. Es capaz de detectar el tiempo de elevación rápido de los pulsos iniciales y las frecuencias altas (50–250 MHz) típica de descargas parciales originadas en el devanado. Utilizando la frecuencia de cierre de 40 MHz del sensor y la limitación de frecuencia superior de 350 MHz del instrumento, se monitorea la banda de frecuencia de 40-350 MHz. Las señales de alta frecuencia se atenúan bastante rápido dentro del devanado así que solo los pulsos que ocurren a través de los huecos, en las bobinas que están cerca de la parte de alto voltaje del devanado serán detectados con la prueba de alta frecuencia, por ejemplo > 40MHz. Sin embargo como lo hemos establecido anteriormente, los pulsos a través de los huecos son

altamente dependientes del voltaje aplicado a tierra, por lo tanto las bobinas que están cerca del final de alto voltaje son las más proclives a tener descargas parciales. Ya que la mayoría de las fallas ocurren en estas bobinas y los mecanismos comunes de falla afectan al devanado completo, las pruebas de alta frecuencia son muy acertadas en la detección de este tipo de problemas. [1]

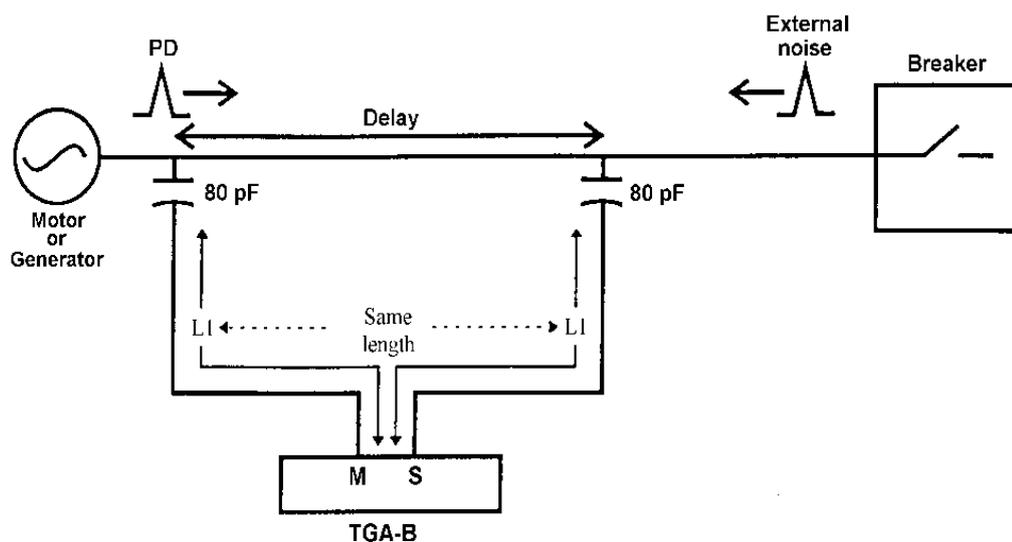
### **1.2.2 Separación direccional de ruido atendiendo al tiempo de arribo**

Este es el método utilizado para la detención de las descargas parciales en el generador eléctrico de la unidad TV2 el cual consiste en lo siguiente.

Para una instalación direccional, un acoplador capacitivo por fase se coloca tan cerca como sea posible del lado de alto voltaje del generador terminales de salida denominado sensor de máquina C2 ver Figura 1.9. El segundo acoplador capacitivo denominado sensor del sistema C1 Figura 1.10 uno por fase se lo instala en la barra de la fase, y en un lugar conveniente hacia el sistema y a por lo menos a dos metros del primer acoplador, los cable coaxiales que llevan la señal de los acopladores capacitivos a la caja de terminación deberán tener la misma longitud para ambos acopladores.

El calibrado involucra la medición del tiempo de demora o el tiempo que le toma a un pulso de elevación rápida (alta frecuencia) entre 1 y 5 ns(nanosegundos) viajar entre los acopladores de una misma fase. En

una instalación direccional, el ruido del sistema llega a los acopladores desde la misma dirección al final de ambos cables coaxiales ver Figura 1.8



**Figura 1.8. Separación direccional de ruido tiempo de arribo.Fuente:[1]**

L1 representa el tiempo en nanosegundos que le toma a un pulso viajar a través de los cables coaxiales. Para una instalación direccional, los cables coaxiales son de la misma longitud, por tanto L1 es igual para ambos acopladores capacitivos, tiempo de demora (delay) es el tiempo en nanosegundos que le toma a un pulso viajar a través de la barra entre dos acopladores [1]. El instrumento portátil de prueba en nuestro caso el PDA PREMIUM separa los pulsos de ruido y de las descargas parciales de acuerdo al siguiente criterio de tiempo de arribo, ver Tabla 4, ruido del sistema y barra se muestran juntos como ruido total del sistema.

Clasificación	Sensor de la Máquina C2	Sensor del Sistema C1
<b>Descargas Parciales</b>	L1	L1 + t demora
<b>Ruido del Sistema</b>	L1 + t demora	L1
<b>Ruido en Barras</b>	L1 + <t demora	L1 + <t demora

**Tabla 4: Tiempo de arribo direccional. Fuente: [1]**



**Figura 1.9. Sensores de máquina generador eléctrico TV2**



**Figura 1.10. Sensores del sistema generador eléctrico TV2**

## CAPÍTULO 2

### **2. RESULTADOS OBTENIDOS**

Se describe el método de diagnóstico que se aplica para el análisis de resultados, para luego presentar lo obtenido del monitoreo de descargas parciales realizado al generador eléctrico de la unidad TV2 de Central Termoeléctrica “ Ing. Gonzalo Zevallos Guzmán”.

#### **2.1 Parámetros a considerar para determinar el tipo de mecanismo de falla**

El tipo de mecanismo de falla se lo analiza en la curva denominada fase resuelta de acuerdo a tres parámetros importantes a considerar que son los siguientes:

- Polaridad este es el ángulo de fase en grados eléctricos con respecto a la red tiene relación con la ubicación de los huecos es decir con el tipo de daño esta puede ser positiva o negativa.[4]
- Magnitud de las descargas denominada Qm esta tiene relación con el tamaño del hueco o vacío existente en el aislamiento, lo que es lo mismo con la gravedad del daño y se lo mide en mV (milivoltios).[4]
- Cantidad de pulsos por segundo denominada NQN, esto es conteo de pulsos en unidad de tiempo (pps), tiene que ver con la cantidad de huecos o lo que es lo mismo con la extensión del daño.[4]

## 2.2 Representaciones gráficas de mecanismos de falla clásicos

En la Figura 2.1 se aprecia la curva en fase resuelta la cual muestra descargas presentes entre el aislamiento y el núcleo denominada descargas parciales en la ranura, la polaridad predominante positiva a los 225° eléctricos de muchas mayor magnitud que la polaridad negativa indicada en color verde.

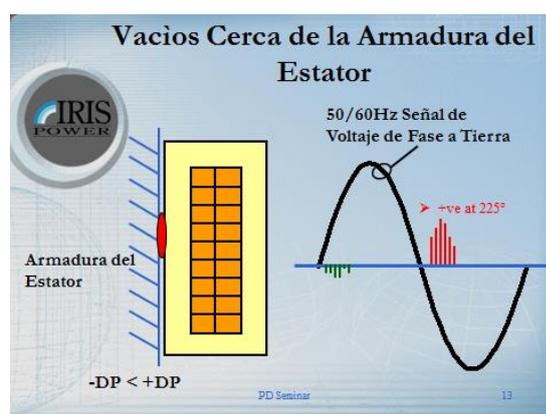
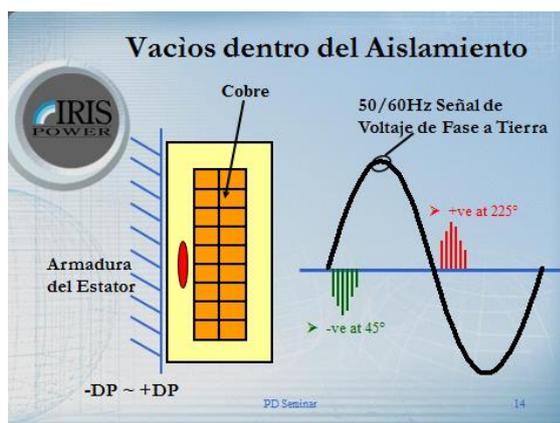


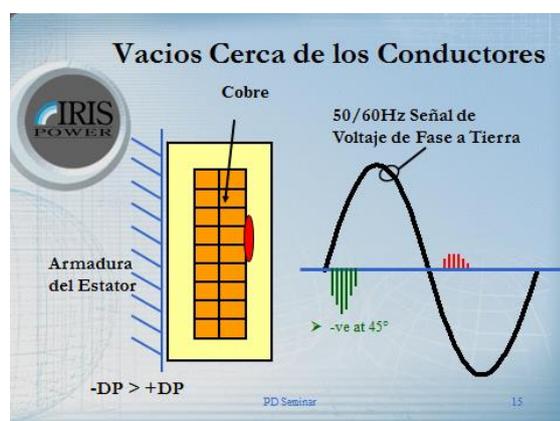
Figura 2.1. Representación gráfica de descarga a las ranuras.Fuente:[1]

En la Figura 2.2 se observa la igualdad de la magnitud de las descargas parciales ubicadas en el semiciclo positivo y negativo en  $225^\circ$  y  $45^\circ$  eléctricos respectivamente. Lo cual indica la existencia de descargas internas en el aislamiento principal.



**Figura 2.2. Representación gráfica de descargas internas. Fuente:[1]**

En la Figura 2.3 se puede observar que la magnitud de descargas parciales predomina en el semiciclo negativo esto es a  $45^\circ$  eléctricos, lo cual nos da la información de la existencia de descargas parciales entre el cobre y el aislamiento estos es cerca del conductor, también conocida como delaminación



**Figura 2.3. Representación gráfica descargas cerca del conductor. Fuente:[1]**

### 2.3 Resultados obtenidos del monitoreo en línea realizado al generador eléctrico de la unidad TV2.

Las tablas 5, 6, 7 y 8 presentan los resultados obtenidos del monitoreo en línea de descargas parciales por fase, realizado en el generador eléctrico de la unidad TV2, en el que se representa la magnitud de descargas parciales ( $Q_m$ ), los números de pulsos por segundo (NQN) en los semiciclos positivos y negativos. Un punto importante a observar en estas tablas es que se toma en cuenta para el análisis solo las magnitudes de U2, V2 y W2 (representan el acoplador capacitivo instalado uno en cada fase en el lado de alto voltaje del generador) ya que estos captan las señales de pulsos de descargas parciales, las otras magnitudes U1, V1 y W1 (representan el acoplador capacitivo instalado uno en cada fase en las barras lado sistema) estas captan señales de pulso que son consideradas ruido y se descartan. Los resultados son analizados más adelante en el subcapítulo 2.6.

RANGO	FECHA	ACOPLADOR	OFL	NQN -	NQN +	Qm - (mv)	Qm+ (mv)
256 mV	31/01/2013	U1	0	52	48	32	32
		U2	0	47	168	32	80
		V1	0	229	79	128	48
		V2	0	139	45	64	32
		W1	0	74	76	48	48
		W2	0	103	308	48	144
Potencia Activa= 69,9 MW		Potencia Reactiva= 32 MVAR			Temperatura estator= 60°C		
Presión de H2= 30 PSI							

**Tabla 5: Tabla de medición de descargas parciales realizadas el 31-01-2013**

RANGO	FECHA	ACOPLADOR	OFL	NQN -	NQN +	Qm - (mV)	Qm+ (mV)
320 mV	20/02/2013	U1	0	139	60	60	40
		U2	0	185	148	100	80
		V1	0	228	89	120	60
		V2	0	136	29	60	20
		W1	0	82	114	40	60
		W2	0	90	299	60	140
Potencia Activa= 67,86 MW		Potencia Reactiva= 31,46 MVAR			Temperatura estator= 60°C		
Presión de H2= 30 PSI							

**Tabla 6: Tabla de medición de descargas parciales realizadas el 20-02-2013**

RANGO	FECHA	ACOPLADOR	OFL	NQN -	NQN +	Qm - (mV)	Qm+ (mV)
320 mV	08/03/2013	U1	0	55	34	40	20
		U2	0	48	145	40	80
		V1	0	235	72	120	40
		V2	0	140	22	80	20
		W1	0	75	94	40	60
		W2	0	82	316	40	140
Potencia Activa= 69,28 MW		Potencia Reactiva= 20,11 MVAR			Temperatura estator= 67 °C		
Presión de H2= 28,4 PSI							

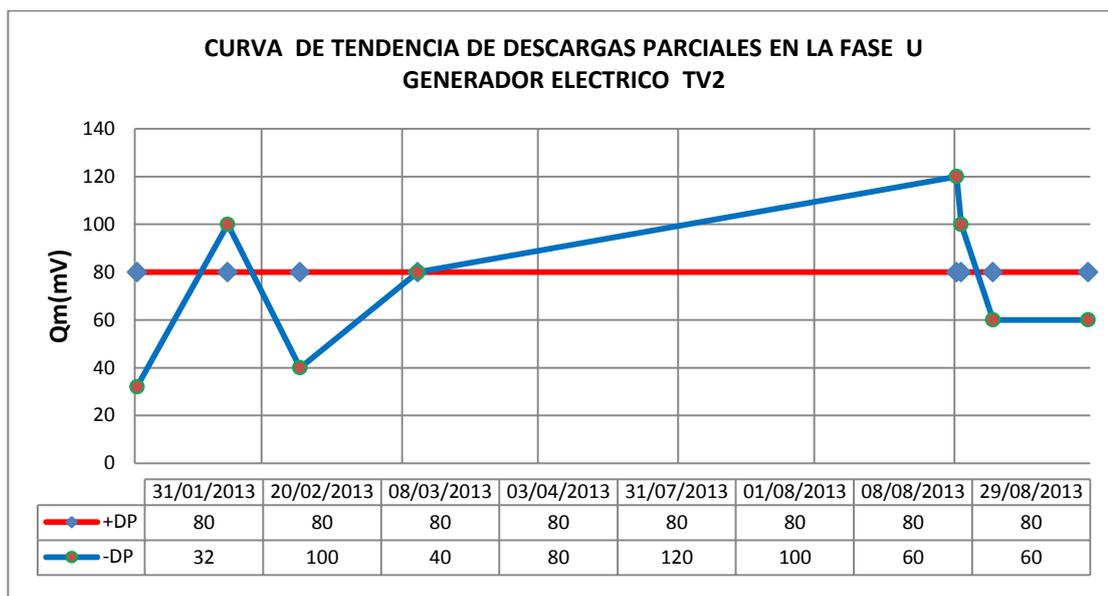
**Tabla 7: Tabla de medición de descargas parciales realizadas el 08-03-2013**

RANGO	FECHA	ACOPLADOR	OFL	NQN -	NQN +	Qm - (mV)	Qm+ (mV)
320 mV	31/07/2013	U1	1	208	141	80	60
		U2	0	239	206	120	80
		V1	0	281	86	140	40
		V2	0	176	57	100	40
		W1	0	113	144	60	60
		W2	0	124	391	60	200
Potencia Activa= 67,32 MW		Potencia Reactiva= 29,2 MVAR			Temperatura estator= 58 °C		
Presión de H2= 27,34 PSI							

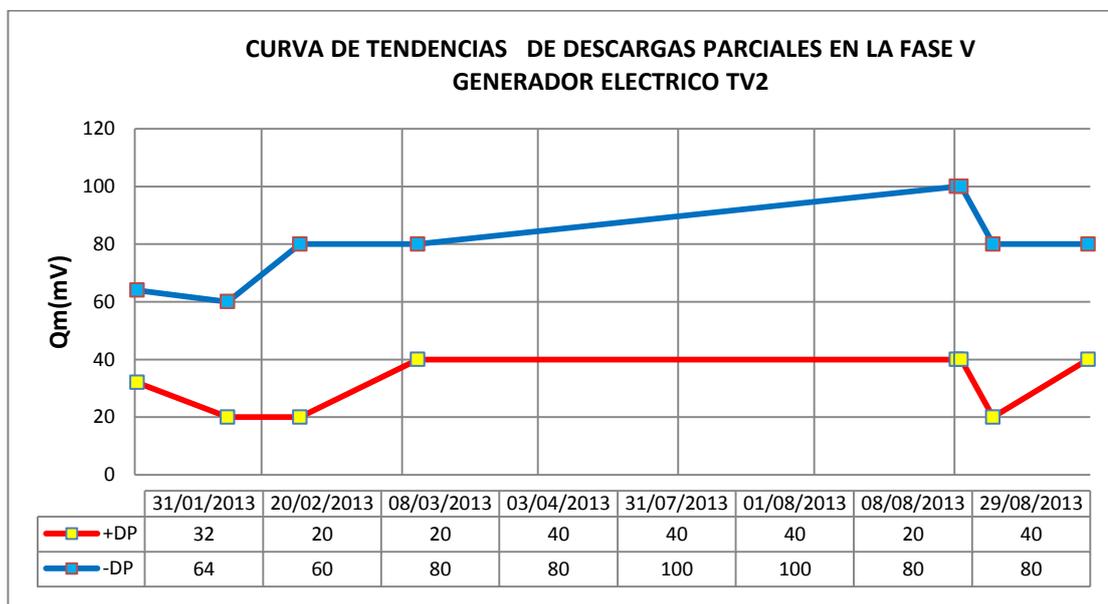
**Tabla 8: Tabla de medición de descargas parciales realizada el 31-07-2013**

#### **2.4 Curvas de tendencias de las descargas parciales y de número de pulsos.**

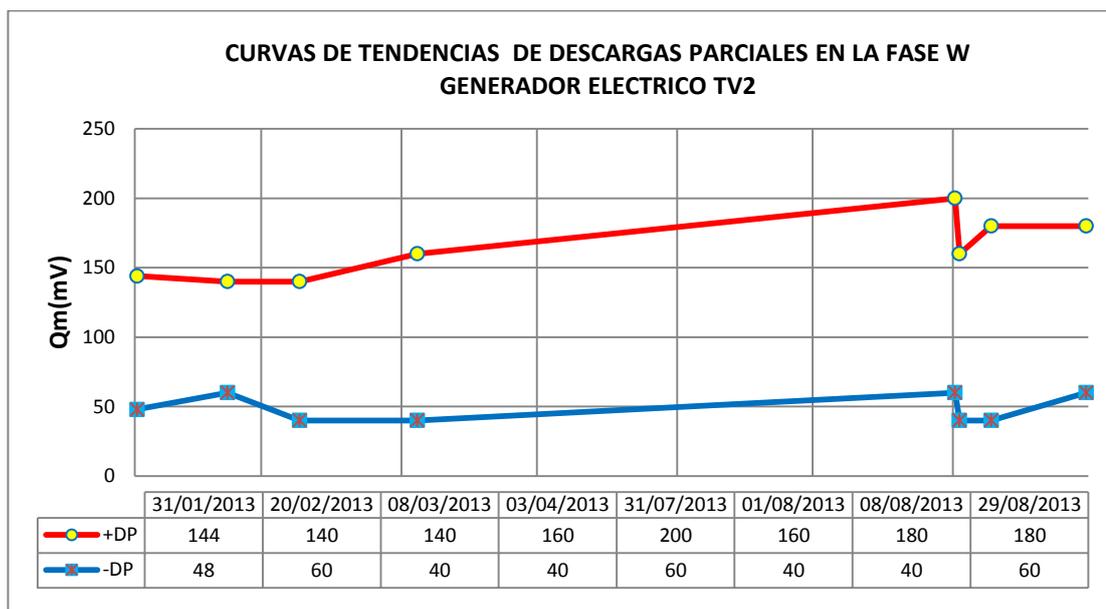
A continuación se presentan las curvas de tendencia por fase de la magnitud de las descargas parciales Figuras 2.4, 2.5 y 2.6, el número de pulsos por segundo Figuras 2.7, 2.8 y 2.9 obtenidas durante un período de tiempo de 6 meses. Para la creación de estas curvas se considera que las condiciones operativas del generador eléctrico en lo respecta a potencia activa, potencia reactiva, voltaje de línea, temperatura del estator y presión de hidrógeno sean lo más similares posible en los diferentes intervalos de tiempo que efectúen las mediciones, para de esta manera poder realizar una mejor comparación de los resultados obtenidos en el transcurso del tiempo. Las curvas obtenidas son analizadas más adelante en el subcapítulo 2.6.



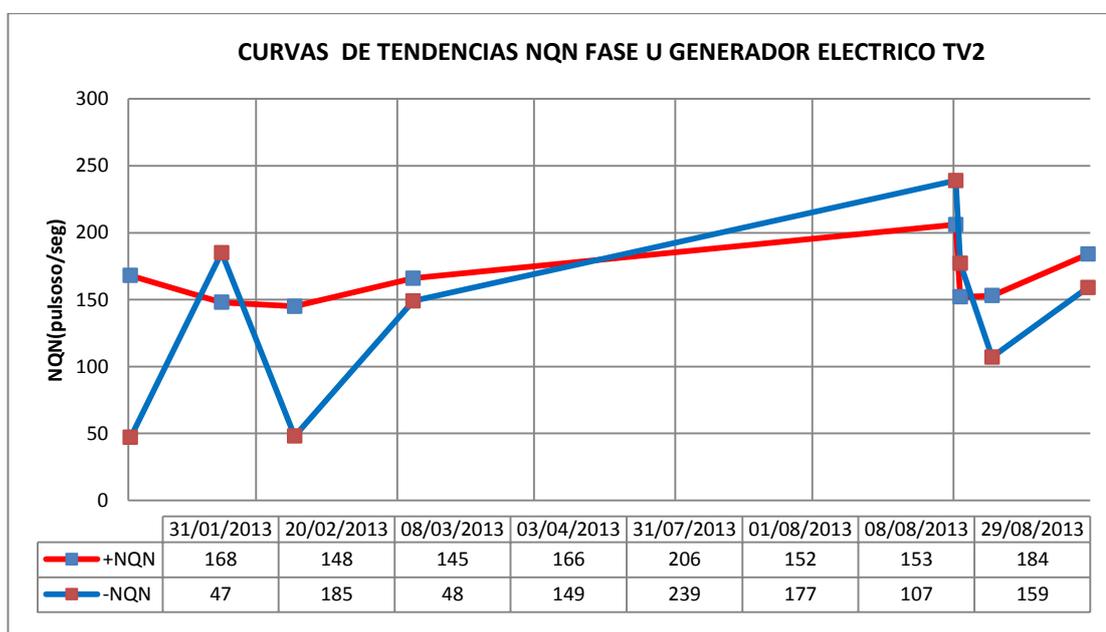
**Figura 2.4. Curvas de tendencias de descargas parciales en la fase U**



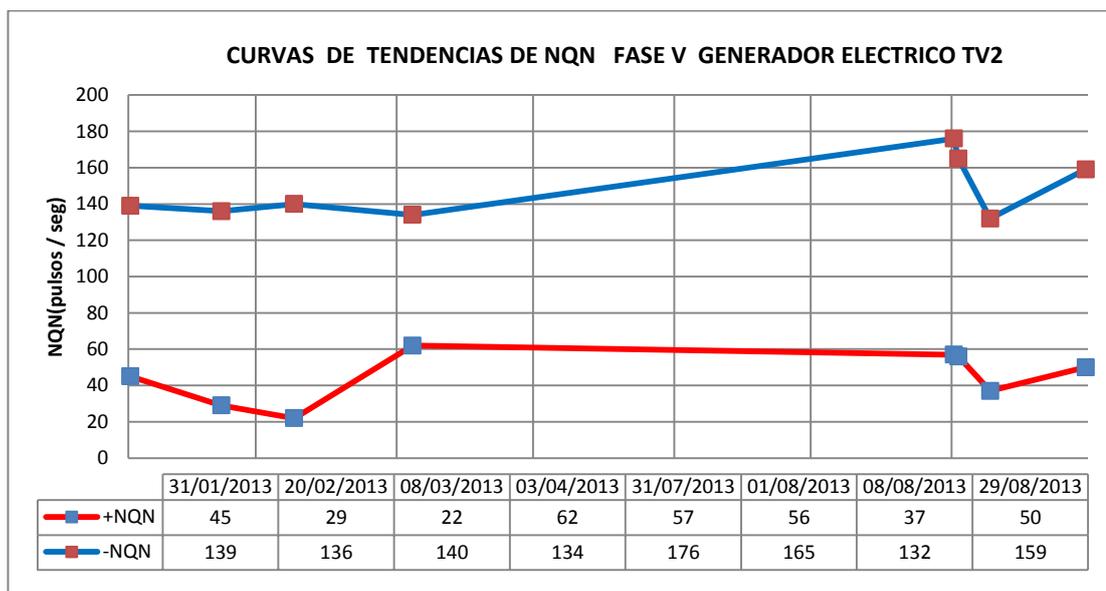
**Figura 2.5. Curvas de tendencias de descargas parciales en la fase V**



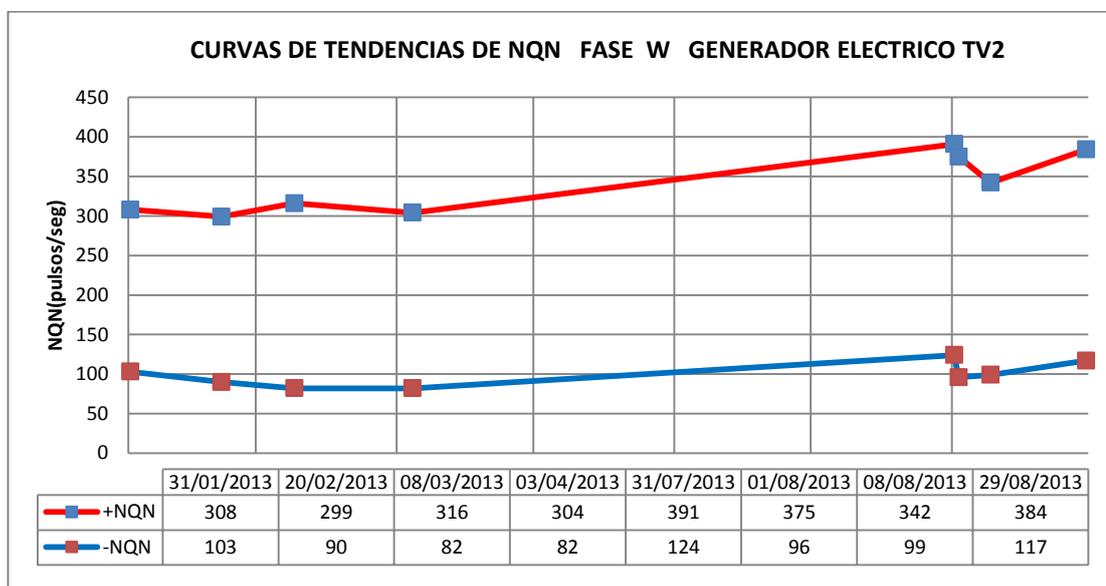
**Figura 2.6. Curvas de tendencias de descargas parciales en la fase W**



**Figura 2.7. Curvas de tendencias del número de pulsos de descargas fase U**



**Figura 2.8. Curvas de Tendencias del número de pulsos de descargas fase V**



**Figura 2.9. Curvas de Tendencias del número de pulsos de descargas fase W**



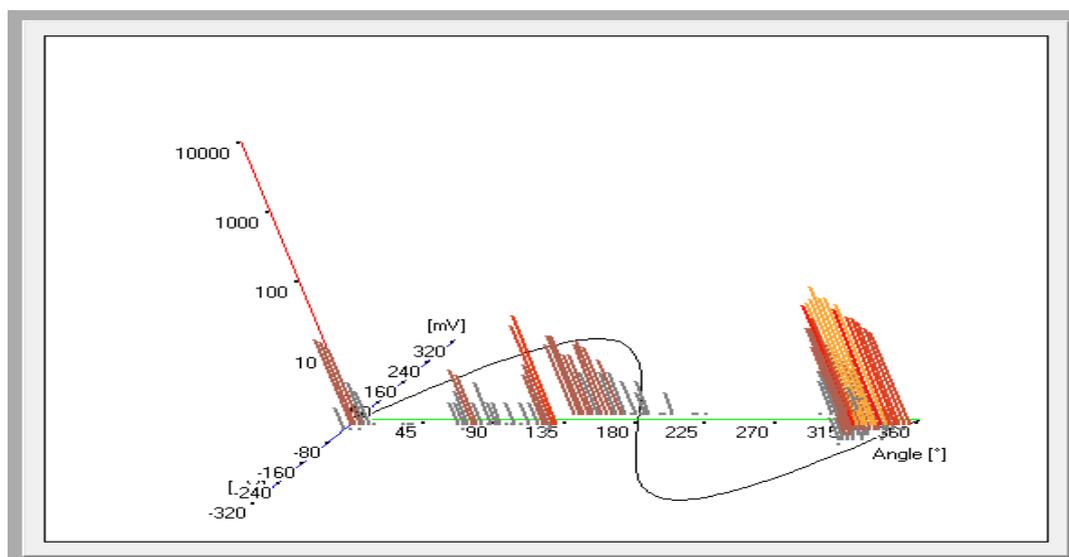


Figura 2.11. Gráfica obtenida en fase resuelta de las descargas en la fase V

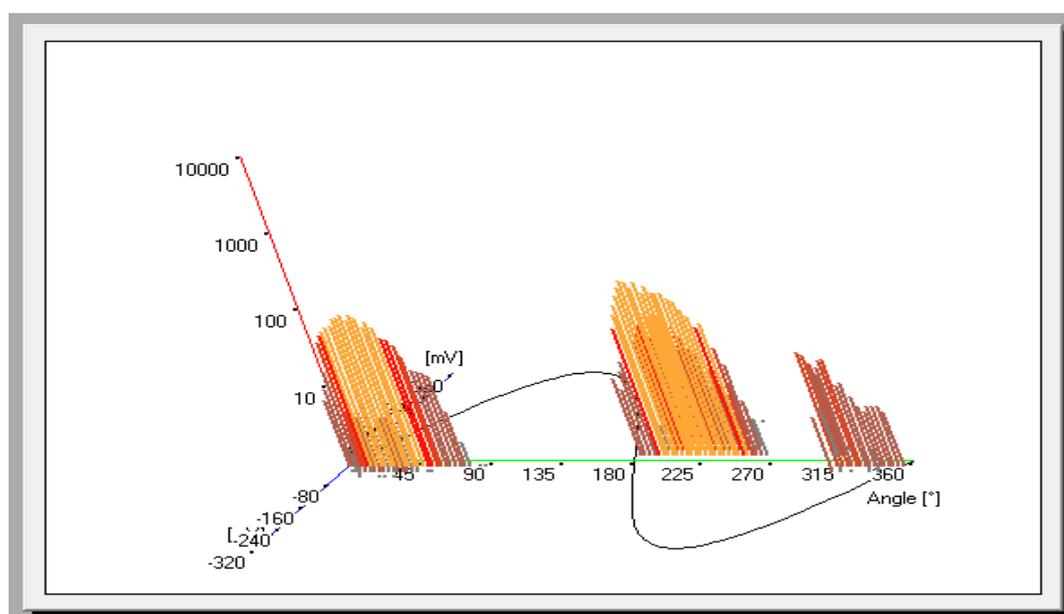


Figura 2.12. Gráfica obtenida en fase resuelta de las descargas en la fase W

## **2.6 Análisis de los resultados obtenidos del monitoreo en línea de las descargas parciales.**

Utilizando el software PDA Premium 120 II del equipo de monitoreo en línea se obtiene las gráficas de la Figura 2.10 en fase resuelta de la fase U, en la cual predomina la polaridad positiva a los  $225^\circ$  eléctricos con una magnitud de descarga parcial de 80 mV característico del mecanismo de falla de descargas a la ranura, producto del deterioro de la pintura semiconductora existente en la sección recta de las bobinas, debido a la falta de fijación de las bobinas en las ranuras por tener las cuñas flojas, al haber un constante movimiento de las bobinas por estar flojas durante el funcionamiento normal del generador esto deteriora la pintura semiconductora, que de mantenerse esta situación a lo largo del tiempo lo puede llevar a fallar al generador. En cuanto a la fase V según Figura 2.11 gráfica en fase resuelta, no predomina ninguna de las polaridades ya sea esta positiva o negativa y la ubicación en grados eléctricos de los pulsos de descargas parciales no es característico de ningún tipo de mecanismo de falla, además de que el nivel de magnitud de las descargas no son considerables en esta fase. La fase W de acuerdo a la Figura 2.12 denota un caso similar al de la fase U ya que en esta predomina también la polaridad positiva a los  $225^\circ$  eléctricos, con una magnitud 180 mV situación característica de descargas parciales a las ranuras. Haciendo un análisis global del estado del generador con los resultados obtenidos y complementando con las Tablas A1 y A2 presentadas en el anexo del presente trabajo, se determina que la fase más comprometida es la W debido a que su magnitud de descargas parciales de 180 mV entra en el rango del 95%

de generadores probados que tienen descargas parciales por debajo de 370 mV según Tabla A1, que por consiguiente la condición de esta fase posee un nivel de magnitud de descargas parciales alto de acuerdo a la Tabla A2. En lo que respecta a la fase U su magnitud de descarga parcial de 80 mV entra en el rango del 75% de generadores probados que tienen descargas parciales por debajo de 91 mV según Tabla A1, lo que indica que la condición de esta fase tiene un nivel de magnitud de descargas parciales medio a ser considerado en observación según Tabla A2. En vista de los antecedentes presentados y el tiempo de operación que tiene este generador 37 años es considerada una máquina en estado crítico debido al deterioro de su aislamiento, motivo por el cual se implementó el proyecto de monitoreo en línea de descargas parciales. En referencia al seguimiento de las tendencias de la magnitud de las descargas parciales hemos considerado para este estudio los resultados obtenidos en U2, V2 y W2 de las Tablas 5, 6, 7 y 8 ya que U1, V1 y W1 son magnitudes de pulsos de ruido las cuales se descartan. Dicho esto en lo que corresponde a la fase U según Figura 2.4 se ha mantenido su condición en estado de observación con una magnitud de 80 mV al igual que el NQN (número de pulsos) alrededor de 180 pulsos/seg indicadas en la Figura 2.7, en lo que respecta a la fase V de igual manera no hay cambios significativos en las tendencias tanto de descargas parciales como el número de pulsos NQN indicadas en las Figura 2.5 y Figura 2.8 respectivamente. La fase W mantiene su tendencia de nivel alto de magnitud de descarga parcial de 180 mV sin producirse incrementos de este valor, al igual que el NQN número de pulsos por segundos manteniéndose

en valores alrededor de 384 pulsos/seg., indicadas en las Figura 2.6 y Figura 2.9 respectivamente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Concluido este trabajo debo indicar que la nueva tecnología existente en este caso específico el de monitorear a un generador en sus condiciones normales de funcionamiento para determinar su estado, es de gran ayuda ya que podemos programar los mantenimientos de estos equipos solo cuando se requiere, evitando de esta manera pérdidas económicas por sacar fuera de servicio una máquina para mantenimiento rutinario.
2. El uso del equipo de monitoreo en línea de descargas parciales se ha transformado en una herramienta poderosa de diagnóstico en este caso aplicado a un generador eléctrico con problemas, lo que se podría considerar como un mantenimiento de tipo predictivo que ha permitido ahorrar tiempo y dinero manteniendo en funcionamiento al generador en sus parámetros operativos, que con el monitoreo en línea se evalúa la tendencia de crecimiento del problema existente, lo cual ayuda a

programar la reparación total del generador. Teniendo el tiempo suficiente para la adquisición de los repuestos necesarios, además de que se cuenta con el control al indicar de cuando es necesario parar o programar un mantenimiento emergente o preventivo.

### **Recomendaciones**

1. Investigar más sobre la problemática de las descargas parciales, usar la tecnología de monitoreo en línea de descargas parciales no solamente en generadores eléctricos, la cual se la puede aplicar a otros equipos de potencia como son transformadores, motores de media tensión y interruptores, ya que se sabe que todos estos equipos sufren deterioro de su aislamiento y de sus diferentes componentes con el tiempo por el uso, estrés de tipo eléctrico, mecánico y térmico al cual están sometidos durante su vida operacional.
2. Continuar con el monitoreo en línea de descargas parciales en el generador eléctrico de la unidad TV2, considerando que esta debe efectuarse en lo posible en condiciones operativas similares en lo respecta a voltaje de línea, potencia activa, reactiva ,temperatura y presión del gas Hidrógeno de acuerdo a las tolerancias indicadas en la Tabla A3 presentada en los anexos, para de esta manera poder comparar los resultados obtenidos y determinar la tendencia del deterioro del aislamiento con el tiempo. Es recomendable realizar este seguimiento periódico para el caso específico de esta máquina por lo menos cada mes debido a su estado crítico hasta que se realice la reparación integral del generador eléctrico ya programado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Iris Power Engineering Inc, Seminario de Descargas Parciales Modulo 1
- [2] Ing. Esparza Saucedo Marcos, Ing. Ponce de León Viedas Eugenio, Diagnóstico Integral del devanado del estator de generadores eléctricos, [www.cigre.org.mx/uploads/media/11-01.PDF](http://www.cigre.org.mx/uploads/media/11-01.PDF), Febrero 2015
- [3] Mitsubishi Electric Corporation, Operation Trouble Shooting and Maintenance of Equipment Electrical Volume E1.
- [4] Tabero Andrés, Rojas Pablo, Seminario Técnico de Descargas Parciales máquinas rotativas, [http:// www.unitronics-om/pdf/.../Sem\\_DP\\_unitronics\\_2008b.pdf](http://www.unitronics-om/pdf/.../Sem_DP_unitronics_2008b.pdf), febrero 2015
- [5] Akí Shuichi Dr., An Insulation Deterioration Diagnostic Method for Generators Windings Japan IERE Council , Febrero 1991
- [6] Adwel International Limited, PDA PREMIUM operating manual Canadá, febrero 2005

## ANEXOS

<b>RANGO DE VOLTAJE ( KV )</b>	<b>13 -15</b>
<b>PRESIÓN DE HIDRÓGENO ( PSI )</b>	<b>21-30</b>
<b>25%</b>	18 mV
<b>50%</b>	42 mV
<b>75%</b>	91 mV
<b>90%</b>	173 mV
<b>95%</b>	370 mV

**Tabla A1: Valores Qm para generadores enfriados con hidrógeno. Fuente:[2]**

Los valores indicados en la Tabla A1 se interpreta de la siguiente manera en el reglón de 25% significa que una cuarta parte de los generadores tienen descargas parciales por debajo de 18 mV en el rango de voltaje de 13 a 15 KV y presión de hidrogeno de 21 a 30 PSI y así sucesivamente hasta el reglón 95%. Esto significa que la gran mayoría de los generadores en la categoría 95% tienen valores por debajo de 370 mV.

<b>MÁQUINAS%</b>	<b>CONDICIÓN</b>
<b>&lt; 25%</b>	INSIGNIFICANTE
<b>&lt; 50%</b>	BAJO
<b>&lt; 75%</b>	MEDIO
<b>&lt; 90%</b>	MODERADO
<b>&lt; 95%</b>	ALTO
<b>&gt; 95%</b>	MUY ALTO

**Tabla A2: Condiciones típicas de generadores. Fuente:[1]**

<b>Parámetro</b>	<b>Tolerancia</b>
<b>Tensión del estator</b>	$\pm 200$ Voltios
<b>Carga</b>	$\pm 10\%$
<b>Potencia activa MW</b>	$\pm 10\%$
<b>Potencia reactiva MVAR</b>	$\pm 10\%$
<b>Temperatura del devanado</b>	$\pm 5$ °C
<b>Presión de gas</b>	$\pm 30$ kPa
<b>Modo de operación Generador/condensador</b>	Sin cambio

**Tabla A3: Tolerancias de medición de descargas parciales. Fuente:[2]**