



**UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ESTUDIO DEL ESTADO DE AISLAMIENTO DE LOS GENERADORES, A TRAVÉS  
DEL ANÁLISIS DE LAS DESCARGAS PARCIALES, EN LA CENTRAL  
GEOTÉRMICA DE BERLÍN USULUTÁN, EL SALVADOR**

**CARLOS ANTONIO LÓPEZ TURCIOS**

**TESIS PARA OBTAR AL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERO ELECTRICISTA**

**SAN SALVADOR 4 DE JUNIO 2011**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**ING. MARIO ANTONIO RUIZ RAMIREZ  
RECTOR**

**LIC. TERESA DE JESUS GONZÁLEZ DE MENDOZA  
SECRETARIA GENERAL**

**ING. ELBA PATRICIA CASTANEDO DE UMAÑA  
DECANO**

**EL SALVADOR C.A.**



Nº 25617

## Universidad Francisco Gavidia

Exp. 01/01-2010/03-IE

### ACTA DE LA DEFENSA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Acta número SETENTA Y UNO, en la sala UNO, del Edificio Administrativo, de la Universidad Francisco Gavidia, a las catorce horas, del día cuatro de junio del dos mil once; siendo estos el día y la hora señalada para la defensa oral del Proyecto de Investigación **“ESTUDIO DEL ESTADO DE AISLAMIENTO DE LOS GENERADORES, A TRAVES DEL ANALISIS DE LAS DESCARGAS PARCIALES, EN LA CENTRAL GEOTERMICA DE BERLIN USULUTAN, EL SALVADOR”**, presentado por el egresado: Carlos Antonio López Turcios, de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Y estando presente el interesado y el Jurado Evaluador, se procedió a dar cumplimiento a lo estipulado en el Reglamento General de Graduación y el Instructivo de Graduación por Proyecto de Investigación, habiendo llegado el Jurado, después de las exposiciones, el interrogatorio y las deliberaciones correspondientes, a pronunciarse por este fallo:

*Aprobado.*

Carlos Antonio López Turcios

Y no habiendo más que hacer constar, se da por terminada la presente.

Presidente/a

Ing. Carlos Alberto Najera

Vocal

Ing. José Ricardo Orantes

Vocal

Ing. Luis Alvarado Zamora

Egresado/a:

Carlos Antonio López Turcios

*“Tecnología, Innovación y Calidad”*

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo de investigación especialmente a mi hija Susan, ella es lo mejor que me ha pasado y vino a este mundo para darme el ultimo empujón para terminar mis estudios, es sin duda uno de mis principales móviles que me inspiran a esforzarme para el presente y el futuro.

A mis padres, porque creyeron en mi y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ellos, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mi esposa, hermanos, abuelos, tíos, primos y amigos gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

**LE DOY GRACIAS A DIOS**, por haber iluminado mi mente, por proveerme de todo lo necesario para la realización de este trabajo de graduación y por darme sabiduría para alcanzar mis propósitos.

**A MIS PADRES**, María Elba Turcios de López y Carlos Antonio López, por el apoyo incondicional que me han brindado en este paso importante de mi vida

**A MI ASESOR**, ing. José Roberto Cortez por haber depositado su confianza en mí, para la realización de este proyecto de investigación y por orientarme debidamente en este proceso de grado que hoy finalizo con gran éxito.

**A LaGeo**, por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de investigación en sus instalaciones y haberme brindado las herramientas necesarias para llevarlo a cabo.

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
RESUMEN .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	xix
1. Planteamiento del problema .....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Enunciado del problema.....	2
1.3 Justificación del problema .....	3
1.4 Delimitación temporal-espacial-social .....	4
1.4.1 Temporal .....	4
1.4.2 Espacial .....	4
1.4.3 Social.....	5
1.5 Formulación de objetivos .....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Alcances y limitaciones .....	6
1.6.1 Alcances .....	6
1.6.2 Limitaciones.....	7
2. Marco de referencia.....	8
2.1 Principio de generación.....	8
2.1.1 Voltaje inducido en un conductor.....	8
2.1.2 Voltaje inducido en una bobina.....	8
2.2 Generador síncrono .....	11
2.2.1 Descripción del generador síncrono .....	11

2.2.2	Velocidad de rotación .....	13
2.2.3	Efecto reacción del inducido .....	13
2.2.4	Regulador automático de voltaje (AVR).....	16
2.2.5	Clasificación de los generadores síncronos .....	18
2.2.5.1	Clasificación por la posición de su flecha.....	18
<b>2.2.5.1.1</b>	<b>Posición horizontal</b> .....	18
<b>2.2.5.1.2</b>	<b>Posición vertical</b> .....	21
2.2.5.2	Clasificación por la forma de sus polos .....	22
<b>2.2.5.2.1</b>	<b>Rotor de polos salientes</b> .....	22
<b>2.2.5.2.2</b>	<b>Rotor cilíndrico o de polos lisos</b> .....	22
2.2.6	Devanados de las maquinas síncronas .....	23
2.2.6.1	Grupo polar de bobinas.....	24
<b>2.2.6.1.1</b>	<b>Devanado</b> .....	25
2.2.6.2	Conexión trifásica.....	27
2.2.6.3	Clasificación de los devanados .....	28
2.2.6.4	Embobinado por medio de barras Roebel.....	30
2.2.7	Aislante de bobinas .....	31
2.2.7.1	Sistema de aislamiento de las bobinas del rotor .....	32
2.2.7.2	Sistema aislante de las bobinas del estator .....	33
<b>2.2.7.2.1</b>	<b>Interfases del sistema aislante</b> .....	34
<b>2.2.7.2.1.1</b>	<b>Interfases microscópicas</b> .....	36
<b>2.2.7.2.1.2</b>	<b>Interfases macroscópicas</b> .....	37
2.2.7.3	La mica .....	38
2.2.7.4	Tipos de sistemas aislantes .....	39
<b>2.2.7.4.1</b>	<b>Sistemas aislantes termoplásticos</b> .....	40
<b>2.2.7.4.2</b>	<b>Sistemas aislantes termofijos</b> .....	41
2.2.8	Clase de aislamiento .....	42
2.3	Descargas parciales.....	42

2.3.1	Causa de las descargas parciales .....	43
2.3.2	Descripción del proceso de las descargas parciales .....	44
2.3.3	Efectos físicos.....	46
2.3.3.1	Métodos directos.....	47
2.3.3.2	Métodos indirectos .....	47
2.3.4	Factores que afectan el registro de las descargas parciales .....	47
2.3.5	Modelación del fenómeno.....	48
2.3.5.1	Circuito eléctrico equivalente .....	49
2.4	Pruebas de diagnóstico del devanado del estator.....	50
2.4.1	Pruebas fuera de línea off-line.....	50
2.4.1.1	Inspección visual.....	50
2.4.1.2	Pruebas eléctricas.....	51
2.4.1.2.1	<b>Resistencia de aislación e índice de polarización (IP)</b> .....	52
2.4.1.2.2	<b>Prueba de tangente delta y “tip-up”</b> .....	56
2.4.1.2.3	<b>Capacitancia</b> .....	57
2.4.1.2.4	<b>Descargas parciales Off –Line</b> .....	58
2.4.1.2.5	<b>Prueba de ELCID</b> .....	61
2.4.1.2.6	<b>Flujo Nominal, en AC</b> .....	62
2.4.1.2.7	<b>Prueba de alto potencial</b> .....	63
2.4.1.2.8	<b>Ensayo “Black-out”. Inspección Ultravioleta</b> .....	64
2.4.1.2.9	<b>Detección de Ozono O3</b> .....	64
2.4.1.2.10	<b>Prueba de circuito de Alta Potencia de Flujo (TOROIDE/TERMOVISION)</b> .....	65
2.4.2	Pruebas en línea (on-line) .....	65
2.4.2.1	Descargas parciales on-line .....	65
2.4.2.1.1	<b>Equipo de medición</b> .....	66
2.4.2.2	Gráfica de altura de pulso y magnitud de descargas parciales .....	68
2.4.2.3	Predominio de pulsos.....	72
2.4.2.3.1	<b>No predominancia de polaridades</b> .....	73

2.4.2.3.2	<b>Predominancia de polaridad negativa</b> .....	74
2.4.2.3.3	<b>Predominancia de polaridad positiva</b> .....	75
2.4.2.4	Efecto de la contaminación .....	77
2.4.2.5	Efecto de las variaciones de carga ó temperatura .....	77
2.4.2.6	Tendencia .....	80
2.4.2.7	Método de comparación.....	81
2.4.2.8	NQN .....	82
2.4.3	Comparación de ensayos Off-line vs. On-line, de descargas parciales.	83
2.4.4	Acciones a tomar tras la interpretación.....	83
2.4.4.1	Máquina en buen estado.....	83
2.4.4.2	Máquina con problemas.....	83
3.	Formulación de hipótesis .....	85
3.1	Hipótesis general.....	85
3.2	Hipótesis específicas.....	85
4.	Metodología de la investigación.....	90
4.1	Descripción de actividades.....	90
4.2	Selección y diseño del tipo de investigación .....	91
4.3	Descripción de la población .....	91
4.4	Muestra de la población .....	95
4.5	Diseño muestral .....	95
4.6	Calculo del tamaño de la muestra.....	95
4.7	Estimación de los parámetros poblacionales .....	96
5.	Recolección de datos .....	97
5.1	Técnicas e Instrumentos de Investigación .....	97
5.2	Elaboración de instrumentos de investigación .....	97
5.3	Aplicación de los instrumentos de investigación .....	98

5.4	Proceso de recolección de datos .....	99
6.	Análisis e interpretación de resultados .....	100
6.1	Tabulación de datos .....	101
6.2	Base de datos de referencia .....	122
6.3	Análisis e interpretación del generador 1 .....	127
6.3.1	Comparación de la última prueba .....	127
6.3.2	Análisis de las gráficas de distribución y altura de pulso .....	128
6.3.3	Tendencias del generador 1 .....	132
6.4	Análisis e interpretación del generador 2 .....	134
6.4.1	Comparación de la última prueba .....	134
6.4.2	Análisis de las gráficas de distribución y altura de pulso .....	134
6.4.3	Tendencias del generador 2 .....	139
6.5	Análisis e interpretación del generador 3 .....	143
7.	Conclusiones y recomendaciones .....	148
7.1	Conclusiones.....	148
7.2	Recomendaciones.....	148
7.2.1	Recomendaciones para el generador 1 .....	148
7.2.2	Recomendaciones para el generador 2.....	149
7.3	Aportaciones .....	150
8.	Propuesta .....	151
8.1	Descripción .....	151
8.2	Objetivos de la propuesta.....	151
8.2.1	Objetivo general.....	151
8.2.2	Objetivos específicos.....	151
8.3	Justificación de la propuesta .....	152
8.4	Nombre de la propuesta.....	152
8.4.1	Matlab 7.8.....	153

8.4.2	Uso del Help .....	159
8.4.3	Entorno de trabajo Matlab 7.8.....	164
8.4.4	Interfaz gráfica de usuario en Matlab (GUIDE) .....	167
8.4.4.1	Funcionamiento de una aplicación GUI .....	171
8.4.4.2	Manejo de datos entre elementos de la aplicación y el archivo.m	171
8.4.4.3	Definición de funciones .....	173
8.4.5	Programación de Matlab 7.8.....	175
8.4.5.1	Bifurcaciones y bucles .....	175
8.4.5.2	Sentencia if .....	176
8.4.5.3	Sentencia switch .....	178
8.4.5.4	Sentencia for .....	178
8.5	Delimitación.....	179
8.6	Programa menú .....	180
8.6.1	Descripción del programa menú.....	180
8.6.2	Programación del menú.....	181
8.7	Programa comparación .....	183
8.7.1	Descripción del programa comparación .....	183
8.7.2	Programación de comparación .....	184
8.7.2.1	Push Button Datos de referencia .....	186
8.7.2.2	Push Button RESET.....	187
8.7.2.3	Push Button %negativo .....	188
8.7.2.4	Push Button RESET Qmax- .....	192
8.7.2.5	Push Button % positivo .....	196
8.7.2.6	Push Button RESET Qmax+ .....	199
8.8	Programa localización .....	204
8.8.1	Descripción.....	204

8.8.2	Programación .....	204
8.8.2.1	Push Button Analizar.....	205
8.8.2.2	Panel 1.....	209
8.8.2.3	Panel 2.....	210
8.9	Programa tendencias .....	211
8.9.1	Descripción.....	211
8.9.2	Programación .....	212
8.9.2.1	Push Button GENERADOR 1.....	213
8.9.2.2	Push Button GENERADOR 2.....	219
8.9.2.3	Push Button GENERADOR 3.....	223
9.	Protocolo de analisis descargas parciales .....	227
	Bibliografía .....	237
	GLOSARIO TECNICO .....	239
	ANEXOS A: Diagramas de instalaciones de los acopladores .....	244
	ANEXOS B: Generadores .....	246
	ANEXOS C: Marca y modelo del equipo .....	248
	ANEXOS D: PDA Premium 120 II .....	249
	ANEXOS E: Conexiones del PDA Premium con el generador.....	260

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación geográfica de la planta geotérmica Berlín .....	4
Figura 1-2. Planta Geotérmica de Berlín .....	4
Figura 2-1. Voltaje inducido en un conductor que se mueve a través de un campo magnético.....	8
Figura 2-2. Campo magnético giratorio .....	9
Figura 2-3. Vector de campo magnético .....	9
Figura 2-4. Partes principales de una máquina eléctrica rotativa de pares de polos p...	12
Figura 2-5. Generador tipo BDAX7-290ERH.....	12
Figura 2-6. Rotor cilíndrico o de polos no salientes en una maquina síncrona .....	12
Figura 2-7. Rotor de seis polos salientes en una maquina síncrona .....	13
Figura 2-8. Desarrollo de un modelo para la relación de inducido parte 1 .....	14
Figura 2-9. Desarrollo de un modelo para la relación de inducido parte 2 .....	14
Figura 2-10. Generador de imanes permanentes (PMG) .....	15
Figura 2-11. Sistema de excitación .....	16
Figura 2-12. Esquema típico de un sistema de excitación .....	17
Figura 2-13. Plantas termoeléctricas con enfriamiento de H2.....	18
Figura 2-14. Planta de gas .....	18
Figura 2-15. Planta diesel .....	19
Figura 2-16. Diagrama de planta geotérmica .....	20
Figura 2-17. Planta termoeléctrica .....	20
Figura 2-18. Planta hidroeléctrica con generador horizontal .....	21
Figura 2-19. Generador de planta hidroeléctrica de alta capacidad, baja velocidad .....	21
Figura 2-20. Rotor de polos salientes.....	22
Figura 2-21. Rotor de polos lisos para turbogenerador de alta capacidad .....	22

Figura 2-22. Un conductor por costado .....	23
Figura 2-23. Bobina de cuatro espiras por costado.....	23
Figura 2-24. Sección transversal de una bobina multivuelta .....	24
Figura 2-25. Grupo polar de bobinas.....	24
Figura 2-26. Fase en conexión serie .....	25
Figura 2-27. Fase con conexión de 4 grupos en paralelo .....	26
Figura 2-28. Fase con 2 grupos en serie, en dos ramas en paralelo .....	26
Figura 2-29. Devanados separados 120 grados eléctricos .....	27
Figura 2-30. Conexión estrella .....	27
Figura 2-31. Diagrama fasorial de tensiones de fase y entre fases.....	28
Figura 2-32. Dos costados de bobina /ranura .....	28
Figura 2-33. Un costado de bobina /ranura.....	28
Figura 2-34. Una bobina siendo insertada en dos ranuras.....	29
Figura 2-35. Vista de las posiciones de las bobinas dentro del estator, para formar una fase, con un devanado de dos capas.....	29
Figura 2-36. Estator de un turbogenerador embobinado por medio de barras Roebel .	30
Figura 2-37. Cortes transversales de ranuras que contienen: (a) bobinas multivoltas de forma partida. (b) barras de Roebel enfriadas directamente .....	31
Figura 2-38. Arreglo típico de aislamiento de bobinas del estator.....	35
Figura 2-39. Final de vuelta de las bobinas.....	36
Figura 2-40. Esquema de interfases microscópicas sólido-sólido y sólido- gas en un sistema aislante.....	36
Figura 2-41. Mica moscovita en su estado natural.....	38
Figura 2-42. Tecnología aislante Thermalastic.....	39
Figura 2-43. Árbol formado por descarga parcial en polímeros .....	43

Figura 2-44. Ejemplo de bolsas de aire entre laminaciones del aislamiento .....	43
Figura 2-45. Cavidades en aislamiento debido a defectos en el proceso de fabricación .....	44
Figura 2-46. Diagrama representativo .....	45
Figura 2-47. Modelo de un aislante sólido con falla .....	48
Figura 2-48. Circuito eléctrico equivalente para un aislante sólido con falla .....	49
Figura 2-49. Circuito eléctrico simplificado. Modelo ABC .....	49
Figura 2-50. Equipo de prueba, representación en el plano .....	57
Figura 2-51. Ensayo de flujo reducido EL-CID mediante el uso de vehículo robotizado .....	62
Figura 2-52. Diagrama de circulación de corriente a través de un daño en las laminaciones hasta el soporte de las mismas .....	63
Figura 2-53. Prueba Black-out a un estator con CoroCam MultiCam UV/IR .....	64
Figura 2-54. Proceso físico-químico de generación del ozono en máquinas de ventilación abierta .....	64
Figura 2-55. Acopladores capacitivos de 80 pF para 6.9kV, 16kV y 25kV, frecuencias > 40 MHz contruidos en resina epóxica y mica .....	66
Figura 2-56. Fijación de captadores según la máquina, cableado e instalación de la caja de terminales .....	66
Figura 2-57. Diagrama de instalación de acopladores, en forma diferencial .....	67
Figura 2-58. Equipo PDA Premium .....	67
Figura 2-59. Gráfica 2D de altura de pulso .....	69
Figura 2-60. Ubicación de Qmax en la grafica de altura de pulsos .....	69
Figura 2-61. B mayor magnitud que A .....	70
Figura 2-62. B más pulsos por segundo que A .....	70

Figura 2-63. Gráfica típica en medición en línea, de altura de pulso en dos dimensiones .....	71
Figura 2-64. Polaridades clásicas de las descargas parciales con respecto a la frecuencia de red.....	72
Figura 2-65. Ningún predominio de pulsos.....	73
Figura 2-66. Descargas parciales entre barras por falta de un separador .....	74
Figura 2-67. Descargas parciales debido a espacio insuficiente entra barras .....	74
Figura 2-68. Predominio negativo de pulsos .....	75
Figura 2-69. Delaminación interna, predominio negativo de pulsos .....	75
Figura 2-70. Predominio positivo de pulsos .....	76
Figura 2-71. Deterioro de la cubierta semiconductor de la bobina causante de un predominio positivo de pulsos .....	76
Figura 2-72. Descarga de ranura en barra estática próxima al final de la ranura (slot) .....	76
Figura 2-73. Descargas en las salidas de las ranura .....	77
Figura 2-74. Devanado flojo .....	78
Figura 2-75. Grafica en 3D .....	79
Figura 2-76. Ejemplo de tendencia.....	81
Figura 2-77. Grafica de NQN.....	82
Figura 6-1. Representación gráfica de la descarga y almacenamiento de datos .....	100
Figura 6-2. Porcentaje de máquinas rotatorias probadas.....	123
Figura 6-3. Gráfica correspondiente a la ecuación 6.4.....	127
Figura 6.4. Esquema de colores usado en la superficie de la gráfica de distribución .	128
Figura 6-5. Gráfica de distribución A2, 21/09/2010 .....	128
Figura 6-6. Altura de pulso A2, 21/09/2010.....	129

Figura 6-7. Posible ubicación de las descargas parciales en la fase A, del Generador 1 .....	129
Figura 6-8. Grafica de distribución B2, 21/09/2010 .....	130
Figura 6-9. Altura de pulso B2, 21/09/2010.....	130
Figura 6-10. Posible ubicación de las descargas parciales en la fase B, del Generador 1 .....	131
Figura 6-11. Grafica de distribución C2, 21/09/2010 .....	131
Figura 6-12. Altura de pulso C2, 21/09/2010.....	131
Figura 6-13. Tendencia de Qmax, desde el 10 de marzo 2008 al 21 de septiembre 2010, Generador 1 .....	132
Figura 6-14. Tendencia de NQN, desde el 10 de marzo 2008 al 21 de septiembre 2010 Generador 1 .....	133
Figura 6-17. Posible ubicación de las descargas parciales en fase A, del .....	136
Generador 2 .....	136
Figura 6-18. Grafica de distribución B2, 18/10/2010 .....	136
Figura 6-19. Altura de pulso B2, 18/10/2010.....	137
Figura 6-20. Posible ubicación de las descargas parciales en fase B, del .....	137
Generador 2 .....	137
Figura 6-21. Grafica de distribución C2, 18/10/2010 .....	138
Figura 6-22. Altura de pulso C2, 18/10/2010.....	138
Figura 6-23. Posible ubicación de las descargas parciales en la fase C, del Generador 2 .....	139
Figura 6-25. Tendencia de NQN, desde el 26 de noviembre 2007 al 18 de octubre 2010 Generador 2 .....	140
Figura 6-26. Grafica de distribución A2, generador 2, 21/09/2010 .....	142
Figura 8-1. Escritorio de Matlab 7.8 .....	154

Figura 8-2 Menú Start/Matlab.....	156
Figura 8-3 Menu Start/Desktop Tools.....	156
Figura 8-4 tres instrucciones para sacar tres matrices.....	157
Figura 8-5 gráfico de la función seno de x .....	158
Figura 8-6 Menú Help de Matlab 7.8 .....	159
Figura 8-7 menu Product Help .....	161
Figura 8-8 Help, Using the Desktop .....	162
Figura 8-9 demostraciones de operaciones matemáticas .....	163
Figura 8-10 ayuda por medio de helpwin en el Command Window .....	163
Figura 8-11 muestra la ayuda de la funcion min.....	164
Figura 8-12. Configuración por defecto del Matlab Desktop .....	166
Figura 8-13. Menú para configurar el Matlab Desktop .....	166
Figura 8-14. Icono GUIDE .....	167
Figura 8-15. Ventana de inicio de GUI .....	167
Figura 8-16. Entorno de diseño de GUI.....	168
Figura 8-17. Entorno de diseño: componentes etiquetados .....	169
Figura 8-18. Opciones del componente .....	170
Figura 8-19. Entorno Property Inspector .....	170
Figura 8-20. Ejemplos gráficos de bifurcaciones.....	175
Figura 8-21. Bucles con control al principio y al final.....	176
Figura 8-22. Creación de interfaz grafica .....	181
Figura 8-23. Interfaz grafica del menu.....	182
Figura 8-24. Interfas grafica, comparación.fig .....	185
Figura 8-25. Tags del archivo comparación.fig.....	185
Figura 8-26 bifurcacion con dos bloques.....	189

Figura 8-27. Interfas gráfica, localización.fig .....	204
Figura 8-28. Tags del archivo localización.fig.....	205
Figura 8-29 Bifurcación con un bloque.....	205
Figura 8-30. Bifurcación con seis bloques.....	207
Figura 8-31 Interfas grafica, tendencias.fig .....	212
Figura 8-32. Tags del archivo tendencias.fig.....	213
Figura 8-33. Primeras dos pruebas del generador 1 .....	214
Figura 8-34. Matriz1 .....	214

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Clase de aislamiento .....	42
Tabla 2-2. Valores mínimos recomendados para el IP basados en la clase termal de los materiales de aislamiento de acuerdo con la norma IEC 60085-01 .....	55
Tabla 2-3. Valores de resistencia de aislamiento e índice de polarización mínimos establecidos la CFE .....	55
Tabla 2-4. Valores de Tangente $\delta$ y Tip-up recomendados por la CFE .....	57
Tabla 2-5. Criterio general para el seguimiento de las descargas parciales fuera de línea adoptado por la CFE .....	60
Tabla 2-6. Criterios de evaluación para la prueba EL CID .....	62
Tabla 2-7. Criterios de evaluación para la prueba de alta potencia de flujo .....	65
Tabla 2-8. Mecanismos de falla más comunes del aislamiento.....	79
Tabla 2-9. Las variaciones permisibles para que la tendencia sea correcta .....	80
Tabla 2-10. Ejemplo real de las estadísticas de Qmax .....	82
Tabla 2-11. Ensayos On-Line vs Off-Line .....	83
Tabla 3-1. Matriz de congruencia .....	89
Tabla 4-1. Datos de placa del generador 1 .....	92
Tabla 4-2. Datos de placa del generador 2 .....	93
Tabla 4-3. Datos de placa del generador 3 .....	94
Tabla 6-1. Presentación de resultados del estudio de campo del generador 1 .....	108
Tabla 6-2. Presentación de resultados del estudio de campo del generador 2.....	117
Tabla 6-3. Presentación de resultados del estudio de campo del generador 3.....	122
Tabla 6-4. Qmax evaluados en turbogeneradores enfriados por aire, correspondiente al año 2009.....	124
Tabla 6-5. Prueba tomada al generador 1 el 21 de septiembre del 2010.....	127

Tabla 6-6. Prueba tomada al generador 2 el 18 de octubre del 2010 .....	134
Tabla 6-7. Resumen de pruebas realizadas al devanado del generador 2 .....	141
Tabla 6-8. Prueba tomada al generador 3 el 21 de septiembre del 2010.....	143
Tabla 6-9. Matriz de congruencia con la resolución de hipótesis .....	147
Tabla 8-1. Herramientas de GUI .....	169
Tabla 8-2. Descripción de los componentes .....	169
Table 8-3. Colores, markers y estilos de línea .....	174

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se divide en ocho capítulos entre los cuales están:

El capítulo dos que incluye teoría de generación de energía eléctrica, clasificación de los generadores, devanados, sistemas de aislamiento, teoría de descargas parciales, pruebas de diagnóstico de devanados. La teoría planteada en este capítulo sirve para que el lector tenga una mejor comprensión de la construcción y funcionamiento de los generadores así como del método usado para hacer el análisis e interpretación de resultados.

En el capítulo cuatro se describe las actividades que se realizaron para el desarrollo de esta investigación así como la forma en que se escogió la muestra y la descripción de la población, en este caso son los generadores 1, 2 y 3 de la planta geotérmica de Berlín.

En el capítulo cinco se describe el instrumento de investigación principal, este es el equipo PDA Premium, este sirve para medir la actividad de descargas parciales en los generadores.

En el capítulo seis se interpretan los resultados obtenidos durante la investigación de campo, en este capítulo se pone en práctica la teoría descrita en el marco de referencia para interpretar las descargas parciales y poder dar las conclusiones y recomendaciones en el capítulo siete.

En el último capítulo se da una propuesta que sirva para facilitar el análisis de las descargas parciales y así poder determinar el tipo de daño y causa de este.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al estudio del estado de aislamiento de los generadores, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín. Que se puede definir como un estudio que se hace por medio de un método que sirve para determinar el daño en el aislamiento de las bobinas del estator, causado por diversos factores, y que se realiza cuando los generadores están operando normalmente.

La característica principal de este tipo de estudio es que el método de análisis determina el tipo de daño en el aislamiento y las posibles causas que lo provocan. Para analizar este tipo de problema es necesario primero informarse sobre la construcción del aislamiento, sus diferentes interfases, construcción de bobinados y otras pruebas de aislamiento.

Esta investigación está enfocada en analizar e interpretar las descargas parciales, para dar las recomendaciones y conclusiones acerca del estado de aislamiento de los generadores. Esta investigación es de tipo explicativo con diseño experimental, ya que se medirá y se describirá un fenómeno detallándolo a través de un análisis, el cual es un estudio en que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que tal manipulación ejerce sobre una o más variables dependientes dentro de una situación de control para el investigador.

La limitación de este tipo de método es que no señala la ubicación exacta del daño, sino la zona del aislamiento en que se está produciendo, el método usado para hacer el análisis de las descargas parciales se basa en la experiencia del fabricante de equipos de medición de descargas parciales, instituciones dedicadas a la investigación de pruebas y normas eléctricas.

## 1. Planteamiento del problema

### 1.1 Descripción del problema

En El Salvador existen empresas que se dedican al rubro de la generación de energía eléctrica y los generadores son uno de los principales componentes de todo el sistema eléctricos de potencia, por lo tanto cuando estos fallan se originan grandes pérdidas para dichas compañías eléctricas, ya que dejan de generar niveles importantes de energía. Por el alto nivel de potencia que manejan los generadores están sujetos a esfuerzos eléctricos, mecánicos, térmicos y ambientales que deterioran gradualmente sus componentes y que en caso extremo pueden llevarlos a fallar. En un generador se pueden dar diferentes fallas pero el presente trabajo de investigación se enfoca en el fenómeno de las descargas parciales, las cuales pueden provocar una falla completa en el generador si no es monitoreada constantemente. Las descargas parciales se producen a partir de defectos en el aislamiento de las bobinas de los generadores, cuando estas aumentan, acortan el tiempo de vida del aislamiento y causan una serie de interferencias con las medidas, control y comunicaciones eléctricas. Por lo tanto las descargas parciales pueden llegar a ser la causa de serias pérdidas económicas al producir reparaciones y cambios prematuros en los equipos eléctricos, pérdidas de eficiencia y seguridad en la operación de los sistemas de comunicación y por último la interrupción del servicio de suministro de energía eléctrica.

Por lo tanto se hará un estudio del estado de aislamiento de los generadores a través del análisis de las descargas parciales. En el país podrían existir algunas compañías que se encarguen de estudiar las descargas parciales en los sistemas eléctricos de potencia, a un nivel de tipo indirecto pero posiblemente no se realice el análisis adecuado que los procedimientos exigen, las descargas parciales se dan también en transformadores que manejan un alto voltaje aunque no serán objeto de estudio.

## **1.2 Enunciado del problema**

**¿COMO REALIZAR EL ESTUDIO DEL ESTADO DE AISLAMIENTO DE LOS GENERADORES, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LAS DESCARGAS PARCIALES, EN LA CENTRAL GEOTÉRMICA DE BERLÍN USULUTÁN, EL SALVADOR?**

### 1.3 Justificación del problema

El estudio del estado de aislamiento, por medio del análisis de las descargas parciales, a los generadores es importante, porque de esta manera se puede prevenir un daño mayor al generador ya que monitorear constantemente las descargas parciales es más económico que el daño que esta podría provocarle al generador.

Los resultados de esta investigación determinaran que zonas del aislamiento de la bobinas del estator de los generadores se ven afectadas o no, por las descargas parciales, si se ven afectadas se dará las recomendaciones como por ejemplo una inspección visual como primer medida de las acciones correctivas o la consulta de expertos para un análisis final.

Ya que existen maquinas que, por sus dimensiones y potencia, tienen un valor de millones de dólares, esto es mucho en comparación de los costos que se hacen en la compra de un equipo de monitoreo en línea de descargas parciales, por lo que la relación costo-beneficio es significativo tomando en cuenta que puede preverse una falla, además de los costos de reparación, existen costos adicionales, como la perdida de generación, y las posibles multas para, la compañía eléctrica, que incurrir por dejar de generar.

Con este estudio se pretende aportar a la LaGeo un método rápido para el análisis de las descargas parciales.

Las descargas parciales ya han sido responsables de grandes fallas en los generadores, dañando las bobinas del estator, por eso se considera necesario estudiar las descargas parciales antes que los generadores sufran un daño mayor.

Nace entonces la necesidad de verificar el buen estado del aislamiento de los generadores por medio del análisis de las descargas parciales, para evitar un daño mayor en el futuro.

## 1.4 Delimitación temporal-espacial-social

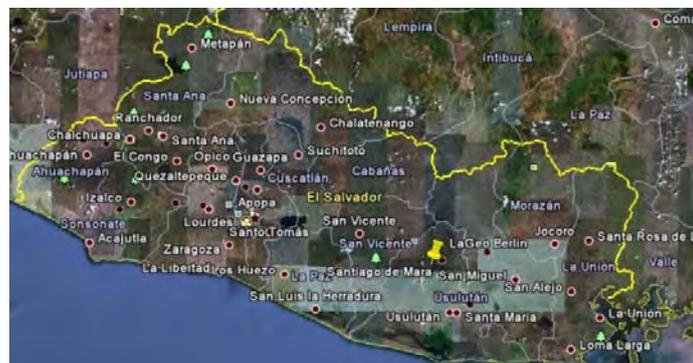
### 1.4.1 Temporal

El tiempo de realización de este proyecto se extiende del 4 de junio de 2010 al 6 de noviembre de 2010.

### 1.4.2 Espacial

La zona de estudio será en las instalaciones de La Central geotérmica de Berlín, que se encuentra ubicada a 120 km. al Este-orientado de la ciudad capital, en el flanco norte del complejo volcánico Berlín-Tecapa, en el lugar conocido como Cantón Montañita del Municipio de Alegría y Departamento de Usulután. Las elevaciones promedio del campo geotérmico oscilan entre los 650 a 950 metros sobre el nivel del mar.

En el siguiente mapa se muestra la ubicación de la planta geotérmica en la cual se realizará este estudio.



**Figura 1-1. Ubicación geográfica de la planta geotérmica Berlín**



**Figura 1-2. Planta Geotérmica de Berlín**

### **1.4.3 Social**

El realizar este tipo de investigación beneficia directamente a los usuarios de la energía eléctrica ya que el estudio se enfoca en el análisis de un problema que podría afectar la generación de esta energía y aporta a la Universidad Francisco Gavidia, información de mucho interés para todos aquellos alumnos que estudian la carrera de ingeniería eléctrica, y para que sepan la importancia y el concepto de las descargas parciales que no es muy común y no se ve ampliamente dentro de los estudios de la carrera.

## **1.5 Formulación de objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Hacer un estudio de campo utilizando el equipo PDA Premium para extraer de los generadores la información de las descargas parciales y sumar esta información a una base de datos ya existente.
  
- Cuantificar el nivel de deterioro del aislamiento, si existe, a través de la comparación de los valores de  $Q_{max}$  y una base de datos de referencia.
  
- Identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están siendo afectadas por las descargas parciales, a través del análisis de las gráficas relacionadas con estas.

- Analizar las tendencias de las descargas parciales, para saber si el aislamiento de las bobinas está en proceso de deterioro o no.
- Presentar a LaGeo, los resultados obtenidos en este estudio, con sus respectivas recomendaciones según sea el caso.

## 1.6 Alcances y limitaciones

### 1.6.1 Alcances

- Mostrar en el marco teórico las partes con las que está construido un generador, los materiales más comúnmente utilizados para fabricar el aislante de las bobinas de generadores de alta potencia, y algunas pruebas que se le realizan a los generadores, teoría de descargas parciales en el aislamiento y los tipos que existen así como otros conceptos básicos considerados importantes dentro de los generadores.
- Presentar el tipo de daño causado por las descargas parciales, respaldado por la norma IEEE1434, y haciendo uso de la información proporcionada por QUALITROL (fabricante del equipo PDA Premium) y la bibliografía referente al tema, también se usará el historial de otras pruebas. y la base de datos recolectada por LaGeo.
- Presentar a LaGeo los resultados de este estudio, donde se plasme el estado del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3 con sus respectivas recomendaciones según sea el caso, para que los expertos en generadores hagan las inspecciones necesarias a los equipos en cuestión, estos resultados estarán elaborados en un protocolo enmarcado en la experiencia de LaGeo.

### 1.6.2 Limitaciones.

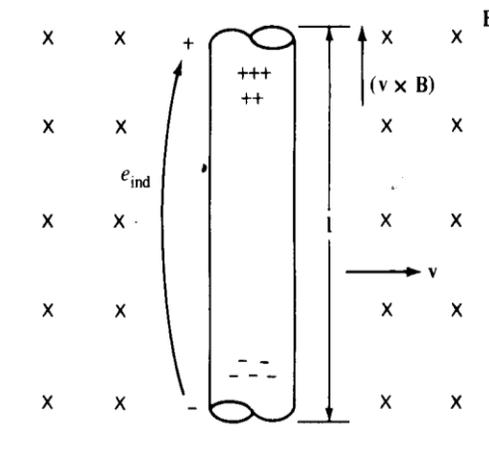
- Existen muchas pruebas que se le hacen a los generadores, pero en la presente investigación solo se analizara la prueba de descargas parciales On-Line.
- No se extenderá en un estudio profundo de la fabricación de los generadores ni de la construcción del aislamiento.
- Existen otros métodos para verificar indirectamente el estado de aislamiento, los cuales no serán objetos de estudio y solo se mencionaran en el marco teórico.
- Los resultados del análisis de las descargas parciales pueden comprobarse haciendo una inspección visual en las bobinas y parcialmente con otras pruebas eléctricas que se le hacen a los generadores.
- El método no señala la ubicación exacta del daño sino la zona del aislamiento en que se está produciendo.

## 2. Marco de referencia

### 2.1 Principio de generación

#### 2.1.1 Voltaje inducido en un conductor

Si un conductor se mueve en la dirección adecuada dentro de un campo magnético, se inducirá un voltaje en el, esto se ilustra en la figura 2-1.



**Figura 2-1. Voltaje inducido en un conductor que se mueve a través de un campo magnético**

El voltaje inducido en el conductor está dado por la ecuación 2.1.

$$e_{ind} = \int (v \times B) \cdot dl \quad 2.1$$

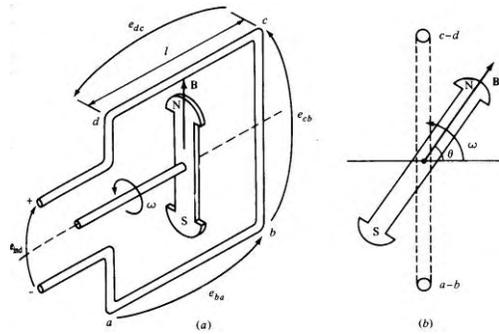
Donde:  $v$  = Velocidad del conductor.

$B$  = Densidad de flujo magnético.

$l$  = Longitud del conductor dentro del campo magnético.

#### 2.1.2 Voltaje inducido en una bobina

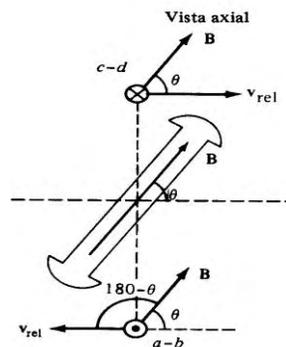
En la figura 2-2 se muestra un campo magnético giratorio que se mueve en el interior de una bobina estacionaria.



**Figura 2-2. Campo magnético giratorio**

Se podría pensar que la ecuación 2.1 sirve para determinar el voltaje inducido en un conductor, pero sin embargo, esta ecuación es para el caso de un conductor que se mueve en un campo magnético estacionario. En este caso el conductor es estacionario y el campo magnético se mueve, por lo tanto la ecuación 2.1 no se podría aplicar directamente. Pero si se toma el campo magnético como referencia, este se puede considerar estacionario y parecerá que los conductores son los que se mueven y entonces si puede aplicarse la ecuación. Si se sitúa en el campo magnético y se mira pasar los lados de la bobina, partiendo de la ecuación 2.1 se podrá proporcionar el voltaje correcto de la bobina.

La figura 2-3 muestra el vector de campo magnético y las velocidades desde el punto de vista de un campo magnético estacionario y un conductor en movimiento.



**Figura 2-3. Vector de campo magnético**

El voltaje inducido en cada lado de la bobina será:

*Segmento a-b.* El ángulo entre  $v$  y  $B$  es  $180^\circ - \theta$ , y la cantidad  $v \times B$  está en la misma dirección de  $l$ , de tal manera que:

$$e_{ba} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B})l = vBl \sin(180^\circ - \theta) \quad 2.3$$

Está dirigida hacia el interior de la página

De acuerdo a la identidad trigonométrica

$$\sin(180^\circ - \theta) = \sin\theta \quad 2.4$$

Se tiene:

$$e_{ba} = vBl \sin\theta \quad 2.5$$

En el segmento *b-c*. El voltaje es cero puesto que el vector  $v \times B$  es perpendicular a  $l$

El segmento *c-d*. Ahora el ángulo entre  $v$  y  $B$  es  $\theta$ , y el vector  $v \times B$  está en la misma dirección de  $l$ , por tanto:

$$e_{dc} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B})l = vBl \sin\theta \quad 2.6$$

Y está dirigida hacia afuera de la página

En el segmento *da*. El voltaje es cero puesto que el vector  $v \times B$  es perpendicular a  $l$  entonces, el voltaje total en la bobina de una espira, esta dado por la ecuación 2.7

$$e_{ind} = 2vBl \sin\theta \quad 2.7$$

Puesto que  $\theta = \omega_e t$ , la ecuación 2.7 se puede escribir como:

$$e_{ind} = 2vBl \sin\omega_e t \quad 2.8$$

Puesto que la velocidad de los extremos de los conductores está dada por  $v = r\omega_m$ , y el área transversal de una espira es  $2rl$ , la ecuación 2.8 se puede escribir como:

$$e_{ind} = 2(r\omega_m)Bl\text{sen}\omega_e t = (2rl)B\omega_m\text{sen}\omega_e t$$
$$e_{ind} = AB\omega_m\text{sen}\omega_e t \tag{2.9}$$

El flujo máximo que pasa a través de la bobina se puede expresar como  $\phi = AB$  y para un estator de dos polos se tiene que  $\omega_m = \omega_e = \omega$ , por lo tanto, el voltaje inducido se puede expresar como:

$$e_{ind} = \phi\omega\text{sen}\omega t \tag{2.10}$$

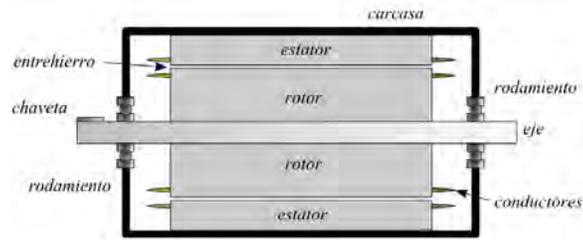
La ecuación 2.10 corresponde al voltaje inducido en una bobina sencilla de una sola espira. Para una bobina de  $N_c$  espiras, el voltaje inducido será:

$$e_{ind} = N_c\phi\omega\text{sen}\omega t \tag{2.11}$$

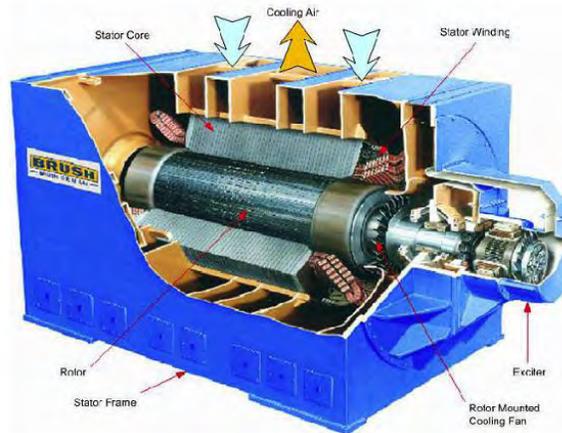
## 2.2 Generador síncrono

### 2.2.1 Descripción del generador síncrono

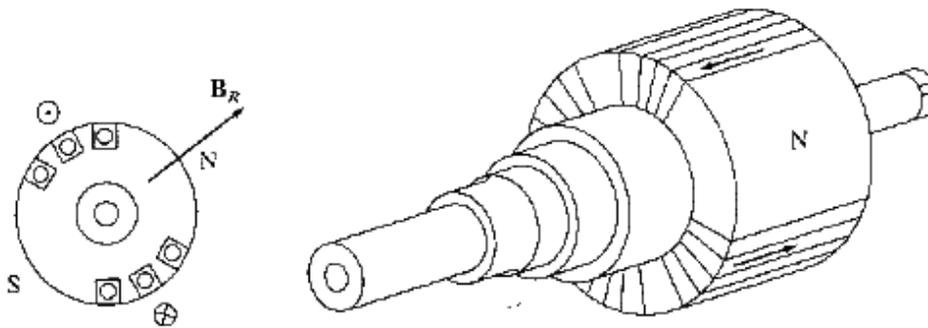
Los generadores síncronos o alternadores son maquinas sincrónicas utilizadas para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna, en un generador síncrono se aplica una corriente DC al devanado del rotor, la cual produce un campo magnético rotacional dentro de la maquina. Este campo magnético rotacional induce un grupo trifásico de voltajes en los devanados del estator del generador, en esencia el rotor de un generador síncrono es un gran electroimán. Los polos magnéticos del rotor pueden ser construidos salientes o no salientes, los generadores de este estudio son de polos no salientes.



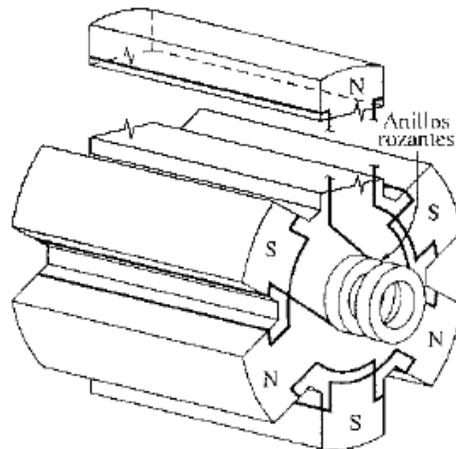
**Figura 2-4. Partes principales de una máquina eléctrica rotativa de pares de polos  $p$**



**Figura 2-5. Generador tipo BDAX7-290ERH**



**Figura 2-6. Rotor cilíndrico o de polos no salientes en una máquina síncrona**



**Figura 2-7. Rotor de seis polos salientes en una máquina síncrona**

### 2.2.2 Velocidad de rotación

La velocidad de rotación de un generador síncrono es un factor muy importante ya que la frecuencia eléctrica producida esta entrelazada o sincronizada con la tasa mecánica de rotación del generador. Un rotor de generador síncrono consta de un electroimán al cual se le suministra corriente directa, la relación entre la tasa de giro de los campos magnéticos de la maquina y la frecuencia eléctrica del estator se expresa mediante la ecuación 2.12.

$$f = \frac{n_m P}{120} \quad 2.12$$

Donde:  $f$  Es la frecuencia eléctrica en Hz.

$n_m$  Es la velocidad mecánica del campo magnético en r/min. Que es igual a la velocidad del rotor en las maquinas síncronas.

$P$  Es el número de polos.

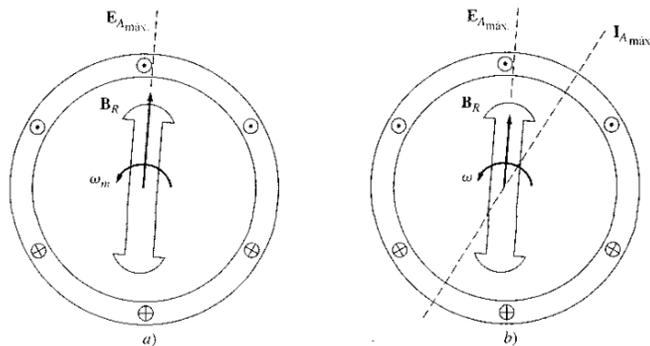
### 2.2.3 Efecto reacción del inducido

Si se conecta una carga a los terminales del generador, fluye una corriente, pero el flujo de corriente trifásica estática produce un campo magnético propio en la maquina. Este campo magnético estático distorsiona el campo magnético del rotor cambiando el voltaje de fase resultante este efecto se llama reacción del inducido debido a que la corriente del inducido (estator) afecta al campo magnético que la

produce en primera instancia. La reacción del inducido se muestra en las figuras 2-8 y 2-9 estas figuras muestran un rotor de dos polos girando dentro de un estator trifásico, sin carga conectada al estator.

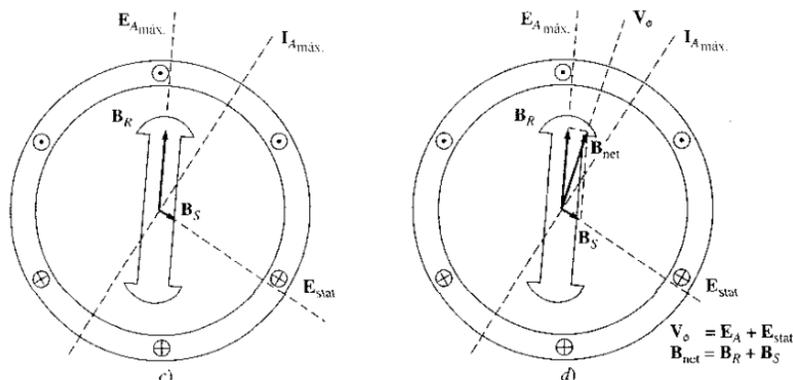
A continuación se describe esta reacción.

- a) Un campo magnético giratorio produce el voltaje interno generado  $E_A$
- b) El voltaje resultante produce un flujo de corriente en retraso cuando se conecta a una carga en retraso.



**Figura 2-8. Desarrollo de un modelo para la relación de inducido parte 1**

- c) La corriente en el estator produce su propio campo magnético  $B_S$ , que produce su propio voltaje  $E_{estát}$  en los devanados del estator de la maquina.
- d) El campo magnético  $B_S$  se suma a  $B_R$  y se transforma en  $B_{net}$ . El voltaje  $E_{estát}$  se suma a  $E_A$  y produce  $V_o$  en la salida de la fase.



**Figura 2-9. Desarrollo de un modelo para la relación de inducido parte 2**

Con dos voltajes presentes en los devanados estático, el voltaje total de una fase es la suma del voltaje interno  $E_A$  y el voltaje de reacción del inducido  $E_{stat}$

$$V_{\phi} = E_A + E_{stat} \quad 2.13$$

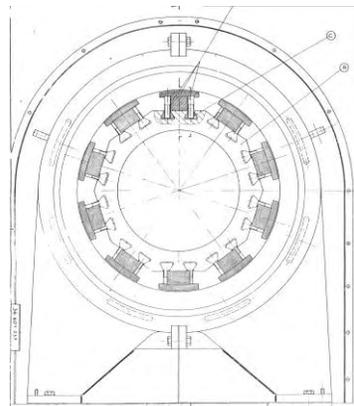
Por lo tanto la energía eléctrica generada se obtiene en las terminales del estator.

Como el rotor está sujeto a campos magnéticos variables, debe construirse con laminaciones para reducir las pérdidas por corrientes parásitas. Y ya que se debe suministrar alimentación de cc al circuito de campo del rotor, cuando este está en movimiento, es necesario adoptar construcciones especiales con el fin de suministrar energía al campo.

Las dos soluciones más comunes son:

- 1- Suministrar energía de cc al rotor desde una fuente externa por medio de anillos rozantes y escobillas.
- 2- Proveer la energía de cc por medio de una fuente especial montada directamente sobre el eje del generador sincrónico.

El campo magnético se genera con imanes permanentes llamados PMG, montados en una estructura acoplada al eje principal, La función del PMG es proveer la energía necesaria para alimentar el devanado de campo del excitador.

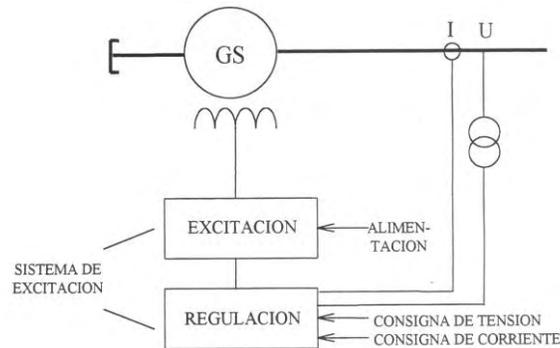


**Figura 2-10. Generador de imanes permanentes (PMG)**

### 2.2.4 Regulador automático de voltaje (AVR)

La función del sistema de excitación es alimentar el rotor del generador con una corriente continua que permita al generador mantener entre sus bornes una tensión controlada cuando está conectado a la red.

El sistema de excitación es controlado por el regulador de tensión.



**Figura 2-11. Sistema de excitación**

El sistema de excitación comprende los siguientes circuitos de potencia y de bajo nivel:

- El circuito de excitación.
- Los circuitos de rectificación con el puente de tiristores.
- Los circuitos de regulación que controlan los circuitos del rectificador.

Un esquema típico de un sistema de excitación es como el que se muestra en la figura 2-12.



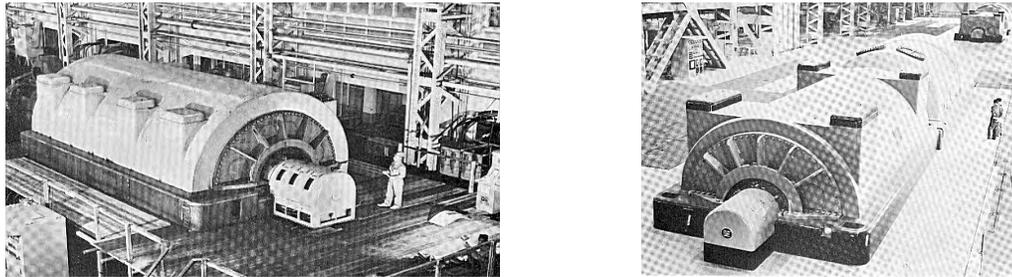
## 2.2.5 Clasificación de los generadores síncronos

### 2.2.5.1 Clasificación por la posición de su flecha

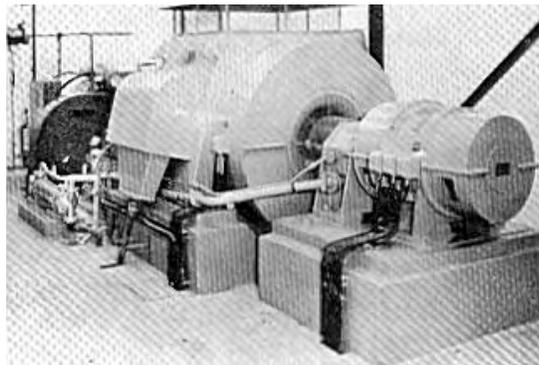
#### 2.2.5.1.1 Posición horizontal

Los generadores que tienen su flecha o eje en forma horizontal en su gran mayoría son de altas revoluciones y por lo tanto tienen pocos polos, estas son las plantas hidroeléctricas de baja capacidad, a estas plantas las hace girar una turbina de velocidad considerable, están las plantas termoeléctricas, las plantas de gas, plantas de combustión interna y las plantas geotérmicas.

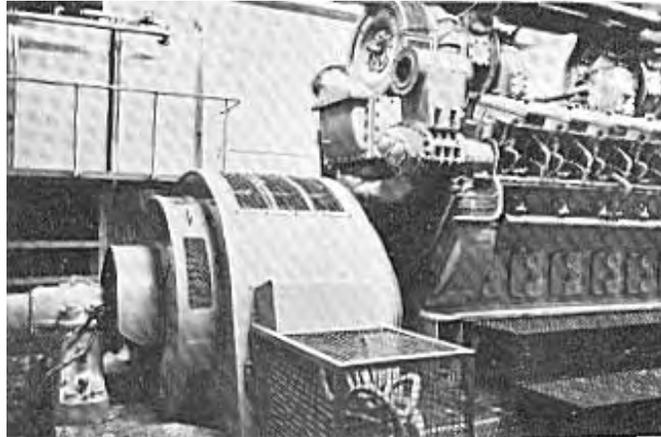
A continuación se muestran estas plantas:



**Figura 2-13. Plantas termoeléctricas con enfriamiento de H<sub>2</sub>**



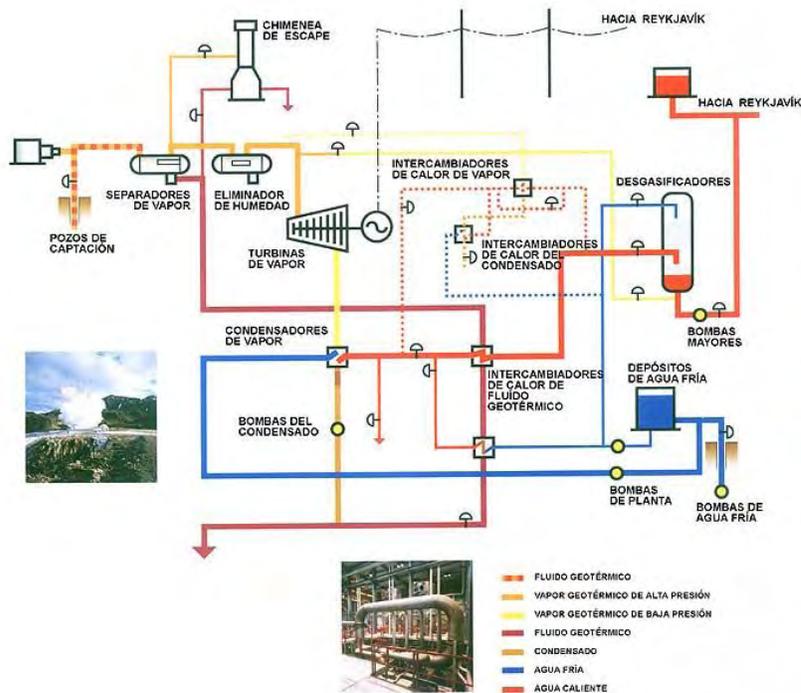
**Figura 2-14. Planta de gas**



***Figura 2-15. Planta diesel***

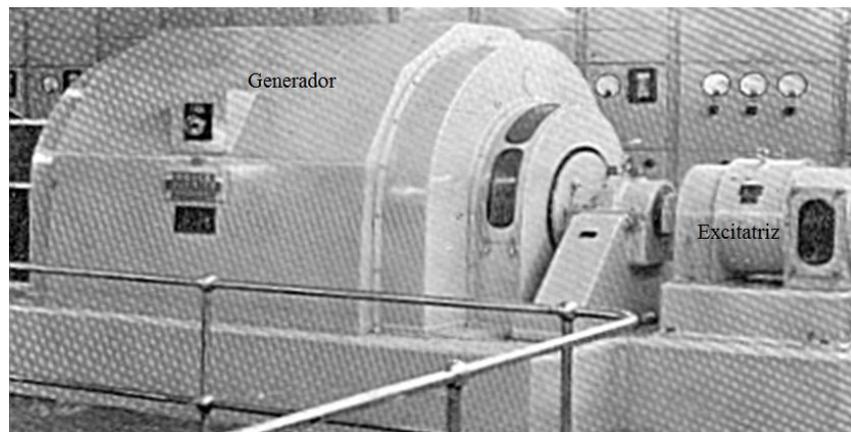
Una central termoeléctrica o central térmica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un generador y producir energía eléctrica. Este tipo de generación eléctrica es contaminante pues libera dióxido de carbono, por otro lado, también existen centrales termoeléctricas que emplean fisión nuclear del uranio para producir electricidad. Este tipo de instalación recibe el nombre de central nuclear.

En las plantas geotérmicas la electricidad se puede obtener mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que cabe destacar el gradiente geotérmico, el calor radiogénico, etc. La conversión de la energía geotérmica en electricidad consiste en la utilización de un vapor, que pasa a través de una turbina que está conectada a un generador, produciendo electricidad.

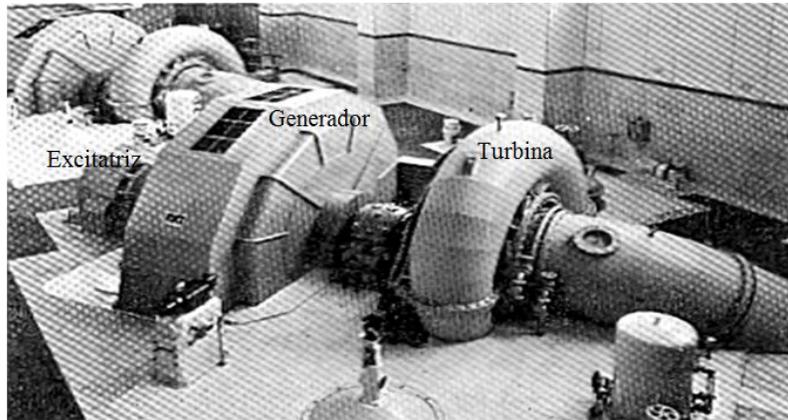


**Figura 2-16. Diagrama de planta geotérmica**

En la figura 2-5 se muestra el tipo de generador que se instala en una planta geotérmica.



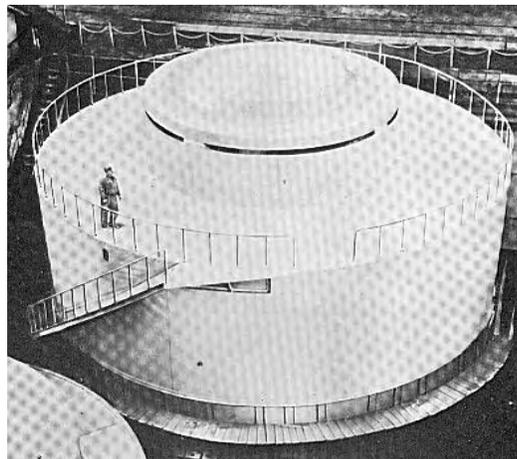
**Figura 2-17. Planta termoeléctrica**



**Figura 2-18. Planta hidroeléctrica con generador horizontal**

### **2.2.5.1.2 Posición vertical**

Cuando el generador es de gran potencia su eje es vertical, en una central hidroeléctrica se utiliza la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. En general estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual trasmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.

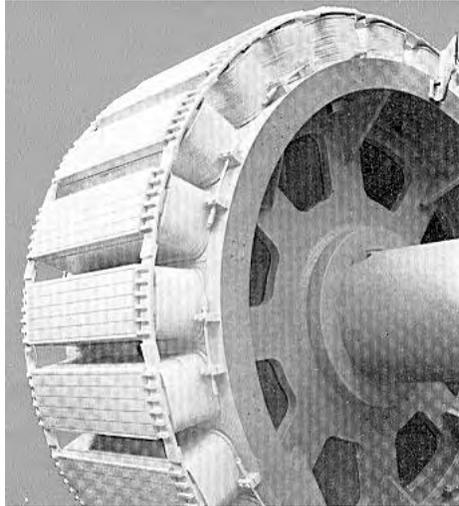


**Figura 2-19. Generador de planta hidroeléctrica de alta capacidad, baja velocidad**

## 2.2.5.2 Clasificación por la forma de sus polos

### 2.2.5.2.1 Rotor de polos salientes

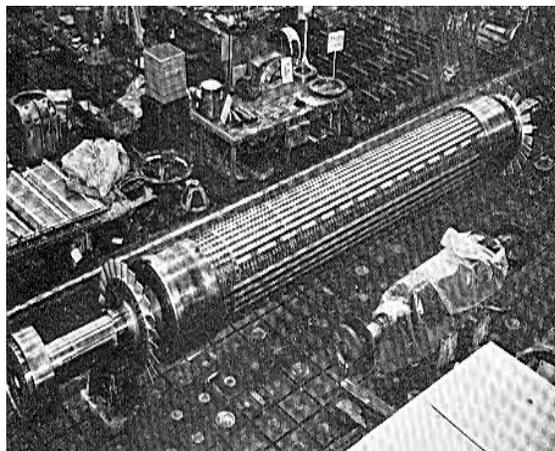
Se tiene en generadores de plantas hidroeléctricas o en motores síncronos; (baja velocidad y alta capacidad).



**Figura 2-20. Rotor de polos salientes**

### 2.2.5.2.2 Rotor cilíndrico o de polos lisos

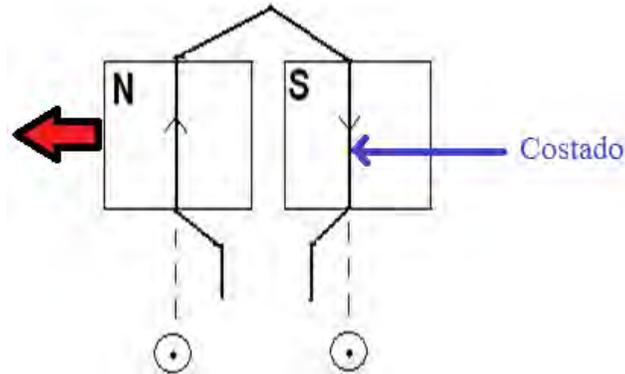
En generadores de alta velocidad, de baja ó alta capacidad.



**Figura 2-21. Rotor de polos lisos para turbogenerador de alta capacidad**

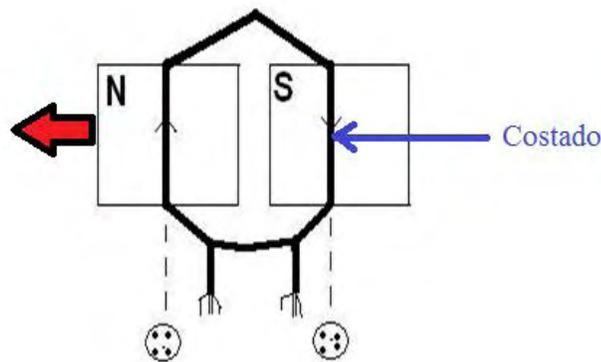
### 2.2.6 Devanados de las maquinas síncronas

La espira se forma por dos conductores que en un instante dado, se localizan en polos de diferente polaridad.



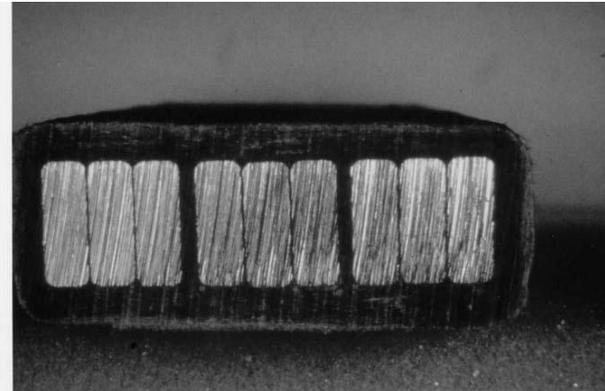
**Figura 2-22. Un conductor por costado**

La bobina preformada consiste en un bucle continuo de espiras conformadas dentro de ella (a veces conocido como: forma de diamante), y también con aislamiento adicional aplicado sobre los bucles de la bobina. Por lo general, cada bobina puede tener de 2 a 12 vueltas y puede tener uno o más conductores, la bobina se ha preformado antes de la inserción en las ranuras del núcleo del estator, y varias bobinas están conectadas en serie para crear el número correcto de los polos y vueltas entre el terminal de fase y tierra (neutro). La bobina está formada por dos costados.



**Figura 2-23. Bobina de cuatro espiras por costado**

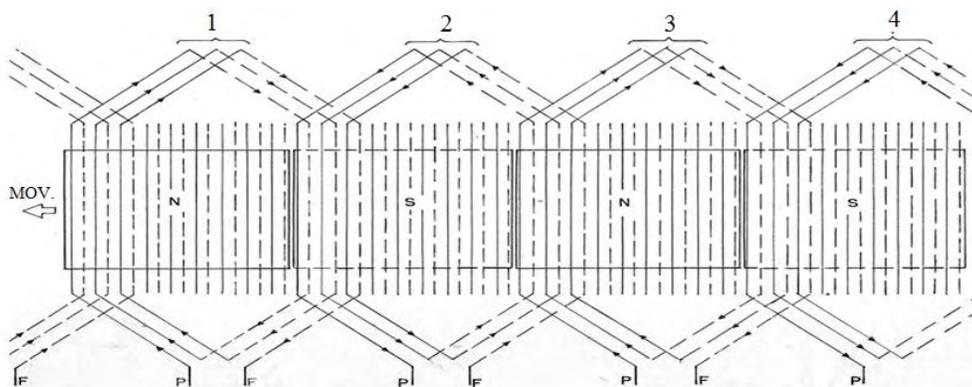
La figura 2-24 muestra una sección transversal de una bobina multivuelta, con tres vueltas y tres espiras por vuelta.



**Figura 2-24. Sección transversal de una bobina multivuelta**

### 2.2.6.1 Grupo polar de bobinas

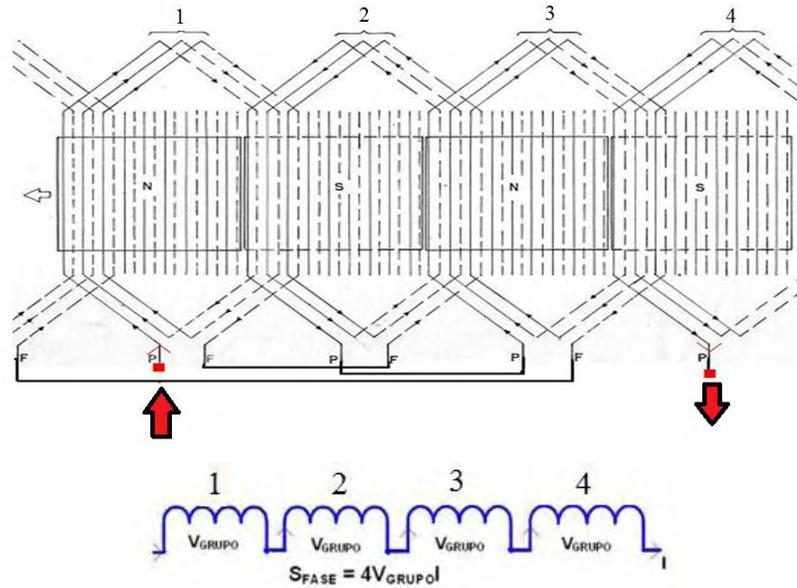
Es un conjunto de bobinas cuyos costados ocupan en un instante dado la misma posición en polos de diferente polaridad, los grupos polares de bobina se conectan en serie o paralelo para formar una fase, donde P es el principio del grupo polar y F es el final del grupo polar.



**Figura 2-25. Grupo polar de bobinas**

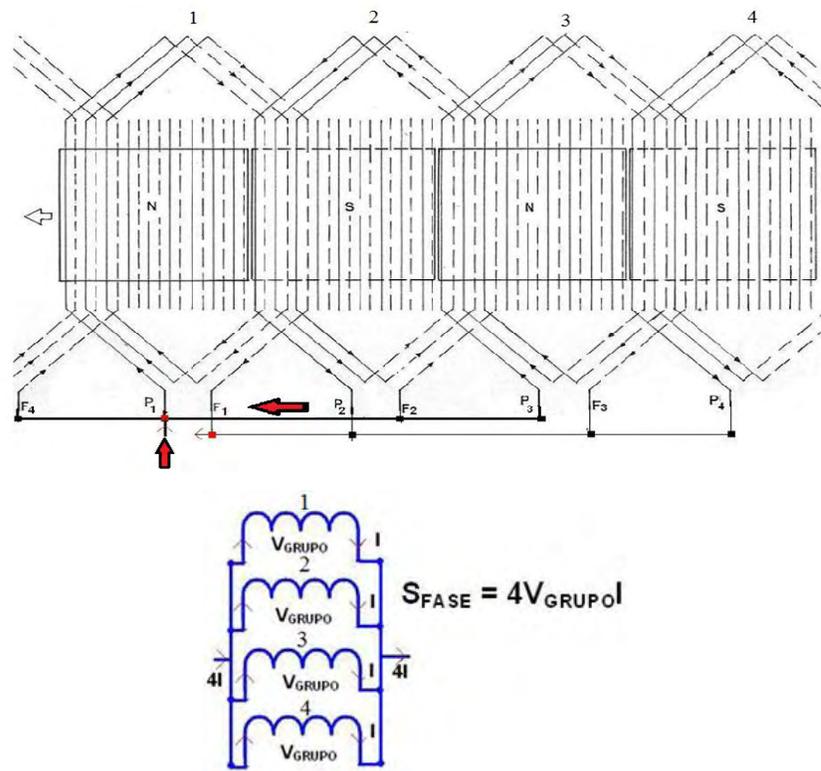
### 2.2.6.1.1 Devanado

En las maquinas de C.A. un devanado es una fase, que a su vez es un conjunto de grupos polares de bobinas interconectados entre sí, formando arreglos en serie o en paralelo.

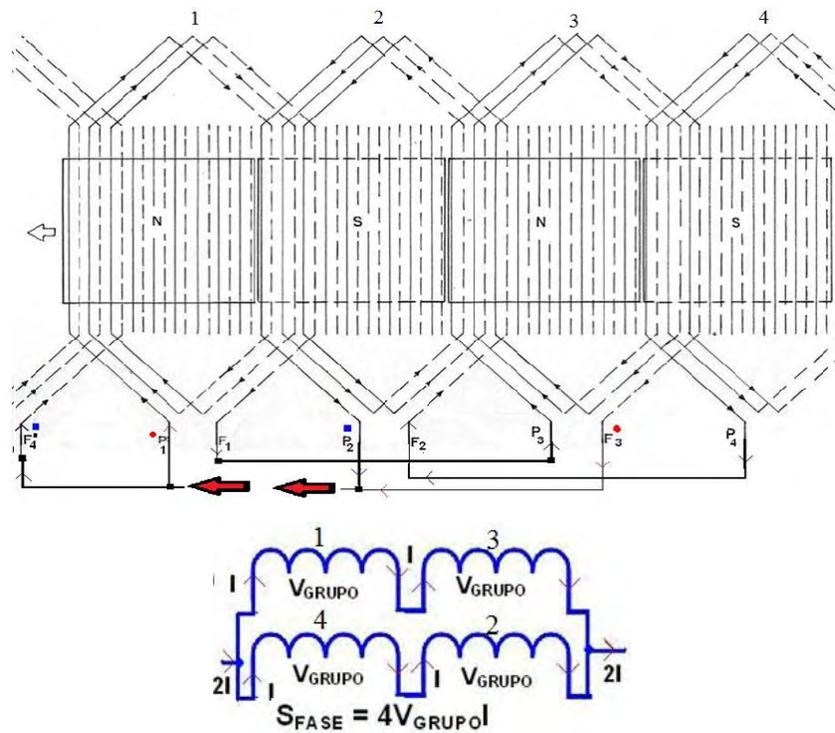


**Figura 2-26. Fase en conexión serie**

En las diferentes formas de conexión de los grupos polares para formar una fase, la potencia aparente  $S$  no varía.



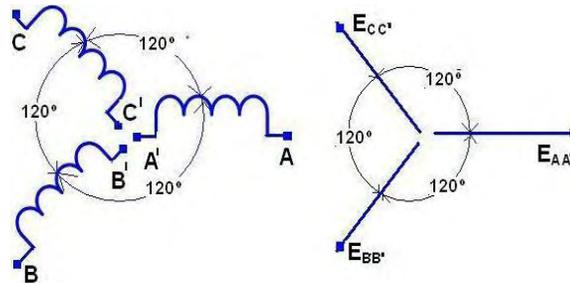
**Figura 2-27. Fase con conexión de 4 grupos en paralelo**



**Figura 2-28. Fase con 2 grupos en serie, en dos ramas en paralelo**

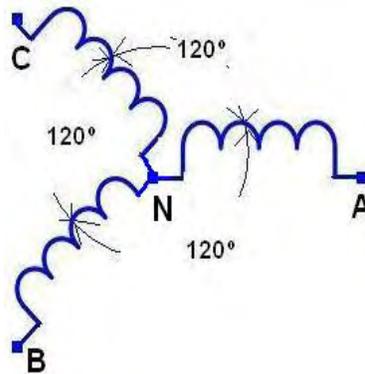
### 2.2.6.2 Conexión trifásica.

Los devanados en maquina trifásica por construcción, están desfasados  $120^\circ$  Eléctricos. La fem inducida de cada fase conserva el mismo desfaseamiento.

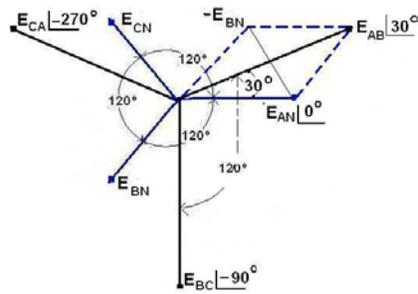


**Figura 2-29. Devanados separados 120 grados eléctricos**

Para la generación de voltaje se utiliza la conexión en estrella, porque las ventajas de esta conexión es que eleva la tensión de fase en  $\sqrt{3}$ , con un ahorro en aislamiento, permite tener un neutro para una conexión sólida a tierra, a través de una resistencia o reactancia para minimizar la sobre tensión en caso de falla a tierra.



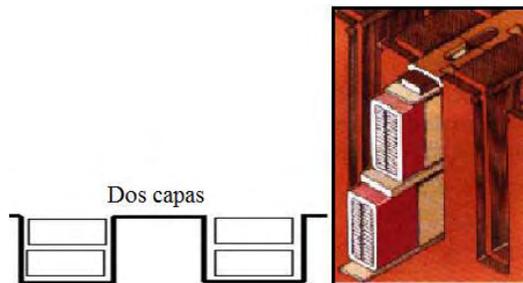
**Figura 2-30. Conexión estrella**



**Figura 2-31. Diagrama fasorial de tensiones de fase y entre fases**

### 2.2.6.3 Clasificación de los devanados

Los devanados se clasifican en dos, por el número de fases y por su número de capas, los que se clasifican por el número de fases son los trifásicos en conexión estrella o delta, formado por tres devanados que permite eliminar la tercera armónica, y los polifásicos con más de tres devanados en conexión estrella de 6 fases y Zig - Zag. Los que se clasifican por su número de capas. Son dos, los que tienen dos capas dentro de la ranura del estator y los que tienen una capa dentro de la ranura del estator, los devanados de dos capas igual a dos costados por ranura son los más utilizados.



**Figura 2-32. Dos costados de bobina /ranura**



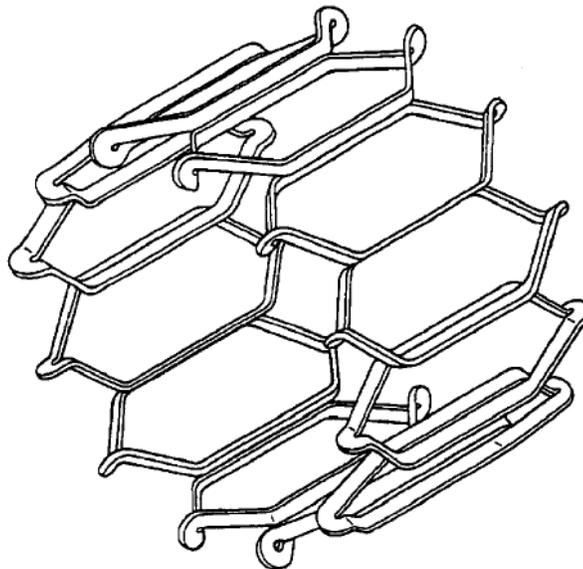
**Figura 2-33. Un costado de bobina /ranura**

En la figura 2-34 se observa que la profundidad de las ranuras es dos veces el tamaño del costado de la bobina, esta también es conocida como bobina partida, por lo tanto es un devanado de dos capas.



**Figura 2-34. Una bobina siendo insertada en dos ranuras**

Es la figura 2-35 se muestra la forma en que quedan posicionadas las bobinas en las ranuras del estator, para formar una fase.

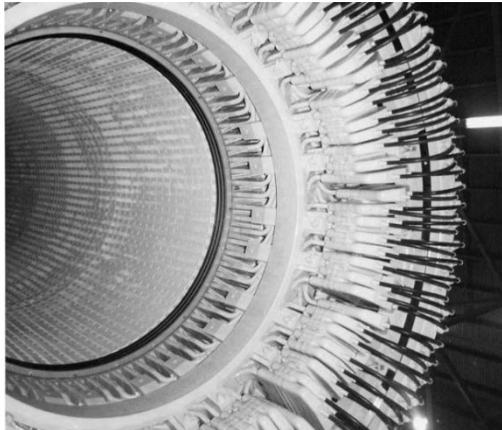


**Figura 2-35. Vista de las posiciones de las bobinas dentro del estator, para formar una fase, con un devanado de dos capas**

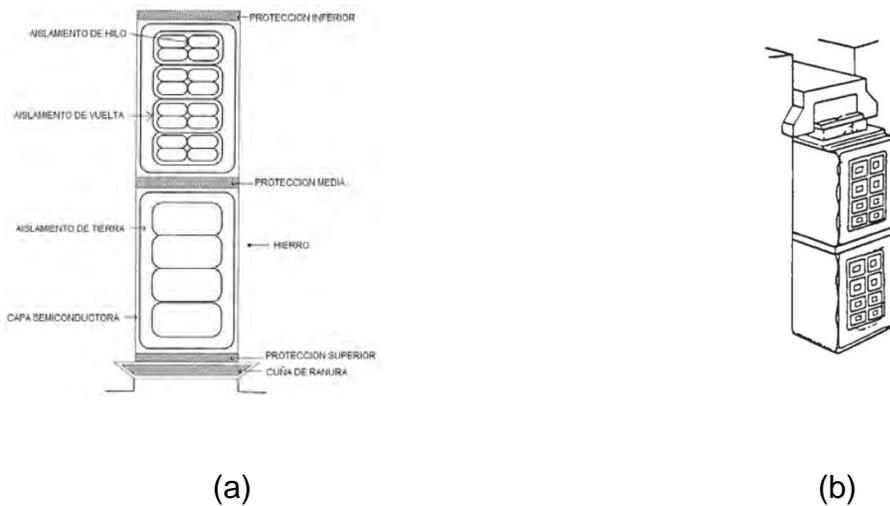
#### **2.2.6.4 Embobinado por medio de barras Roebel**

En los grandes generadores, es más la potencia de salida, por lo general cada bobina tiene que ser más grande y mecánicamente más rígida. En el caso para generadores de más de 50 MW los estatores son muy grandes, y la bobina partida es muy grande por lo que hay dificultades en la inserción de las dos piernas de la bobina en las ranuras estrechas del núcleo del estator, por lo tanto hay riesgo de producir daños mecánicos a la bobina durante el proceso de inserción. Es por esto que la mayoría de los grandes generadores de hoy no son a partir de bobinas multivoltas, sino más bien bobinas de media vuelta, llamadas barras Roebel.

Con una construcción de barras Roebel, sólo la mitad de una "bobina" es insertada en la ranura a la vez, que es bastante más fácil que insertar dos lados de una bobina en dos ranuras simultáneamente. Con el enfoque de barras Roebel, se necesitan ambos extremos de la barra para las conexiones eléctricas de las bobinas, aunque este no es el caso de los generadores en estudio.



***Figura 2-36. Estator de un turbogenerador embobinado por medio de barras Roebel***



**Figura 2-37. Cortes transversales de ranuras que contienen: (a) bobinas multivoltas de forma partida. (b) barras de Roebel enfriadas directamente**

### 2.2.7 Aislante de bobinas

Los aislantes eléctricos poseen alta resistividad eléctrica, alta resistencia dieléctrica y bajo factor de pérdida. Sin embargo, para los aislantes no es necesaria una constante dieléctrica alta y, de hecho, puede resultar indeseable. La mayoría de los materiales poliméricos y cerámicos, incluyendo el vidrio satisfacen algunos o todos estos requisitos.

Una resistividad eléctrica elevada impide fugas de corriente, una resistividad dieléctrica alta impide la ruptura catastrófica del aislante a altos voltajes. El aislante tendrá fallas internas si existen impurezas que provoquen niveles donadores o aceptantes que permitan a los electrones excitarse y saltar hacia la banda de conducción. La falla externa es causada por arco eléctrico a lo largo de la superficie del aislante, o bien a través de porosidad interconectada dentro del cuerpo aislante. Una constante dieléctrica pequeña impide la polarización, por lo que no se almacena carga localmente en el aislante. Para los aislantes es deseable una constante dieléctrica baja y para los capacitores se requieren constantes dieléctricas elevadas.

También el aislante es un material en el que los electrones de sus átomos se encuentran fuertemente unidos a sus núcleos. Y por tanto impide que pase una corriente eléctrica al aplicar una tensión entre dos extremos del aislante. Por lo tanto la corriente se puede considerar despreciable. El aislamiento aunque no contribuye a crear par en las máquinas rotativas, tiene funciones vitales que incluyen:

1) proporcionar la rigidez dieléctrica precisa entre las partes activas y tierra, y por tanto optimizar los tamaños en las máquinas.

2) facilitar la transferencia y eliminación del calor al exterior desde las partes activas (pérdidas  $i^2r$  en cobre).

3) contribuir a estabilidad térmica, mecánica y envejecimiento acotados. En relación con el resto de elementos que componen el estator (cobre, chapa magnética), el aislamiento es el más débil a la acción de los esfuerzos a los que está sometida la maquina, tales como vibración, calor, tensión, etc. Por lo que generalmente el estado del sistema aislante define la vida remanente de los devanados del estator y rotor.

Si el aislamiento fuera perfecto; su diseño, su fabricación, si no envejeciera, si no se dañase las máquinas reducirían sus problemas a los aspectos mecánicos, pero los aislamientos están expuestos a diversos mecanismos de degradación **TEAM**.

**T**érmicos, **E**léctricos, **A**mbientales y **M**ecánicos.

En los aislamientos imperfectos existen discontinuidades de los mismos en las que se generan descargas parciales.

### **2.2.7.1 Sistema de aislamiento de las bobinas del rotor**

EL aislamiento eléctrico es requerido en diversos tipos de devanados del rotor, incluyendo los rotores redondos, rotores de polo saliente y rotores de motores de

inducción, estos tienen tanto aislamiento de vuelta como aislamiento a tierra, las tensiones presentes en las bobinas del rotor son mucho más bajas que las que se encuentran en las bobinas del estator. Por lo tanto, el diseño de sistemas de aislamiento del bobinado del rotor tiende a ser limitado por las capacidades mecánicas y térmicas del sistema de aislamiento. El aislamiento de las bobinas del rotor está expuesto a las tensiones que son diferentes a las bobinas del estator, puede incluir estrés del rotor, estrés térmico del  $I^2R$  corriente de fuga DC en el campo del devanado y fuerza centrífuga de la alta velocidad debido al giro del rotor.

El estrés eléctrico es relativamente bajo, ya que el devanado del rotor rara vez opera a más de 1000 VDC. Con los sistemas de excitación estáticos, las sobretensiones de la operación de los tiristores pueden dar lugar a descargas parciales en los generadores de gran tamaño que operan a voltajes de DC relativamente alto.

El aceite, humedad y materiales abrasivos que puedan estar presentes en la máquina, pueden causar cortocircuitos entre vueltas o a tierra, si el cobre no es totalmente aislado. La expansión y contracción de los conductores de cobre cada vez que el equipo entra y sale de línea, hace que el movimiento de cobre conduzca a la abrasión del aislamiento y a la distorsión de los conductores de cobre en el final de la bobina.

#### **2.2.7.2 Sistema aislante de las bobinas del estator**

El sistema aislante del devanado de un estator, tiene como función el aislamiento permanente entre los diferentes conductores (barras y bobinas) y entre estos y el núcleo magnético. Así también, los procesos relacionados a los diferentes esfuerzos y fenómenos en las interfases internas y externas del aislamiento, son determinantes de la vida útil del sistema aislante.

### **2.2.7.2.1 Interfases del sistema aislante**

Las interfases o componentes de un sistema aislante, generalmente consisten de combinaciones de materiales conductores, semiconductores o aislantes, los cuales se encuentran colocados unos junto a otros. Dependiendo de sus dimensiones, se clasifican de la siguiente manera:

- Microscópicas, por ejemplo las interfases mica-resina dentro del aislamiento principal.
- Macroscópicas, por ejemplo la superficie de las cintas colocadas en la parte recta de las bobinas que sale del estator.

Las interfases internas se encuentran inmersas dentro del sistema aislante y no tienen contacto directo con el medio ambiente, por ejemplo las interfases dentro del aislamiento de ranura. Otras interfases en contacto directo con el aire del medio u otro gas, son denominadas interfases externas (por ejemplo las superficies de los aislamientos en cabezales).

Las líneas de campo eléctrico cruzan las interfases en diferentes ángulos y son referidas como:

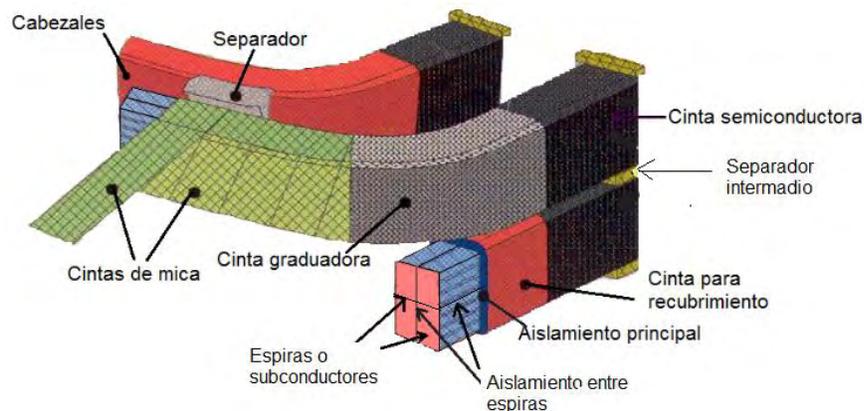
- Longitudinales: Son las líneas de campo eléctrico paralelas a la interfase, por ejemplo, en un separador en cabezales y parcialmente la graduadora de campo en la zona recta de la bobina que sale del estator.
- Transversales: Son las líneas de campo eléctrico perpendiculares a la interfase, por ejemplo, el aislamiento de ranura.
- Angulares: Son las líneas de campo eléctrico inclinadas respecto a la superficie, por ejemplo al final de la cinta semiconductor en la bobina, esto es cuando no tienen graduación de campo en la zona recta de la bobina que sale del estator.

El fabricante del generador, generalmente diseña estas interfases, para cumplir con los esfuerzos que se presentan en él y lograr una operación confiable del sistema aislante.

El sistema aislante del devanado del estator, generalmente consiste de los siguientes subsistemas aislantes con sus respectivas interfases:

- Aislamiento de espiras o subconductores con interfases internas sólido-sólido y sólido-gas, sometidas a esfuerzos por el voltaje de operación entre espiras, por ejemplo las producidas debido a maniobras de arranque y paro del generador.
- Aislamiento principal o aislamiento a tierra, con interfases internas sólido-sólido y sólido-gas, sometidas a esfuerzo por la tensión de línea a tierra.
- Aislamiento entre fases en cabezales de los devanados, con interfases internas sólido-sólido y superficiales sólido-gas, sometidas a esfuerzo por la tensión de línea a línea.
- Cinta semiconductor en la superficie de la bobina tanto en la zona de ranura como en la zona recta que sobresale de la ranura y pintura o cinta graduadora en la zona recta de bobinas que sale del estator y zona inicial de cabezales, sometidas a esfuerzos por la tensión de línea a tierra.

A continuación se muestra las diferentes capas de aislante que se le aplican a una bobina junto con los separadores, ubicadas al final de las vueltas de estas.



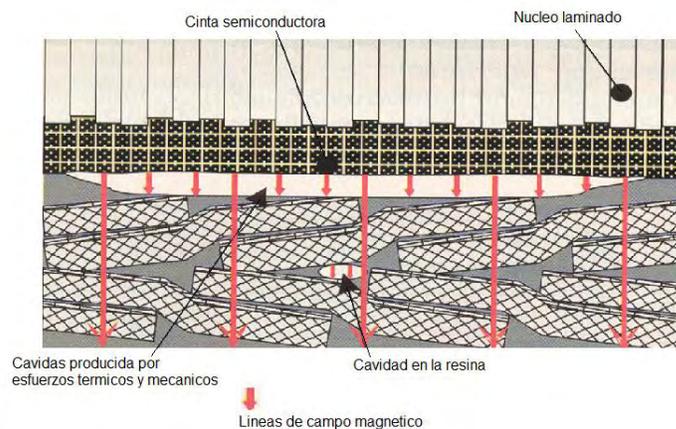
**Figura 2-38. Arreglo típico de aislamiento de bobinas del estator**



**Figura 2-39. Final de vuelta de las bobinas**

### 2.2.7.2.1.1 Interfases microscópicas

La combinación de materiales inorgánicos (por ejemplo mica) con materiales orgánicos (por ejemplo combinaciones de películas de papel-aramidas) impregnados con resinas sintéticas, forman interfases microscópicas sólido-sólido, como se muestra en la Figura 2-40, cuya estabilidad en contra de las descargas parciales, y esfuerzos térmicos, está determinada por las características del material orgánico. Cavidades diminutas en el aislamiento dan por resultado interfases interno-gas, lo cual debilita la capacidad dieléctrica del aislamiento, así también reduce la capacidad de transferencia de calor. Los fabricantes tratan de reducir al máximo estas cavidades, mediante un cuidadoso proceso de impregnación, el cual puede ser una impregnación al vacío, o tipo ricas en resina.



**Figura 2-40. Esquema de interfases microscópicas sólido-sólido y sólido-gas en un sistema aislante**

### **2.2.7.2.1.2 Interfases macroscópicas**

Las interfases macroscópicas internas y externas a la ranura del estator del sistema aislante, son las que requieren una mayor atención en su diseño de parte del fabricante o reparador. Al ensamblar las bobinas en el estator, comúnmente quedan pequeñas cavidades entre la superficie aislada de la bobina y las paredes de la ranura. Durante la operación del generador, estas cavidades pueden ionizarse generando descargas parciales, conocidas como descargas a la ranura, las cuales provocan un deterioro considerable al aislamiento.

Este tipo de descargas, tienen como electrodos la superficie de la bobina y el núcleo magnético del generador, para prevenir estas descargas, se cubre la superficie del aislamiento de la bobina, con un material semiconductor. De esta manera, con partes de la superficie de la bobina que hagan contacto eléctrico con el núcleo, toda la superficie cubierta con la cinta semiconductor quedará a un potencial cero, quedando el campo eléctrico limitado a la zona ocupada por el aislamiento y no en el aire de las cavidades evitando con esto la ionización.

En la sección final de la ranura, al final del material semiconductor en la bobina, la superficie de ésta pierde su referencia con respecto al potencial de tierra, por lo que existe un cambio abrupto del potencial en la superficie de las bobinas. Al incrementarse el potencial existe una concentración de esfuerzos eléctricos, por lo que tiende a existir ionización y a producirse descargas parciales. Esta distribución no homogénea del campo eléctrico, puede ser controlada, graduando de una manera lineal el potencial en la superficie de las bobinas en esta zona del devanado, esto se logra aplicando material graduador de potencial, de tal manera que la distribución de campo se vuelva más uniforme.

El área de cabezales de los devanados del estator consiste de elementos de las bobinas aislados entre sí. El campo eléctrico se concentra principalmente en los espacios de aire, eléctricamente más débiles. Los elementos del devanado se encuentran mecánicamente enlazados entre sí, y con el núcleo laminado mediante elementos estructurales aislantes rígidos, para garantizar la capacidad mecánica de

los devanados aún en condiciones de esfuerzos máximos. Estos arreglos resultan en la creación de interfases longitudinales. Los efectos de contaminación por humedad, aceite u otros contaminantes químicos en estas interfases, pueden afectar considerablemente la vida del sistema aislante, al distorsionar la distribución del campo eléctrico.

### 2.2.7.3 La mica

Es un material de excelentes propiedades eléctricas, buenas propiedades térmicas y malas propiedades mecánicas. Para que sea resistente se combina con distintos materiales aglomerantes que aporten al aislamiento final la consistencia mecánica precisa, como la resina epóxica. Las variedades más abundantes son la biotita y la moscovita.



**Figura 2-41. Mica moscovita en su estado natural**

Los distintos materiales agregados, así como sus correspondientes procesos de mezcla, manipulación y curado finalizan en varios tipos de tecnologías.

A continuación se presentan las tecnologías aislantes que utilizan los distintos fabricantes:

- **Westinghouse Electric Co.** Thermalastic.
- **General Electric Co.:** Micapal e Hydromat.
- **Alsthom:** Isotenas, Resitherm, Resiflex, Resivac y Duritenas.
- **Siemens AG, KWU:** Micalastic.
- **ABB AG:** Micadur, Micapact y Micarex.
- **Toshiba:** Tosrich y Tostight.
- **Hitachi:** Ji-Resin, Hi-Mold.



**Figura 2-42. Tecnología aislante Thermalastic**

#### **2.2.7.4 Tipos de sistemas aislantes**

El desarrollo, diseño, manufactura y prueba de sistemas aislantes de máquinas eléctricas rotatorias representa un reto técnico complejo. Actualmente se están desarrollando y aplicando sistemas aislantes con capacidad para soportar mayores esfuerzos eléctricos, esto con la finalidad de lograr una utilización electromagnética óptima de la máquina.

El principal material dieléctrico utilizado en el sistema aislante de las máquinas eléctricas rotatorias de gran capacidad en alta tensión, es la mica, sus características eléctricas, térmicas y químicas no han podido ser superadas por otro material en igualdad de condiciones.

En los últimos 30 años los sistemas aislantes han sufrido cambios significativos, sin embargo, desde el punto de vista de sistemas aislantes, tanto los que se encuentran en máquinas en operación, como los nuevos desarrollos, es posible realizar una clasificación de acuerdo a los materiales que utilizan en su estructura. Esta clasificación incluye dos tipos de sistemas aislantes, estos son:

- Sistemas aislantes termoplásticos.
- Sistemas aislantes termofijos.

La mayoría de los generadores que actualmente se encuentran en operación, poseen devanados aislados con mica-resina. Los devanados de generadores

aislados con mica-resina han sido utilizados por más de 20 años. El continuo incremento en los niveles de calidad que se requieren en las máquinas eléctricas rotatorias con relación a los esfuerzos térmicos y eléctricos a los que se someten, requieren sistemas aislantes de mucha mayor calidad.

#### **2.2.7.4.1 Sistemas aislantes termoplásticos**

Estos sistemas aislantes, fueron empleados ampliamente en el pasado y se basan en la utilización de hojuelas de mica aplicadas en cintas de algodón, papel o fibra de vidrio y como aglomerante utilizan materiales termoplásticos tales como el barniz cambriano, la goma laca o el asfalto. Los sistemas aislantes termoplásticos brindan cierta flexibilidad a las bobinas para su ensamble, pero su temperatura de operación está limitada a 130°C y operan con un gradiente eléctrico de 1.37 a 1.5 kV/mm, lo que no permite cubrir las especificaciones de diseño y requerimientos operativos de las máquinas actuales. Los sistemas aislantes con goma laca como material aglomerante, tienen la desventaja de contener cavidades internas debido a la evaporación de partículas volátiles en la laca. Por otro lado, el asfalto a cierta temperatura disminuye su fuerza de unión permitiendo que el aislamiento cambie su volumen y se incremente el número de cavidades. Con la separación de las cintas y el aflojamiento del aislamiento, las hojuelas de la mica se salen del sistema aislante. Esta reducción del aislamiento puede llevar al generador finalmente a la falla.

La vida útil de un sistema aislante termoplástico, se da por terminada cuando el aislamiento se vuelve suficientemente frágil, tal que se agrieta bajo los esfuerzos mecánicos a los que se encuentra expuesto. Una causa directa de la fragilización de este sistema aislante, es la operación a altas temperaturas. La rigidez dieléctrica del aislamiento no es reducida significativamente por la fragilización en sí misma. Sin embargo, el rompimiento eléctrico puede presentarse rápidamente, especialmente cuando la humedad y contaminantes llegan a las grietas del sistema aislante, actualmente este tipo de sistema aislante ha caído prácticamente en desuso, a excepción de máquinas con muchos años de operación que conservan su diseño

original. Esto obligó a los fabricantes a buscar sistemas aislantes que soportaran las nuevas condiciones de operación tales como mayores niveles de temperatura de operación, esto dio origen a los sistemas termofijos.

#### **2.2.7.4.2 Sistemas aislantes termofijos**

Este tipo de sistemas aislantes utilizan principalmente cinta de mica fabricada en diferentes combinaciones, como fibra de vidrio y papel de mica, película de poliéster y papel de mica, fibra de vidrio, papel de mica y película poliéster, etc., las cuales se impregnaron con resinas poliéster hasta hace unos 25 años, actualmente se emplea resina epóxica como aglomerante.

El proceso de curado de estas resinas epóxicas es en caliente, tienen una gran adherencia, casi sin componentes volátiles, poco absorbente de la humedad y de muy bajas pérdidas dieléctricas. Este tipo de resinas permitieron fabricar un aislamiento con un contenido mínimo de cavidades, con mayores temperaturas de operación y con gradientes de operación superiores a 2.5 kV/mm

En la actualidad los sistemas aislantes termofijos son ampliamente utilizados, reemplazando a los sistemas aislantes termoplásticos. Las principales causas de falla de sistemas aislantes termofijos, se relacionan con vibraciones, debido a aflojamientos en las ranuras. Se detectó que este tipo de sistemas aislantes, son propensos a desarrollar aflojamientos de cuñas y descargas a la ranura debido a su naturaleza "rígida", ya que esto no permite que la bobina se amolde a la forma de la ranura, tal como sucede en los sistemas aislantes termoplásticos. De acuerdo al método de impregnación de la resina, los sistemas termofijos se clasifican en dos grupos.

- Sistemas termofijos "ricos en resina"
- Sistemas termofijos con impregnación a presión y al vacío (VPI)

### 2.2.8 Clase de aislamiento

Las clases de aislamiento comprenden materiales aislantes o combinación de los mismos, que deben ser capaces de soportar las temperaturas máximas indicadas por la tabla 2-1, el aislamiento de los generadores en estudio es Clase F.

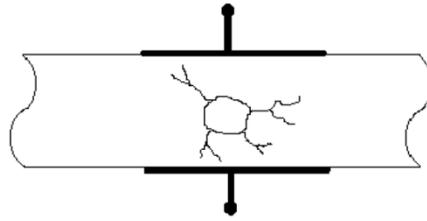
clase de aislamiento	Máxima temperatura de operación
Un	105°C
B	130°C
F	155°C
H	180°C

**Tabla 2-1. Clase de aislamiento**

### 2.3 Descargas parciales

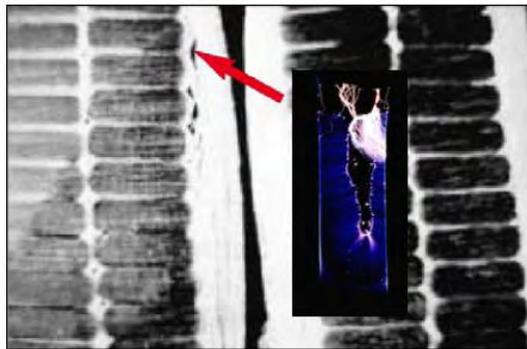
Es un fenómeno de ruptura eléctrica o chispas que se dan solo parcialmente en el aislamiento entre dos conductores, está confinado y localizado en la región de un medio aislante, entre dos conductores que se encuentran a diferente potencial, estas descargas se producirán en cavidades, espacios o huecos en el aislamiento, interior al mismo o adyacentes a los conductores o ranuras del estator (tierra). La descarga es parcial, no es ruptura total porque el resto del aislamiento puede seguir cumpliendo con su función.

El fenómeno de descargas parciales que tiene lugar en el aire alrededor de los conductores u otros gases es denominado efecto corona. Se debe recalcar que la presencia de una fase gaseosa es imprescindible para la formación de descarga parcial. Aunque existen descargas parciales en líquidos, la formación del canal ionizado asociado requiere que el líquido se halla vaporizado antes, y que se formen cavidades gaseosas. Cuando la actividad de descarga parcial se produce en aislantes poliméricos está normalmente asociada a la formación de ‘árboles’ que lo degradan. Estos ‘árboles’ están compuestos por micro-canales de material con baja densidad que puede ser rápidamente vaporizado. Un ejemplo de este fenómeno se observa en la figura 2-43.



**Figura 2-43. Árbol formado por descarga parcial en polímeros**

Las descargas parciales aparecen debido a la menor constante dieléctrica del medio gaseoso dentro de la cavidad respecto del medio aislante, causando aumento del campo eléctrico en el hueco, las descargas parciales contribuyen a dañar componentes orgánicos del aislamiento, produciendo ozono que también causa daños, la acción de las descargas parciales puede prolongarse por varios años, dependiendo de la tensión nominal.

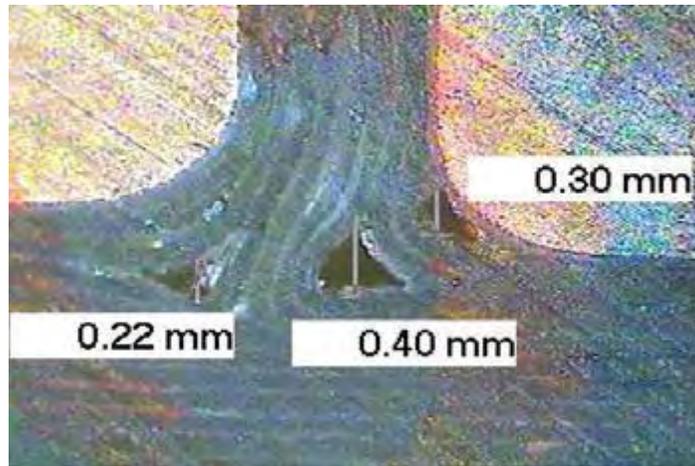


**Figura 2-44. Ejemplo de bolsas de aire entre laminaciones del aislamiento**

### **2.3.1 Causa de las descargas parciales**

La causa habitual de las descargas son los siguientes defectos en el aislamiento:

- Burbujas, huecos, grietas en interior del aislamiento.
- Impurezas y elementos extraños.
- Errores de diseño en el sistema de aislamiento.
- Degradación de la homogeneidad en el aislamiento (Espacios cobre-aislamiento o aislamiento-chapa).



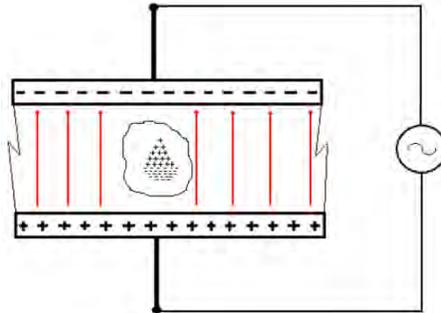
***Figura 2-45. Cavidades en aislamiento debido a defectos en el proceso de fabricación***

### **2.3.2 Descripción del proceso de las descargas parciales**

Cuando el material aislante es sometido a una diferencia de potencial y debido a la presencia de un campo eléctrico que es causado por la menor constante dieléctrica del medio gaseoso respecto del medio aislante, el cual tiende a concentrarse en la cavidad, se produce la ionización del gas presente en éstas, dando origen a una descarga eléctrica.

La ionización es un proceso físico, el cual se inicia cuando un electrón libre o un ion negativo llega a un espacio lleno de algún material ionizable, por ejemplo gas donde exista un campo eléctrico. Si un electrón tiene la suficiente libertad para moverse en el gas, éste adquirirá una gran energía dinámica tal que en la colisión del electrón y una molécula neutra se liberará un electrón de ésta por el impacto. Así cada vez que esto suceda se liberará un nuevo electrón capaz de producir el mismo efecto, logrando de esta forma que el número de electrones libres aumente, produciendo así el efecto avalancha.

En la figura 2-46 se muestra la avalancha inicial para la formación de una descarga parcial.



**Figura 2-46. Diagrama representativo**

Estos electrones, cargados negativamente, se moverán rápidamente en la dirección del electrodo cargado positivamente, el cual junto con el electrodo negativo producen el campo eléctrico en el gas ionizable.

Las moléculas que pierdan un electrón permanecerán cargadas positivamente y se moverán más lentamente que los electrones, en la dirección opuesta, es decir, hacia el electrodo negativo.

El movimiento de los iones está gobernado por la fuerza que ejerce el campo eléctrico entre las cargas libres y la masa de cada ion. La nube de iones positivos representa una carga de espacio la cual reduce la rigidez del campo eléctrico en la región donde los electrones son liberados por las colisiones, éste y otros efectos desaceleran el proceso de ionización.

Cuando la intensidad del campo alcanza un valor menor al cual se inicio la ionización, no se generan más electrones por avalancha. La carga de espacio formada por iones positivos en la vecindad del electrodo negativo y la de los iones negativos y electrones, en la vecindad del electrodo positivo disminuye por la influencia de varios efectos. El material de los límites de la región donde la ionización

ocurre, además de la distribución del campo eléctrico y la polaridad de los electrodos, influyen en la velocidad a la cual la carga se recombina.

A medida que la carga de espacio desaparece, la intensidad del campo eléctrico en la región en cuestión aumenta, cuando éste alcanza el valor al cual la ionización fue iniciada la primera vez o ligeramente mayor, la avalancha de electrones comienza y el proceso de ionización se vuelve a repetir.

Las tensiones de inicio de estas descargas eléctricas son relativamente bajas debido principalmente a que el campo eléctrico tiende a concentrarse en las cavidades, y que la rigidez dieléctrica del gas es menor que la rigidez dieléctrica del sólido. Este fenómeno puede ocurrir en cualquier gas y en consecuencia, en cualquier material aislante sólido con fisuras o cavidades y en líquidos con burbujas.

Si se coloca un metal en una zona cercana a la avalancha, las cargas eléctricas se inducirán capacitivamente en este metal o electrodo. Cuando este electrodo se conecta a una línea de transmisión, la forma de onda que puede registrarse en esta línea, corresponderá a la del movimiento de los iones y electrones de la avalancha.

Estas descargas eléctricas afectan sólo a la zona en que se producen, es decir no comprometen todo el aislamiento, de allí su nombre genérico de descargas parciales. Se podría definir entonces descargas parciales como pequeñas descargas eléctricas que se producen en el seno de cavidades con gas presente en un medio aislante sólido o líquido.

### **2.3.3 Efectos físicos**

A continuación se muestran los diferentes efectos físicos que las descargas parciales producen inmediatamente hacia el exterior.

- Transitorio brusco de corriente (emisión conducida).

- Emisión electromagnética (emisión radiada).
- Ruido normal y ultrasonidos (emisión acústica).
- Aumento de temperatura debido a pérdidas.
- Medida de las mismas pérdidas ( $\text{tg } \delta$ ).
- Emisión ultravioleta (emisión luminosa).
- Emisión de ozono (cambio químico).

Estos efectos físicos permiten detectar las descargas por distintos métodos que se clasifican en directos e indirectos.

### 2.3.3.1 Métodos directos

- Transferencia de carga eléctrica (métodos eléctricos, condensador).
- Radiación electromagnética (sondas / antenas).
- Ruido debido a ondas de presión (ultrasonidos).

### 2.3.3.2 Métodos indirectos

- Aumento local de la temperatura.
- Pérdidas dieléctricas ( $\text{tg } \delta$ , capacidad y tip-up).
- Radiación visible y ultravioleta (métodos de detección óptica, “Blackout test”).
- Generación de ozono.

### 2.3.4 Factores que afectan el registro de las descargas parciales

**Tensión del estator:** su aumento incrementa mucho las descargas parciales hay menos probabilidad en neutro que en fase.

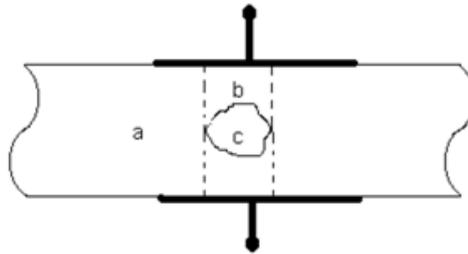
**Presión del gas:** el aumento de presión del hidrógeno reduce mucho las descargas parciales en el caso de los generadores enfriados por hidrogeno.

**Humedad:** el aumento de humedad reduce las descargas parciales por fugas eléctricas superficiales.

**Temperatura de bobinados:** si hay delaminación, al aumentar la temperatura caen las descargas parciales porque se encogen los huecos con la dilatación de los componentes.

**Carga de la máquina:** si las barras están sueltas en el slot, el aumento de carga aumentará las fuerzas magnéticas en ellas, aumentando las descargas parciales.

### 2.3.5 Modelación del fenómeno



**Figura 2-47. Modelo de un aislante sólido con falla**

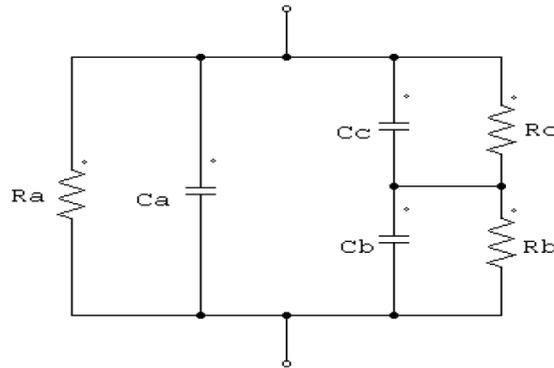
Donde:

*a* : Representa la capacidad del aislante sin falla.

*b* : Capacidad en serie con la cavidad, es decir, zona sin falla.

*c* : Es la capacidad equivalente de la cavidad.

### 2.3.5.1 Circuito eléctrico equivalente



**Figura 2-48. Circuito eléctrico equivalente para un aislante sólido con falla**

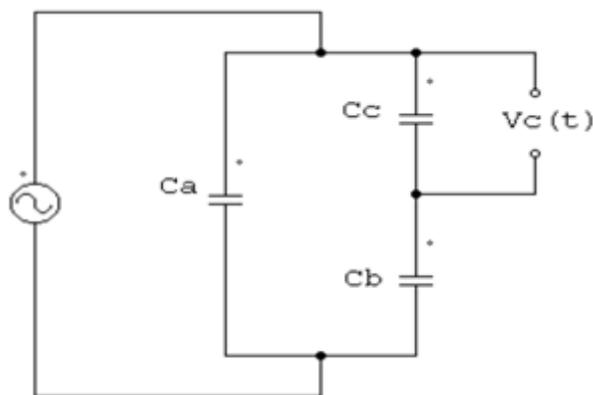
Donde:

$R_c$  y  $C_c$  representan la resistencia y la capacitancia de la imperfección o cavidad,

$R_b$  y  $C_b$  la resistencia y capacitancia del aislante en serie con la cavidad,

$R_a$  y  $C_a$  la resistencia y capacitancia del aislante restante.

Pero como las resistencias son tan grandes en relación a las reactancias capacitivas se adopta simplemente el modelo simplificado.



**Figura 2-49. Circuito eléctrico simplificado. Modelo ABC**

Si se aplica una tensión alterna al aislante designada por la ecuación 2.14

$$v_{(c)}t = v_m \cdot \text{sen } \omega t \quad 2.14$$

Usando el método especial de división de tensión para capacitores se puede obtener la diferencia de potencial de los bornes de la cavidad con la ecuación 2.15.

$$v_{(c)}t = \frac{c_b}{c_b+c_c} v_m \cdot \text{sen } \omega t \quad 2.15$$

## 2.4 Pruebas de diagnóstico del devanado del estator

### 2.4.1 Pruebas fuera de línea off-line

Las pruebas fuera de línea, se hacen cuando el generador no está de servicio, en el caso de los generadores de LaGeo, se les hace mantenimiento mayor cada dos años, incluyendo algunas pruebas eléctricas off-line.

#### 2.4.1.1 Inspección visual

La inspección visual es una de las herramientas de diagnóstico más importantes y efectivas si se realiza adecuadamente. La condición en la que se puede realizar la inspección visual más extensiva y detallada es con el rotor extraído del generador. Los puntos principales a inspeccionar son los siguientes:

- a) Verificar si hay zonas con polvo blanco en cuñas del estator y sobre amarres, separadores y barras en el cabezal, indicativo de actividad de descargas parciales.
  
- b) Verificar si la separación entre barras en el cabezal es uniforme. Que no haya signos de aflojamiento o deformación de las barras en el cabezal ni separadores o amarres flojos.

- c) Verificar si hay caminos de falla (tracking) entre barras en el cabezal. Se pone atención especial en separadores de barras contiguas que operan con alta diferencia de potencial entre ellas.
- d) Verificar que no haya grietas ni erosión en el aislamiento. Se pone especial atención en la zona de salida de las barras de las ranuras y en los amarres y separadores.
- e) Verificar si hay polvo amarillento sobre las cuñas en las ranuras. Esto es indicativo de desgaste del material de las cuñas o aislamiento por aflojamiento de cuñas.
- f) Verificar si hay signos de sobrecalentamiento en el aislamiento del devanado o en el núcleo magnético y los blindajes magnéticos.
- g) Verificar estado general de limpieza. Presencia de polvo o aceite sobre el aislamiento.
- h) Verificar que no estén obstruidos con suciedad o materiales extraños los ductos de enfriamiento del núcleo del estator o de los devanados cuando son enfriados directamente por hidrógeno.

#### **2.4.1.2 Pruebas eléctricas**

Las pruebas fuera de línea se realizan preferentemente en aire, con el rotor extraído del generador. La temperatura del devanado debe estar al menos 5 °C sobre el ambiente para evitar condensación de humedad.

### 2.4.1.2.1 Resistencia de aislación e índice de polarización (IP)

La medición de la resistencia de aislamiento no se considera como una prueba de diagnóstico de la degradación del aislamiento, aunque en ciertos casos y condiciones si puede serlo. Más bien, el valor absoluto de la resistencia de aislamiento y el índice de polarización se usan para determinar la condición del aislamiento en cuanto a suciedad y humedad del mismo y decidir si el devanado es apto para operar ó realizarle pruebas con tensiones elevadas. Por lo tanto esta es la prueba más utilizada para el diagnóstico de las bobinas de estatores, ya que determina problemas de contaminación en los bobinados. La resistencia de aislación y el índice de polarización se han usado por más de 70 años. Ambos ensayos se realizan con el mismo instrumento, y a la vez.

También, es la prueba de rigor para determinar si existe falla a tierra o entre fases en el devanado después de ocurrir un disparo del generador.

El ensayo de resistencia de aislación mide la resistencia de la aislación eléctrica entre los conductores de cobre y el núcleo del estator. Idealmente esta resistencia es infinita, pero en la realidad tiene un valor finito. Generalmente, cuanto menor es el valor de la resistencia, mayor es la probabilidad de que exista un problema.

Por otro lado, la medida del índice de polarización (IP) es una variante del ensayo de resistencia de aislación. El IP es la relación entre las medidas de resistencia de aislación a los 10 minutos ( $R_{10}$ ) y a 1 minuto ( $R_1$ ) de aplicada la tensión de ensayo. Es decir:

$$IP = R_{10}/R_1. \quad 2.16$$

Un IP bajo indica que el bobinado puede estar contaminado con aceite, suciedad, humedad etc. En el ensayo se aplica un valor alto de tensión continua entre los conductores y el núcleo. A continuación se mide la corriente  $I_t$  que circula. La resistencia de aislación ( $R_t$ ) en el instante  $t$  es:

$$R_t = V/I_t \quad 2.17$$

Donde  $V$  es la tensión continua aplicada e  $I_t$  es la corriente total medida luego de  $t$  minutos.

Se hace referencia al tiempo  $t$  porque la corriente, generalmente, no es constante. Esto es así pues existen cuatro corrientes que circulan al aplicar una tensión continua a la aislación del estator:

- Corriente capacitiva. Cuando se aplica una tensión continua a un condensador, circula una alta corriente de carga al principio y luego decae exponencialmente. El tamaño del condensador y la resistencia interna de la fuente de continua determinan la velocidad de decaimiento de la corriente. El bobinado de un motor puede tener una capacidad total de  $100\text{ nF}$ . La corriente decae a cero en menos de 10 segundos. Esta corriente capacitiva no brinda ninguna información que sirva para el diagnóstico y por eso se mide la resistencia de aislación una vez que ésta desaparece.
  
- Corriente de conducción. Esta corriente se debe a los electrones e iones que migran a través del aislamiento entre el cobre y el núcleo. Esta corriente circula si el aislamiento ha absorbido humedad, lo que puede suceder en sistemas de aislación termoplástica antiguas o en aislaciones modernas si han estado expuestas a la acción de agua por tiempo prolongado. Esta corriente también está presente si hay fisuras, cortes, orificios y existe contaminación que permita la circulación de corriente. Esta corriente es constante en el tiempo. En aislaciones modernas esta corriente es nula si no hay fisuras, dado que los electrones e iones no pueden moverse a través de resinas epoxi con mica. Aislaciones antiguas asfálticas con mica tienen corrientes de conducción dado que absorben humedad. Cuando esta corriente es importante es indicación de problemas.
  
- Corriente de fuga superficial. Esta es una corriente continua constante que circula por la superficie de la aislación. Está causada por contaminación parcialmente conductora (aceite o humedad junto con polvo, suciedad, cenizas, químicos, etc.). En el caso ideal esta corriente es nula. Si esta corriente es grande es probable que exista un deterioro en la superficie.

- Corriente de absorción. Esta corriente se debe a una reorientación de las moléculas polares presentes, al aplicarse un campo eléctrico de continua. Muchos materiales aislantes contienen moléculas polares que tienen un campo eléctrico interno debido a la distribución de los electrones dentro de la molécula. Un ejemplo es el agua. Cuando se aplica un campo eléctrico a través del agua, sus moléculas se alinean. La energía requerida para esta alineación la proporciona la corriente de la fuente de tensión continua. Una vez que las moléculas están todas alineadas la corriente se hace cero. En el asfalto, la mica, el poliéster y la resina epoxi existen moléculas polares. En la práctica se ve que inicialmente la corriente de absorción es grande al principio y decae con el tiempo luego de unos minutos, como si se tratara de un circuito RC. Esta corriente, al igual que la capacitiva, no es indicio de nada bueno ni malo, es simplemente una propiedad de los materiales aislantes.

La corriente total  $I_t$  es la suma de todas estas corrientes. Por desgracia, ninguna de estas corrientes individuales se puede medir directamente. Las corrientes de interés para el diagnóstico del aislamiento son la corriente de fuga y la de conducción. Si sólo se mide R1 (resistencia a 1 minuto), la corriente de absorción todavía tiene un valor importante. Sin embargo, si la corriente total es suficientemente baja, R1 puede considerarse satisfactoria. Desafortunadamente, la medida de R1 exclusivamente, ha demostrado ser poco confiable dado que no se puede tener una tendencia a lo largo de la vida útil de la máquina. Esto se debe a que la resistencia de aislación es fuertemente dependiente de la temperatura. Un aumento de 10°C en la temperatura puede reducir entre 5 y 10 veces el valor de R1. Lo que es peor aún es que el efecto de la temperatura es diferente en los distintos materiales aislantes y depende también de la contaminación. A pesar de que la norma IEEE 43 proporciona fórmulas y tablas de corrección para la temperatura, se admite que no son confiables para extrapolaciones mayores a 10°C. El resultado es que cada vez que se mide la resistencia de aislación R1 a diferentes temperaturas se obtiene un valor diferente. Esto hace imposible definir un límite para R1 en un rango de temperaturas amplio.

También es imposible observar tendencias a lo largo del tiempo a menos que la medida se haga siempre en las mismas condiciones.

RANGO DE CLASE TERNAL	VALOR MINIMO DE IP
CLASE A	1.5
CLASE B	2.0
CLASE F	2.0
CLASE H	2.0

**Tabla 2-2. Valores mínimos recomendados para el IP basados en la clase termal de los materiales de aislamiento de acuerdo con la norma IEC 60085-01**

La práctica usual es que cuando se vayan a realizar pruebas dieléctricas con tensiones equivalentes a la nominal del devanado ó mayores, se mida previamente su resistencia de aislamiento, incluyendo el índice de polarización, para asegurar que el devanado se encuentra en buenas condiciones de limpieza y seco para prevenir un posible daño al aislamiento por el esfuerzo de la tensión. Así mismo, después de realizar las pruebas dieléctricas, se miden de nuevo la resistencia de aislamiento y el índice de polarización para comprobar que no hubo ningún efecto adverso al aislamiento por las pruebas. La tensión de prueba para la medición de resistencia de aislamiento debe ser siempre la misma; 1000 VCD a 5000 VCD, dependiendo de la tensión nominal de la maquina.

Aun cuando casi todos los fabricantes recomiendan los valores de resistencia de aislamiento mínima e índice de polarización establecidos en el estándar IEEE-43, los cuales se consideran muy bajos, la comisión federal de electricidad (CFE) recomienda los siguientes:

Sistema de aislamiento	Resistencia de aislamiento	Índice de polarización
Asfalto-mica	kV + 1 MΩ	≥2.5
Poliéster ó Epoxi- mica	100 MΩ	≥4

**Tabla 2-3. Valores de resistencia de aislamiento e índice de polarización mínimos establecidos la CFE**

La experiencia muestra que los valores anteriores de resistencia de aislamiento mínima pueden ser al menos 10 veces los indicados sin problemas para lograrlo.

#### **2.4.1.2.2 Prueba de tangente delta y “tip-up”**

La prueba de tangente delta de un aislamiento, también denominada factor de disipación y, también, equivalente al factor de potencia, es una medida de las pérdidas dieléctricas del aislamiento.

Su magnitud depende del tipo de aislamiento y de las condiciones del mismo y es independiente de su volumen. La desventaja de esta prueba es que sólo determina la condición promedio del aislamiento, es decir, no detecta el punto de peor condición. Su valor puede verse afectado por la humedad y suciedad en la superficie del aislamiento que permite una circulación de corriente a tierra a través de la superficie del mismo aumentando las pérdidas.

El valor de tangente delta aumenta con las descargas parciales en el aislamiento. Por esta razón, se recomienda efectuar la prueba a dos valores de tensión, uno inicial, suficientemente bajo para prevenir que haya descargas parciales y el otro a la tensión nominal de fase a tierra, que permita medir las pérdidas ocasionadas por las descargas parciales. Esta forma de medición se conoce como “tip-up” y es una medición indirecta de las descargas parciales.

Desafortunadamente, en devanados con recubrimientos graduadores del campo eléctrico a base de carburo de silicio, a tensión nominal la contribución principal en las pérdidas proviene de la conducción a tierra a través de este recubrimiento, siendo imposible discriminar cuanto de las pérdidas se deben a las descargas parciales y cuanto a la conducción de los recubrimientos graduadores. Por esta razón, con esta prueba no es posible determinar incrementos pequeños de descargas parciales con el tiempo.

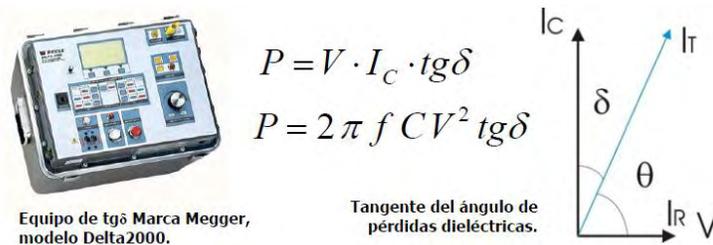
Aun cuando muchos fabricantes establecen como aceptables valores de tangente delta y “tip-up” muy elevados, la CFE recomienda los siguientes:

	Tangente $\delta$ $\frac{0.2En}{3}$	Tip-up $\frac{En}{3} - \frac{0.2En}{3}$
Poliéster ó Epoxi-mica	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$

**Tabla 2-4. Valores de Tangente  $\delta$  y Tip-up recomendados por la CFE**

Es conveniente hacer notar que en devanados del estator enfriados con agua, si la prueba se realiza con agua dentro de los devanados los valores de Tangente  $\delta$  pueden ser muy altos, dependiendo de la conductividad del agua.

Algunos fabricantes recomiendan obtener el “Tip-up” a una tensión de fase a tierra igual a la tensión nominal entre fases de la máquina. La CFE considera que no es necesario aplicar una tensión de prueba tan elevada. Es suficiente con aplicar la tensión nominal de fase a tierra. En esta prueba, además de los valores absolutos de tangente delta y “tip-up”, se debe analizar la tendencia de estos valores.



**Figura 2-50. Equipo de prueba, representación en el plano**

### 2.4.1.2.3 Capacitancia

El devanado del estator puede considerarse como un capacitor cuyos electrodos están formados por los conductores del devanado y el núcleo del estator y su dieléctrico por el sistema de aislamiento.

La capacitancia del devanado se reduce con la formación de huecos en el aislamiento y aumenta si este se satura con agua. La medición periódica de la capacitancia puede ser útil para determinar delaminación por sobrecalentamiento o

contaminación con agua en el devanado. Para poder detectar cambios significativos en la capacitancia se necesita medirla con equipos de prueba con resolución de tres decimales.

Generalmente los equipos de medición de tangente delta o factor de potencia incluyen la medición de la capacitancia con una buena resolución y se pueden realizar ambas mediciones al mismo tiempo. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que esta prueba no es muy sensible para detectar degradación del devanado.

#### **2.4.1.2.4 Descargas parciales Off –Line**

Por más cuidadoso que sea el proceso de fabricación del aislamiento de los devanados del estator, es imposible que la resina de impregnación de las cintas aislantes penetre y llene perfectamente todo el volumen del aislamiento por lo que siempre quedará una cantidad de huecos pequeños dentro del mismo. Cuando el aislamiento eléctrico del devanado es sometido a la tensión de operación del generador, en aquellos huecos donde se alcance a través de ellos un nivel de tensión de aproximadamente 3 kV/mm, se romperá dieléctricamente el aire contenido en ellos y se producirán descargas parciales.

Las descargas parciales originadas en el semiciclo positivo de la tensión serán de polaridad negativa y las que se originen en el semiciclo negativo de la tensión serán de polaridad positiva. La magnitud de las descargas parciales depende del tamaño de los huecos, mientras más grandes sean los huecos, mayor será la magnitud de las descargas parciales. Generalmente la unidad de magnitud de las descargas parciales en pruebas fuera de línea es el picocoulomb, pC. Aun los devanados nuevos nacen con una cantidad de descargas parciales internas del orden de algunos miles de pC, generalmente de 2 a 3, dependiendo del equipo de medición y su calibración, en pruebas fuera de línea.

En condiciones no severas de operación de un generador, es decir, sin aflojamiento de los devanados, sin arranques y paros muy frecuentes, sin cambios bruscos y fuertes de carga y sin temperaturas excesivas, se espera que el aislamiento se vaya degradando gradualmente a lo largo de muchos años, apareciendo más huecos y los existentes haciéndose cada vez mayores. Sin embargo, ante la ocurrencia frecuente de los factores de degradación antes mencionados, la aparición de huecos y daños en diferentes puntos del sistema de aislamiento se acelera, con lo cual aumenta la cantidad y magnitud de las descargas parciales. Por esta razón, se considera que las descargas parciales son un síntoma y no la causa de la degradación del aislamiento. Sin embargo, una vez que las descargas parciales se presentan en gran cantidad y magnitud, su acción contribuye a acelerar la degradación del aislamiento.

En las pruebas fuera de línea se miden la magnitud y el patrón de distribución de las descargas parciales respecto a una onda senoidal de referencia con lo cual se trata de determinar el grado de la degradación y su probable localización en el sistema de aislamiento. La correcta interpretación de estos patrones de descargas parciales requiere mucha experiencia en este tipo de pruebas. La ventaja de las pruebas fuera de línea es que, durante la medición, se puede ayudar a definir con más precisión la localización de las descargas parciales más intensas con sensores direccionales de ultrasonido y, en la zona de ranuras, con una sonda conocida como TVA. La medición en forma periódica, permite determinar la razón de degradación y, con cierta precisión, el tiempo de vida del aislamiento.

La medición fuera de línea de las descargas parciales tiene como desventaja que no indica el comportamiento de las descargas parciales en las condiciones de operación del generador, especialmente en generadores eléctricos enfriados con hidrógeno, por ejemplo, en los cuales las descargas parciales se reducen notoriamente por efecto del hidrógeno a presión, además de que se reducen también por que el devanado solo tiene tensión suficiente para generar las descargas parciales en un 20% del mismo aproximadamente, dependiendo de la tensión nominal. Adicionalmente, ya que solo se puede probar el devanado de una fase a la vez, aplicándole una tensión

al devanado completo contra tierra, no permite detectar problemas entre fases en el cabezal, tal como la formación de caminos de falla (tracking) entre fases.

Tampoco detecta problemas incipientes en el recubrimiento semiconductor en la ranura por aflojamiento de las barras.

La forma de evaluación del aislamiento mediante esta técnica es mediante los valores absolutos de descargas parciales y su incremento con el tiempo.

Es decir, se tiene que evaluar la tendencia. Un valor inicial de descargas parciales mayor al esperado no necesariamente significa que el aislamiento vaya a fallar pronto, se debe evaluar la magnitud del incremento con el tiempo.

El criterio general que ha adoptado la CFE para el seguimiento de las descargas parciales fuera de línea es como sigue (dependiendo del equipo de medición utilizado y su calibración)

Periodicidad de la medición	Magnitud de las descargas parciales
Cada 4 años	$\leq 10,000$ pC
Cada 2 años	$> 10,000$ pC - $\leq 30,000$ pC
Cada año	$> 30,000$ pC - $< 100,000$ pC

**Tabla 2-5. Criterio general para el seguimiento de las descargas parciales fuera de línea adoptado por la CFE**

Si las descargas parciales han alcanzado valores de 30,000 pC o más, lo recomendable es instalar equipo de monitoreo en línea para realizar una mejor evaluación de la causa de las mismas y un seguimiento más oportuno de la tendencia. Es importante considerar que cuando se realicen mediciones periódicas de descargas parciales, es necesario que siempre se midan con los mismos equipos y calibración para no tener variaciones de valores por utilizar diferentes equipos de medición y calibración de los mismos. La experiencia actual en la medición de descargas parciales fuera de línea muestra que, en muchos casos, no es fácil determinar el origen de las descargas parciales. La contaminación ó suciedad de los devanados producen descargas parciales que pueden confundirse con otro mecanismo de falla.

Esto dificulta tomar la decisión respecto al tipo de trabajo correctivo necesario. Aun con todo, esta prueba ha demostrado ser la más sensible a degradación del aislamiento ó contaminación en el mismo.

#### **2.4.1.2.5 Prueba de ELCID**

Aun cuando esta tesis se refiere al diagnóstico del devanado del estator, dado que el núcleo de este está muy ligado al devanado, se incluye el diagnóstico del núcleo magnético del estator mediante la prueba de ELCID. Esta prueba determina cortos circuitos entre laminaciones del núcleo del estator mediante un toroide de baja potencia, requiriendo de 5 a 10 vueltas de cable calibre 10 AWG alimentado con un voltaje de 120 a 240 Volts dispuesto en forma concéntrica y alineado con el eje axial del estator, el circuito se conecta a una fuente de tensión alterna variable hasta que produce un flujo magnético del 4 % aproximadamente del flujo nominal del núcleo. A esta baja densidad de flujo, se puede entrar al núcleo sin peligro con el detector ELCID para registrar las corrientes axiales en las laminaciones del estator.

La forma de detección de dichas corrientes inducidas es mediante el desplazamiento de una bobina recolectora de campo magnético denominada *CHATTOCK ROGOWSKY* a lo largo y ancho del núcleo del estator, obteniéndose un registro digital de las mismas para su análisis. Cualquier área, de corriente axial elevada, en las laminaciones a lo largo de la superficie aparecerá como picos en el medidor. La prueba de ELCID ha demostrado buena sensibilidad para detectar laminaciones en corto en el núcleo del estator de turbogeneradores. En los generadores hidroeléctricos no responde tan adecuadamente por la construcción en secciones del núcleo magnético.

El criterio de aceptación para considerar un núcleo magnético en buenas condiciones es el siguiente: Corriente máxima:  $\leq 100$  mA.

En caso de encontrar valores superiores a 100 mA, en esta prueba, se procederá a efectuar una prueba toroide, para investigar el estado del núcleo.



**Figura 2-51. Ensayo de flujo reducido EL-CID mediante el uso de vehículo robotizado**

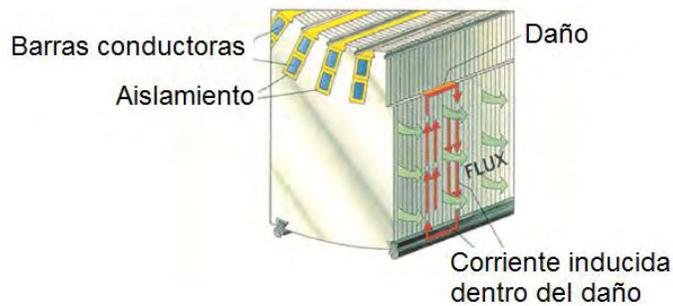
	Aceptable	Investigación	Reparación
EL CID (mA)	0 -100	100-200	Mayor a 200

**Tabla 2-6. Criterios de evaluación para la prueba EL CID**

#### **2.4.1.2.6 Flujo Nominal, en AC**

Se busca comprobar la integridad del aislamiento entre laminaciones del núcleo estático. El ensayo de flujo nominal consiste en llevar a la máquina a condiciones similares a las de operación en cuanto a flujo. Para ello, se hace circular corriente alterna por medio de un cable bobinado toroidalmente alrededor del núcleo magnético.

Una vez el flujo haya sido insertado, esperando un tiempo de estabilización y mediante termografía se buscan puntos calientes que se corresponderán con incrementos térmicos asociados a la circulación de corriente Inter-laminar. Este ensayo es complejo, caro, largo y peligroso tanto para las personas como para la máquina.



**Figura 2-52. Diagrama de circulación de corriente a través de un daño en las laminaciones hasta el soporte de las mismas**

#### **2.4.1.2.7 Prueba de alto potencial**

La prueba de alto potencial no es aceptada por muchos como una prueba de rutina para evaluar la condición del aislamiento del devanado del estator por considerarse una prueba destructiva. Sin embargo, realizada a niveles de tensión menos severos que en fabrica ó en puesta en servicio, si el devanado pasa la prueba, se tiene un buen nivel de confianza en que este no va a fallar en operación cuando ocurra un transitorio de tensión.

La prueba de alto potencial se puede realizar con corriente directa o con corriente alterna. Se recomienda esta última por que somete al aislamiento a un esfuerzo más real respecto a la operación del generador y es más sensible que la corriente directa a defectos serios del aislamiento.

El inconveniente con la prueba con C.A. es que se requieren equipos de prueba de alta capacidad, especialmente en máquinas grandes. Por esta razón, generalmente esta prueba se realiza con C.D.

Los valores de tensión de corriente alterna recomendados para esta prueba son los siguientes:

En fabrica  $(2E_n + 1) \text{ kV} \quad 1 \text{ minuto}$ , Puesta en Servicio  $0.85 (2E_n + 1) \text{ kV} \quad 1 \text{ minuto}$ .

Si se quiere probar con corriente directa, se deben multiplicar los valores anteriores por 1.7 Las pruebas de alto potencial al aislamiento de los devanados no es una práctica recomendada por la CFE como mantenimiento ya que se sobre esfuerza el aislamiento y se le resta vida. No se recomienda aplicar más de la tensión nominal de fase a tierra a un devanado.

### 2.4.1.2.8 Ensayo “Black-out”. Inspección Ultravioleta

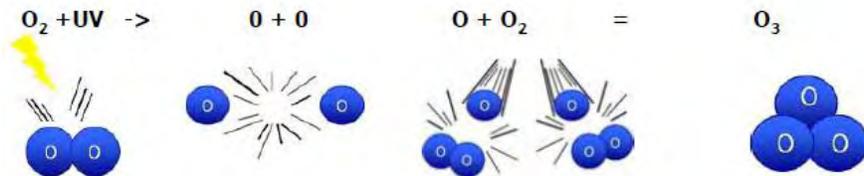
Se energiza en total oscuridad y se realiza una inspección visual a distancia segura. También existe la posibilidad de ensayar con reducida visibilidad y equipamiento ultravioleta. Se busca detectar y localizar descargas superficiales relacionadas con la cubierta semiconductora, en las cabezas de bobina o grietas superficiales.



**Figura 2-53. Prueba Black-out a un estator con CoroCam MultiCam UV/IR**

### 2.4.1.2.9 Detección de Ozono O<sub>3</sub>

En máquinas con ventilación abierta por medio de aire, el oxígeno presente en el mismo puede quedar ionizado debido a Descargas Parciales superficiales generando Ozono (O<sub>3</sub>). Este proceso precisa elevadas energías para producirse. Se trata de un gas de olor característico “chispa o tormenta” que es fácilmente detectable con la instrumentación adecuada.



**Figura 2-54. Proceso físico-químico de generación del ozono en máquinas de ventilación abierta**

### 2.4.1.2.10 Prueba de circuito de Alta Potencia de Flujo (TOROIDE/TERMOVISION)

Posterior a los cálculos efectuados para determinar la bobina toroide, se instala un circuito de cable grueso entorno al hueco del núcleo en forma toroidal y concéntrica con el eje axial del estator, normalmente se requieren de 3 a 10 vueltas. Se energiza el circuito con alta tensión para excitar el núcleo a niveles operacionales de densidad de flujo (normalmente de 1 a 1.5 Teslas). En seguida, se puede explorar el área total de la estructura del núcleo con una cámara de termovisión que disponga de un lente angular para explorar grandes porciones de la superficie y lentes telefoto para vigilar de cerca los puntos de elevadas temperaturas. El examen total se efectúa desde el extremo superior del núcleo, viendo hacia el hueco. Las áreas de calentamiento localizadas en la superficie son fácilmente detectables al principio de la prueba en contraposición con el calentamiento bajo la superficie que toma hasta una hora posterior a la energización del circuito.

	Aceptable	Investigación	Reparación
TOTOIDE (°C)	<5	5 a 10	>20

**Tabla 2-7. Criterios de evaluación para la prueba de alta potencia de flujo**

### 2.4.2 Pruebas en línea (on-line)

Las pruebas on-line se hacen cuando el generador está en funcionamiento normal, por lo tanto los resultados obtenidos de estas pruebas, reflejan factores como vibración, temperatura, carga, etc. En las medidas.

#### 2.4.2.1 Descargas parciales on-line

Ayuda a determinar cuándo parar para hacer pruebas off-line, ya que es la prueba que se utilizará en este estudio se ampliara en detalle. Es la mejor prueba de

diagnóstico en línea del devanado del estator de los generadores eléctricos que existe actualmente, ya que se realiza con el generador eléctrico en operación, bajo los esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos propios de esa condición.

Las ventajas de esta técnica son que la medición se realiza en minutos en el momento que uno decida y, dependiendo del sistema utilizado, puede interpretarse por una persona que haya recibido capacitación. Además, no requiere calibración de equipos ya que los sensores son fijos.

En esta investigación se está utilizando el equipo PDA Premium por la confiabilidad y experiencia que tiene el fabricante ADWELL (actualmente llamado Qualitrol).

#### **2.4.2.1.1 Equipo de medición**

- Acopladores capacitivos

Con estos acopladores se logra captar la alta frecuencia de la señal y rechazar la frecuencia de la red y sus armónicos, ya que las descargas parciales están representadas por pulsos de alta frecuencia y del orden de algunos mV; por lo tanto, la mejor forma de detectarlos es por medio de acopladores capacitivos instalados directamente en los devanados del generador o en los terminales de alta tensión (ver Anexo A; Diagramas e instalación de los acopladores).

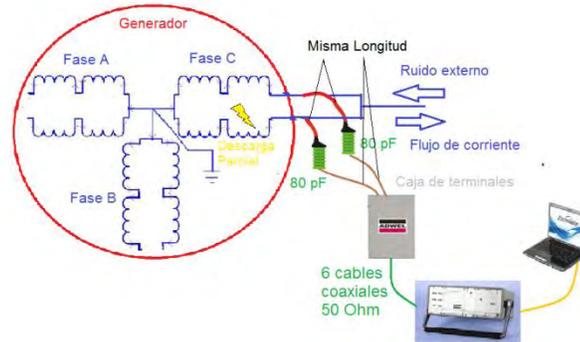


**Figura 2-55. Acopladores capacitivos de 80 pF para 6.9kV, 16kV y 25kV, frecuencias > 40 MHz contruidos en resina epóxica y mica**



**Figura 2-56. Fijación de captadores según la máquina, cableado e instalación de la caja de terminales**

En los generadores, las descargas parciales que se originan dentro de los devanados y se transmiten al exterior de los mismos, se captan a través de los acopladores capacitores de 80 pF conectados directamente a la salida de los devanados.



**Figura 2-57. Diagrama de instalación de acopladores, en forma diferencial**

- Computadora portátil.

La computadora registra los datos, ejecuta el software de análisis de las descargas parciales y puede exportar los datos para que puedan ser utilizados en otras aplicaciones.

- Equipo PDA Premium

Con este equipo se logra medir la actividad de descargas parciales en los devanados del estator en máquinas rotatorias. Convirtiendo la información de los pulsos del mundo analógico al digital, tiene seis entradas para mediciones trifásicas y las mediciones se hacen cuando el generador está en funcionamiento.



**Figura 2-58. Equipo PDA Premium**

Las descargas parciales pueden medirse en varias unidades debido a su naturaleza, también se registran diferentes parámetros del pulso: magnitud, pulsos/seg. Y fase/polaridad para eso se usan las siguientes unidades:

**miliVoltios (mV).** Aplicable a objetos inductivos (medida directa). Es la medida que se utilizara en este estudio.

**picoCulombios (pC).** Aplicable para objetos capacitivos. Requiere calibración para cada objeto de medida. Representa la carga aparente de descarga parcial. Usual en laboratorios de ensayo.

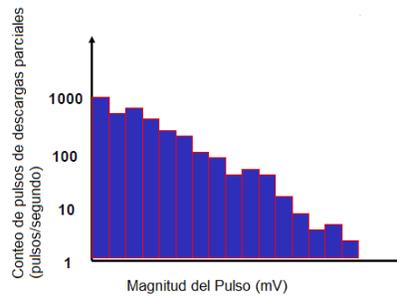
**miliAmps (mA).** Cuando se utilizan transformadores de corriente para realizar la medida.

**Decibelios (dBm).** Cuando se utilizan analizadores de espectros.

#### **2.4.2.2 Gráfica de altura de pulso y magnitud de descargas parciales**

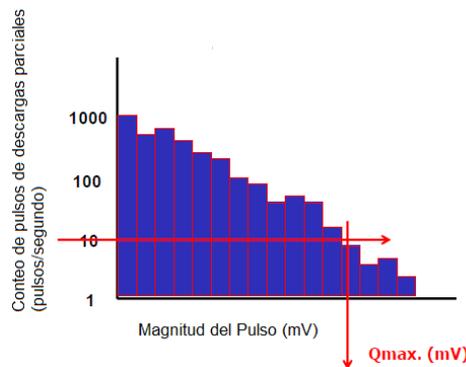
El equipo analizador con el que se realiza este estudio proporciona la siguiente información relacionada con las descargas parciales; Magnitud de las descargas parciales positivas y negativas en milivolts (mV), denominada como  $Q_{max}$ , definida como el valor en mV a una tasa de repetición de las descargas parciales de 10 pulsos por segundo (pps), según la norma IEEE1434, hay por tanto  $Q_{max+}$  y  $Q_{max-}$ .

Presentación en 2D de (pps vs. mV)= Conteo de pulsos (pulsos/segundo) como función de magnitud (mV).



**Figura 2-59. Gráfica 2D de altura de pulso**

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de Magnitud de  $Q_{max}$  asociada a una repetición de pulsos de 10 pps.



**Figura 2-60. Ubicación de  $Q_{max}$  en la grafica de altura de pulsos**

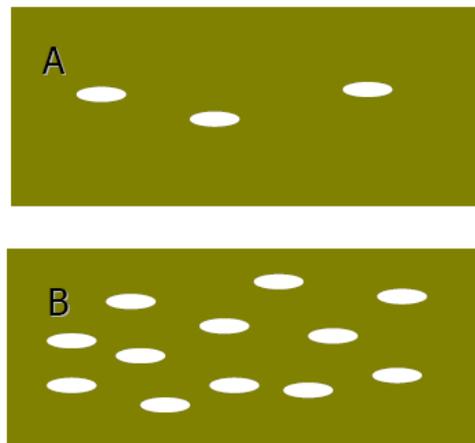
Si se observa la figura 2-60, puede pensarse que hay un  $Q$  más grande que  $Q_{max}$ , y que no se indica, pero  $Q$  tiene menos repeticiones por segundo que  $Q_{max}$  por lo tanto no representa un daño mayor que  $Q_{max}$ , esto significa que al decir que  $Q_{max}$  se da a 10 pulsos por segundo, se busca una magnitud en (mV) que provoque más daño, en las figuras 2-61 y 2-62 se puede ver mejor este comportamiento.

La magnitud de las descargas parciales tiene una relación directa con el tamaño del hueco o lo que es lo mismo con gravedad del daño, por lo tanto a mayor magnitud de las descargas parciales mayor es el hueco donde se producen.



**Figura 2-61. B mayor magnitud que A**

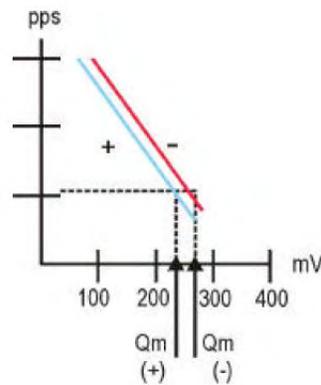
Los pulsos por segundo (pps). Es el conteo de pulsos en la unidad de tiempo. Tiene una relación directa con la cantidad de huecos o lo que es lo mismo con la extensión del daño en el aislante.



**Figura 2-62. B más pulsos por segundo que A**

A continuación se muestra a manera ilustrativa y un tanto idealizada la apariencia de una gráfica de dos dimensiones típica de medición en línea de descargas parciales de un generador hidroeléctrico, en donde la magnitud de las descargas parciales positivas  $Q_{max+}$  y negativas  $Q_{max-}$ , son aproximadamente de 240 mV y 270 mV, respectivamente. Para cada fase del devanado se obtiene una gráfica similar. En la práctica, las curvas obtenidas de descargas parciales positivas y negativas no son perfectamente rectas. NQN se explicara más adelante, pero para efectos de comprensión de su comportamiento se puede decir que, la cantidad de descargas parciales negativas, NQN-, en este ejemplo, sería un poco mayor que la de las

descargas parciales positivas, NQN+. Ya que, como puede apreciarse, el área bajo la curva de la polaridad negativa sería mayor que la de la polaridad positiva. También, mediante un software, se puede obtener el patrón de agrupamiento de las descargas parciales respecto a la onda senoidal de tensión de referencia, en una gráfica de tres dimensiones.



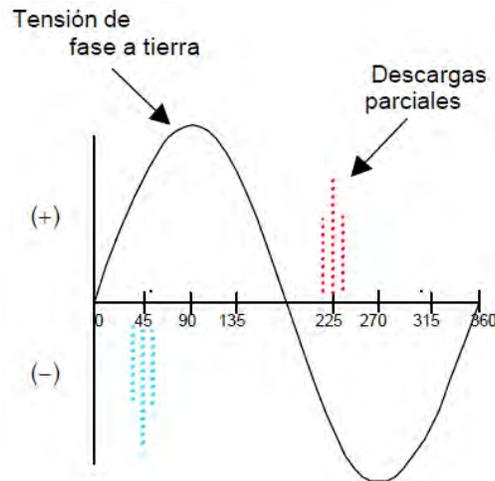
**Figura 2-63. Gráfica típica en medición en línea, de altura de pulso en dos dimensiones**

Se tiene conocimiento hasta la fecha, de un turbogenerador, con capacidad de 350 MW, con sensores para medición en línea de descargas parciales. En este caso, los sensores son tipo antena, los cuales captan las descargas parciales a través de los pulsos electromagnéticos que producen y se instalan directamente en las ranuras, dos por fase, entre las barras del devanado con mayor tensión y las cuñas. Por el tipo de sensor y, principalmente por el efecto del hidrógeno a presión para reducir las descargas parciales, en este tipo de sistema los valores obtenidos en cantidad y magnitud de descargas parciales son mucho menores que en el caso de los generadores hidroeléctricos que son enfriados por aire a presión atmosférica.

En un generador eléctrico la mayor parte del aislamiento del devanado del estator está sujeto a una tensión de fase a tierra, desde los conductores de cada barra del devanado a la superficie de las mismas recubiertas por una cinta o pintura semiconductor que se pone a referencia de tierra al estar en contacto con el núcleo del estator en las ranuras del mismo. Por lo tanto, las descargas parciales originadas

en la sección del devanado con recubrimiento semiconductor y graduador dependen de la tensión de fase a tierra de la máquina.

Las descargas parciales que se originan por la tensión de fase a tierra durante el semiciclo positivo de la tensión, se agrupan alrededor de los 45° eléctricos y son de polaridad negativa. Mientras que, las descargas parciales originadas en el semiciclo negativo, se agrupan alrededor de los 225° eléctricos y son de polaridad positiva, como se ilustra en la figura 2-64, la que la onda senoidal corresponde a la tensión de fase a tierra de una de las fases del devanado.



**Figura 2-64. Polaridades clásicas de las descargas parciales con respecto a la frecuencia de red**

### 2.4.2.3 Predominio de pulsos

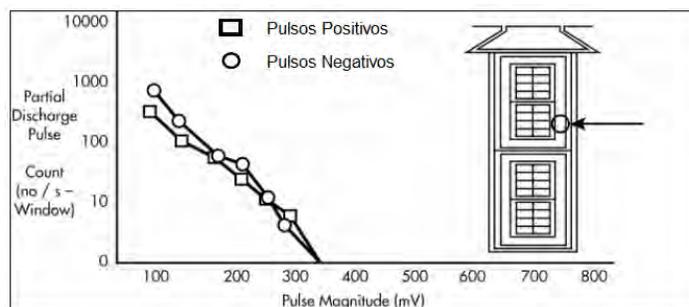
En un aislamiento en el cual solo existen huecos dentro del volumen del aislamiento principal, condición que se considera normal y que se espera que progrese gradualmente a lo largo de muchos años de operación, la magnitud y cantidad de las descargas parciales de ambas polaridades son muy similares entre sí, con pequeñas diferencias, como se observa en la figura 2-63, en la cual la magnitud de las descargas parciales negativas (270 mV) es mayor en un 12.5% que la de las descargas parciales positivas (240 mV). Si la magnitud de las descargas parciales de una de las polaridades es mayor en un 50% aproximadamente que la de la otra

polaridad, se dice que hay una predominancia de polaridad y esto es indicativo de la existencia de otros mecanismos de degradación en el aislamiento.

Los diferentes mecanismos de degradación del aislamiento se pueden identificar por las características en predominancia de polaridad así como del ángulo en que se agrupan las descargas parciales respecto a la onda de tensión de referencia. También, se ha observado que algunos mecanismos de degradación del aislamiento muestran cambios en la magnitud de las descargas parciales por variaciones en temperatura y carga del devanado. A continuación se explican los mecanismos de degradación más comunes y la forma en que se pueden identificar mediante la predominancia de una polaridad.

#### 2.4.2.3.1 No predominancia de polaridades

Si se encuentra que la magnitud y cantidad de las descargas parciales de ambas polaridades son similares  $\frac{+Q_m}{-Q_m} \approx 1$ , generalmente se debe a la existencia de huecos dentro del volumen del aislamiento principal, también posibles descargas en las cabezas de bobina o en el aislamiento exterior causado por deterioro térmico. Aunque también es posible que esta característica ocurra cuando existan dos mecanismos de falla diferentes que produzcan descargas parciales de polaridades opuestas que resulten en magnitudes y cantidades similares.



**Figura 2-65. Ningún predominio de pulsos**



**Figura 2-66. Descargas parciales entre barras por falta de un separador**

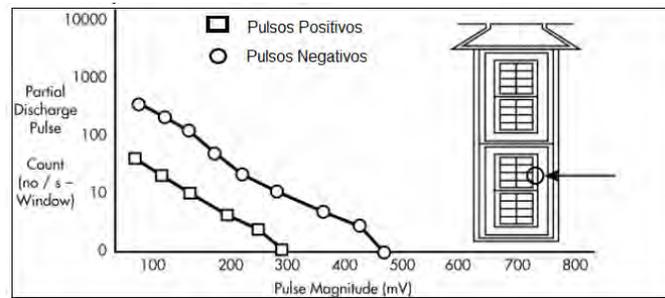


**Figura 2-67. Descargas parciales debido a espacio insuficiente entra barras**

#### **2.4.2.3.2 Predominancia de polaridad negativa**

Cuando las descargas parciales de polaridad negativa predominan  $\frac{+Q_m}{-Q_m} < 0.5$ , se ha encontrado que se deben a que el aislamiento principal se separa de los conductores del devanado lo que significa una delaminación interna presente en el aislamiento con el cobre.

Esta situación se origina por arranques y paros excesivos en los que, por tener el cobre y el aislamiento principal coeficientes diferentes de dilatación, con la repetición de este efecto se fatiga la unión en la interface de conductores y aislamiento hasta romperse formando huecos.



**Figura 2-68. Predominio negativo de pulsos**



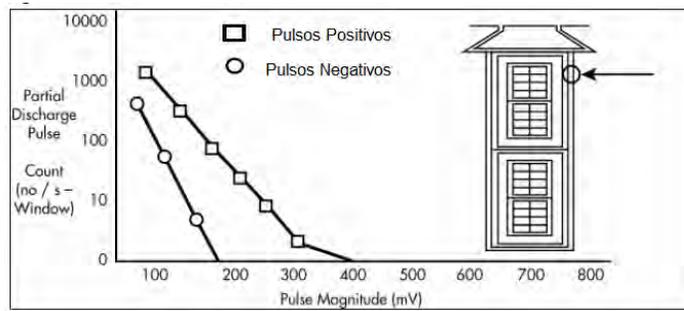
**Figura 2-69. Delaminación interna, predominio negativo de pulsos**

### 2.4.2.3.3 Predominancia de polaridad positiva

Cuando la polaridad que predomina en las descargas parciales es la positiva  $\frac{+Qm}{-Qm} > 1.5$ , se ha encontrado que son debidas a descargas parciales que ocurren en la superficie del aislamiento a la ranura que en este caso es tierra, lo que significa descargas parciales en la cubierta semiconductor también posibilidades de descargas en terminaciones del bobinado, o en la cubierta de gradiente.

Por ejemplo, al dañarse el recubrimiento semiconductor de las barras en la zona de ranuras y perderse la referencia de tierra, en donde haya separaciones entre el aislamiento y el núcleo del estator ocurrirán descargas parciales cuya característica es que son de polaridad positiva.

También ocurrirán descargas parciales positivas en caso de daño en la interfase entre el recubrimiento semiconductor y el graduador a la salida de las barras de las ranuras.



**Figura 2-70. Predominio positivo de pulsos**



**Figura 2-71. Deterioro de la cubierta semiconductora de la bobina causante de un predominio positivo de pulsos**



**Figura 2-72. Descarga de ranura en barra estática próxima al final de la ranura (slot)**



**Figura 2-73. Descargas en las salidas de las ranura**

#### **2.4.2.4 Efecto de la contaminación**

Cuando se presentan problemas de contaminación ó tracking entre barras contiguas del devanado en el cabezal que son de fases diferentes con un alto potencial entre ellas, las descargas parciales en estos puntos son originadas por una tensión entre fases. En este caso, las descargas parciales se agruparán en un ángulo de  $\pm 30^\circ$  eléctricos respecto a la tensión de referencia de fase a tierra. Es decir, a  $15^\circ$  ó  $75^\circ$  para las descargas de polaridad negativa y  $195^\circ$  ó  $255^\circ$  para las positivas.

#### **2.4.2.5 Efecto de las variaciones de carga ó temperatura**

El efecto de las variaciones de carga ó temperatura del devanado sobre las descargas parciales de algunos mecanismos de degradación puede ser a subir ó bajar la magnitud de aquellas. Si al subir la carga ó la temperatura del devanado las descargas parciales se incrementan, se dice que hay un efecto positivo por estos factores. Si el resultado es contrario, es decir, que se reducen las descargas parciales con el aumento de carga ó temperatura en el devanado, se dice que hay un efecto negativo.

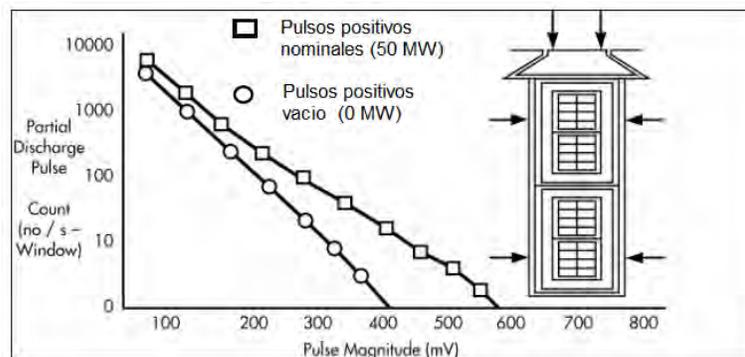
Para determinar si hay un efecto en las descargas parciales por temperatura, se debe lograr una variación en temperatura en el devanado del estator de al menos 20°C y en el caso de la carga la variación debe ser al menos de 40%.

La variación con la temperatura se da porque el tamaño de los huecos es inversamente proporcional a la temperatura del conductor. Al calentarse el conductor, el cobre se expande, los huecos se encogen y reducen las descargas parciales. Cuanto mayor sea el efecto es más probable un problema de delaminación interna expandiéndose y encogiéndose según la máquina se enfría y calienta.

Qm ↓ con ↑Temperatura = Deterioro térmico o debido al ciclo de carga.

Qm ↑ con ↑Temperatura = Deterioro de la capa de carburo de silicio.

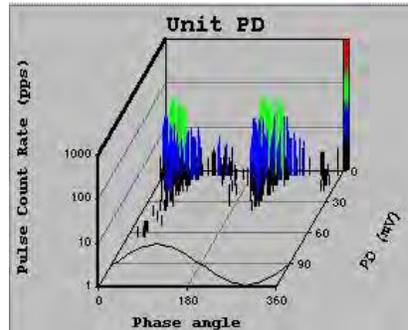
Si las gráficas de los pulsos positivos se separan, cuando se cambia la carga, manteniendo la temperatura y la tensión constantes, la unidad experimenta las etapas iniciales de devanados sueltos.



**Figura 2-74. Devanado flojo**

En la figura 2-75 presenta una gráfica en 3D (pps vs. mV y fase) que es el conteo de pulsos, como función tanto de la magnitud como de la fase de pulsos en un

periodo completo de red (60Hz). Con esta grafica se puede identificar en que rangos de ángulo de fase están ocurriendo las descargas parciales.



**Figura 2-75. Grafica en 3D**

A continuación se indican los mecanismos de falla más comunes del aislamiento y las características de las descargas parciales que producen.

Mecanismo De falla	Polaridad que predomina	Efecto de carga	Efecto de Temp.	Angulo de fase
Deterioro Térmico	Ninguna	Ninguno	Negativo	45° y 225°
Ciclos de carga	Negativa	Negativo	Negativo	45°
Devanado Flojo	Positiva	Positivo	Negativo	225°
Descargas a la ranura	Positiva	Ninguno	Negativo	225°
Mala Impregnación	Ninguna	Ninguno	Negativo	45° y 225°
Contaminación	Ninguna	Ninguno	No predecible	15°, 75°, 195° y 255°
Espacio inadecuado entre barras	Ninguna	Ninguno	No predecible	15°, 75°, 195° y 255°
Interfase semicon y graduadora	Positiva	Ninguno	Positivo	225°

**Tabla 2-8. Mecanismos de falla más comunes del aislamiento**

La tabla 2-8 ayuda a determinar que pruebas hacer, incluyendo variar carga y temperatura, para determinar los mecanismos de falla que estén presentes.

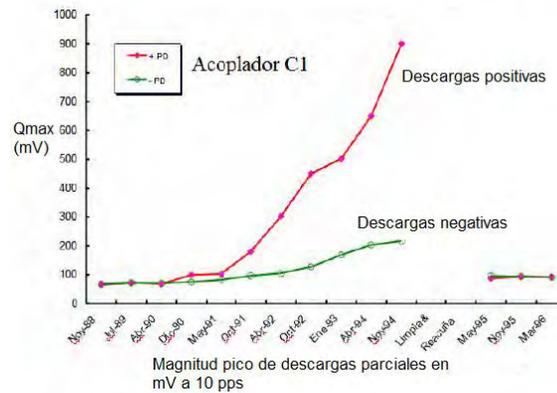
### 2.4.2.6 Tendencia

El criterio de evaluación incluye, además de la cantidad y magnitud de las descargas parciales, la tendencia. Inicialmente, se deben tomar lecturas cada seis meses. Si el valor inicial se considera muy elevado o si el segundo valor semestral es mayor que el anterior, se deben tomar lecturas con mayor frecuencia, por ejemplo cada tres meses. De acuerdo con el fabricante del equipo de medición en línea de descargas parciales, si el valor de estas se duplica cada seis meses, el devanado esta en un proceso de deterioro muy rápido y deben tomarse previsiones para un cambio de devanado o un mantenimiento correctivo. Para que la tendencia de las descargas parciales sea adecuada, se debe tratar de que las condiciones operativas de la máquina sean lo más parecidas posible entre mediciones sucesivas. Las variaciones permisibles recomendadas para este efecto son como se indica en la tabla 2-9.

Parámetro	Tolerancia
Tensión del estator	$\pm 200$ V
Carga	$\pm 10\%$
Potencia activa MW	$\pm 10\%$
Potencia reactiva MVAR	$\pm 10\%$
Temperatura de devanado	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
Presión de gas	$\pm 30$ kPa
Modo de operación: Generador/condensador	Sin cambio

**Tabla 2-9. Las variaciones permisibles para que la tendencia sea correcta**

Por lo tanto si las variaciones que se indican en la tabla 2-9 se encuentran dentro de los límites de tolerancia, Qmax y NQN Se pueden usar para realizar tendencias de un sistema de aislamiento monitorizado.



**Figura 2-76. Ejemplo de tendencia**

Si se detectan descargas parciales altas en el aislamiento principal (groundwall) que han venido ocurriendo durante muchos años con una tendencia casi recta y luego  $Q_{max}$  decrece un 20%, es una señal que el devanado fallara inmediatamente, esta disminución de las descargas parciales antes del la falla final se debe a las descargas parciales que degradaron el material orgánico, y el carbón que se formo afuera de las cavidades hizo que estas se redujeran, disminuyendo las descargas parciales.

#### 2.4.2.7 Método de comparación

Otra forma de evaluación es comparando contra generadores similares, el fabricante de los equipos de monitoreo en línea de descargas parciales cuenta con una base de datos de miles de lecturas, agrupadas por tipo de sensor de descargas parciales y medio de enfriamiento y, dentro de cada grupo hay varios rangos de tensiones nominales de generadores eléctricos.

A continuación se muestra una tabla con los valores de magnitud de  $Q_{max}$ , recopiladas de miles de resultados de ensayos de descargas parciales en generadores eléctricos enfriados por aire, equipados con sensores capacitivos de 80 pF conectados en arreglo conocido como diferencial, que corresponde a los arreglos de la mayoría de los generadores.

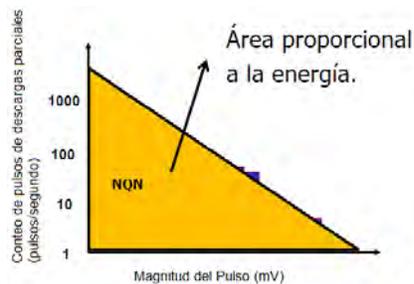
Tensión nominal	13 – 15 kV	16 – 18 kV
Promedio	168	457
Máximo	3396	3548
25%	9	145
50%	79	269
75%	180	498
90%	362	1024

**Tabla 2-10. Ejemplo real de las estadísticas de Qmax**

Los valores en el renglón de 25% significan que una cuarta parte de los generadores tienen descargas parciales por debajo de 9 mV y 145 mV respectivamente, en esos dos rangos de voltaje y así sucesivamente, hasta el renglón de 90%. Esto significa que la gran mayoría de los generadores en esta categoría, 90%, tienen valores por debajo de 362 mV y 1024 mV en los dos rangos de tensiones nominales indicados.

### 2.4.2.8 NQN

La cantidad de descargas parciales en pulsos por segundo convertida a un número llamado NQN (Normalized Quantity Number), que es equivalente al área bajo la curva de cada polaridad por lo tanto hay NQN+ y NQN- en una gráfica de dos dimensiones en la cual en el eje “Y” se encuentra la cantidad de descargas parciales en pulsos por segundo y en el eje “X” la magnitud de las mismas en mV.



**Figura 2-77. Grafica de NQN**

### 2.4.3 Comparación de ensayos Off-line vs. On-line, de descargas parciales.

Off-Line.	On-line
La máquina está fuera de servicio y desconectada del sistema	Se puede ensayar sin interrumpir el servicio.
Se necesita una fuente A.T. Externa y grande	No se precisa una fuente A.T. Externa
Ensayo relativamente caro.	Ensayo económico y que ahorra tiempo
Solo hay estrés eléctrico. No es sensible a descargas en ranuras/barras sueltas debidas a fuerzas electromagnéticas (No aparecerían descargas por vibraciones ni al encoger cobre y aislamiento).	Se dan todas las sollicitaciones normales de servicio: eléctricas, mecánicas, térmicas y electromagnéticas habituales del generador en servicio. Aparecen fuerzas no presentes Off-Line. Más realista.
Todo el devanado estático desde fase a neutro está sujeto a tensión nominal (pueden aparecer Descargas Parciales en zonas no sujetas a potencial elevado).	Solo las barras terminales están expuestas al voltaje nominal.
El sitio de descargas puede encontrarse con una sonda de corona	Identifica lugares con Descargas Parciales en cada fase / paralelo.
Apropiado para problemas aislados/localizados.	Test rutinario para comprobar el deterioro lento y generalizado del aislamiento estático.
Casi todas las fuentes de ruido están eliminadas, ya que el generador está detenido y aislado de otras fuentes de ruido.	Medio muy ruidoso. Otros equipos; radio, interferencias radiadas, conducidas de alimentación, chispas en anillos o corona en líneas, conmutación, etc. El equipo de descarga parcial debe discriminar el ruido.

**Tabla 2-11. Ensayos On-Line vs Off-Line**

### 2.4.4 Acciones a tomar tras la interpretación

#### 2.4.4.1 Máquina en buen estado

No se hace nada conscientemente, confianza y seguridad en la máquina.

#### 2.4.4.2 Máquina con problemas

Se debería seguir investigando para corroborar el tipo de deterioro del aislamiento indicado por las descargas parciales:

- Ensayos de tip-up para buscar delaminación interna.
- Inspección de presión de cuñas, inspección visual de descargas de ranura o barras sueltas.

- Inspección visual de descargas en cabezas de bobina.

Ensayo EDA buscando contaminación, humedad, envejecimiento.

### 3. Formulación de hipótesis

#### 3.1 Hipótesis general

Es posible realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín.

#### 3.2 Hipótesis específicas.

**Hipótesis:** Haciendo un estudio de campo, utilizando el equipo PDA Premium, se puede extraer de los generadores, la información de las descargas parciales.

**Variables:**

- **Independiente:** El estudio de campo utilizando el equipo PDA Premium.
- **Dependiente:** la extracción de la información de descargas parciales a los generadores.

**Hipótesis:** Se puede cuantificar el nivel de deterioro del aislamiento, a través de la comparación de los valores de  $Q_{max}$  y una base de datos de referencia.

**Variables:**

- **Independiente:** la comparación de los valores de  $Q_{max}$  y una base de datos de referencia.
- **Dependiente:** la cuantificación del nivel de deterioro del aislamiento.

**Hipótesis:** se pueden identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están siendo afectadas por las descargas parciales, a través del análisis de las gráficas relacionadas con estas.

**Variables:**

- **Independiente:** el análisis de las gráficas relacionadas con las descargas parciales.
- **Dependiente:** la identificación de las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores.

**Hipótesis:** con el análisis de las tendencias de descargas parciales, se puede saber si el aislamiento de las bobinas está en proceso de deterioro.

**Variables:**

- **Independiente:** el análisis de las tendencias de descargas parciales.
- **Dependiente:** la determinación del proceso de deterioro del aislamiento de las bobinas.

**CAPITULO III**  
Formulación de hipótesis

MATRIZ DE CONGRUENCIA						
PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS GENERAL	HIPOTESIS ESPECIFICAS	MARCO TEORICO
<p>¿En qué medida es posible realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín?</p>	<p>¿En qué medida se puede Hacer un estudio de campo utilizando el equipo PDA Premium para extraer de los generadores la información de las descargas parciales y sumar esta información a una base de datos ya existente?</p> <hr/> <p>¿En qué medida es posible cuantificar el nivel de deterioro del</p>	<p>Realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín.</p>	<p>Hacer un estudio de campo utilizando el equipo PDA Premium para extraer de los generadores la información de las descargas parciales y sumar esta información a una base de datos ya existente.</p> <hr/> <p>Cuantificar el nivel de deterioro del aislamiento, si existe, a través de</p>	<p>Es posible realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín.</p>	<p>Haciendo un estudio de campo, utilizando el equipo PDA Premium, se puede extraer de los generadores, la información de las descargas parciales.</p> <hr/> <p>Se puede cuantificar el nivel de deterioro del aislamiento, a través de la comparación de los valores de Qmax y una base de datos</p>	<p>Principio de generación.</p> <p>Generador síncrono.</p> <p>Devanado de la maquina síncrona.</p> <p>Aislante de las bobinas.</p> <p>Descarga</p>

**CAPITULO III**  
Formulación de hipótesis

	<p>aislamiento, si existe, a través de la comparación de los valores de Qmax y una base de datos de referencia?</p> <hr/> <p>¿En qué medida es posible identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están siendo afectadas por las descargas parciales, a través del análisis de las</p>		<p>la comparación de los valores de Qmax y una base de datos de referencia.</p> <hr/> <p>Identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están siendo afectadas por las descargas parciales, a través del análisis de las graficas relacionadas con estas.</p> <hr/>		<p>de referencia.</p> <hr/> <p>Se pueden identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están siendo afectadas por las descargas parciales, a través del análisis de las graficas relacionadas con estas.</p> <hr/> <p>Con el análisis de las tendencias de descargas parciales, se puede</p>	<p>parcial.</p> <p>Pruebas de diagnóstico del devanado del estator de generadores eléctricos.</p> <p>Pruebas fuera de línea Off-Line.</p> <p>Inspección visual.</p> <p>Pruebas eléctricas.</p>
--	--	--	---	--	---	--

**CAPITULO III**  
Formulación de hipótesis

	<p>graficas relacionadas con estas?</p> <hr/> <p>¿En qué medida es posible analizar las tendencias de las descargas parciales, para saber si el aislamiento de las bobinas está en proceso de deterioro?</p>		<p>Analizar las tendencias de las descargas parciales, para saber si el aislamiento de las bobinas está en proceso de deterioro o no.</p> <hr/> <p>Presentar a LaGeo, los resultados obtenidos en este estudio, con sus respectivas recomendaciones según sea el caso.</p>		<p>saber si el aislamiento de las bobinas está en proceso de deterioro.</p>	<p>Pruebas en línea On-Line.</p> <p>Predominio de pulsos.</p> <p>Tendencia</p> <p>Comparación de ensayos Off-Line vs On-Line de descargas parciales.</p>
--	--	--	--	--	---	--

**Tabla 3-1. Matriz de congruencia**

## 4. Metodología de la investigación

Para realizar el trabajo de investigación, el cual incluye hacer una evaluación del estado del aislamiento de las bobinas del estator de los generadores, se utilizarán las siguientes metodologías:

- **Investigación teórica**
- **Investigación de Campo**
- **Desarrollo**
- **Reporte de resultados y recomendaciones**
- **Documentación**

### 4.1 Descripción de actividades

- **Investigación teórica:** Se enfoca en conocer las características de los generadores, su funcionamiento, el fenómeno de las descargas parciales así como los métodos que existen para medirlas, tipos de materiales aislantes, otras pruebas para generadores y descripción del instrumento de medición de descargas parciales.
- **Investigación de Campo:** Consiste en realizar en los generadores que son objetos de estudio, la recolección de datos por medio del equipo PDA Premium, y sumar estos datos a la base de datos ya existente, este equipo estará conectado al generador solo al momento de la prueba por medio de sensores capacitivos, que están conectados permanentemente al generador, también al momento de la prueba se conectara al equipo PDA Premium, una computadora con su respectivo software previamente instalado, que recibirá datos digitales, cabe mencionar que en la computadora se llevara el registro

de cada generador por separado, que comienza desde la fecha que se instalaron los acopladores capacitivos a los generadores.

- **Desarrollo:** consiste en analizar las bases de datos, para saber qué tipos de descargas parciales se están presentando y poder interpretar los datos, para así conocer en qué condiciones se encuentra el aislamiento y su tendencia al deterioro.
- **Reporte de resultados y recomendaciones:** en base al análisis de datos se plantearán los resultados obtenidos y se harán las recomendaciones para cada generador.
- **Documentación:** Implica el registro de los detalles de la investigación por capítulo para entrega en un documento final entregable para ser evaluado por un jurado.

## 4.2 Selección y diseño del tipo de investigación

Esta investigación correspondió a un estudio de tipo explicativo con diseño experimental el cual es un estudio en que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que tal manipulación ejerce sobre una o más variables dependientes dentro de una situación de control para el investigador.

## 4.3 Descripción de la población

Dado que en la presente investigación se pretende estudiar el estado de aislamiento de los generadores por medio del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín, es necesario que los generadores tengan instalado los acopladores capacitivos, estos permiten conectar el equipo PDA Premium a los generadores (ver Anexo B; generadores), en la planta cuentan con cuatro generadores pero la población se define como todos aquellos generadores que

tengan instalado los acopladores capacitivos. Para este caso son los generadores 1 y 2 de la marca Alstom, modelo T190-240 y el generador 3 de la marca BRUSH, modelo BDAX7-29DERH. Las tablas 4-1, 4-2 y 4-3 muestran los datos de placa de estos generadores.

Tipo	T190-240 ADIM
Potencia	37.05 MVA
Voltaje Linea-Linea	13,800.00 V AC
Corriente de fase	1,550.00 A
Factor de potencia	0.85
Frecuencia	60.00 HZ
Velocidad de giro	3,600.00 RPM
Número de fases	3
Tipo de conexión	Estrella
Clase de aislamiento	F
Servicio	CONTINUO
Voltaje de excitación	219.00 V DC
Corriente de excitación	417.00 V DC
Tipo de enfriamiento	AIRE ADIM
Temperatura ambiente	43.00 °C
Temperatura del agua	35.00 °C
Norma aplicable	ANSI C50
Grado de protección	IP 55
Altura de trabajo	< 1000 m.
Peso del equipo	83,000.00 Kg
Número de fabricación	500177 ADIM
Año de fabricación	1997

**Tabla 4-1. Datos de placa del generador 1**

Tipo	T190-240 ADIM
Potencia	37.05 MVA
Voltaje Linea-Linea	13,800.00 V AC
Corriente de fase	1,550.00 A
Factor de potencia	0.85
Frecuencia	60.00 HZ
Velocidad de giro	3,600.00 RPM
Número de fases	3
Tipo de conexión	Estrella
Clase de aislamiento	F
Servicio	CONTINUO
Voltaje de excitación	219.00 V DC
Corriente de excitación	417.00 V DC
Tipo de enfriamiento	AIRE ADIM
Temperatura ambiente	43.00 °C
Temperatura del agua	35.00 °C
Norma aplicable	ANSI C50
Grado de protección	IP 55
Altura de trabajo	< 1000 m.
Peso del equipo	83,000.00 Kg
Número de fabricación	500177 ADIM
Año de fabricación	1997

***Tabla 4-2. Datos de placa del generador 2***

Tipo	BDAX7-29DE
Potencia	51.76 MVA
Voltaje Linea-Linea	13,800.00 V AC
Corriente de fase	2,166.00 A
Factor de potencia	0.85
Frecuencia	60.00 HZ
Velocidad de giro	3,600.00 RPM
Número de fases	3
Tipo de conexión	Estrella
Clase de aislamiento	F
Servicio	CONTINUO
Voltaje de excitación	158.00 V DC
Corriente de excitación	799.00 V DC
Tipo de enfriamiento	AIRE ADIM
Temperatura ambiente	21.00 °C
Temperatura del agua	41.00 °C
Norma aplicable	IEC-60034-3
Grado de protección	IP 44
Altura de trabajo	Hasta 1000 m.
Peso del equipo	75,550.00 Kg
Número de fabricación	911366.010 ADIM
Año de fabricación	2005

**Tabla 4-3. Datos de placa del generador 3**

#### 4.4 Muestra de la población

Para alcanzar los objetivos de ésta investigación no es necesario tomar en cuenta todas las lecturas obtenidas, que comienzan desde la instalación de los acopladores capacitivos a los generadores, ya que se han venido descargando los datos una vez por semana, aunque en ocasiones no se descarguen debido a otros factores como por ejemplo la salida del generador por mantenimiento. Por lo tanto los datos se analizarán tomando una muestra por mes, para graficar las tendencias de las descargas parciales, estas no cambian de una semana a otra, sino que experimentan en ese tiempo ninguna o pequeñas variaciones. Para hacer la comparación con la base de datos de referencia y en análisis de las gráficas de predominancia y agrupamiento de pulso solo se necesita de la última prueba.

#### 4.5 Diseño muestral

El diseño muestral es no probabilístico porque se utiliza un muestreo dirigido, se elegirá la muestra de forma ordenada en una escala de tiempo, el cual se define teóricamente como: *“es un estudio en el que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes para analizar así las consecuencias que la manipulación tiene sobre las variables dependientes dentro de una situación de control”*. En este caso las variables independientes serian básicamente los datos de las descargas parciales ya que a través de su análisis se conocerá el estado de aislamiento de las bobinas de los generadores, para lograr los objetivos de esta investigación.

#### 4.6 Calculo del tamaño de la muestra

Dado que es una muestra dirigida y por la naturaleza de la investigación será un muestreo sistemático, se elegirá aleatoriamente un elemento dentro de los primeros  $k$  elementos del marco mastral y posteriormente se seleccionará en forma sucesiva

el  $k$ -ésimo elemento que sigue al último que se obtuvo, por tanto no es necesario hacer ningún cálculo del tamaño de la muestra.

#### **4.7 Estimación de los parámetros poblacionales**

Como en este caso la población son tres generadores, dado el tipo de estudio se hará un análisis para cada uno, y no importa que no tengan las mismas características técnicas, por lo tanto no se requiere de la estimación de un parámetro para generalizar los resultados de la muestra en la población, porque se sacará una muestra para cada generador y los resultados serán independientes.

## 5. Recolección de datos

### 5.1 Técnicas e Instrumentos de Investigación

La técnica de investigación que se utilizará para la recolección de los datos, consiste básicamente en una investigación de campo, en la cual el objetivo será obtener las mediciones de descargas parciales de los generadores. Los instrumentos para esta investigación consisten en los siguientes equipos:

1. Acopladores capacitivos (conectados permanentemente al generador).
2. Equipo PDA Premium
3. Computadora portátil (Toshiba).

### 5.2 Elaboración de instrumentos de investigación

Dentro de los instrumentos de investigación necesarios para desarrollar esta tesis esta una herramienta que sea capaz de adquirir NQN-, NQN+, Qmax-, Qmax+, de tres bases de datos en Excel, otra que le facilite al usuario la comparación de una prueba con una base de datos de referencia y la tercera para facilitar la interpretación de las descargas parciales. Ya que LaGeo no posee una herramienta que sea capaz de facilitar el análisis de las descargas parciales, por lo tanto se usara Matlab 7.8 para crear dichas herramientas.

Estas herramientas son parte fundamental para hacer un protocolo que incluye el análisis e interpretación de las descargas parciales e informe de estas.

### 5.3 Aplicación de los instrumentos de investigación

Entre los instrumentos de investigación a utilizar están:

- Acopladores capacitivos

Con estos acopladores se logra captar la alta frecuencia de la señal y rechazar la frecuencia de la red y sus armónicos, ya que las descargas parciales están representadas por pulsos de alta frecuencia y del orden de algunos mV; por lo tanto, la mejor forma de detectarlos es por medio de acopladores capacitivos instalados directamente en los devanados del generador o en los terminales de alta tensión. La salida de estos acopladores se conectan permanentemente a una caja de terminales instalada fuera del generador.

- Equipo PDA Premium

Con este equipo se logra medir la actividad de descargas parciales en los devanados del estator en máquinas rotatorias. Convirtiendo la información de los pulsos del mundo analógico al digital, tiene seis entradas para mediciones trifásicas y las mediciones se hacen cuando el generador está en funcionamiento, este equipo se conecta a la caja de terminales instalada permanentemente en el generador, (ver Anexo C; Marca y modelo del equipo).

- Computadora portátil (Toshiba).

La computadora ejecuta el software, registra los datos, y los exporta para que puedan ser analizados en otras aplicaciones (ver Anexo D; PDA Premium 120 II).

- Herramienta para el análisis de descargas parciales, creada en Matlab 7.8.

Esta herramienta servirá para facilitar el análisis e interpretación de las descargas parciales.

## 5.4 Proceso de recolección de datos

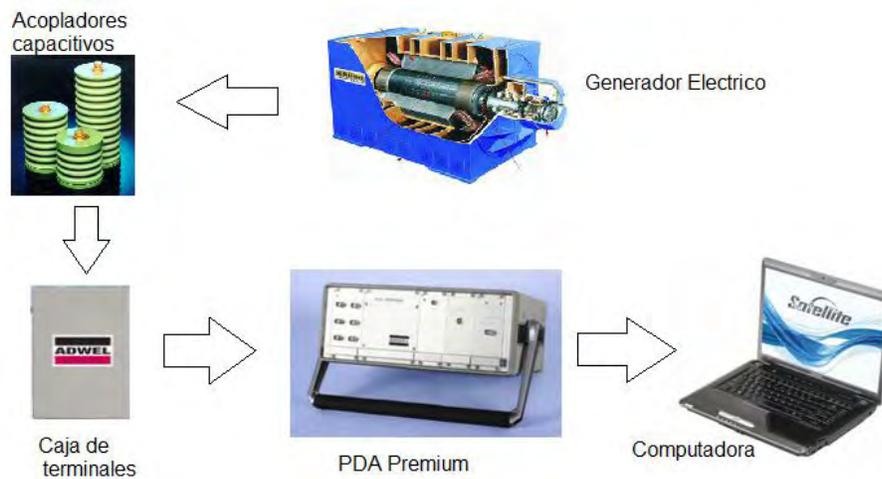
El siguiente proceso de recolección de datos es para los generadores uno y dos, para el generador tres solo cambia el paso 1 ya que solo se conectan tres cables en lugar de seis.

1. Conectar el equipo PDA Premium con la caja de terminales, por medio de seis cables coaxiales (ver Anexo E; Conexiones del PDA Premium con el generador).
2. Conectar el equipo PDA Premium con la computadora portátil por medio de un cable USB.
3. Encender el equipo y ejecutar el software (ver Anexo D PDA Premium 120 II).
4. Descargar los datos y almacenarlos.

## 6. Análisis e interpretación de resultados

Como resultado del trabajo de campo se han obtenidos los datos de los generadores. Esta información ha sido almacenada en una base de datos soportada por el software, el cual se encuentra funcionando en una computadora portátil propiedad de LaGeo.

La dirección del flujo de datos que ocurre durante el procedimiento descrito en el capítulo Recolección de datos, puede representarse a grandes rasgos mediante un diagrama simple como el que se muestra en la figura 6-1.



**Figura 6-1. Representación gráfica de la descarga y almacenamiento de datos**

El diagrama anterior puede explicar de manera gráfica el flujo de datos durante el procedimiento de recolección de estos, la computadora posee un software instalado en el que a través de una serie de rutinas extrae del generador información de interés para este estudio como es el NQN+, NQN-, Qmax+, Qmax- (Ver anexo D).

Siguiendo los pasos del estudio de campo mencionado en el capítulo anterior (proceso de recolección de datos) se ha logrado construir una base de datos que incluye los NQN+, NQN-, Qmax+, Qmax-, gráficas de distribución de pulsos y

graficas de predominancias, para cada acoplador, así como otra información extra como potencia activa, potencia reactiva y temperatura. Esta información extra se introduce al momento de la prueba, para que el software compense o calcule los niveles de descargas parciales, ya que si no se toman en cuenta estos factores podría haber un gran margen de error en los datos obtenidos.

El tiempo entre fechas que se colectaron los datos puede cambiar ligeramente, sin embargo esto no afecta el resultado de este estudio. Existe más información que el software puede brindar, sin embargo en este momento el NQN+, NQN-, Qmax+, Qmax-, gráficas de distribución de pulsos y gráficas de predominancias son los que ocupan la atención como insumo para esta investigación.

Dos de los tres generadores tienen las mismas características técnicas pero los fabricantes pueden usar diferentes procesos para la fabricación del aislamiento de los devanados, o materiales levemente diferentes, por eso no es de sorprenderse si estos dos generadores no se encuentran en el mismo estado, por eso siempre es necesario hacer las pruebas a cada uno, para eso ha sido necesario extraer los datos de cada generador, lo que ha requerido la movilización dentro de la planta geotérmica en Berlín.

### 6.1 Tabulación de datos

A continuación se muestra la tabulación de los datos obtenidos para los tres generadores.

Generador 1

	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
10/03/2008	A1	400 mV	0	36	8	25 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	91	228	50 mV	125 mV
	B1	400 mV	0	33	4	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	36	247	25 mV	150 mV
	C1	400 mV	0	10	68	0 mV	325 mV
	C2	400 mV	0	112	160	50 mV	100 mV
	Pot. Activa 27.2 MW		Pot. Reactiva 4.2 MVar		Temp. 76 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

07/04/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	28	6	25 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	149	242	100 mV	150 mV
	B1	400 mV	0	51	13	50 mV	25 mV
	B2	400 mV	0	114	319	75 mV	200 mV
	C1	400 mV	0	11	19	0 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	118	104	75 mV	75 mV
	Pot. Activa 26.8 MW		Pot. Reactiva 10.7 MVar		Temp. 79 °C		

05/05/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	13	11	25 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	101	261	75 mV	175 mV
	B1	400 mV	0	30	8	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	106	280	75 mV	150 mV
	C1	400 mV	0	0	14	0 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	113	113	75 mV	75 mV
	Pot. Activa 27.2 MW		Pot. Reactiva 6.8 MVar		Temp. 76 °C		

02/06/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	27	6	25 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	106	239	75 mV	150 mV
	B1	400 mV	0	30	6	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	89	277	50 mV	175 mV
	C1	400 mV	0	0	15	0 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	101	100	75 mV	50 mV
	Pot. Activa 27.9 MW		Pot. Reactiva 9 MVar		Temp. 75 °C		

01/07/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	18	4	25 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	44	230	25 mV	125 mV
	B1	400 mV	0	22	0	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	103	243	50 mV	150 mV
	C1	400 mV	0	4	6	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	67	97	50 mV	50 mV
	Pot. Activa 27.2 MW		Pot. Reactiva 7.2 MVar		Temp. 77 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

11/08/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	18	6	25 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	49	232	25 mV	125 mV
	B1	400 mV	0	25	0	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	105	244	50 mV	150 mV
	C1	400 mV	0	13	31	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	92	99	50 mV	50 mV
	Pot. Activa 26.7 MW		Pot. Reactiva 8 MVar		Temp. 81 °C		

01/09/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	28	9	25 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	109	233	75 mV	125 mV
	B1	400 mV	0	16	4	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	67	264	50 mV	150 mV
	C1	400 mV	0	0	9	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	82	128	50 mV	75 mV
	Pot. Activa 27 MW		Pot. Reactiva 5 MVar		Temp. 78 °C		

07/10/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	9	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	69	233	50 mV	150 mV
	B1	400 mV	0	8	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	93	203	75 mV	125 mV
	C1	400 mV	0	0	10	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	25	95	25 mV	50 mV
	Pot. Activa 26.5 MW		Pot. Reactiva 1.8 MVar		Temp. 76 °C		

24/11/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	10	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	91	197	50 mV	125 mV
	B1	400 mV	0	13	4	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	72	195	50 mV	125 mV
	C1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	33	91	25 mV	50 mV
	Pot. Activa 26.9 MW		Pot. Reactiva 4.7 MVar		Temp. 71 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

08/12/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	6	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	76	212	50 mV	125 mV
	B1	400 mV	0	12	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	50	172	50 mV	100 mV
	C1	400 mV	0	8	9	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	31	88	25 mV	50 mV
	Pot. Activa 26.3 MW		Pot. Reactiva 3.8 MVar		Temp. 74 °C		

12/01/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	61	166	50 mV	100 mV
	B1	400 mV	0	15	0	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	61	157	50 mV	100 mV
	C1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	39	88	25 mV	75 mV
	Pot. Activa 26.7 MW		Pot. Reactiva 7.5 MVar		Temp. 76 °C		

09/03/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	123	52	50 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	106	223	50 mV	125 mV
	B1	400 mV	0	106	6	50 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	58	179	50 mV	100 mV
	C1	400 mV	1	101	31	50 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	107	245	25 mV	50 mV
	Pot. Activa 28 MW		Pot. Reactiva 12.3 MVar		Temp. 77 °C		

14/04/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	113	113	50 mV	50 mV
	A2	400 mV	0	116	206	50 mV	100 mV
	B1	400 mV	0	117	104	50 mV	50 mV
	B2	400 mV	0	148	232	50 mV	100 mV
	C1	400 mV	1	132	119	50 mV	50 mV
	C2	400 mV	1	114	175	50 mV	50 mV
	Pot. Activa 29 MW		Pot. Reactiva 11.8 MVar		Temp. 80 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

01/06/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	47	44	25 mV	25 mV
	A2	400 mV	0	66	166	50 mV	100 mV
	B1	400 mV	0	107	37	50 mV	25 mV
	B2	400 mV	0	71	195	50 mV	100 mV
	C1	400 mV	1	23	0	25 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	93	102	50 mV	25 mV
	Pot. Activa 26.9 MW		Pot. Reactiva 3.7 MVar		Temp. 80 °C		

06/07/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	103	52	50 mV	25 mV
	A2	400 mV	0	78	193	50 mV	100 mV
	B1	400 mV	0	111	38	50 mV	25 mV
	B2	400 mV	0	65	183	50 mV	100 mV
	C1	400 mV	1	56	27	50 mV	25 mV
	C2	400 mV	1	133	168	75 mV	50 mV
	Pot. Activa 27.6 MW		Pot. Reactiva 5.3 MVar		Temp. 79 °C		

25/08/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	92	13	50 mV	25 mV
	A2	400 mV	0	61	163	50 mV	75 mV
	B1	400 mV	0	47	4	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	66	146	50 mV	75 mV
	C1	400 mV	1	91	31	25 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	96	109	50 mV	50 mV
	Pot. Activa 27 MW		Pot. Reactiva 6 MVar		Temp. 78 °C		

05/10/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	6	8	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	57	146	50 mV	75 mV
	B1	400 mV	0	72	141	50 mV	50 mV
	B2	400 mV	0	196	132	100 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	0	10	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	74	97	50 mV	50 mV
	Pot. Activa 26.6 MW		Pot. Reactiva 2.6 MVar		Temp. 79 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

09/11/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	8	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	63	153	50 mV	100 mV
	B1	400 mV	0	4	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	86	140	50 mV	100 mV
	C1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	64	98	25 mV	75 mV
	Pot. Activa 27.5 MW		Pot. Reactiva 4.6 MVar		Temp. 71 °C		

07/12/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	45	6	50 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	78	149	50 mV	100 mV
	B1	400 mV	0	118	54	50 mV	25 mV
	B2	400 mV	0	110	180	50 mV	75 mV
	C1	400 mV	1	101	36	50 mV	25 mV
	C2	400 mV	1	86	153	50 mV	75 mV
	Pot. Activa 27.8 MW		Pot. Reactiva 1.5 MVar		Temp. 76 °C		

11/01/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	8	4	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	87	178	50 mV	100 mV
	B1	400 mV	0	104	0	50 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	76	166	50 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	31	8	50 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	198	192	125 mV	100 mV
	Pot. Activa 27.7 MW		Pot. Reactiva 0.9 MVar		Temp. 81 °C		

01/02/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	30	153	25 mV	50 mV
	A2	400 mV	0	133	149	50 mV	100 mV
	B1	400 mV	0	55	138	50 mV	50 mV
	B2	400 mV	0	156	115	50 mV	75 mV
	C1	400 mV	1	65	159	50 mV	50 mV
	C2	400 mV	1	239	160	100 mV	100 mV
	Pot. Activa 27.3 MW		Pot. Reactiva 0 MVar		Temp. 75 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

01/03/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	19	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	85	126	50 mV	75 mV
	B1	400 mV	0	8	17	0 mV	25 mV
	B2	400 mV	0	64	131	50 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	110	242	50 mV	150 mV
	Pot. Activa 27.4 MW		Pot. Reactiva 8.4 MVar		Temp. 77 °C		

12/04/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	4	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	80	134	50 mV	75 mV
	B1	400 mV	0	53	176	50 mV	75 mV
	B2	400 mV	0	173	116	75 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	243	214	175 mV	125 mV
	Pot. Activa 27.7 MW		Pot. Reactiva 2.8 MVar		Temp. 75 °C		

03/05/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	106	70	50 mV	50 mV
	A2	400 mV	0	65	180	50 mV	75 mV
	B1	400 mV	0	147	31	50 mV	25 mV
	B2	400 mV	1	119	198	100 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	34	0	25 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	124	169	75 mV	75 mV
	Pot. Activa 27.2 MW		Pot. Reactiva 1.7 MVar		Temp. 80 °C		

07/06/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	55	116	50 mV	75 mV
	B1	400 mV	0	0	6	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	51	103	50 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	20	4	25 mV	0 mV
	C2	400 mV	1	81	138	50 mV	75 mV
	Pot. Activa 26.3 MW		Pot. Reactiva 3.5 MVar		Temp. 78 °C		

**CAPITULO VI**  
Análisis e interpretación de resultados

12/07/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	4	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	58	107	50 mV	50 mV
	B1	400 mV	0	95	18	50 mV	25 mV
	B2	400 mV	1	55	149	25 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	79	17	50 mV	25 mV
	C2	400 mV	1	67	129	50 mV	75 mV
	Pot. Activa 25.6 MW		Pot. Reactiva 0 MVar		Temp. 77 °C		

09/08/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	A2	400 mV	0	38	105	25 mV	50 mV
	B1	400 mV	0	10	6	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	42	84	25 mV	50 mV
	C1	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	88	115	50 mV	75 mV
	Pot. Activa 26 MW		Pot. Reactiva 0.5 MVar		Temp. 77 °C		

21/09/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	400 mV	0	84	98	50 mV	50 mV
	A2	400mV	0	120	135	50 mV	50 mV
	B1	400 mV	0	0	16	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	63	103	50 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	107	105	50 mV	50 mV
	C2	400 mV	0	135	151	50 mV	75 mV
	Pot. Activa 26 MW		Pot. Reactiva 6.4 MVar		Temp. 81 °C		

**Tabla 6-1. Presentación de resultados del estudio de campo del generador 1**

**CAPITULO VI**  
Análisis e interpretación de resultados

Generador 2

26/11/2007	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	313	52	300 mV	100 mV
	A2	1600 mV	0	523	561	500 mV	400 mV
	B1	1600 mV	0	82	42	100 mV	0 mV
	B2	1600 mV	1	363	1100	200 mV	600 mV
	C1	1600 mV	0	30	54	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	873	660	500 mV	400 mV
	Pot. Activa	27 MW	Pot. Reactiva	1.8 MVar	Temp. 73 °C		

03/12/2007	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	323	42	200 mV	0 mV
	A2	1600 mV	1	371	586	200 mV	200 mV
	B1	1600 mV	0	347	168	300 mV	100 mV
	B2	1600 mV	1	531	1002	200 mV	300 mV
	C1	1600 mV	0	78	30	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	1	905	558	500 mV	300 mV
	Pot. Activa	26.5 MW	Pot. Reactiva	2.8 MVar	Temp. 72.6 °C		

02/01/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	113	146	0 mV	100 mV
	A2	1600 mV	0	755	432	600 mV	200 mV
	B1	1600 mV	0	48	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	1	826	416	500 mV	200 mV
	C1	1600 mV	0	39	50	0 mV	100 mV
	C2	1600 mV	0	1128	770	600 mV	500 mV
	Pot. Activa	27.2 MW	Pot. Reactiva	5.7 MVar	Temp. 74 °C		

04/02/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	178	39	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	1	521	407	300 mV	200 mV
	B1	1600 mV	0	183	75	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	1	482	847	300 mV	1300 mV
	C1	1600 mV	0	15	45	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	666	467	400 mV	300 mV
	Pot. Activa	26.6 MW	Pot. Reactiva	1.8 MVar	Temp. 73 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

10/03/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	192	60	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	333	231	200 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	126	735	100 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	659	462	500 mV	300 mV
	Pot. Activa	26.2 MW	Pot. Reactiva	6.2 MVAR	Temp. 74 °C		

07/04/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	307	39	100 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	334	231	200 mV	200 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	1	301	1141	200 mV	700 mV
	C1	1600 mV	0	63	164	0 mV	100 mV
	C2	1600 mV	0	905	658	500 mV	400 mV
	Pot. Activa	26.6 MW	Pot. Reactiva	9.5 MVAR	Temp. 79 °C		

05/05/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	136	72	100 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	56	136	100 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	298	1027	200 mV	500 mV
	C1	1600 mV	0	42	24	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	1	818	498	400 mV	300 mV
	Pot. Activa	26.9 MW	Pot. Reactiva	6.9 MVAR	Temp. 76 °C		

02/06/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	272	93	100 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	198	217	100 mV	200 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	1	462	1036	300 mV	700 mV
	C1	1600 mV	0	83	24	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	891	531	600 mV	300 mV
	Pot. Activa	28 MW	Pot. Reactiva	9 MVAR	Temp. 75 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

01/07/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	105	52	100 mV	100 mV
	A2	1600 mV	0	540	486	100 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	212	145	200 mV	100 mV
	B2	1600 mV	1	540	959	300 mV	500 mV
	C1	1600 mV	0	130	30	100 mV	0 mV
	C2	1600 mV	1	915	508	500 mV	300 mV
	Pot. Activa	27.1 MW	Pot. Reactiva	7.2 MVAR	Temp. 80 °C		

11/08/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	130	56	0 mV	100 mV
	A2	1600 mV	1	404	580	200 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	228	377	100 mV	200 mV
	B2	1600 mV	0	717	1214	400 mV	700 mV
	C1	1600 mV	0	78	151	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	706	483	400 mV	300 mV
	Pot. Activa	26.3 MW	Pot. Reactiva	8.2 MVAR	Temp. 81 °C		

22/09/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	123	52	100 mV	100 mV
	A2	1600 mV	1	754	869	300 mV	800 mV
	B1	1600 mV	0	362	235	200 mV	200 mV
	B2	1600 mV	0	673	969	400 mV	500 mV
	C1	1600 mV	0	80	84	100 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	927	480	400 mV	300 mV
	Pot. Activa	26.9 MW	Pot. Reactiva	6.8 MVAR	Temp. 77 °C		

07/10/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	138	50	0 mV	100 mV
	A2	1600 mV	0	409	451	300 mV	400 mV
	B1	1600 mV	0	98	155	100 mV	100 mV
	B2	1600 mV	0	639	879	300 mV	500 mV
	C1	1600 mV	0	24	0	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	675	373	400 mV	200 mV
	Pot. Activa	26 MW	Pot. Reactiva	4.1 MVAR	Temp. 80 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

24/11/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	50	24	100 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	24	15	0 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	553	744	300 mV	500 mV
	C1	1600 mV	0	0	24	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	752	468	500 mV	300 mV
	Pot. Activa	26.9 MW	Pot. Reactiva	4.7 MVar	Temp. 74 °C		

08/12/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	84	50	100 mV	100 mV
	A2	1600 mV	0	0	24	0 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	45	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	553	671	300 mV	300 mV
	C1	1600 mV	0	30	35	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	655	484	400 mV	200 mV
	Pot. Activa	26.2 MW	Pot. Reactiva	4.7 MVar	Temp. 75 °C		

12/01/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	42	30	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	405	506	0 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	123	129	100 mV	100 mV
	B2	1600 mV	0	475	544	300 mV	300 mV
	C1	1600 mV	0	90	69	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	481	408	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	26.6 MW	Pot. Reactiva	6.8 MVar	Temp. 76 °C		

09/03/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	15	48	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	207	363	0 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	391	108	300 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	577	609	400 mV	400 mV
	C1	1600 mV	0	125	48	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	492	411	300 mV	300 mV
	Pot. Activa	27.2 MW	Pot. Reactiva	12.4 MVar	Temp. 77 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

14/04/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	488	607	700 mV	700 mV
	B1	1600 mV	0	212	30	200 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	461	303	200 mV	200 mV
	C1	1600 mV	0	35	24	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	475	340	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	27.4 MW	Pot. Reactiva	11.4 MVar	Temp. 78 °C		

11/05/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	42	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	448	497	0 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	141	158	100 mV	100 mV
	B2	1600 mV	0	543	369	300 mV	200 mV
	C1	1600 mV	0	24	42	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	549	382	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	27 MW	Pot. Reactiva	2.9 MVar	Temp. 77 °C		

08/06/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	78	35	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	291	226	400 mV	300 mV
	B1	1600 mV	0	89	0	100 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	542	286	300 mV	200 mV
	C1	1600 mV	0	42	52	0 mV	100 mV
	C2	1600 mV	0	508	340	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	26.7 MW	Pot. Reactiva	3.6 MVar	Temp. 80 °C		

06/07/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	30	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	320	532	0 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	229	65	100 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	474	285	300 mV	200 mV
	C1	1600 mV	0	45	123	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	465	378	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	27.2 MW	Pot. Reactiva	5 MVar	Temp. 80 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

19/10/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	15	52	0 mV	100 mV
	A2	1600 mV	0	246	401	0 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	109	245	0 mV	200 mV
	B2	1600 mV	0	604	435	300 mV	300 mV
	C1	1600 mV	0	119	118	200 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	757	427	500 mV	300 mV
	Pot. Activa	26 MW	Pot. Reactiva	5.7 MVAR	Temp. 77 °C		

09/11/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	62	0 mV	100 mV
	A2	1600 mV	0	338	323	200 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	237	253	200 mV	100 mV
	B2	1600 mV	0	543	452	300 mV	300 mV
	C1	1600 mV	0	118	100	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	577	420	300 mV	300 mV
	Pot. Activa	28.1 MW	Pot. Reactiva	0 MVAR	Temp. 76 °C		

07/12/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	42	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	68	30	100 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	497	236	300 mV	200 mV
	C1	1600 mV	0	0	45	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	549	399	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	27.6 MW	Pot. Reactiva	1 MVAR	Temp. 77 °C		

11/01/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	59	0 mV	100 mV
	A2	1600 mV	0	435	398	300 mV	400 mV
	B1	1600 mV	0	63	48	100 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	505	297	300 mV	200 mV
	C1	1600 mV	0	24	56	0 mV	100 mV
	C2	1600 mV	0	633	380	400 mV	200 mV
	Pot. Activa	28 MW	Pot. Reactiva	2.7 MVAR	Temp. 72 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

15/02/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	73	39	100 mV	0 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	404	184	300 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	340	256	200 mV	200 mV
	Pot. Activa 28 MW		Pot. Reactiva 0.5 MVar		Temp. 75 °C		

01/03/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	42	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	197	57	200 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	474	173	300 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	24	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	325	343	200 mV	200 mV
	Pot. Activa 27.6 MW		Pot. Reactiva 7.8 MVar		Temp. 78 °C		

12/04/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	258	200	200 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	24	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	429	102	200 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	443	319	300 mV	200 mV
	Pot. Activa 27.1 MW		Pot. Reactiva 3.7 MVar		Temp. 75 °C		

03/05/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	45	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	230	102	200 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	516	136	300 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	326	304	200 mV	200 mV
	Pot. Activa 28.1 MW		Pot. Reactiva 3.4 MVar		Temp. 80 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

07/06/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	42	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	104	56	100 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	445	141	200 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	39	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	423	355	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	26.1 MW	Pot. Reactiva	0 MVar	Temp. 78 °C		

05/07/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	24	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	291	173	100 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	429	167	300 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	35	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	341	327	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	27.4 MW	Pot. Reactiva	0.6 MVar	Temp. 82 °C		

02/08/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	137	94	100 mV	100 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	402	167	300 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	292	294	300 mV	200 mV
	Pot. Activa	27.4 MW	Pot. Reactiva	2.5 MVar	Temp. 79 °C		

13/09/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	579	518	400 mV	400 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	440	136	200 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	24	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	311	320	200 mV	200 mV
	Pot. Activa	27.2 MW	Pot. Reactiva	1.1 MVar	Temp. 78 °C		

**CAPITULO VI**  
Análisis e interpretación de resultados

18/10/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A1	1600 mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	A2	1600 mV	0	485	351	500 mV	500 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	430	102	300 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	304	348	200 mV	200 mV
	Pot. Activa	27.2 MW	Pot. Reactiva	7.2 MVar	Temp. 75 °C		

**Tabla 6-2. Presentación de resultados del estudio de campo del generador 2**

Generador 3

10/12/2007	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	9	4	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	0	14	0 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	14	0	25 mV	0 mV
	Pot. Activa	43.3 MW	Pot. Reactiva	7.3 MVar	Temp. 77 °C		

02/01/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	11	13	0 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
Pot. Activa	43 MW	Pot. Reactiva	8.8 MVar	Temp. 75 °C			

04/02/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	34	20	25 mV	25 mV
	B2	400 mV	0	38	14	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	21	28	25 mV	25 mV
Pot. Activa	43.7 MW	Pot. Reactiva	9.1 MVar	Temp. 76 °C			

03/03/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	19	8	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	17	15	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	11	8	0 mV	0 mV
Pot. Activa	44.3 MW	Pot. Reactiva	9 MVar	Temp. 77 °C			

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

07/04/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	13	14	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	43.7 MW	Pot. Reactiva	12.3 MVar	Temp. 79 °C		

05/05/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	4	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	16	17	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	41.2 MW	Pot. Reactiva	8.6 MVar	Temp. 77 °C		

02/06/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	6	11	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	29	28	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	38.5 MW	Pot. Reactiva	9.9 MVar	Temp. 73 °C		

01/07/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	6	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	12	13	0 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	39.2 MW	Pot. Reactiva	8.5 MVar	Temp. 74 °C		

11/08/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	8	10	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	13	13	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	4	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	40.1 MW	Pot. Reactiva	9.7 MVar	Temp. 75 °C		

01/09/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	6	11	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	11	8	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	4	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	38.2 MW	Pot. Reactiva	5.9 MVar	Temp. 72 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

24/11/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	18	18	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	33.2 MW	Pot. Reactiva	8.6 MVAR	Temp. 67 °C		

08/12/2008	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	19	17	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	41.2 MW	Pot. Reactiva	11.2 MVAR	Temp. 75 °C		

12/01/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	15	12	25 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	42.5 MW	Pot. Reactiva	9 MVAR	Temp. 77 °C		

27/04/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	17	6	25 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	44.1 MW	Pot. Reactiva	11.7 MVAR	Temp. 81 °C		

04/05/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	9	11	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	9	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	44.1 MW	Pot. Reactiva	8.8 MVAR	Temp. 82.3 °C		

01/06/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	4	4	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	24	16	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	41.8 MW	Pot. Reactiva	7.9 MVAR	Temp. 78 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

06/07/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	16	0	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	15	14	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	43 MW	Pot. Reactiva	10.4 MVar	Temp. 80.3 °C		

10/08/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	17	14	25 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	9	6	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	43.6 MW	Pot. Reactiva	11.8 MVar	Temp. 80 °C		

05/10/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	4	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	6	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	13	6	25 mV	0 mV
	Pot. Activa	44.1 MW	Pot. Reactiva	10.5 MVar	Temp. 81.6 °C		

09/11/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	42.3 MW	Pot. Reactiva	4.4 MVar	Temp. 77.6 °C		

07/12/2009	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	18	11	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	4	13	0 mV	25 mV
	C2	400 mV	0	61	31	50 mV	25 mV
	Pot. Activa	43.1 MW	Pot. Reactiva	10 MVar	Temp. 79.2 °C		

11/01/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	14	6	25 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	24	8	25 mV	0 mV
	Pot. Activa	42.2 MW	Pot. Reactiva	4.9 MVar	Temp. 72 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

01/02/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	6	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	4	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	41.1 MW	Pot. Reactiva	3.4 MVAR	Temp. 75 °C		

29/03/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	8	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	42.7 MW	Pot. Reactiva	10.8 MVAR	Temp. 80 °C		

12/04/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	4	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	43.4 MW	Pot. Reactiva	9.5 MVAR	Temp. 80 °C		

10/05/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	6	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	6	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	42.6 MW	Pot. Reactiva	13.2 MVAR	Temp. 81.5 °C		

07/06/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	11	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	12	9	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	41 MW	Pot. Reactiva	5.7 MVAR	Temp. 80.3 °C		

05/07/2010	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
	A2	400 mV	0	0	4	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	0	11	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	4	0	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	40.5 MW	Pot. Reactiva	8.1 MVAR	Temp. 79 °C		

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
02/08/2010	A2	400 mV	0	0	8	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	11	6	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	9	12	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	40.8 MW	Pot. Reactiva	8 MVAR	Temp. 77 °C		

	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
06/09/2010	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	11	4	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	6	11	0 mV	0 mV
	Pot. Activa	39.4 MW	Pot. Reactiva	9.2 MVAR	Temp. 77.6 °C		

	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
04/10/2010	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	10	8	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	18	14	25 mV	25 mV
	Pot. Activa	41.4 MW	Pot. Reactiva	9.4 MVAR	Temp. 77 °C		

**Tabla 6-3. Presentación de resultados del estudio de campo del generador 3**

Los datos anteriores han sido almacenados en la computadora. Desde que se instalaron los acopladores capacitivos a cada generador, las pruebas se toman por lo general una vez por semana, la muestra que se ha tomado es de una prueba por mes.

Para dar un diagnóstico aceptable del estado de aislamiento se debe:

- Comparar los datos de la última prueba con la base de datos de referencia.
- Analizar las predominancias y agrupación de pulsos.
- Analizar la tendencia de Qmax y NQN.

Esto se hará utilizando la teoría ya planteada en el marco de referencia de esta tesis.

### 6.2 Base de datos de referencia

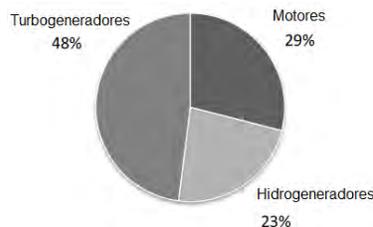
La base de datos, es formada por el fabricante del equipo PDA Premium, esta empresa tiene muchos años de trayectoria en la investigación del fenómeno de las descargas parciales así como construyendo equipos para medirlas, durante todo ese

tiempo han acumulado datos de prueba de generadores y motores grandes hasta el año 2009, con más de 225,000 registros, el nombre actual de este fabricante es Qualitrol, esta es una empresa Canadiense que fabrica el PDA Premium y utiliza los siguientes criterios de selección para crear las bases de datos:

- Las pruebas se obtienen durante el funcionamiento normal (on-line)
- Un solo resultado de prueba por sensor.
- Se ha tomado la prueba más reciente a plena carga y con el devanado del estator en caliente.
- Cualquier prueba con resultados discutibles fue desechada.

Las pruebas en los generadores de la planta geotérmica han sido tomadas con los mismos criterios que utiliza Qualitrol para formar sus bases de datos, la base de datos más reciente es la del año 2009, los criterios se aplicaron, a unos 15,000 resultados de pruebas independientes.

La siguiente gráfica muestra el porcentaje de máquinas rotatorias que fueron probadas, el año 2009.



**Figura 6-2. Porcentaje de máquinas rotatorias probadas**

La base de datos fue analizada para determinar el efecto sobre  $Q_{max}$  de varios factores diferentes, incluyendo:

- Instalación de sensor
- Clase de voltaje

Las bases de datos están formadas por tablas que muestran distribuciones estadísticas, estas se clasifican por el tipo de máquina y por el tipo de enfriamiento, esto significa que existen varias tablas que muestran las distribuciones estadísticas, en cada tabla se incluyen los voltajes de operación de las máquinas que fueron analizadas y para cada voltaje un rango de Qmax, para este caso en particular interesa la tabla de turbogeneradores enfriados por aire, la tabla 6-4 incluye estos factores. Qualitrol recomienda usar formalmente la tabla de (TGA–Bus) para los turbogeneradores de este estudio.

Oper kV⇒	2-5kV	6-9kV	10-12kV	13-15kV	16-18kV	> 19kV
25%	8	28	30	53	43	34
50%	20	70	70	119	77	79
75%	63	147	160	242	153	205
90%	230	277	341	454	287	454
95%	437	404	525	701	556 <sup>1</sup>	776

**Tabla 6-4. Qmax evaluados en turbogeneradores enfriados por aire, correspondiente al año 2009**

En la tabla 6-4. El 25% de los resultados de los turbogeneradores que operan de 13-15 KV tienen niveles de Qmax abajo de 53 mV. Y así sucesivamente hasta llegar al 95% de los resultados para el mismo nivel de operación y que tienen niveles de Qmax abajo de 701 mV. Si los niveles superan el 90% significa que están en niveles de alarma y hay que investigar más.

La tabla 6-4 sirve para hacer una comparación de los Qmax obtenidos en las pruebas con los Qmax de referencia, como los datos de esta tabla no tienen un comportamiento lineal, no se puede usar simplemente la regla de tres, por eso es necesario conocer la ecuación particular que rige el comportamiento de la gráfica que pasa por los siguientes puntos: (53mv,25%), (119mv,50%), (242mv,75%), (454mv,90%), (701mv ,95%) que corresponden a los generadores de prueba de este estudio (13.8KV), para así poder decir con certeza en qué nivel se encuentran las descargas parciales. Para ello se usará el método de interpolación, este método

consiste en encontrar una función que pasa a través de puntos dados, tiene la forma de un polinomio en series de potencias como el siguiente:

$$g(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \tag{6.1}$$

La ecuación de interpolación de Lagrange de orden n es:

$$g(x) = \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} \frac{x - x_2}{x_0 - x_2} \dots \frac{x - x_n}{x_0 - x_n} f_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \frac{x - x_2}{x_1 - x_2} \dots \frac{x - x_n}{x_1 - x_n} f_1 + \frac{x - x_0}{x_n - x_0} \frac{x - x_1}{x_n - x_1} \dots \frac{x - x_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} f_{n-1}$$

6.2

Para el este caso los puntos en particular quedan así:

$$x_0 = 53mV \quad f_0 = 25\%$$

$$x_1 = 119mV \quad f_1 = 50\%$$

$$x_2 = 242mV \quad f_2 = 75\%$$

$$x_3 = 454mV \quad f_3 = 90\%$$

$$x_4 = 701mV \quad f_4 = 95\%$$

Por lo tanto la ecuación es de orden cuatro:

$$\begin{aligned}
 g(x) = & \frac{x-x_1}{x_0-x_1} \frac{x-x_2}{x_0-x_2} \frac{x-x_3}{x_0-x_3} \frac{x-x_4}{x_0-x_4} f_0 \\
 & + \frac{x-x_0}{x_1-x_0} \frac{x-x_2}{x_1-x_2} \frac{x-x_3}{x_1-x_3} \frac{x-x_4}{x_1-x_4} f_1 \\
 & + \frac{x-x_0}{x_2-x_0} \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \frac{x-x_3}{x_2-x_3} \frac{x-x_4}{x_2-x_4} f_2 \\
 & + \frac{x-x_0}{x_3-x_0} \frac{x-x_1}{x_3-x_1} \frac{x-x_2}{x_3-x_2} \frac{x-x_4}{x_3-x_4} f_3 \\
 & + \frac{x-x_0}{x_4-x_0} \frac{x-x_1}{x_4-x_1} \frac{x-x_2}{x_4-x_2} \frac{x-x_3}{x_4-x_3} f_4
 \end{aligned}$$

6.3

A continuación se sustituyen los datos en la ecuación 6.3

$$\begin{aligned}
 g(x) = & \frac{x-119}{53-119} \frac{x-242}{53-242} \frac{x-454}{53-454} \frac{x-701}{53-701} 25 \\
 & + \frac{x-53}{119-53} \frac{x-242}{119-242} \frac{x-454}{119-454} \frac{x-701}{119-701} 50 \\
 & + \frac{x-53}{242-53} \frac{x-119}{242-119} \frac{x-454}{242-454} \frac{x-701}{242-701} 75 \\
 & + \frac{x-53}{454-53} \frac{x-119}{454-119} \frac{x-242}{454-242} \frac{x-701}{454-701} 90 \\
 & + \frac{x-53}{701-53} \frac{x-119}{701-119} \frac{x-242}{701-242} \frac{x-454}{701-454} 95
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 g(x) = & -\frac{124477015123x^4}{96105282680589430248} + \frac{117923057529905x^3}{48052641340294715124} \\
 & - \frac{57176861396915615x^2}{32035094226863143416} + \frac{30390157559136406495x}{48052641340294715124} \\
 & - \frac{6684944225045242}{173157679563453}
 \end{aligned}$$

$$g(x) = -1.29522 \times 10^{-9}x^4 + 0.000002x^3 - 0.001785x^2 + 0.632435x - 3.86061$$

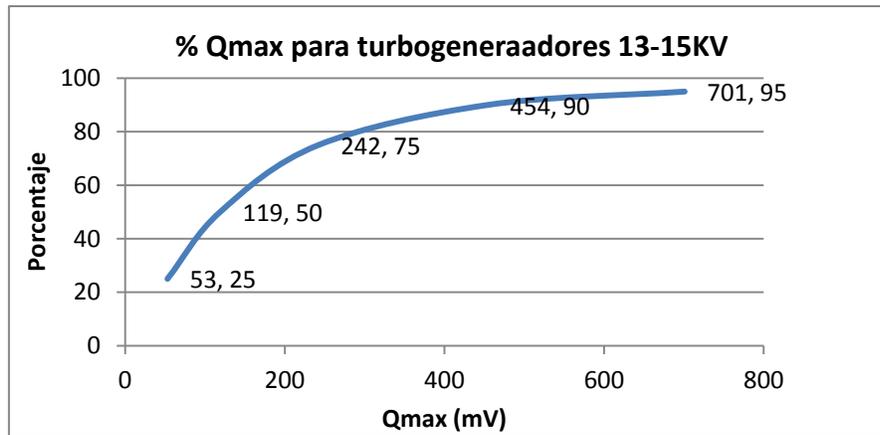


Figura 6-3. Gráfica correspondiente a la ecuación 6.4

### 6.3 Análisis e interpretación del generador 1

#### 6.3.1 Comparación de la última prueba

	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
21/09/2010	A1	400 mV	0	84	98	50 mV	50 mV
	A2	400mV	0	120	135	50 mV	50 mV
	B1	400 mV	0	0	16	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	63	103	50 mV	75 mV
	C1	400 mV	0	107	105	50 mV	50 mV
	C2	400 mV	0	135	151	50 mV	75 mV
	Pot. Activa 26 MW		Pot. Reactiva 6.4 MVAR		Temp. 81 °C		

Tabla 6-5. Prueba tomada al generador 1 el 21 de septiembre del 2010.

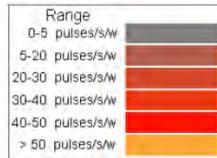
La fase B y C tienen el mayor Qmax en los acopladores 2, se sustituye 75mV en la ecuación 6.4 para saber qué porcentaje tienen respecto a la base de datos de referencia.

$$g x = -1.29522 \times 10^{-9} * 75^4 + 0.000002 * 75^3 - 0.001785 * 75^2 + 0.632435 * 75 - 3.86061 = 34.52\%$$

El porcentaje de Qmax=75mV no representa mayor problema para el aislamiento de la fase B, ni para el generador, sin embargo se hará un análisis de graficas para determinar en qué partes del aislamiento ha comenzado el deterioro.

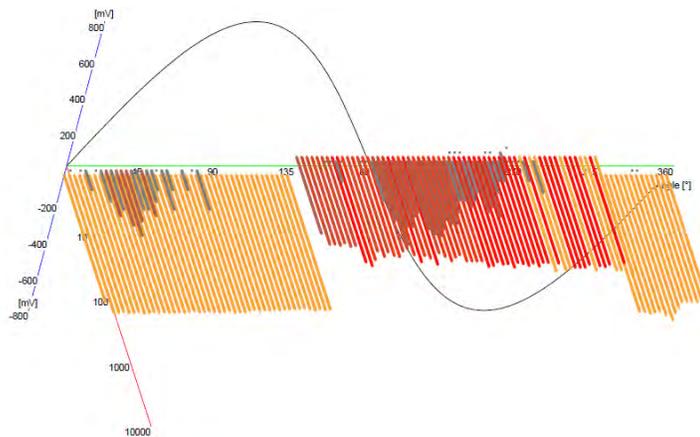
**6.3.2 Análisis de las gráficas de distribución y altura de pulso**

Para este análisis se usarán las gráficas de distribución y altura de pulso, que crea el software, y la teoría planteada en el marco teórico, se usan estas gráficas porque reflejan la localización de las descargas parciales con respecto a los grados eléctricos y los tipos de predominancias, respectivamente, las líneas rojas representan los pulsos positivos y las azules los negativos para la de altura de pulso.

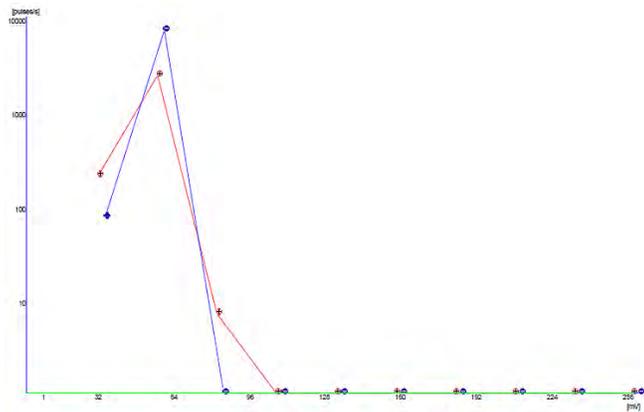


**Figura 6.4. Esquema de colores usado en la superficie de la gráfica de distribución**

Solo se toman en cuenta A2, B2 y C2 ya son los que proporcionan información útil para el análisis.

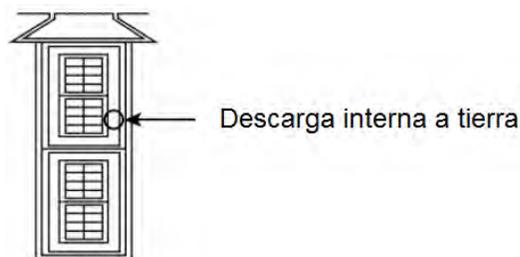


**Figura 6-5. Gráfica de distribución A2, 21/09/2010**

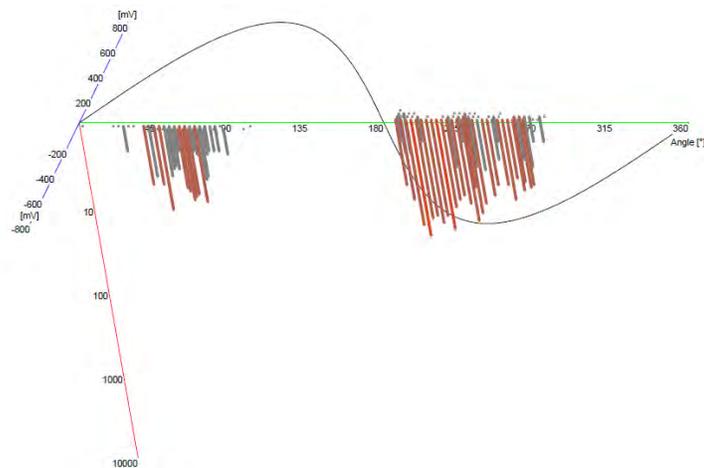


**Figura 6-6. Altura de pulso A2, 21/09/2010**

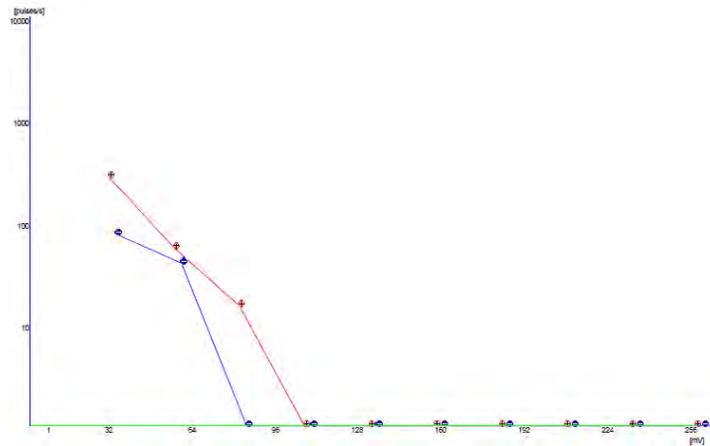
La figura 6-5 muestra alta concentración de descargas parciales negativas en  $45^\circ$  y positivas en  $225^\circ$  esto se sabe porque en esas áreas predominan los colores que representan de 5 a 20 pulsos por segundo por lo tanto en esas áreas se encuentran las Qmax, en la figura 6-6 no se muestra predominancia en las magnitudes. Por lo tanto la fuente probable de este tipo de descarga parcial es el aislamiento principal (groundwall), este tipo de descargas son causadas por la delaminación de las capas de cinta adyacentes de este aislamiento, esto se debe a la mala impregnación, al deterioro térmico, o una combinación de ambas. También posibles descargas en las cabezas de bobina (final de vuelta de bobina). En la fase A.



**Figura 6-7. Posible ubicación de las descargas parciales en la fase A, del Generador 1**

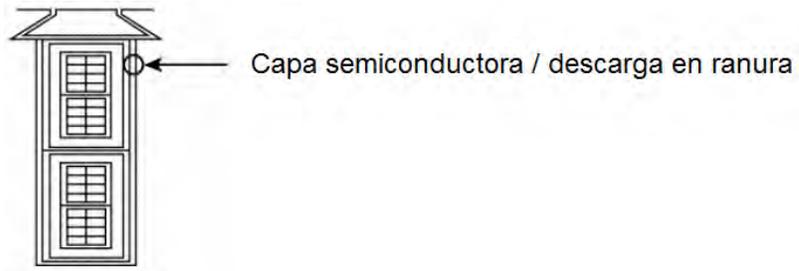


**Figura 6-8. Gráfica de distribución B2, 21/09/2010**

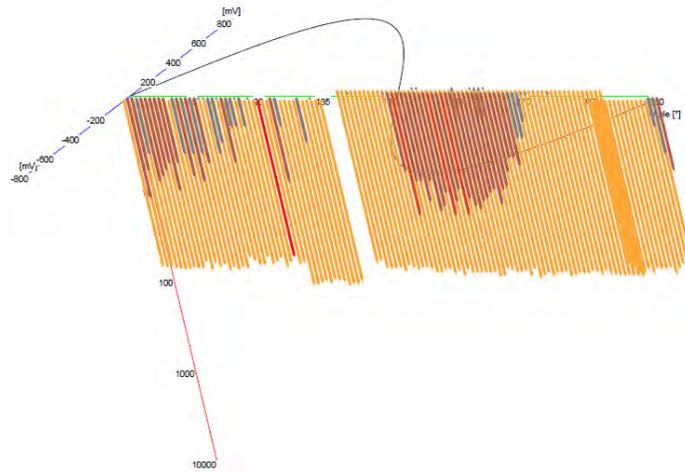


**Figura 6-9. Altura de pulso B2, 21/09/2010**

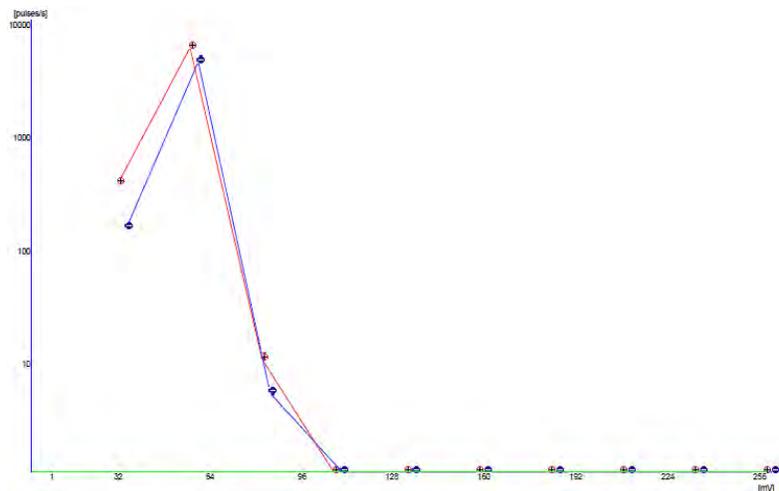
Estas gráficas muestran que hay actividad de descarga parcial en la capa semiconductor o en la superficie de la bobina, también llamada descarga en ranura, la más probable localización de esta actividad es en la sección de la bobina que está dentro de la ranura o en las esquinas de la bobina y vueltas finales, la descarga en ranura la cual es una descarga superficial, ocurre entre la superficie de la barra del estator y el núcleo de hierro, Es generalmente causada por la degradación de la capa semiconductor debido al movimiento de la bobina en la ranura (bobina floja).



**Figura 6-10. Posible ubicación de las descargas parciales en la fase B, del Generador 1**



**Figura 6-11. Grafica de distribución C2, 21/09/2010**



**Figura 6-12. Altura de pulso C2, 21/09/2010**

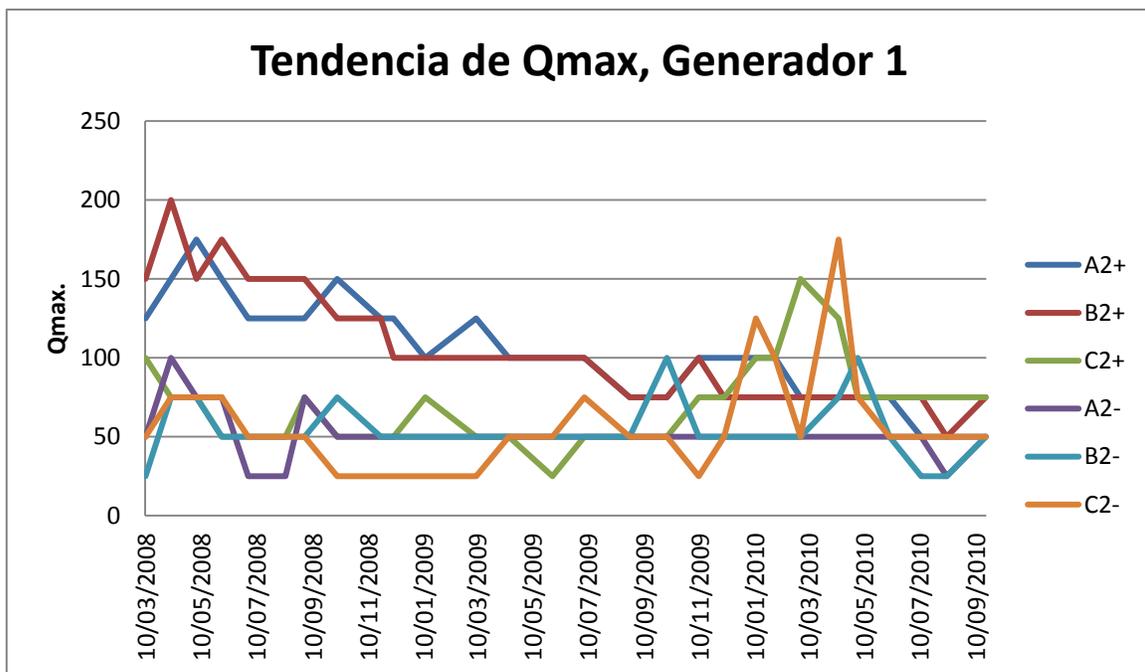
Las figuras 6-11 y 6-12 muestran la misma actividad de descarga parcial que en la fase A, con la única diferencia que en esta fase hay un ligero incremento en el acoplador C2 con respecto al acoplador A2.

**6.3.3 Tendencias del generador 1**

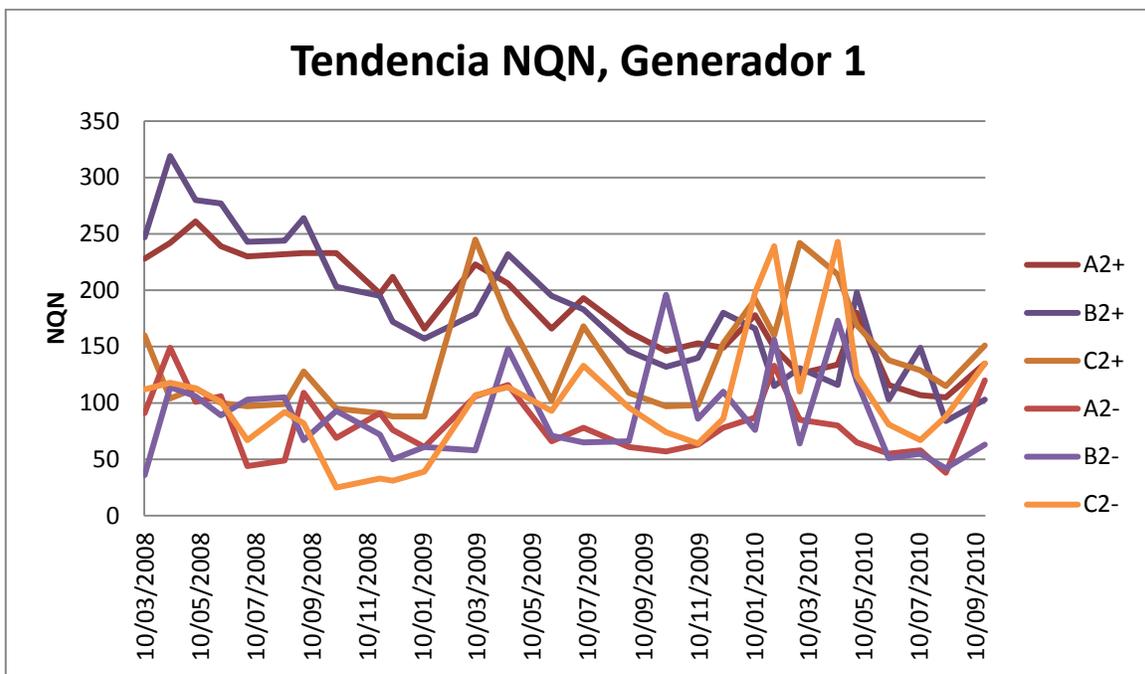
A continuación se analizarán las tendencias de las Qmax para el generador 1. La tendencia muestra la actividad de las descargas parciales durante un largo período de tiempo, para poder ver mejor el comportamiento de estas.

Solo se toman en cuenta A2, B2 y C2 ya que son los que proporcionan información útil para las tendencias.

A continuación se grafica las tendencias de Qmax y NQN para el generador 1.



**Figura 6-13. Tendencia de Qmax, desde el 10 de marzo 2008 al 21 de septiembre 2010, Generador 1**



**Figura 6-14. Tendencia de NQN, desde el 10 de marzo 2008 al 21 de septiembre 2010 Generador 1**

Al analizar las distintas tendencias, se puede decir que el devanado del estator instalado en el generador 1 no corre ningún peligro de falla inmediata, ya que los niveles de Qmax y NQN son bajos y no han mantenido una tendencia prolongada al alza. Este generador no requiere mayor investigación.

## 6.4 Análisis e interpretación del generador 2

### 6.4.1 Comparación de la última prueba

	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
18/10/2010	A1	1600mV	0	0	15	0 mV	0 mV
	A2	1600mV	0	485	351	500 mV	500 mV
	B1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	1600 mV	0	430	102	300 mV	100 mV
	C1	1600 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	C2	1600 mV	0	304	348	200 mV	200 mV
	Pot. Activa 27.2 MW		Pot. Reactiva 7.2 MVar		Temp. 75 °C		

**Tabla 6-6. Prueba tomada al generador 2 el 18 de octubre del 2010**

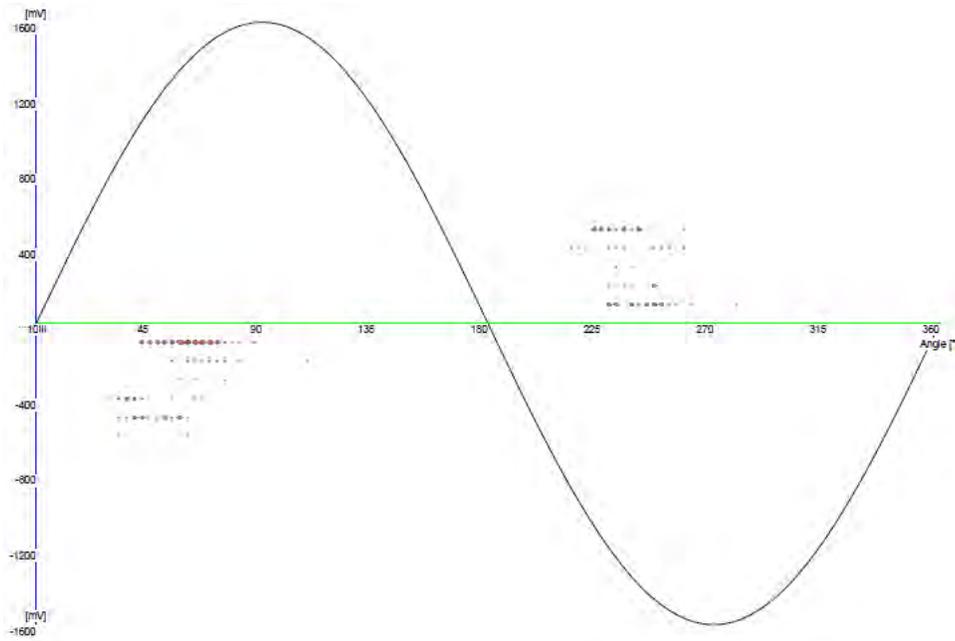
La fase A tiene el mayor Qmax de todas las fases, en el acoplador 2, por lo tanto se sustituye 500mV en la ecuación 6.4 para saber qué porcentaje tienen respecto a la base de datos de referencia.

$$g x = -1.29522 \times 10^{-9} * 500^4 + 0.000002 * 500^3 - 0.001785 * 500^2 + 0.632435 * 500 - 3.86061 = 91.95\%$$

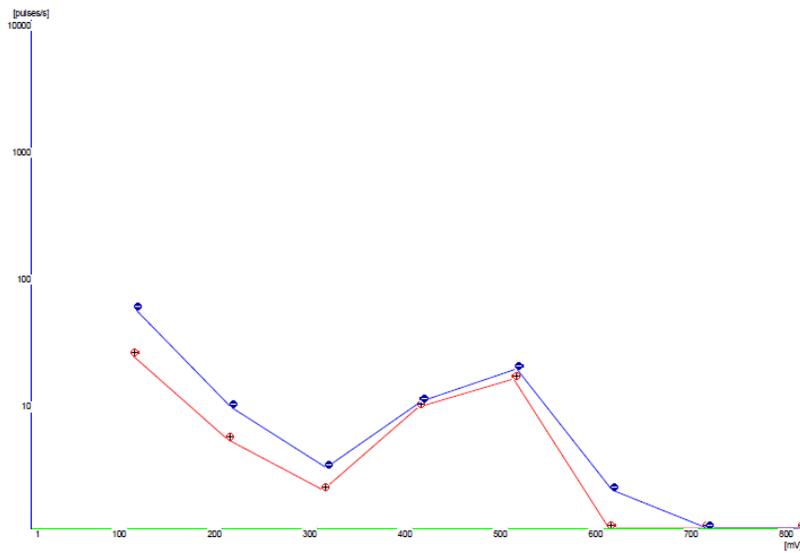
El porcentaje de Qmax=500mV representa altas descarga parciales ya que es 91.95% esto significa que este nivel de descargas se encuentra en la zona de alarma, esto sugiere que se debe seguir investigando para corroborar el tipo de deterioro del aislamiento indicado por las descargas parciales. A continuación se hará el análisis de graficas para determinar el tipo de deterioro del aislamiento.

### 6.4.2 Análisis de las gráficas de distribución y altura de pulso

Las graficas de distribución de pulsos serán en dos dimensiones para identificar mejor la ubicación de los pulsos.



**Figura 6-15. Gráfica de distribución A2, 18/10/2010**

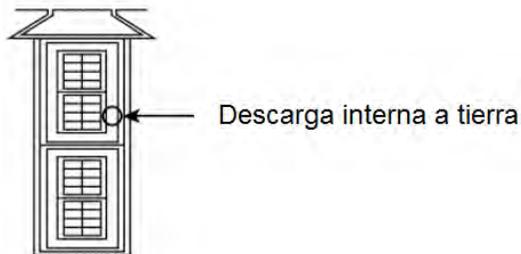


**Figura 6-16. Altura de pulso A2, 18/10/2010**

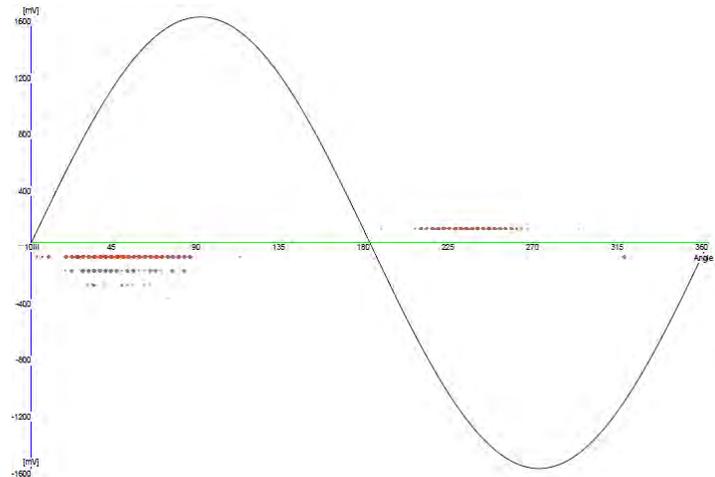
Las figuras 6-15 y 6-16 sugieren que la fuente probable de este tipo de descarga parcial es el aislamiento principal (groundwall), los pulsos se encuentran agrupados en 75° y 255° esto indica espacio insuficiente entre barras. También posibles

descargas en las cabezas de bobina (final de vuelta de bobina), debido a contaminación.

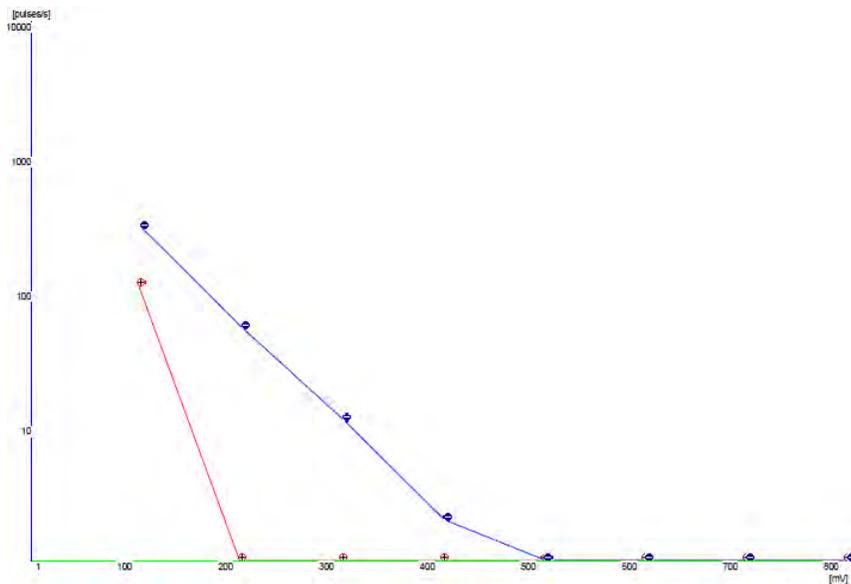
Y existe la posibilidad que estén combinándose las predominancias negativa y positiva, debido a que los  $Q_{max}$  son altos, produciendo descargas parciales de polaridades opuestas que resulten en magnitudes y cantidades similares, la consecuencia de esta combinación es daño en la capa semiconductor y delaminación cerca de la barra de cobre, en la fase A.



**Figura 6-17. Posible ubicación de las descargas parciales en fase A, del Generador 2**

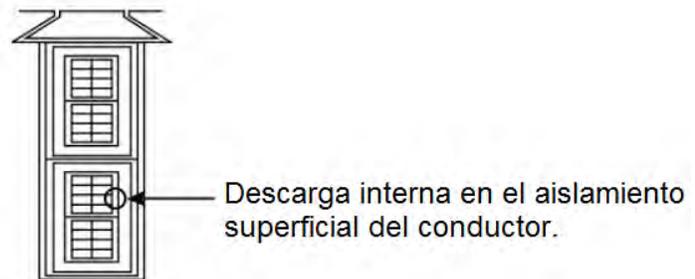


**Figura 6-18. Grafica de distribución B2, 18/10/2010**

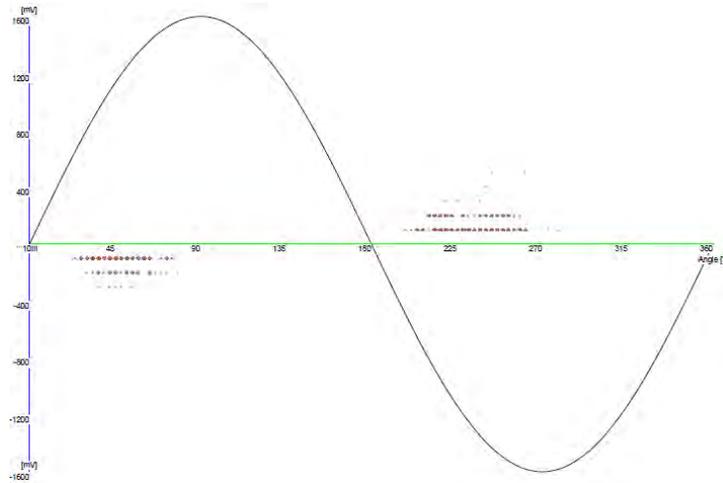


**Figura 6-19. Altura de pulso B2, 18/10/2010**

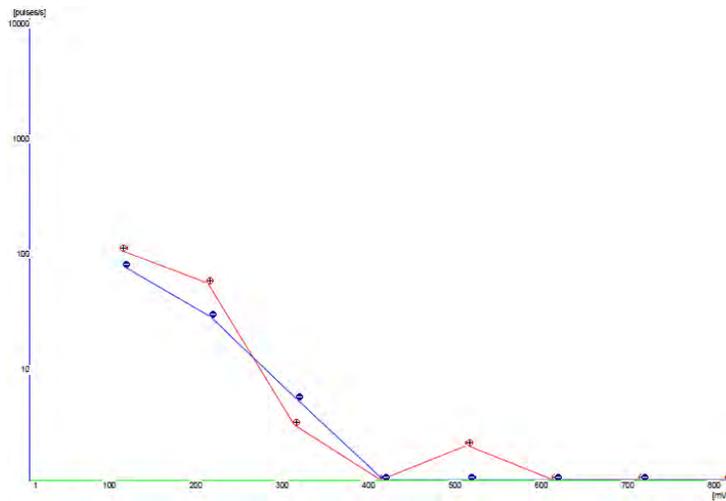
La gráfica de altura de pulso B2 indica la presencia de cavidades o delaminación cerca de la barra de cobre, lo que significa descargas parciales en la interface del cobre y el aislamiento de pared, y la figura 6-18 indica que se debe al ciclo de carga, porque los pulsos se agrupan en 45°.



**Figura 6-20. Posible ubicación de las descargas parciales en fase B, del Generador 2**

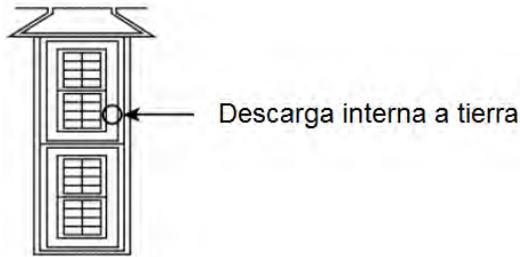


**Figura 6-21. Grafica de distribución C2, 18/10/2010**



**Figura 6-22. Altura de pulso C2, 18/10/2010**

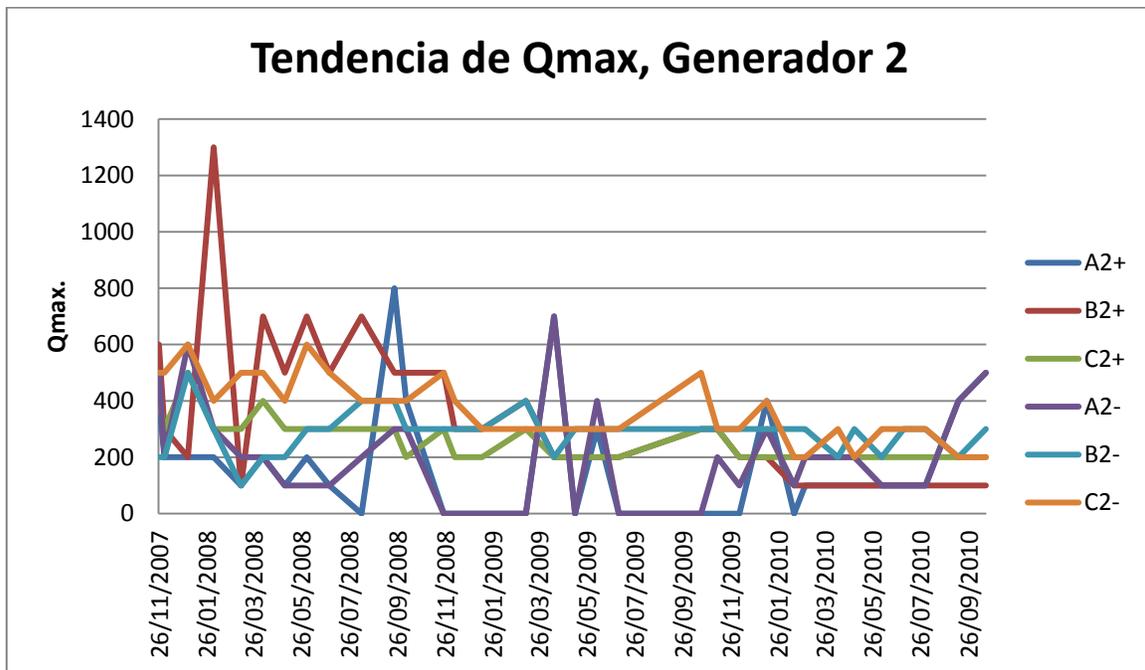
La figura 6-22 muestra que no hay predominancia, esto indica actividad de descargas parciales en el aislante principal, analizando la posición de los pulsos en la figura 6-21 que se agrupan en 45° y 225° se puede decir que posiblemente se debe a la mala impregnación o deterioro térmico.



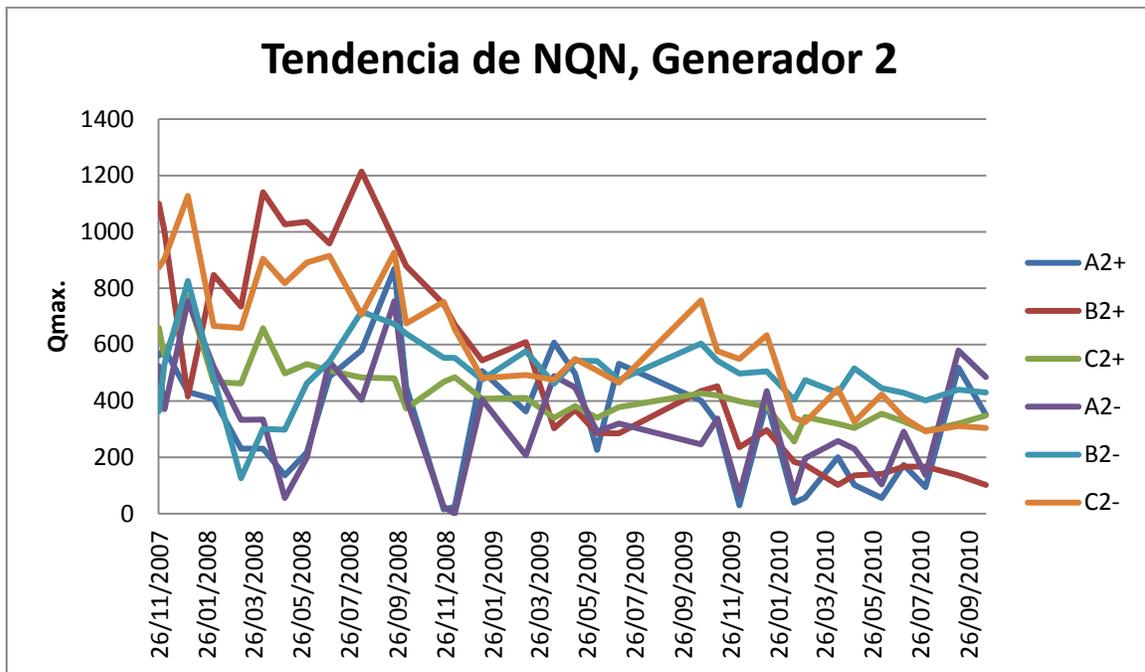
**Figura 6-23. Posible ubicación de las descargas parciales en la fase C, del Generador 2**

### 6.4.3 Tendencias del generador 2

Ahora se analizarán las tendencias de las magnitudes máximas para el generador 2. Para ello se grafica las tendencias de Qmax y NQN para el generador 2 para visualizar el comportamiento de las descargas parciales.



**Figura 6-24. Tendencia de Qmax, desde el 26 de noviembre 2007 al 18 de octubre 2010 Generador 2**



**Figura 6-25. Tendencia de NQN, desde el 26 de noviembre 2007 al 18 de octubre 2010 Generador 2**

La grafica muestra un comportamiento no lineal, esto se le podía atribuir a un bobinado nuevo, ya que se requiere de varios meses para que las descargas parciales se estabilicen, esto sucede cuando la resina entre capas aislantes cura completamente y cuando desaparecen los efectos del contacto con la ranura del estator, pero el generador se fabrico el año 1997 por lo tanto se descarta esta posibilidad.

Ya que según el análisis de la grafica de altura de pulso, existe la posibilidad de descargas en las cabezas de bobina (final de vuelta de bobina), y este tipo de descargas se dan cuando se presentan problemas de contaminación ó tracking entre barras contiguas del devanado en el cabezal que son de fases diferentes con un alto potencial entre ellas, las descargas parciales en estos puntos son originadas por una tensión entre fases. Entonces para tener una idea del estado general de limpieza, presencia de polvo o aceite sobre el aislamiento, se hará una tabla con un resumen de los mantenimientos realizados a este generador, más específicamente las

## CAPITULO VI

### Análisis e interpretación de resultados

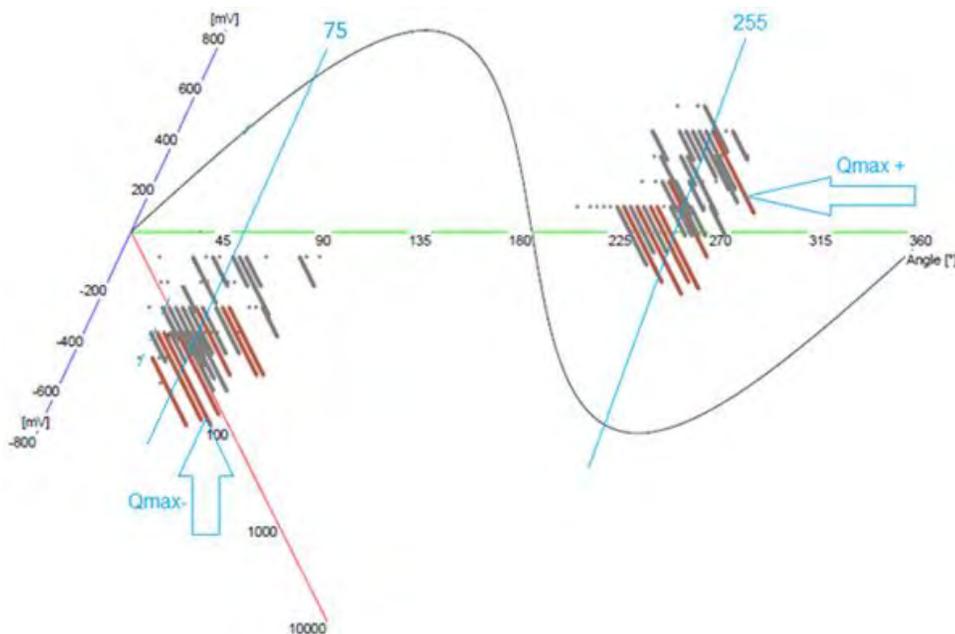
pruebas eléctricas que determinan suciedad (IP), pérdidas dieléctricas del aislamiento (FP) y medición indirecta de las descargas parciales (Tip-Up).

FECHA DE MANTENIMIENTO	IP estator	Tip- Up		Factor de Potencia		Observaciones
		pruebas entre bobinas y núcleo	pruebas entre bobinas	pruebas entre bobinas y núcleo	pruebas entre bobinas	
oct-00	4.8	----	----	----	----	Entre el mantenimiento realizado se hizo limpieza y se aplicó barniz aislante a cabezas de bobinas del estator.
sep-03	1.71	----	----	----	----	Entre el mantenimiento realizado esta la limpieza y pruebas eléctricas del estator.
sep-05	2.87	0.30%	0.30%	0.70%	0.76%	Las cabezas de bobinas presentaban acumulación de polvo. El extremo del lado de la turbina estaba más sucio, se limpió y las pruebas del factor de potencia mejoraron levemente
sep-07	3.34	0.27%	0.30%	0.71%	0.75%	se observó evidencia de actividad de descargas parciales de las bobinas del estator hacia el núcleo en el área de salida de bobinas se realizó limpieza en las partes afectadas y se aplicó una capa de barniz aislante
2009	1.63	0.29%	0.34%	0.68%	0.71%	se encontró excesivo nivel de aceite en la cubierta interior del estator se realizó limpieza en cabezas de bobina con desengrasante industrial (electrol)

**Tabla 6-7. Resumen de pruebas realizadas al devanado del generador 2**

Las pruebas de índice de polaridad que determina suciedad en las bobinas, indican que para el año 2000 el resultado de la prueba fue aceptable, si se compara con el valor mínimo de 2 establecido por la norma IEC 60085-0, y el valor mínimo más riguroso de 4 que establece la CFE. Pero en las pruebas realizadas los años 2003, 2005, 2007 y 2009 los resultados de las pruebas son menores de lo que establece la CFE, incluso dos de ellas incluyendo la más reciente bajan de 2, lo que significa que el área de las cabezas de bobina estaba sucia, provocando descargas parciales.

Los resultados de las pruebas de Tip-Up muestran que el aislamiento entre las bobinas y el núcleo están en buena condición, y las pruebas de factor de potencia muestran que la condición del aislamiento entre bobinas, específicamente en las cabezas de bobina es bueno ya que los valores están muy por debajo de límite recomendado por la CFE (1%). Con estos resultados se podría esperar que a la fecha, el generador 2 este sufriendo problemas de tracking, este problema genera descargas parciales que se agruparán en un ángulo de  $\pm 30^\circ$  eléctricos respecto a la tensión de referencia de fase a tierra. Es decir, a  $15^\circ$  ó  $75^\circ$  para las descargas de polaridad negativa y  $195^\circ$  ó  $255^\circ$  para las positivas. A continuación se muestra la gráfica de distribución de A2 tomada el 21 de septiembre del 2010 para ver en que ángulos eléctricos se ubicaron las descargas parciales esa fecha.



**Figura 6-26. Grafica de distribución A2, generador 2, 21/09/2010**

En la figura 6-26 se ha señalado los valores de  $Q_{max-}=400mV$  y  $Q_{max+}=400mV$  y su ubicación con respecto al ángulo de fase de la onda senoidal, en la grafica se observa que las descargas parciales se agrupan en los ángulos de  $75^\circ$  y  $225^\circ$  esto indica la posibilidad de descargas parciales producidas por la contaminación.

Ya que las pruebas muestran que las descargas parciales pueden ser causadas por suciedad, esto no significa que no haya un pequeño daño, esto se ha descrito en el análisis de la grafica de altura de pulso, si el valor de Qmax se duplica cada seis meses, y tiene altas descargas parciales, el devanado estaría en un proceso de deterioro muy rápido, entonces habría que tomarse previsiones para un cambio de devanado o un mantenimiento correctivo, pero al analizar la tendencia se observa que este no es el caso.

### 6.5 Análisis e interpretación del generador 3

	Acoplador	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
04/10/2010	A2	400 mV	0	0	0	0 mV	0 mV
	B2	400 mV	0	10	8	0 mV	0 mV
	C2	400 mV	0	18	14	25 mV	25 mV
	Pot. Activa	41.4 MW	Pot. Reactiva	9.4 MVar	Temp. 77 °C		

**Tabla 6-8. Prueba tomada al generador 3 el 21 de septiembre del 2010**

La fase C tiene el mayor Qmax de todas la fases, por lo tanto se sustituye 25mV en la ecuación 6.4 para saber qué porcentaje tienen respecto a la base de datos de referencia.

$$g x = -1.29522 \times 10^{-9} * 25^4 + 0.000002 * 25^3 - 0.001785 * 25^2 + 0.632435 * 25 - 3.86061 = 10.87\%$$

El porcentaje de Qmax=25mV representa muy bajas descarga parciales ya que es 10.87% esto significa que este nivel de descargas se encuentran en la zona inferior a 25%, esto sugiere que no se debe seguir investigando para corroborar deterioro del aislamiento, pero se puede dar una explicación de este resultado:

El generador 3 fue fabricado el año 2005 si a eso sumamos que recibió mantenimiento mayor en marzo del 2010, y que la prueba de índice de polarización dio por resultado 5.88 lo que significa que estaba poco sucio al momento de la prueba, y el factor de potencia entre devanados dio como resultado 0.78 a 2000V y

un Tip-Up igual a 0.41%, también se hizo limpieza con solvente dieléctrico (electrol), en cabezas de devanados, todo esto explica el porqué los niveles de descargas parciales en el generador 3 son tan bajos, es por eso que para este generador no es necesario un análisis de descargas parciales y se puede tener la confianza que el devanado está en buen estado.

MATRIZ DE CONGRUENCIA (INCLUYE COMPROBACIÓN DE HIPOTESIS)						
PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS GENERAL	HIPOTESIS ESPECIFICAS	MARCO TEORICO
¿En qué medida es posible realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín?	¿En qué medida se puede hacer un estudio de campo utilizando el equipo PDA Premium para extraer de los generadores la información de las descargas parciales y sumar esta información a una base de datos ya existente?  ¿En qué medida es posible cuantificar el nivel de deterioro del	Realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín.	Hacer un estudio de campo utilizando el equipo PDA Premium para extraer de los generadores la información de las descargas parciales y sumar esta información a una base de datos ya existente.  Cuantificar el nivel de deterioro del aislamiento, si existe, a través de la comparación de	Es posible realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín.	Haciendo un estudio de campo, utilizando el equipo PDA Premium, se puede extraer de los generadores, la información de las descargas parciales.  Se puede cuantificar el nivel de deterioro del aislamiento, a través de la comparación de los valores de Qmax y una base de datos de	Se ha comprobado que sí es posible extraer información de los generadores, referente a descargas parciales, con el equipo PDA Premium.  Se ha comprobado que por medio de los valores de Qmax se puede hacer una comparación con una base de datos de referencia y así

	<p>aislamiento, si existe, a través de la comparación de los valores de Qmax y una base de datos de referencia?</p> <hr/> <p>¿En qué medida es posible identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están siendo afectadas por las descargas parciales, a través del análisis de las</p>		<p>los valores de Qmax y una base de datos de referencia.</p> <hr/> <p>Identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están siendo afectadas por las descargas parciales, a través del análisis de las graficas relacionadas con estas.</p> <hr/> <p>Analizar las tendencias de las</p>		<p>referencia.</p> <hr/> <p>Se pueden identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están siendo afectadas por las descargas parciales, a través del análisis de las graficas relacionadas con estas.</p> <hr/> <p>Con el análisis de las tendencias de</p>	<p>cuantificar el nivel de deterioro del aislamiento.</p> <hr/> <p>Al hacer el análisis de las graficas de altura de pulsos y de distribución se pudo comprobar que si es posible identificar las zonas probables del aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores, que están afectadas por las descargas parciales.</p> <hr/> <p>Cuando se</p>
--	--	--	---	--	--	--

	<p>gráficas relacionadas con estas?</p> <p>_____</p> <p>¿En qué medida es posible analizar las tendencias de las descargas parciales, para saber si el aislamiento de las bobinas está en proceso de deterioro?</p>		<p>descargas parciales, para saber si el aislamiento de las bobinas está en proceso de deterioro o no.</p> <p>_____</p> <p>Presentar a LaGeo, los resultados obtenidos en este estudio, con sus respectivas recomendaciones según sea el caso.</p>		<p>descargas parciales, se puede saber si el aislamiento de las bobinas está en proceso de deterioro.</p>	<p>graficaron y analizaron las tendencias se encontró que el aislamiento de las bobinas no están en proceso de deterioro.</p>
--	---	--	--	--	---	---

**Tabla 6-9. Matriz de congruencia con la resolución de hipótesis**

## **7. Conclusiones y recomendaciones**

### **7.1 Conclusiones**

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo de investigación, se concluye lo siguiente:

1. Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en planta, permiten conocer el estado del aislamiento de los generadores dando como resultado que el generador 2 resultó con niveles de descargas parciales más altas que los otros 2 generadores.
2. En el análisis hecho al generador 2, se diagnóstico descargas parciales en las cabezas de bobinas por suciedad, al comparar los resultados con otras pruebas realizadas a este generador en los mantenimientos anteriores se verifico que la suciedad en esa zona había provocado descargas parciales, comprobándose el diagnóstico inicial.
3. La base de datos de LaGeo es un elemento básico para el análisis de las descargas parciales, ya que representa toda la información comprimida de una fuente particular de descargas parciales y puede ser comparada con otras fuentes.

### **7.2 Recomendaciones**

#### **7.2.1 Recomendaciones para el generador 1**

Ya que el generador 1 presenta descargas parciales moderadas se recomienda hacer una inspección visual sin el rotor extraído del generador, esto puede hacerse cuando se realice el mantenimiento mayor, debido al tipo de descargas que presentan se recomienda inspeccionar principalmente los siguientes puntos:

- 1) Verificar si hay signos de sobrecalentamiento en el aislamiento del devanado o en el núcleo magnético y los blindajes magnéticos y buscar zonas con polvo blanco en amarres, separadores y barras en el cabezal, indicativo de actividad de descargas parciales.
  
- 2) Verificar. Que no haya signos de aflojamiento, separadores y amarres flojos.

### **7.2.2 Recomendaciones para el generador 2**

- 1) Verificar si hay caminos de falla (tracking) entre barras en el cabezal. Poner atención especial en separadores de barras contiguas que operan con alta diferencia de potencial entre ellas, para verificar si el espacio de separación es insuficiente, provocando que se acumule fácilmente la suciedad. Revisar que no haya fugas de aceite que contaminen las cabezas de bobinas y acumulen polvo.
  
- 2) Uno de los problemas del generador 2 se puede dar por excesivos paros y arranques del generador, ya que el coeficiente de dilatación del cobre no es el mismo que el del aislamiento, por lo tanto se recomienda revisar los procedimientos que se hacen después de un disparo, para eso hay que respetar la curva de capacidad del generador, para que al momento que entre en línea la máquina, no supere los valores nominales, es decir; valores a los cuales los devanados y el núcleo alcanzan la temperatura de régimen de diseño, o cambios de temperatura rápidos, para que la máquina no sufra daño ni envejecimiento prematuro.

### 7.3 Aportaciones

Las aportaciones de este trabajo de investigación son:

La creación de un protocolo, que sirva para hacer un análisis del estado de aislamiento de las bobinas del estator, a través de la interpretación de las descargas parciales, en donde se incluye una comparación de las magnitudes de ellas con bases de datos de referencia, esto se hará por medio de Matlab y un método para diagnosticar las posibles áreas dañadas del aislamiento y sus posibles causas.

## **8. Propuesta**

### **8.1 Descripción**

En esta propuesta se creará una herramienta informática utilizando Matlab 7.8 que sirva para facilitar el análisis de las descargas parciales, la herramienta permitirá comparar los resultados obtenidos, con una base de datos de referencia, y alertara si los resultados están en un nivel de alarma, luego escogiendo en el programa las predominancias y agrupamientos de pulso se interpretaran las descargas parciales, el último programa graficará las tendencias de NQN y Qmax. Luego se creará un protocolo en donde se incluyan estos programas y se dará un informe de resultados siguiendo los lineamientos de LaGeo.

### **8.2 Objetivos de la propuesta**

#### **8.2.1 Objetivo general**

Crear un programa en Matlab 7.8 que ayude al usuario a analizar las descargas parciales y presentar los resultados en el formato establecido por LaGeo.

#### **8.2.2 Objetivos específicos**

- Crear una herramienta usando Matlab 7.8, que permita comparar la base de datos de referencia con los datos de cualquier prueba hecha en los generadores.
- Crear una herramienta usando Matlab 7.8, que facilite determinar la zona afectada por las descargas parciales con su respectivo mecanismo de falla.
- Crear una herramienta usando Matlab 7.8, que facilite el análisis de las tendencias de Qmax y NQN.

- 
- Crear un informe de resultados de las pruebas, elaborado en un protocolo enmarcado en la experiencia de LaGeo.

### **8.3 Justificación de la propuesta**

Esta propuesta servirá para el análisis de las descargas parciales en la central geotérmica de Berlín y cualquier otra central generadora de energía eléctrica que cuente con un instrumento de medición de descargas parciales, como ya se planteo en el capítulo II las descargas parciales pueden llegar a ocasionar grandes daños a los generadores, por lo tanto es de suma importancia contar con una herramienta que ayude al análisis de estas.

El análisis de las descargas parciales permite saber el estado de aislamiento de las bobinas de los estatores y por lo tanto saber cuándo es necesario actuar para corregir el problema, al facilitar el análisis por medio de una herramienta informática se disminuye la posibilidad que los resultados sean incorrectos debido a que se disminuye el proceso de análisis.

Entre los beneficios de esta propuesta se pueden mencionar que el análisis de las descargas parciales se podrá hacer en cualquier momento y no habrá necesidad de que lo haga un experto que resida en el extranjero, a menos que los niveles de descargas parciales estén demasiado altos y el análisis de resultados sea preocupante.

### **8.4 Nombre de la propuesta**

Creación de un programa, utilizando Matlab 7.8, que ayude al análisis de las descargas parciales.

---

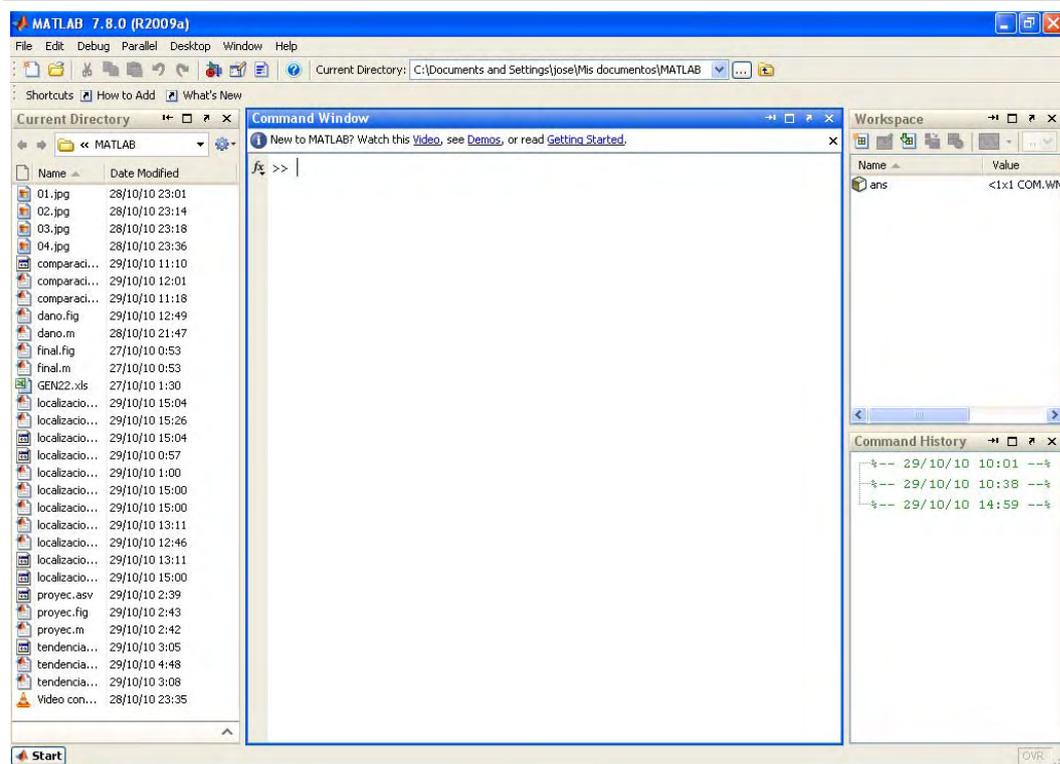
### 8.4.1 Matlab 7.8

MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Apple Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete Matlab 7.8 dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de Matlab con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación, por eso y por sus virtudes se decidió usarlo como la herramienta principal para desarrollar esta propuesta.

Matlab 7.8 inicia como cualquier otra aplicación de Windows, dando doble clic en el icono correspondiente en el escritorio o por medio del menú Inicio. Al iniciar Matlab 7.8 se abre una ventana similar a la mostrada en la Figura 8-1.



**Figura 8-1. Escritorio de Matlab 7.8**

La parte más importante de la ventana inicial es la *Command Window*, que aparece en la parte central. En esta subventana es donde se ejecutan los comandos de Matlab 7.8.

En la parte superior izquierda de la pantalla aparece una ventana también muy útil: *Current Directory*, la ventana *Current Directory* muestra los ficheros del directorio activo o actual. El directorio activo se puede cambiar desde la *Command Window*, o desde la propia ventana (o desde la barra de herramientas, debajo de la barra de menús) con los métodos de navegación de directorios propios de Windows. Dándole doble click sobre alguno de los ficheros .m del directorio activo se abre el editor de ficheros de Matlab, herramienta fundamental para la programación.

---

*Workspace* esta en la parte superior derecha, contiene información sobre todas las variables que se hayan definido en esta sesión y permite ver y modificar las matrices con las que se esté trabajando.

En la parte inferior derecha aparece la ventana *Command History* que muestra los últimos comandos ejecutados en la *Command Window*. Estos comandos se pueden volver a ejecutar haciendo doble click sobre ellos. Dando click sobre un comando con el botón derecho del ratón se muestra un menú contextual con las posibilidades disponibles en ese momento. Para editar uno de estos comandos hay que copiarlo antes a la *Command Window*.

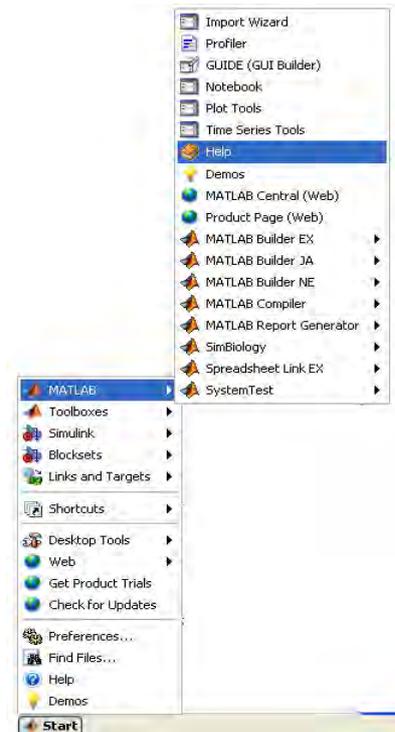
Además de con la *Command History*, es posible recuperar comandos anteriores de Matlab y moverse por dichos comandos con el ratón y con las teclas flechas ↑ y ↓. Al pulsar la primera de dichas flechas aparecerá el comando que se había introducido inmediatamente antes. De modo análogo es posible moverse sobre la línea de comandos con las teclas ← y →, ir al principio de la línea con la tecla Inicio, al final de la línea con Fin, y borrar toda la línea con Esc. Hay que recordar que solo hay una línea activa (la última).

Para borrar todas las salidas anteriores de Matlab 7.8 y dejar limpia la *Command Window* se pueden utilizar las funciones *clc* y *home*. La función *clc* (clear console) elimina todas las salidas anteriores, mientras que *home* las mantiene, pero lleva el *prompt* (>>) a la primera línea de la ventana.

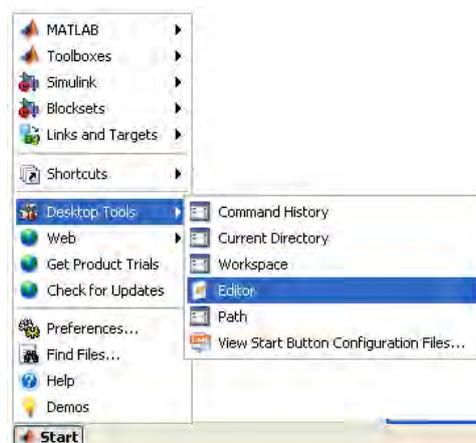
Si se desea salir de Matlab 7.8 basta teclear los comandos *quit* o *exit*, elegir *Exit Matlab* en el menú *File* o utilizar cualquiera de los medios de terminar una aplicación en Windows.

En la parte inferior izquierda de la pantalla aparece el botón *Start*, con una función análoga a la del botón Inicio de *Windows*. *Start* da acceso inmediato a ciertas capacidades del programa. La Figura 8-2 muestra las posibilidades de *Start/Matlab*, mientras que la Figura 8-3 muestra las opciones de *Start/Desktop Tools*, que

permiten el acceso a las principales componentes o módulos de Matlab 7.8. El menú Desktop realiza un papel análogo al botón *Start*, dando acceso a los módulos o componentes de Matlab 7.8 que se tengan instalados.

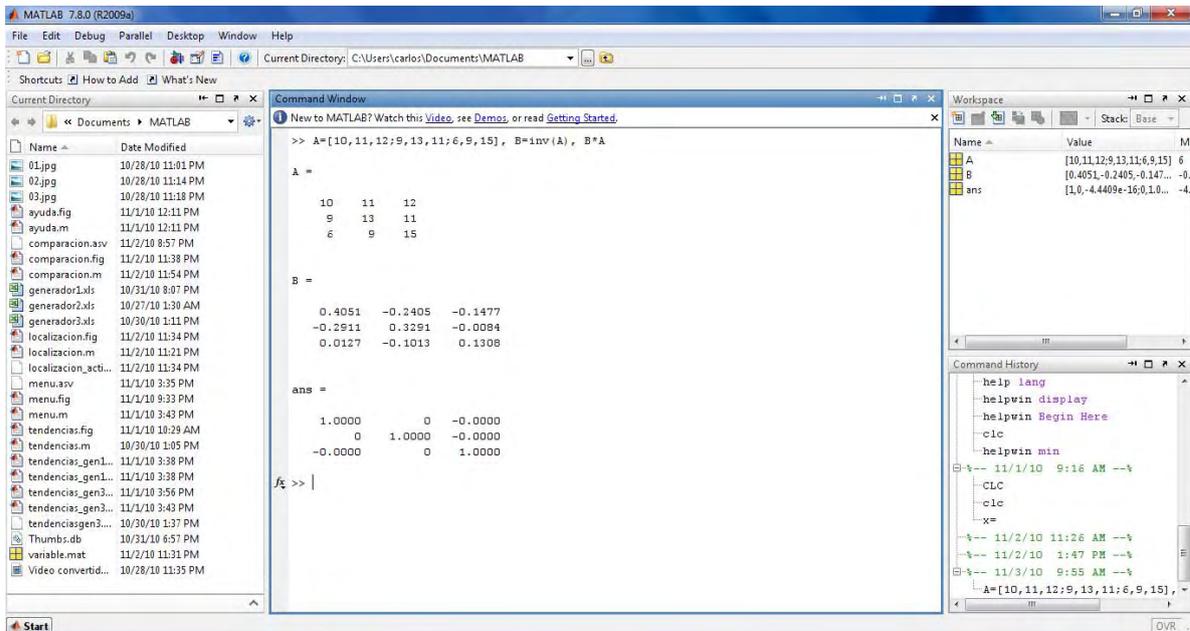


**Figura 8-2 Menú Start/Matlab**



**Figura 8-3 Menu Start/Desktop Tools**

Para apreciar desde el principio las bondades de Matlab, se puede comenzar por escribir en la *Command Window* la siguiente línea, a continuación del prompt. Al final hay que pulsar enter.  $A=[10,11,12;9,13,11;6,9,15]$ ,  $B=\text{inv}(A)$ ,  $B*A$



**Figura 8-4 tres instrucciones para sacar tres matrices**

En realidad, en la línea de comandos de la figura 8-4 se han escrito tres instrucciones diferentes, separadas por comas. Como consecuencia, la respuesta del programa tiene tres partes también, cada una de ellas correspondiente a una de las instrucciones. Con la primera instrucción se define una matriz A, separando los valores de una línea por comas (,) y separando las líneas por punto y coma (;), esto forma una matriz, en el ejemplo se ha formado la matriz A de 3x3. En la segunda instrucción se define una matriz B que es igual a la inversa de A. Finalmente se ha multiplicado B por A.

Otro de los puntos fuertes de Matlab 7.8 son los gráficos. A título de ejemplo, se puede teclear la siguiente línea y pulsar intro:

```
x=-4:.01:4; y=sin(x); plot(x,y), grid, title('Función seno(x)')
```

## CAPITULO VIII

### Propuesta

En la Figura 8-5 se puede observar que se abre una nueva ventana en la que aparece representada la función  $\sin(x)$ . Esta figura tiene un título "Función seno(x)" y una cuadrícula o "grid". En realidad la línea anterior contiene también varias instrucciones separadas por comas o puntos y comas. En la primera se crea un vector  $x$  con 801 valores reales entre -4 y 4, separados por una centésima. A continuación se crea un vector  $y$ , cada uno de cuyos elementos es el seno del correspondiente elemento del vector  $x$ . Después se dibujan los valores de  $y$  en ordenadas frente a los de  $x$  en abscisas. Las dos últimas instrucciones establecen la cuadrícula y el título.

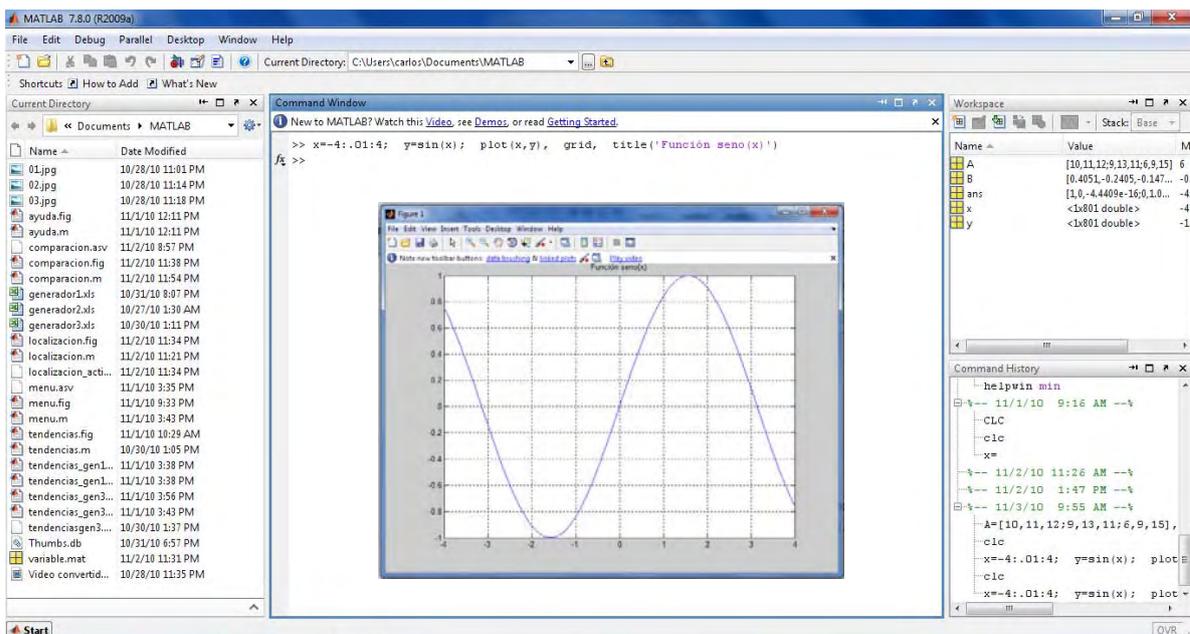
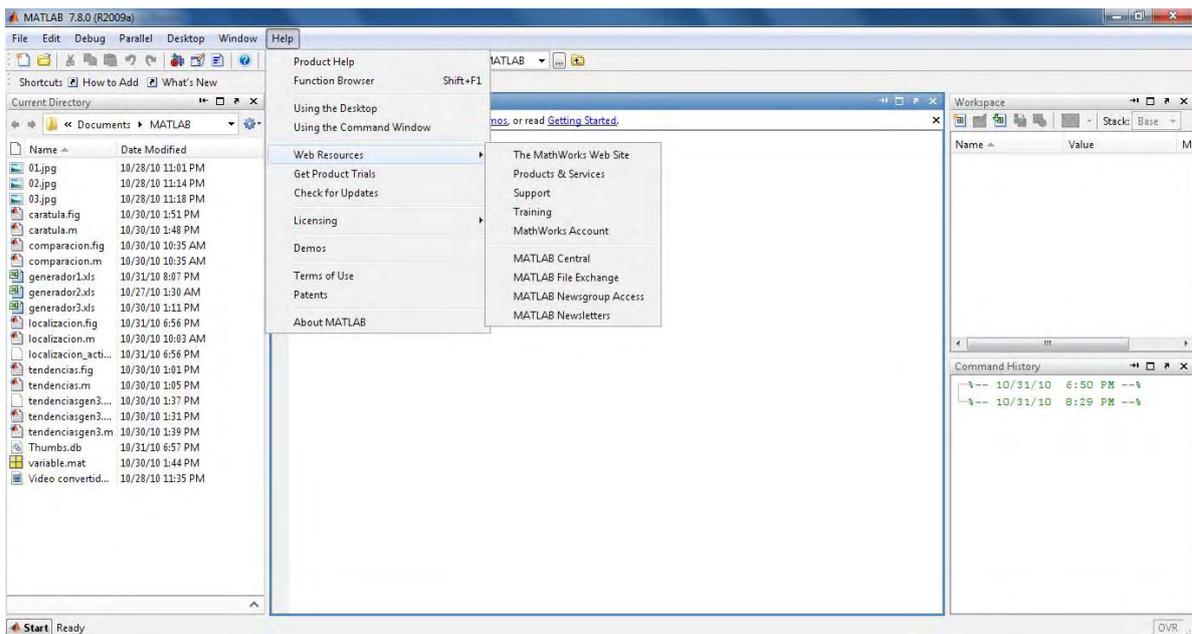


Figura 8-5 gráfico de la función seno de  $x$

## 8.4.2 Uso del Help

MATLAB 7.8 dispone de un excelente *Help* con el que se puede encontrar la información que se desee. La Figura 8-6 muestra las distintas opciones que aparecen en el menú Help de la ventana principal de la aplicación:



**Figura 8-6 Menú Help de Matlab 7.8**

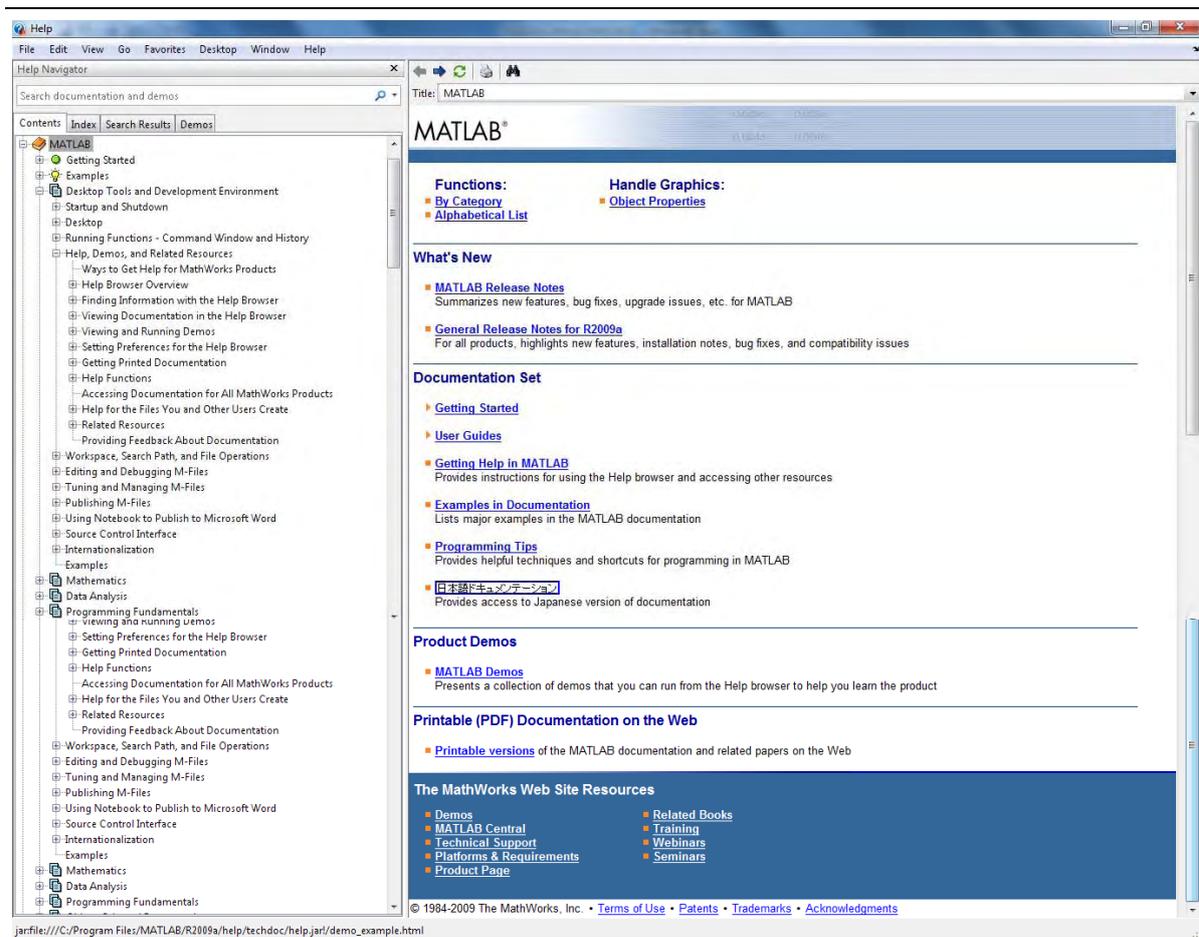
**Product Help.** Se abre la ventana de la Figura 8-6, en la que se puede buscar información general sobre Matlab 7.8 o sobre otros productos de la familia a los que se tenga acceso. La forma de la ventana de ayuda es típica y común con otros niveles de ayuda. La mayor parte de las páginas de ayuda están en formato HTML.

**MATLAB Help.** Se abre por medio de *Product Help*, ver figura 8-7, se puede buscar ayuda general sobre Matlab 7.8 o sobre la función o el concepto que se desee. La portada de esta ayuda tiene tres capítulos principales: *Functions*, que contiene información de referencia sobre las funciones por orden alfabético o por categorías; *Handle Graphics*, que permite acceder a información concreta sobre las distintas propiedades de los objetos gráficos; *Documentation Set*, que da acceso a versiones

completas de los manuales del programa en formato de pantalla fácilmente navegable (con apartados de *Getting Started*, *User Guides*, *Getting Help in Matlab*, *Programming Tips* y *Examples in Documentation*). *Product Demos* (con una colección de ejemplos programados que se pueden ejecutar y cuyo código se puede examinar para ver cómo están programados). *What's New* (con las novedades de esta versión respecto a la anterior), *Printable (PDF) Documentation on the Web* (que permite abrir documentos PDF (*Portable Document Format*), que se corresponden con las versiones en papel de los manuales del programa, y que precisan del programa *Adobe Acrobat Reader 5.0* o superior.)

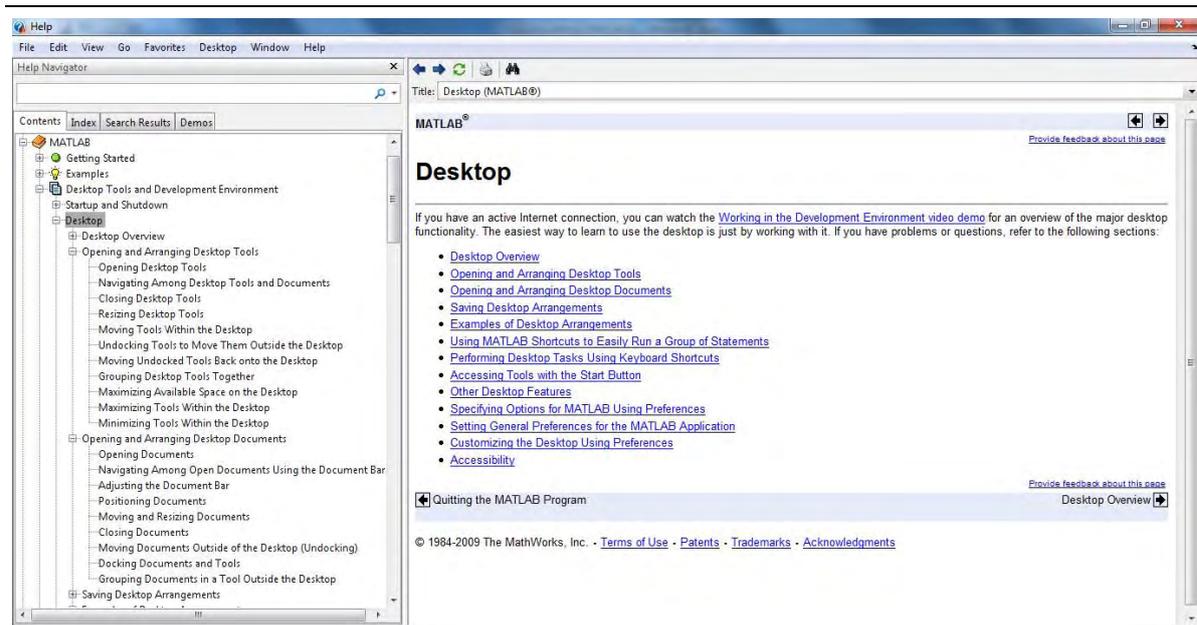
Y un apartado final sobre *The MathWorks Web Site Resources* (que permite acceder a una amplia colección de informaciones adicionales disponibles en la web de la empresa que ha desarrollado Matlab 7.8).

En la parte izquierda de la ventana, cuando está seleccionada la pestaña *Contents*, aparece un índice temático estructurado en forma de árbol que puede ser desplegado y recorrido con gran facilidad. Las restantes pestañas de esta ventana dan acceso a un índice por palabras (*Index*), a un formulario de búsqueda (*Search*) y a la colección de ejemplos ya programados antes citadas (*Demos*).



**Figura 8-7 menu Product Help**

**Using the Desktop.** Se abre una ventana de ayuda con un formato similar a las de la Figura 8-7, con información detallada sobre cómo utilizar y configurar el entorno de desarrollo o *Desktop*. Ver figura 8-8. Las distintas herramientas disponibles se describen sucesivamente. Cada página dispone de flechas y enlaces que permiten ir a la página siguiente o volver a la anterior. Es posible también imprimir aquellas páginas que se desee consultar o archivar sobre papel. Una característica muy importante es la posibilidad de organizar las ventanas con gran flexibilidad, agrupándolas o independizándoles según los propios gustos o deseos.



**Figura 8-8 Help, Using the Desktop**

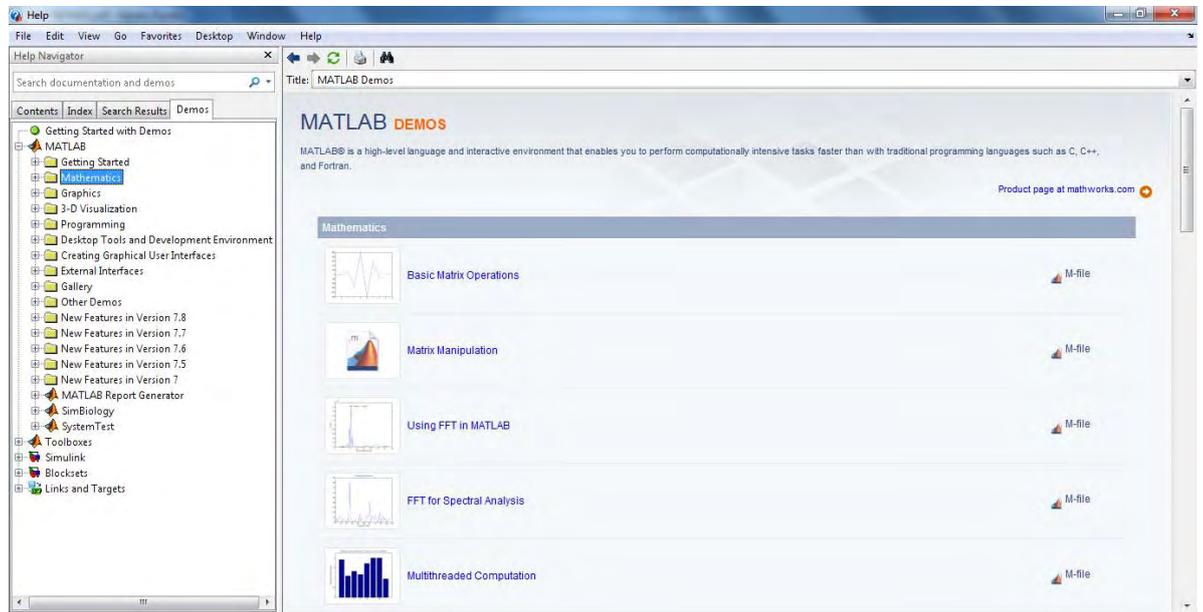
**Using the Command Window.** Esta opción del menú *Help* da acceso a la información necesaria para aprovechar las capacidades de la *Command Window*, que es el corazón de Matlab 7.8.

**Web Resources.** Muestra algunas direcciones de Internet con información interesante sobre Matlab 7.8. Todas ellas corresponden a distintas secciones de la web de *The Mathworks* (la empresa que desarrolla y comercializa Matlab), cuya página de inicio se muestra en primer lugar.

**Check for Updates.** Matlab 7.8 se conecta con *The Mathworks* y comprueba si se tiene la versión más reciente de los productos instalados. Si se es un usuario registrado, es posible descargar las versiones más actuales.

**Demos.** Se abre una ventana como la mostrada en la Figura 8-9 que da acceso a un buen número de ejemplos resueltos con Matlab, cuyos resultados se presentan gráficamente de diversas formas. Es muy interesante recorrer estos ejemplos para hacerse idea de las posibilidades del programa, tanto en cálculo como en gráficos.

Es asimismo muy instructivo analizar los ficheros `.m` de los ejemplos de características similares a las de la aplicación que se desea desarrollar.

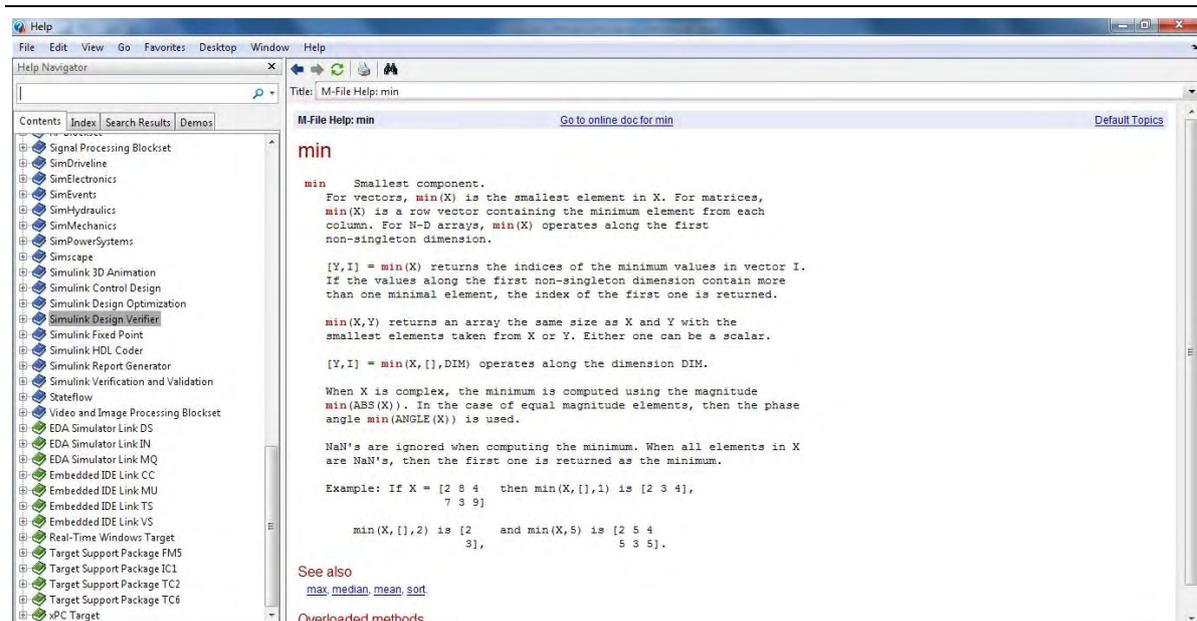


**Figura 8-9 demostraciones de operaciones matemáticas**

En la *Command Window*. Se puede practicar un poco al respecto. Por ejemplo: El comando `helpwin` seguido de un nombre de comando o de función muestra la información correspondiente a ese comando en la ventana *Help* (ver Figura 8-10). Por ejemplo para obtener información de la función `min`, como se muestra en la figura 8-11



**Figura 8-10 ayuda por medio de helpwin en el Command Window**



**Figura 8-11 muestra la ayuda de la funcion min**

En resumen, Matlab 7.8 dispone de una ayuda muy completa y accesible, estructurada en varios niveles (línea de comandos en la *Command Window*, ventana *Help*, y manuales en formato PDF), con la que es muy importante estar familiarizado, porque hasta los más expertos programadores tienen que acudir a ella con una cierta frecuencia.

### 8.4.3 Entorno de trabajo Matlab 7.8

El entorno de trabajo de Matlab 7.8 es muy gráfico e intuitivo, similar al de otras aplicaciones profesionales de *Windows*. Ahora se explicarán estas componentes con un poco más de detalle. El escritorio de Matlab 7.8 (*Matlab Desktop*), es la ventana o contenedor de máximo nivel en la que se pueden las demás componentes. Las componentes más importantes del entorno de trabajo de Matlab 7.8 son las que están orientadas a tareas concretas, entre las que se puede citar:

- La ventana de comandos (*Command Window*),
- La ventana histórica de comandos (*Command History*),
- El espacio de trabajo (*Workspace*),
- El directorio actual (*Current Directory*),

---

e. La ayuda (*Help*).

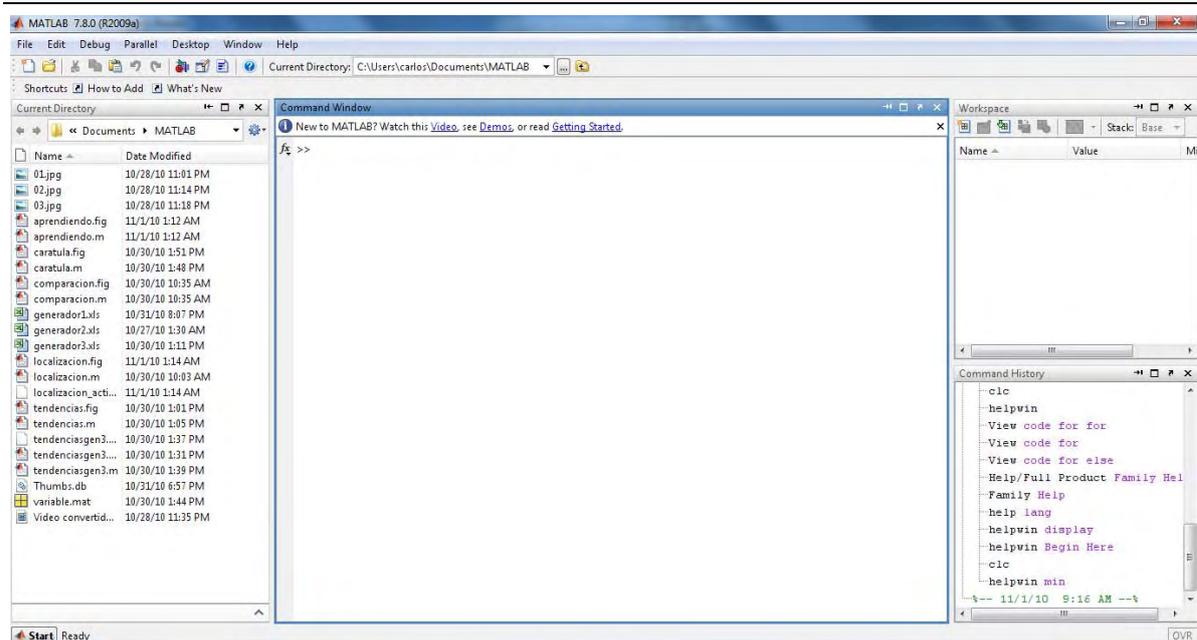
A continuación se describen brevemente estos componentes. Hay que tener en cuenta que utilizar Matlab 7.8 y desarrollar programas para Matlab 7.8 es mucho más fácil si se conoce bien este entorno de trabajo.

El escritorio de Matlab 7.8 (*Matlab desktop*) es la ventana más general de la aplicación. El resto de las ventanas o componentes citadas pueden alojarse en la *Matlab Desktop* o ejecutarse como ventanas independientes. A su vez, los componentes alojados en el *Matlab Desktop* pueden aparecer como subventanas independientes o como pestañas dentro de una de las subventanas. Matlab 7.8 ofrece una gran flexibilidad al respecto y es cada usuario quien decide en qué forma desea utilizar la aplicación.

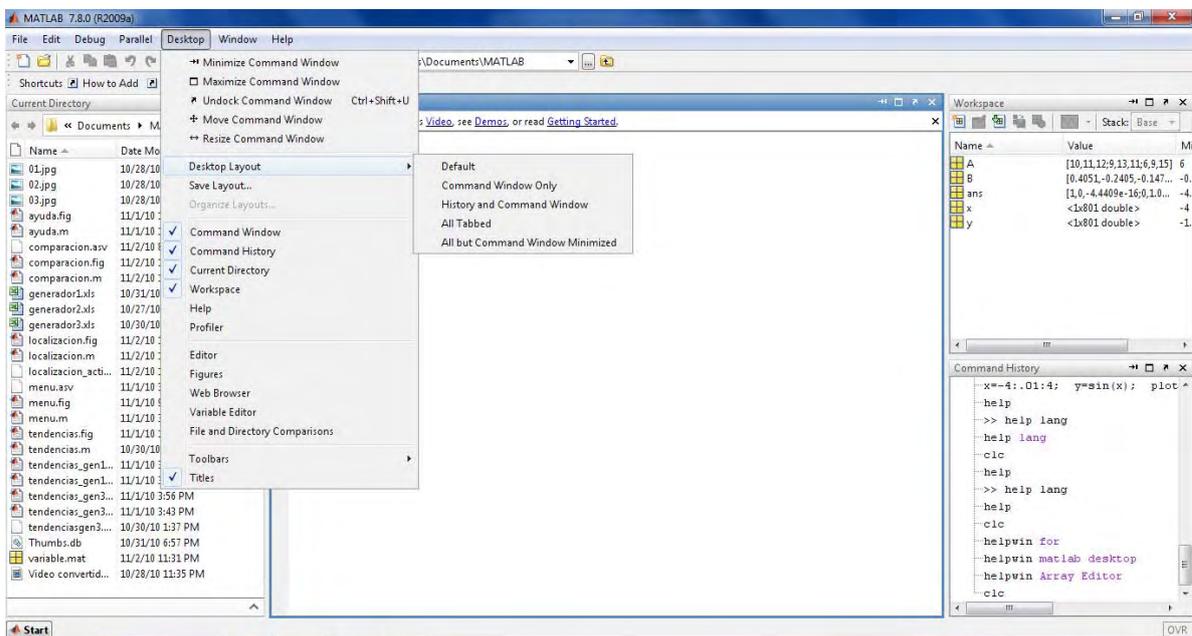
Cuando se inicia Matlab 7.8 por primera vez aparece dividido en cuatro zonas o subventanas mostradas en la Figura 8-12. La Figura 8-13 muestra un detalle del menú *Desktop*, desde el que se controlan las componentes visibles y la forma en que se visualizan. Por ejemplo, como en la Figura 8-12 la ventana activa es la *Command Window*, en el menú de la Figura 8-13 aparece la opción de dejar de alojar dicha ventana en el *Matlab Desktop* (*Undock Command Window*). Dicho menú permite también eliminar del *Desktop* alguna de las componentes visibles o visualizar el *Help* (que no está visible). Con los submenús de *Desktop Layout* se pueden adoptar algunas configuraciones predefinidas, como la configuración por defecto (*Default*) o incluir sólo la *Command Window*. La configuración adoptada por el usuario se mantendrá la siguiente vez que inicie el programa. Es posible también *guardar* distintas configuraciones con distintos nombres, para su uso posterior.

# CAPITULO VIII

## Propuesta



**Figura 8-12. Configuración por defecto del Matlab Desktop**



**Figura 8-13. Menú para configurar el Matlab Desktop**

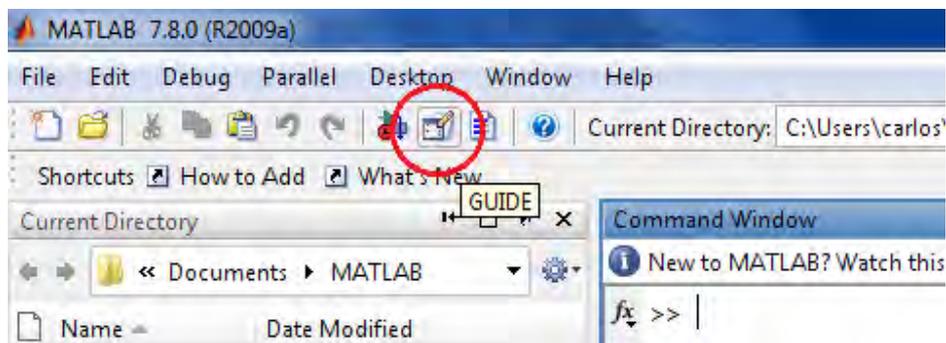
#### 8.4.4 Interfaz gráfica de usuario en Matlab (GUIDE)

Graphic user interface (GUI) es un entorno de programación visual disponible en Matlab 7.8 para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++. Al iniciar un proyecto, puede hacerse de dos maneras:

Ejecutando la siguiente instrucción en *Command Window*:

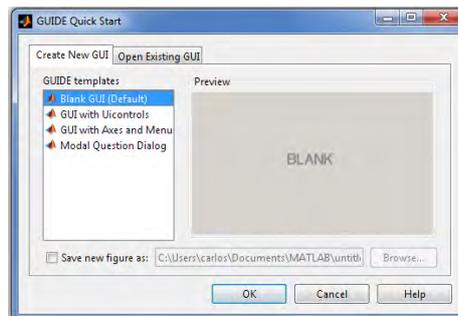
```
>>guide
```

O haciendo un click en el ícono que muestra la figura 8-14.



**Figura 8-14. Icono GUIDE**

Se presenta el siguiente cuadro de diálogo:



**Figura 8-15. Ventana de inicio de GUI**

Se presentan las siguientes opciones:

##### **Blank GUI (Default)**

La opción de interfaz gráfica de usuario en blanco (viene predeterminada), presenta un formulario nuevo, en el cual se puede diseñar un programa.

##### **GUI with Uicontrols**

Esta opción presenta un ejemplo en el cual se calcula la masa, dada la densidad y el volumen, en alguno de los dos sistemas de unidades. Podemos ejecutar este ejemplo y obtener resultados.

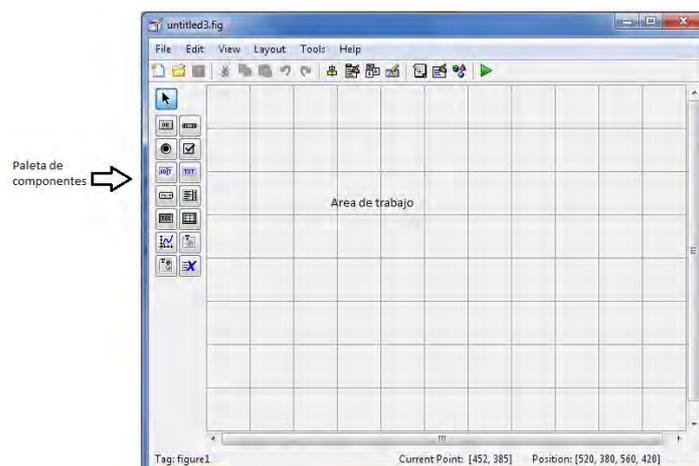
### **GUI with Axes and Menu**

Esta opción es otro ejemplo el cual contiene el menú File con las opciones Open, Print y Close. En el formulario tiene un *Popup menu*, un *push button* y un objeto Axes, podemos ejecutar el programa eligiendo alguna de las seis opciones que se encuentran en el menú despegable y haciendo click en el botón de comando.

### **Modal Question Dialog**

Con esta opción se muestra en la pantalla un cuadro de diálogo común, el cual consta de una pequeña imagen, una etiqueta y dos botones Yes y No, dependiendo del botón que se presione, el GUI retorna el texto seleccionado (la cadena de caracteres 'Yes' o 'No').

La figura 8-16 muestra una nueva GUI, cuando se elige la primera opción, *Blank GUI (Default)*.



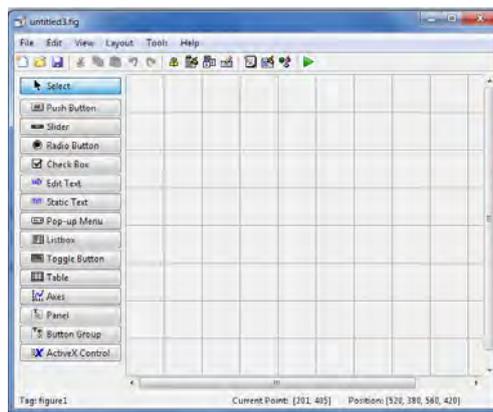
**Figura 8-16. Entorno de diseño de GUI**

La interfaz gráfica cuenta con las siguientes herramientas:

	Alinear objetos.
	Editor de menú.
	Editor de orden de etiqueta.
	Editor del M-file.
	Propiedades de objetos.
	Crea nuevas herramientas
	Navegador de objetos.
	Grabar y ejecutar (ctrl. + T).

**Tabla 8-1. Herramientas de GUI**

Para obtener la etiqueta de cada elemento de la paleta de componentes se ejecuta: *File* luego *Preferentes* y se selecciona *Show names in component palette*. Quedando de la siguiente presentación:



**Figura 8-17. Entorno de diseño: componentes etiquetados**

La siguiente tabla muestra una descripción de los componentes:

<i>Control</i>	<i>Valor de estilo</i>	<i>Descripción</i>
Check box	'checkbox'	Indica el estado de una opción o atributo
Editable Text	'edit'	Caja para editar texto
Pop-up menu	'popupmenu'	Provee una lista de opciones
List Box	'listbox'	Muestra una lista deslizable
Push Button	'pushbutton'	Invoca un evento inmediatamente
Radio Button	'radio'	Indica una opción que puede ser seleccionada
Toggle Button	'togglebutton'	Solo dos estados, "on" o "off"
Slider	'slider'	Usado para representar un rango de valores
Static Text	'text'	Muestra un string de texto en una caja
Panel button		Agrupar botones como un grupo
Button Group		Permite exclusividad de selección con los radio button

**Tabla 8-2. Descripción de los componentes**

Propiedades de los componentes, cada uno de los elementos de GUI, tiene un conjunto de opciones, se puede acceder a estas con click derecho.

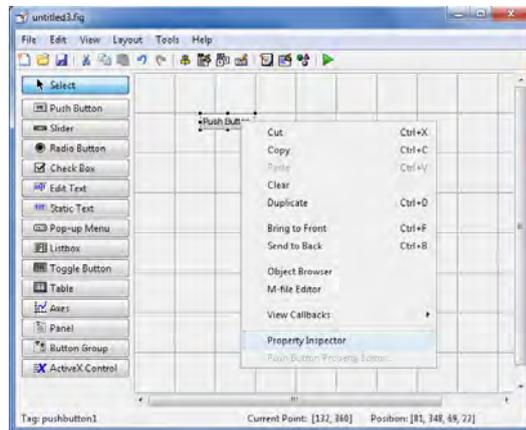


Figura 8-18. Opciones del componente

La opción *Property Inspector* permite personalizar cada elemento. En el entorno *Property Inspector* se pueden ver y editar las propiedades de un objeto, entre las cuales está el *String* esta es la propiedad donde se cambia el nombre del objeto que aparece en la interfaz grafica, en el caso de las casillas es la propiedad que tiene la variable o casilla de recibir texto. Y el *Tag* es donde se cambia el nombre del objeto que aparece en el código de programación, ver figura 8-19.

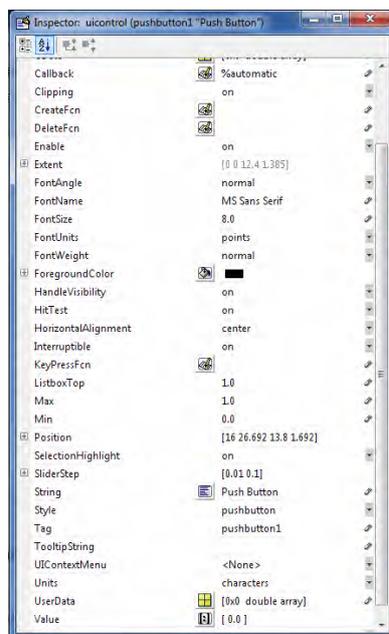


Figura 8-19. Entorno Property Inspector

---

Al hacer click derecho en el elemento ubicado en el área de diseño, una de las opciones más importantes es *View Callbacks*, la cual, al ejecutarla, abre el archivo *.m* asociado a ese diseño y nos posiciona en la parte del programa que corresponde a la subrutina que se ejecutará cuando se realice una determinada acción sobre el elemento que se está editando.

Por ejemplo, al ejecutar *View Callbacks* luego *Callbacks* en el *Push Button*, se ubicará en la parte del programa:

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

#### 8.4.4.1 Funcionamiento de una aplicación GUI

Una aplicación GUIDE consta de dos archivos: *.m* y *.fig*. El archivo *.m* es el que contiene el código con las correspondencias de los botones de control de la interfaz y el archivo *.fig* contiene los elementos gráficos.

Cada vez que se adicione un nuevo elemento en la interfaz gráfica, se genera automáticamente líneas de código en el archivo *.m*.

Para ejecutar una Interfaz Gráfica, si la hemos etiquetado con el nombre *curso.fig*, simplemente ejecutamos en la *Command Window* `>> curso`. O haciendo click derecho en el m-file y seleccionando la opción *RUN*.

#### 8.4.4.2 Manejo de datos entre elementos de la aplicación y el archivo.m

Todos los valores de las propiedades de los elementos (color, valor, posición, string...) y los valores de las variables transitorias del programa se almacenan en una estructura, los cuales son accedidos mediante un único y mismo *identificador* para todos éstos. Tomando el programa listado anteriormente, el identificador se asigna en: `handles.output = hObject;`

*Handles*, es el identificador a los datos de la aplicación. Esta definición de identificador es salvada con la siguiente instrucción: `save(hObject, handles);`

*save*, es la sentencia para salvar los datos de la aplicación.

También *guidata* es la función que guarda las variables y propiedades de los elementos en la estructura de datos de la aplicación, por lo tanto, como regla general, en cada subrutina se debe escribir en la última línea lo siguiente:

```
save(hObject,handles);
```

En otras palabras `Handles` es el espacio de memoria donde se guardan las variables que maneja Matlab 7.8 incluyendo las que crea el programador, esta sentencia nos garantiza que cualquier cambio o asignación de propiedades o variables quede almacenado.

Por ejemplo, si dentro de una subrutina una operación dio como resultado una variable *qn1* para poder utilizarla desde el programa u otra subrutina debemos salvarla de la siguiente manera:

```
handles.qn1=qn1;  
save(hObject,handles);
```

La primera línea crea la variable *qn1* a la estructura de datos de la aplicación apuntada por *handles* y la segunda graba el valor.

La asignación u obtención de valores de los componentes se realiza mediante las sentencias *get* y *set*. Por ejemplo si se quiere que la variable *qn1* tenga el valor del *qn2* se escribe: `qn1= get(handles.qn2, 'Value');`

Hay que notar que siempre se obtienen los datos a través de los identificadores *handles*. El punto y coma (;) sirve para delimitar código de comandos.

Para asignar el valor *qn1* a la variable al *statictext* etiquetada como *text1* se escribe:

```
set(handles.text1, 'String',qn1);
```

Escribe el valor del *qn1* en *StaticText* si *qn1* solo es texto.

Para solo asignar texto se escribe este entre comillas después de string, ejemplo:

```
set(handles.edit1, 'String', 'texto');
```

Escribe *texto* en *Edit Text*.

---

#### 8.4.4.3 Definición de funciones

La *primera línea* de un fichero llamado *name.m* que define una función tiene la forma:

*function [lista de valores de retorno] = name(lista de argumentos)*

Donde *name* es el nombre de la función. Entre corchetes y separados por comas van los *valores de retorno* (siempre que haya más de uno), y entre paréntesis también separados por comas los *argumentos*. Puede haber funciones sin valor de retorno y también sin argumentos. Los *argumentos* son los *datos* de la función y los *valores de retorno* sus *resultados*. Si no hay valores de retorno se omiten los corchetes y el *signo igual (=)*; si sólo hay un valor de retorno no hace falta poner corchetes. Tampoco hace falta poner paréntesis si no hay argumentos.

A continuación se presenta diferentes funciones utilizadas en esta propuesta:

*str2double(str)* convierte una cadena de caracteres representando un número real en el número real correspondiente.

*num2str(x,n)* convierte un número real *x* en su expresión por medio de una cadena de caracteres, con cuatro cifras decimales por defecto (pueden especificarse más cifras, con un argumento opcional *n*).

*interp1(xp,yp,x)* calcula el valor interpolado para la abscisa **x** a partir de un conjunto de puntos dado por los vectores *xp* e *yp*.

*interp1(xp,yp,x,'m')* como la anterior, pero permitiendo especificar también el método de interpolación. La cadena de caracteres *m* admite los valores '*nearest*', '*linear*', '*spline*', '*pchip*', '*cubic*' y '*v5cubic*'.

*n=length(x)* calcula el número de elementos de un vector *x*.

*plot*, esta es la función clave de todos los gráficos 2-D en Matlab. Se utilizan también cadenas de 1, 2 ó 3 caracteres para indicar *colores* y *tipos de línea*. La función *plot()*,

en sus diversas variantes, no hace otra cosa que dibujar vectores. Un ejemplo muy sencillo de esta función, en el que se le pasa un único vector como argumento, es el siguiente:

```
>> x=[1 3 2 4 5 3]
x = 1 3 2 4 5 3
>> plot(x)
```

El resultado de este comando es que se abre una ventana. Por defecto, los distintos puntos del gráfico se unen con una línea continua. También por defecto, el color que se utiliza para la primera línea es el azul.

En la tabla 8-3 se muestran los estilos de línea y marcadores en la función *plot* en realidad, el conjunto básico de argumentos de esta función es una *tripleta* formada por dos vectores y una cadena de 1, 2 ó 3 caracteres que indica el color y el tipo de línea o de marker.

Símbolo	Color	Símbolo	Marcadores (markers)
y	yellow	.	puntos
m	magenta	o	círculos
c	cyan	x	marcas en x
r	red	+	marcas en +
g	green	*	marcas en *
b	blue	s	marcas cuadradas (square)
w	white	d	marcas en diamante (diamond)
k	black	^	triángulo apuntando arriba
		v	triángulo apuntando abajo
Símbolo	Estilo de línea	>	triángulo apuntando a la dcha
-	líneas continuas	<	triángulo apuntando a la izda
:	líneas a puntos	p	estrella de 5 puntas
-.	líneas a barra-punto	h	estrella se seis puntas
--	líneas a trazos		

**Table 8-3. Colores, markers y estilos de línea**

El lenguaje de programación de Matlab 7.8 dispone de los siguientes operadores relacionales:

< menor que

> mayor que

<= menor o igual que

>= mayor o igual que

== igual que

~= distinto que

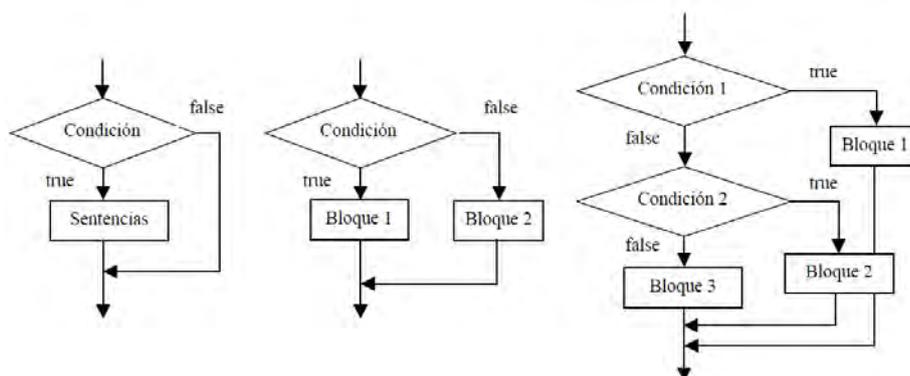
Se observa que, salvo el último de ellos, coinciden con los correspondientes operadores relacionales de C. Sin embargo, ésta es una coincidencia más bien formal. En Matlab 7.8 los operadores relacionales pueden aplicarse a vectores y matrices, y eso hace que tengan un significado especial. El carácter (~) se obtiene en la PC pulsando sucesivamente las teclas 1, 2 y 6 manteniendo *Alt* pulsada.

### 8.4.5 Programación de Matlab 7.8

Matlab 7.8 es una aplicación que se puede programar muy fácilmente. Se comenzará viendo las bifurcaciones y bucles, y la lectura y escritura interactiva de variables, que son los elementos básicos de cualquier programa de una cierta complejidad.

#### 8.4.5.1 Bifurcaciones y bucles

Matlab 7.8 posee un lenguaje de programación que como cualquier otro lenguaje dispone de sentencias para realizar *bifurcaciones* y *bucles*. Las *bifurcaciones* permiten realizar una u otra operación según se cumpla o no una determinada condición. La Figura 8-20 muestra tres posibles formas de bifurcación.

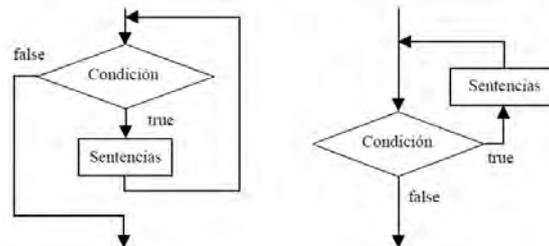


**Figura 8-20. Ejemplos gráficos de bifurcaciones**

Los *bucles* permiten repetir las mismas o análogas operaciones sobre datos distintos. Mientras que en C/C++/Java el "cuerpo" de estas sentencias se determinaba

mediante llaves {...}, en Matlab 7.8 se utiliza la palabra *end* con análoga finalidad. Existen también algunas otras diferencias de sintaxis.

La Figura 8-21 muestra dos posibles formas de bucle, con el control situado al principio o al final del mismo. Si el control está situado al comienzo del bucle es posible que las sentencias no se ejecuten ninguna vez, por no haberse cumplido la condición cuando se llega al bucle por primera vez. Sin embargo, si la condición está al final del bucle las sentencias se ejecutarán por lo menos una vez, aunque la condición no se cumpla. Muchos lenguajes de programación disponen de bucles con control al principio (*for* y *while* en C/C++/Java) y al final (*do ... while* en C/C++/Java). En Matlab 7.8 no hay bucles con control al final del bucle, es decir, no existe construcción análoga a *do ... while*. Las bifurcaciones y bucles no sólo son útiles en la preparación de programas o de ficheros *m*. También se aplican con frecuencia en el uso interactivo de Matlab 7.8.



**Figura 8-21. Bucles con control al principio y al final**

#### 8.4.5.2 Sentencia if

A diferencia de C/C++/Java la condición no va entre paréntesis, aunque se pueden poner si se desea, en los ejemplos siguientes las *sentencias* aparecen desplazadas hacia la derecha respecto al *if*, *else* o *end*. Esto se hace así para que el programa resulte más legible, resultando más fácil ver dónde empieza y termina la bifurcación o el bucle. Es muy recomendable seguir esta práctica de programación. En su forma más simple, la sentencia *if* se escribe en la forma siguiente.

```
if condicion
    sentencias
end
```

Existe también la *bifurcación múltiple*, en la que pueden concatenarse tantas condiciones como se desee, y que tiene la forma siguiente:

```
if condicion1
    bloque1
elseif condicion2
    bloque2
elseif condicion3
    bloque3
else % opción por defecto para cuando no se cumplan las condiciones 1,2,3
    bloque4
end
```

Donde la opción por defecto **else** puede ser omitida: si no está presente no se hace nada en caso de que no se cumpla ninguna de las condiciones que se han chequeado.

Una observación muy importante: la condición del *if* puede ser una *condición matricial*, del tipo  $A==B$ , donde **A** y **B** son matrices del mismo tamaño. Para que se considere que la *condición* se cumple, es necesario que sean *iguales dos a dos todos los elementos* de las matrices **A** y **B** ( $a_{ij}=b_{ij}$ ,  $1 \leq i \leq m$ ,  $1 \leq j \leq n$ ). Basta que haya dos elementos  $a_{ij}$  y  $b_{ij}$  diferentes para que las matrices ya no sean iguales, y por tanto las sentencias del **if** no se ejecuten. Análogamente, una condición en la forma  $A \sim = B$  exige que todos los elementos sean diferentes dos a dos ( $a_{ij} \neq b_{ij}$ ,  $1 \leq i \leq m$ ,  $1 \leq j \leq n$ ). Bastaría que hubiera dos elementos  $a_{ij}$  y  $b_{ij}$  iguales para que la condición no se cumpliera. En resumen:

if  $A==B$  exige que *todos* los elementos sean *iguales* dos a dos

if  $A \sim = B$  exige que *todos* los elementos sean *diferentes* dos a dos

Como se ha dicho, Matlab 7.8 dispone de funciones especiales para ayudar en el chequeo de condiciones matriciales. Por ejemplo, la función *isequal(A, B)* devuelve un uno si las dos matrices son idénticas y un cero en caso de que difieran en algo.

### 8.4.5.3 Sentencia switch

La sentencia *switch* realiza una función análoga a un conjunto de *if...elseif* concatenados. Su forma general es la siguiente:

```
switch switch_expresion
    case case_expr1,
        bloque1
    case case_expr2,
        bloque2
    ...
    otherwise, % opción por defecto
        bloque3
end
```

Al principio se evalúa la *switch\_expresion*, cuyo resultado debe ser un número escalar o una cadena de caracteres. Este resultado se compara con las *case\_expr*, y se ejecuta el bloque de sentencias que corresponda con ese resultado. Si ninguno es igual a *switch\_expresion* se ejecutan las sentencias correspondientes a *otherwise*. Según puede verse en el ejemplo anterior, es posible agrupar varias condiciones dentro de unas llaves (constituyendo lo que se llama un *cell array* o vector de celdas; basta la igualdad con cualquier elemento del cell array para que se ejecute ese bloque de sentencias. La “igualdad” debe entenderse en el sentido del operador de igualdad (==) para escalares y la función *strcmp( )* para cadenas de caracteres). A diferencia de C/C++/Java, en C se ejecuta el caso seleccionado y todos los siguientes, salvo que se utilice la sentencia *break*, en Matlab 7.8 sólo se ejecuta uno de los bloques relacionado con un *case*.

### 8.4.5.4 Sentencia for

La sentencia *for* repite un conjunto de sentencias un número predeterminado de veces. La sentencia *for* de Matlab 7.8 es muy diferente y no tiene la generalidad de la sentencia *for* de C/C++/Java. La siguiente construcción ejecuta *sentencias* con valores de *i* de 1 a *n*, variando de uno en uno.

```
for i=1:n
    sentencias
end
```

O bien,

```
for i=vectorValores
```

```
    sentencias  
end
```

Donde **vectorValores** es un vector con los distintos valores que tomará la variable **i**. En el siguiente ejemplo se presenta el caso más general para la variable del bucle (*valor\_inicial: incremento: valor\_final*); el bucle se ejecuta por primera vez con **i=n**, y luego **i** se va reduciendo de 0.2 en 0.2 hasta que llega a ser menor que 1, en cuyo caso el bucle se termina:

```
for i=n:-0.2:1  
    sentencias  
end
```

En el siguiente ejemplo se presenta una estructura correspondiente a dos *bucles anidados*. La variable **j** es la que varía más rápidamente (por cada valor de **i**, **j** toma todos sus posibles valores):

```
for i=1:m  
    for j=1:n  
        sentencias  
    end  
end
```

Una última forma de interés del bucle *for* es la siguiente (**A** es una matriz):

```
for i=A  
    sentencias  
end
```

En la que la variable **i** es un vector que va tomando en cada iteración el valor de una de las columnas de **A**.

Cuando se introducen interactivamente en la línea de comandos, los bucles *for* se ejecutan sólo después de introducir la sentencia *end* que los completa.

## 8.5 Delimitación

En lo referente a la explicación del desarrollo de esta propuesta se han tratado de explicar los códigos de forma ordenada, en los diferentes programas creados hay botones y otros elementos que hacen funciones similares por lo tanto la programación es similar y para que la explicación de estos no sea repetitiva, se da la explicación del primer elemento que este en el código luego cuando se explica otro elemento si este tiene funciones similares se hace referencia al que ya se ha

explicado, las líneas de comando que crea Matlab y que no llevan programación se muestran solo en los anexos para no saturar la explicación.

El diseño de los programas se basa en las necesidades del usuario y de la función de cada uno, para que estos programas funcionen al 100% es necesario tener instalado Matlab 7.8 esto implica que LaGeo tiene que tener la licencia para dicho programa.

### 8.6 Programa menú

#### 8.6.1 Descripción del programa menú

El menú ha sido diseñado para tener acceso a distintos programas que facilitan el análisis de las descargas parciales y a la ayuda de dichos programas. El *menú* tiene cuatro botones, a continuación se describe cada uno de ellos:

**Comparación con base de datos:** Este botón es un acceso directo para el programa (comparación), en este se puede hacer una comparación de la última prueba o cualquier prueba, con la base de datos de referencia.

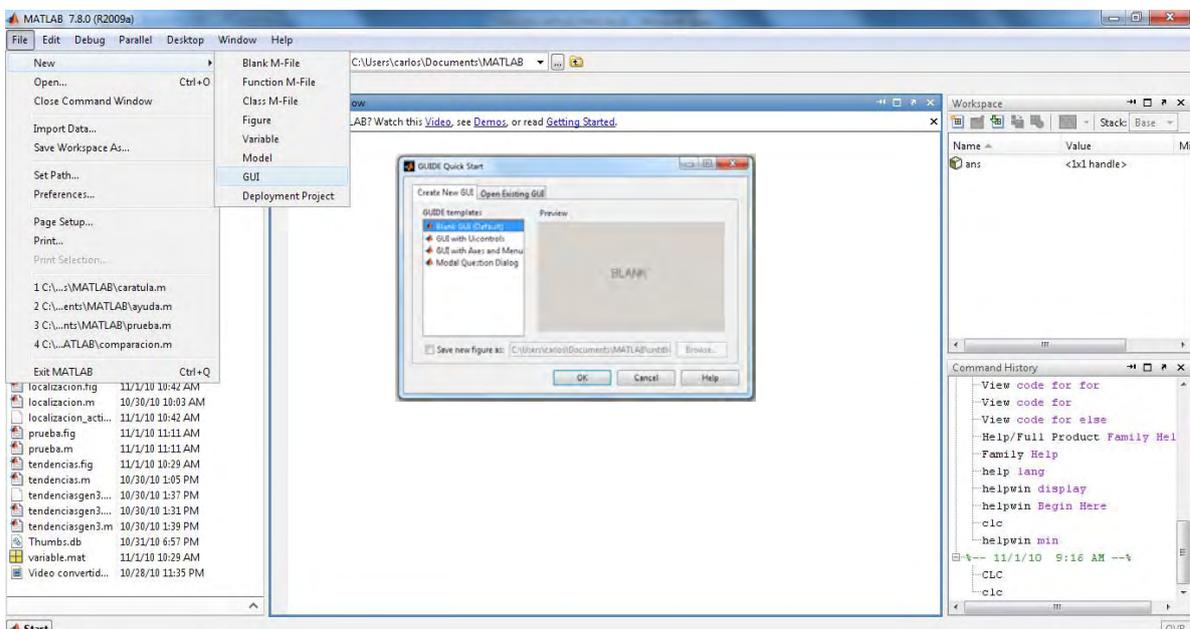
**Localización del daño y causa:** Este botón es un acceso directo para el programa (localización), este ayuda al usuario a interpretar las descargas parciales y saber en que zona del aislamiento hay un daño y la causa que lo provoca.

**Tendencias:** Se ha creado este botón exclusivamente para acceder al programa (tendencias) este presenta las tendencias de los generadores 1, 2 y 3.

**Ayuda:** Este botón da acceso a información necesaria para que el usuario pueda consultar acerca del funcionamiento general de los programas, este programa se llama (ayuda).

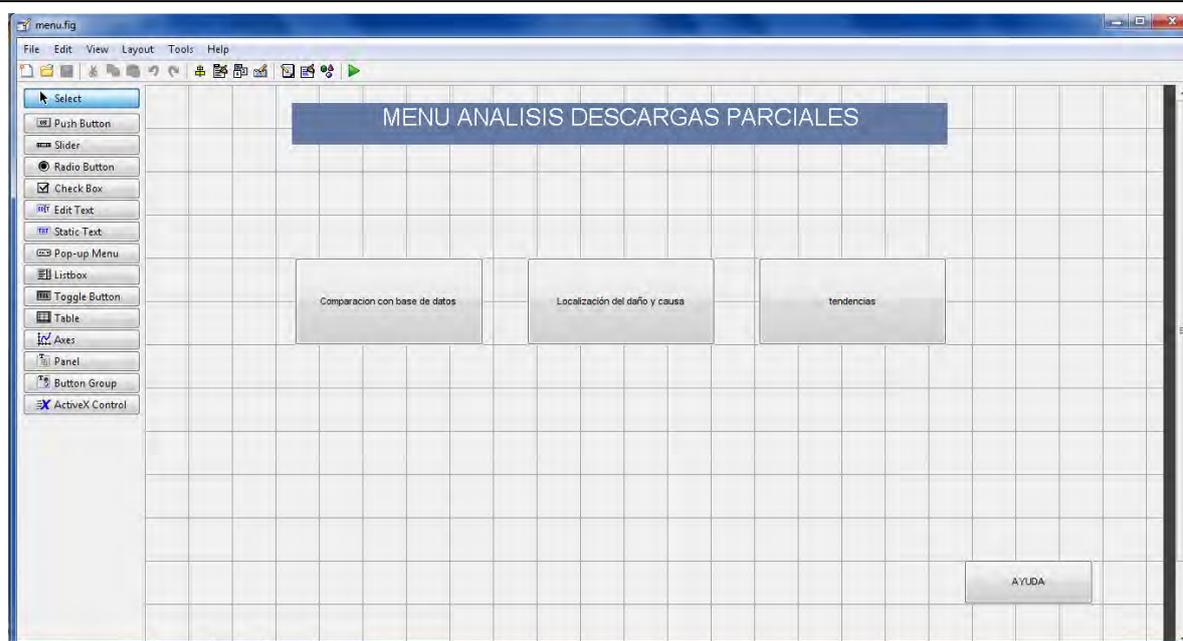
### 8.6.2 Programación del menú

A continuación se describe la creación del menú; el primer paso para crear este menú es acceder a *file, new, GUI, Blank GUI (default)* y luego clic en OK. Ver figura 8-22. Este es una ruta alternativa a la explicada en el apartado 8.6.3.



**Figura 8-22. Creación de interfaz grafica**

Aparece una interfaz grafica similar a la figura 8-16, en esta se insertan los botones ya mencionados, (*Push Button*) y un comentario o titulo (*Static Text*), estos se insertan de la parte izquierda de la ventana ver figura 8-23.



**Figura 8-23. Interfaz grafica del menu**

Después que se han insertado los botones se ordenan y se nombran en el string de cada uno ver figura 8-19, este esta en *property inspector*, procedimiento descrito en el apartado 8.6.3. Se guarda y a continuación en la ventana *Current Directory* aparecen el archivo *menu.fig* y *menu.m*.

En el archivo *menú.m* esta el código correspondiente a la interfaz gráfica *menu.fig*, las líneas de código que Matlab 7.8 crea en esta etapa comienzan en la línea 1 y terminan en la línea 73. Entre los cuales destaca la primera línea:

```
function varargout = menu(varargin).
```

Donde *menú* es el nombre de la función, *varargout* es el valor de retorno y *varargin* es el argumento.

También crea comentarios, esto se repite para todos los programas. Ver anexo F.

Cada uno de los elementos añadidos en el diseño como en este caso *Push Button*, tienen una función asociada al archivo *.m*. Así, al añadir *pushbutton*, por ejemplo para el *Push Button* (comparación con base de datos) se tiene el siguiente código:

---

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

Justo debajo de: `function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)` y de los comentarios correspondientes, se escribe: `comparacion;` para que el *Push Button* habrá el programa comparación. Este proceso es el mismo para los demás botones. Ver anexo F.

## 8.7 Programa comparación

### 8.7.1 Descripción del programa comparación

Este programa le permitira al usuario comparar cualquier prueba obtenida, con los resultados de una base de datos de referencia que proporciona el fabricante del equipo cada año, el metodo principal utilizado para esta comparación es la interpolación. Se obtiene la grafica interpolada con los resultados de una prueba, por ejemplo los datos correspondientes a los generadores de (13.8KV) de la última base de datos (2009): (53mv,25%), (119mv,50%), (242mv,75%), (454mv,90%), (701mv ,95%) con los datos de la última prueba (los Qmax- y Qmax+). Estos valores seran introducidos por el usuario, por lo tanto este programa permite comparar cualquier resultado obtenido con cualquier base de datos de referencia.

La interfaz grafica tiene 36 casillas entre estas están las que pertenecen a Qmax y %, en estas el usuario introducirá los datos de referencia, en las casillas que pertenecen a Qmax- y Qmax+ el usuario introducirá los valores de la ultima prueba y el programa devolverá los porcentajes de estas pruebas respecto a los datos de referencia en las casillas que pertenecen a %Qmax- y %Qmax+ respectivamente.

El *Push Button* (Datos de referencia) grafica los datos de referencia.

(RESET) borra los datos de referencia y la grafica.

(%negativo) interpola los valores de Qmax- con los de la grafica de referencia, muestra en las casillas de %Qmax- los porcentajes correspondientes a Qmax- en

---

referencia con los de la base de datos si estos son mayores a 90% las casillas de %Qmax- serán rojas y se dara un mensaje de alerta, también coloca una línea en la grafica, de cada valor Qmax- con una altura igual al valor %Qmax-, si los valores de %Qmax- están por debajo del 90% la línea será de color verde, si son mayores al 90% la línea será roja.

RESET Qmax- borra los datos de Qmax- y %Qmax- introducidos por el usuario y todas las líneas verticales.

%positivo interpola los valores de Qmax+ con los de la grafica de referencia, muestra en las casillas de %Qmax+ los porcentajes correspondientes a Qmax+ en referencia con los de la base de datos si estos son mayores a 90% las casillas de %Qmax+ serán rojas y dara un mensaje de alerta, también coloca una línea en la grafica, de cada valor Qmax+ con una altura igual al valor %Qmax+, si los valores de %Qmax+ están por debajo del 90% la línea será de color celeste, si son mayores al 90% la línea será roja.

RESET Qmax+ borra los datos de Qmax+ y %Qmax+ introducidos por el usuario y todas las líneas verticales.

### 8.7.2 Programación de comparación

Primero se crea la interfaz de usuario mostrada en la figura 8-24, las 36 casillas se crean a partir de *Edit Text*, los botones: Datos de referencia, RESET, %negativo, RESET Qmax-, %positivo, RESET Qmax+ se crean a partir de *Push Button*, el entorno de la grafica usando *Axes*, los 12 espacios donde se dara la alerta se crean por medio de *Static Text*. Al igual que los otros mensajes que se muestran, con la diferencia que los Tag de los 12 espacios se utilizan en el código.

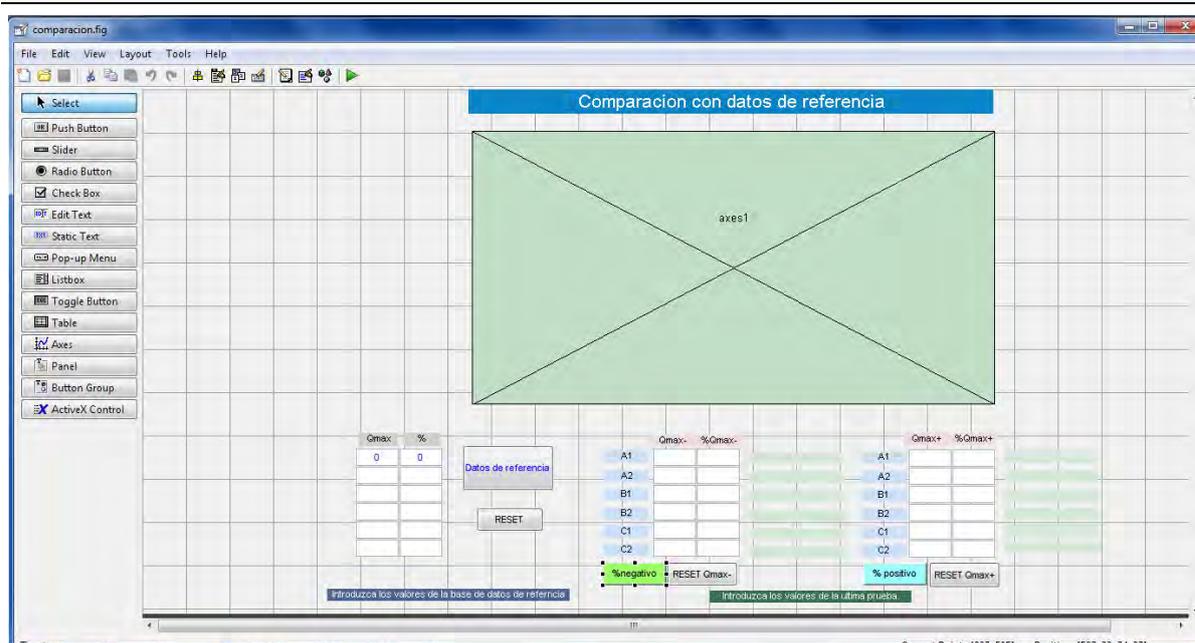


Figura 8-24. Interfaz grafica, comparación.fig

Al guardar la interfaz grafica con el nombre *comparación* se visualiza en la ventana *Current Directory* los archivos *comparacion.fig* y *comparacion.m*. Es en este último donde esta el código del programa. A continuación se describe el funcionamiento de los botones:

Primero es necesario tener bien en claro el *Tag* de cada elemento del archivo *comparación.fig* la figura 8-25 muestra el *Tag* de cada uno. El *Tag* de la grafica es *axes1*, ya que es la única de este archivo no es necesario en el código.

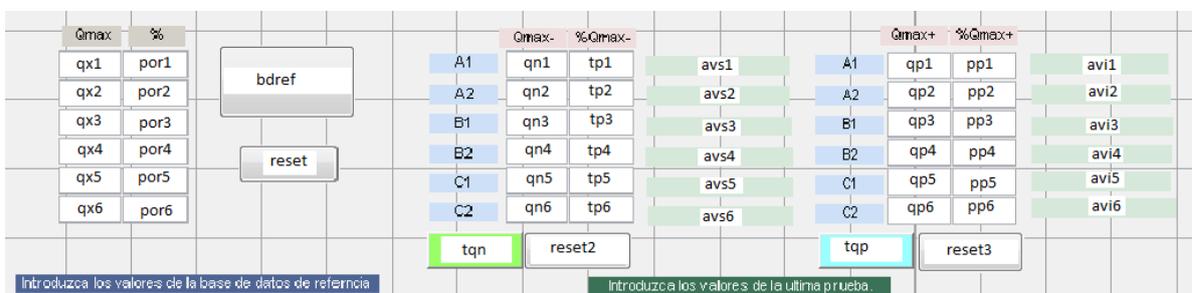


Figura 8-25. Tags del archivo comparación.fig

### 8.7.2.1 Push Button Datos de referencia

*Tag= bdref*, este boton carga los datos numéricos de las casillas *qx1*, *qx2*, *qx3*, *qx4*, *qx5*, *qx6*, *por1*, *por2*, *por3*, *por4*, *por5*, *por6*. Y los grafica, esto lo hace de la siguiente forma:

Por ejemplo para el primer caso (*qx1*):

- *get* obtiene de *handles* la propiedad *String* de *qx1*.
- *str2double* convierte el texto de la propiedad *String* en número, aunque el usuario introduzca un numero siempre es necesario usar *str2double* porque el *EdirTex* siempre da el resultado en *string*.
- luego se guarda la propiedad *string* de *qx1* en el espacio 1 de la matriz *q*,

Los tres pasos anteriores se repiten seis veces para *q* y seis para *p*.

- `plot(q,p)`; grafica la matriz *q* contra la matriz *p*.
- `hold on`; mantiene estática la gráfica funciona solo para los complementos *title*, *xlabel*, *ylabel*, *grid*.
- `title('valores de prueba')`; titulo de la gráfica (*valores de prueba*).
- `xlabel('mV')`; titulo del eje x (*mV*).
- `ylabel('%')`; titulo del eje y (%).
- `grid on`; esta es la cuadrícula de la gráfica.

Por lo tanto este boton grafica dos matrices, *q* y *p* cada una tiene 6 elementos; [1X6].

Al insertar este Push Button en la GUI, matlab solo crea la primera linea de esta parte del código. Ver Anexo G.

```
function bdref_Callback(hObject, eventdata, handles)
q(1)=str2double(get(handles.qx1, 'String'));
q(2)=str2double(get(handles.qx2, 'String'));
q(3)=str2double(get(handles.qx3, 'String'));
q(4)=str2double(get(handles.qx4, 'String'));
q(5)=str2double(get(handles.qx5, 'String'));
q(6)=str2double(get(handles.qx6, 'String'));
p(1)=str2double(get(handles.por1, 'String'));
p(2)=str2double(get(handles.por2, 'String'));
```

```
p(3)=str2double(get(handles.por3,'String'));  
p(4)=str2double(get(handles.por4,'String'));  
p(5)=str2double(get(handles.por5,'String'));  
p(6)=str2double(get(handles.por6,'String'));  
plot(q,p);  
hold on;  
title('val ores de prueba');  
xlabel('mV');  
ylabel('%');  
grid on;
```

### 8.7.2.2 Push Button RESET

*Tag= reset*, este botón limpia los datos de las casillas: *qx1, qx2, qx3, qx4, qx5, qx6, por1, por2, por3, por4, por5, por6*. Por ejemplo para *qx2* lo hace de la siguiente forma: *set* selecciona de *handles* la propiedad *String* de *qx2* y le asigna el espacio en blanco que esta entre comillas; `set(handles.qx2,'String','');`

Tambien limpia la grafica y deja la cuadrícula con los nombres de los ejes. Al insertar este Push Button en la GUI, matlab solo crea la primera linea de esta parte del código. Ver Anexo G.

```
function reset_Callback(hObject, eventdata, handles)  
set(handles.qx2,'String','');  
set(handles.qx3,'String','');  
set(handles.qx4,'String','');  
set(handles.qx5,'String','');  
set(handles.qx6,'String','');  
set(handles.por2,'String','');  
set(handles.por3,'String','');  
set(handles.por4,'String','');  
set(handles.por5,'String','');  
set(handles.por6,'String','');  
x=0;  
y=0;  
hold off;  
plot(x,y);
```

```
grid on;  
xlabel('mV');  
ylabel('%')
```

### 8.7.2.3 Push Button %negativo

*Tag= tqn*

Primero selecciona de *handles* la propiedad *String* de las casillas que pertenecen a *%Qmax-*, estas son: *tp1, tp2, tp3, tp4, tp5, tp6*, y los limpia asignandole el espacio en blanco que esta entre comillas, luego selecciona de *handles* la propiedad *BackgroundColor* de las mismas casillas y les asigna el color blanco. Esto lo hace seis veces. Por ejemplo para la casilla *tp1*:

```
set(handles.tp1, 'String', '');  
  
set(handles.tp1, 'BackgroundColor', 'white');
```

En las siguientes lineas estan las variables: *q(1), q(2), q(3), q(4), q(5), q(6), p(1), p(2), p(3), p(4), p(5), p(6), x(1), x(2), x(3), x(4), x(5), x(6)*, cada una de estas son iguales a un valor numerico, este se obtiene de *handles* especificamente de la propiedad *String*. Por ejemplo para la casilla *tp1*:

```
q(1)=str2double(get(handles.qx1, 'String'));
```

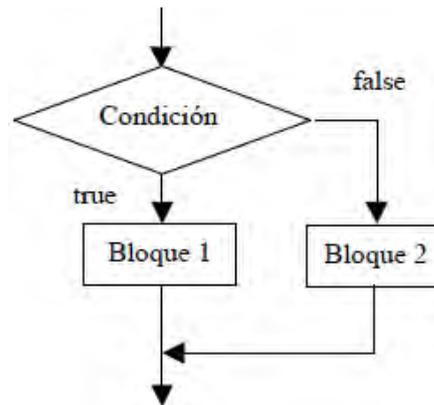
Cabe mencionar que *q* es una matriz de 1X6 al igual que la matriz *p* y *x*, la matriz *q* toma valores de las casillas de *Qmax*, la matriz *p* toma valores de las casillas de *%* y la matriz *x* toma valores de *Qmax-*.

Luego se interpolan individualmente los valores de la matriz *x* con las matrices de *Qmax* y *%* (*q* y *p*). Por ejemplo para el valor *x(1)*:

```
y=interp1(q,p,x(1), 'spline');
```

La interpolacion polinomial descrita anteriormente se muestra en pantalla por medio de la siguiente linea de comando: `set(handles.tp1, 'String', num2str(y));` *num2str* es para pasar el dato de numero a *string* y poder verlo en este.

Por ultimo se pone en práctica Las bifurcaciones que permiten realizar una u otra operación según se cumpla o no una determinada condición, en la figura 8-26 se muestra el tipo de bifurcacion que se ha utilizado.



**Figura 8-26 bifurcacion con dos bloques.**

La condicion es: Si el valor de la interpolacion (y) es mayor a 90%:

```
if y>90
```

La primera sentencia del Bloque 1 es: dar el mensaje: *Zona de alarma* en el *StaticTex avs1*:

```
set(handles.avs1, 'String', 'Zona de alarma');
```

La segunda sentencia del Bloque 1 es: poner de color rojo la casilla *tp1*:

```
set(handles.tp1, 'BackgroundColor', 'red');
```

La tercera sentencia del Bloque 1 es: graficar en el valor de  $x(1)$  una linea continua de color rojo con un circulo en su extremo:

```
stem(x(1), y, '-or');
```

Si no se cumple la condicion el resultado sera las sentencias del Bloque 2, esto se logra por medio de: *else*.

La primera sentencia del Bloque 2 es: graficar en el valor de  $x(1)$ , una linea continua de color verde con un circulo en su extremo:

```
stem(x(1),y, '-og');
```

La segunda sentencia del Bloque 2 es: dar el mensaje: *Zona segura* en el *StaticText*

```
avs1: set(handles.avs1, 'String', 'Zona segura');
```

El procedimiento explicado anteriormente se repite para  $x(2)$ ,  $x(3)$ ,  $x(4)$ ,  $x(5)$ ,  $x(6)$ .

Ver Anexo G.

```
function tqn_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.tp1, 'String', '');
set(handles.tp1, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp2, 'String', '');
set(handles.tp2, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp3, 'String', '');
set(handles.tp3, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp4, 'String', '');
set(handles.tp4, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp5, 'String', '');
set(handles.tp5, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp6, 'String', '');
set(handles.tp6, 'BackgroundColor', 'white');
q(1)=str2double(get(handles.qx1, 'String'));
q(2)=str2double(get(handles.qx2, 'String'));
q(3)=str2double(get(handles.qx3, 'String'));
q(4)=str2double(get(handles.qx4, 'String'));
q(5)=str2double(get(handles.qx5, 'String'));
q(6)=str2double(get(handles.qx6, 'String'));
p(1)=str2double(get(handles.por1, 'String'));
p(2)=str2double(get(handles.por2, 'String'));
p(3)=str2double(get(handles.por3, 'String'));
p(4)=str2double(get(handles.por4, 'String'));
p(5)=str2double(get(handles.por5, 'String'));
p(6)=str2double(get(handles.por6, 'String'));
x(1)=str2double(get(handles.qn1, 'String'));
x(2)=str2double(get(handles.qn2, 'String'));
x(3)=str2double(get(handles.qn3, 'String'));
x(4)=str2double(get(handles.qn4, 'String'));
```

```
x(5)=str2double(get(handles.qn5,'String'));
x(6)=str2double(get(handles.qn6,'String'));
y=interp1(q,p,x(1),'spline');
set(handles.tp1,'String',num2str(y));
if y>90
    set(handles.avsl,'String','Zona de alarma');
    set(handles.tp1,'BackgroundColor','red');
    stem(x(1),y,'-or');
else
    stem(x(1),y,'-og');
    set(handles.avsl,'String','Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(2),'spline');
set(handles.tp2,'String',num2str(y));
if y>90
    set(handles.av2,'String','Zona de alarma');
    set(handles.tp2,'BackgroundColor','red');
    stem(x(2),y,'-or');
else
    stem(x(2),y,'-og');
    set(handles.av2,'String','Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(3),'spline');
set(handles.tp3,'String',num2str(y));
if y>90
    set(handles.av3,'String','Zona de alarma');
    set(handles.tp3,'BackgroundColor','red');
    stem(x(3),y,'-or');
else
    stem(x(3),y,'-og');
    set(handles.av3,'String','Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(4),'spline');
set(handles.tp4,'String',num2str(y));
if y>90
    set(handles.av4,'String','Zona de alarma');
    set(handles.tp4,'BackgroundColor','red');
```

```
    stem(x(4),y, '-or');
else
    stem(x(4),y, '-og');
    set(handles.avs4, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(5), 'spline');
set(handles.tp5, 'String', num2str(y));
if y>90
    set(handles.avs5, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.tp5, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(5),y, '-or');
else
    stem(x(5),y, '-og');
    set(handles.avs5, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(6), 'spline');
set(handles.tp6, 'String', num2str(y));
if y>90
    set(handles.avs6, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.tp6, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(6),y, '-or');
else
    stem(x(6),y, '-og');
    set(handles.avs6, 'String', 'Zona segura');
end
```

#### 8.7.2.4 Push Button RESET Qmax-

Tag= reset2, este botón limpia los datos de las casillas: *qn1, qn2, qn3, qn4, qn5, qn6, tp1, tp2, tp3, tp4, tp5, tp6*, pone fondo blanco las casillas: *tp1, tp2, tp3, tp4, tp5, tp6*.

Limpia las líneas verticales de la grafica. En este botón se utiliza líneas de código similares a las explicadas anteriormente en los botones *reset*, *datos de referencia* y *% negativo*, con la diferencia que después que limpia los datos y las líneas de la gráfica, hace la función del *Push Button %positivo* para no afectar sus casillas si están graficadas.

```
function reset2_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.qn1, 'String', '');
set(handles.qn2, 'String', '');
set(handles.qn3, 'String', '');
set(handles.qn4, 'String', '');
set(handles.qn5, 'String', '');
set(handles.qn6, 'String', '');
set(handles.tp1, 'String', '');
set(handles.tp2, 'String', '');
set(handles.tp3, 'String', '');
set(handles.tp4, 'String', '');
set(handles.tp5, 'String', '');
set(handles.tp6, 'String', '');
set(handles.avsl, 'String', '');
set(handles.avs2, 'String', '');
set(handles.avs3, 'String', '');
set(handles.avs4, 'String', '');
set(handles.avs5, 'String', '');
set(handles.avs6, 'String', '');
set(handles.tp1, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp2, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp3, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp4, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp5, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp6, 'BackgroundColor', 'white');
x=0;
y=0;
hold off;
plot(x,y);
q(1)=str2double(get(handles.qx1, 'String'));
q(2)=str2double(get(handles.qx2, 'String'));
```

```
q(3)=str2double(get(handles.qx3, 'String'));
q(4)=str2double(get(handles.qx4, 'String'));
q(5)=str2double(get(handles.qx5, 'String'));
q(6)=str2double(get(handles.qx6, 'String'));
p(1)=str2double(get(handles.por1, 'String'));
p(2)=str2double(get(handles.por2, 'String'));
p(3)=str2double(get(handles.por3, 'String'));
p(4)=str2double(get(handles.por4, 'String'));
p(5)=str2double(get(handles.por5, 'String'));
p(6)=str2double(get(handles.por6, 'String'));
plot(q,p);
hold on;
title('Grafica Base de datos');
xlabel('mV');
ylabel('%');
grid on;
set(handles.pp1, 'String', '');
set(handles.pp1, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp2, 'String', '');
set(handles.pp2, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp3, 'String', '');
set(handles.pp3, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp4, 'String', '');
set(handles.pp4, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp5, 'String', '');
set(handles.pp5, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp6, 'String', '');
set(handles.pp6, 'BackgroundColor', 'white');
q(1)=str2double(get(handles.qx1, 'String'));
q(2)=str2double(get(handles.qx2, 'String'));
q(3)=str2double(get(handles.qx3, 'String'));
q(4)=str2double(get(handles.qx4, 'String'));
q(5)=str2double(get(handles.qx5, 'String'));
q(6)=str2double(get(handles.qx6, 'String'));
p(1)=str2double(get(handles.por1, 'String'));
p(2)=str2double(get(handles.por2, 'String'));
p(3)=str2double(get(handles.por3, 'String'));
```

```
p(4)=str2double(get(handles.por4, 'String'));
p(5)=str2double(get(handles.por5, 'String'));
p(6)=str2double(get(handles.por6, 'String'));
x(1)=str2double(get(handles.qp1, 'String'));
x(2)=str2double(get(handles.qp2, 'String'));
x(3)=str2double(get(handles.qp3, 'String'));
x(4)=str2double(get(handles.qp4, 'String'));
x(5)=str2double(get(handles.qp5, 'String'));
x(6)=str2double(get(handles.qp6, 'String'));
y=interp1(q,p,x(1), 'spline');
set(handles.pp1, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi1, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp1, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(1),y, '-or');
else
    stem(x(1),y, '-oc');
    set(handles.avi1, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(2), 'spline');
set(handles.pp2, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi2, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp2, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(2),y, '-or');
else
    stem(x(2),y, '-oc');
    set(handles.avi2, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(3), 'spline');
set(handles.pp3, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi3, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp3, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(3),y, '-or');
else
    stem(x(3),y, '-oc');
```

```
        set(handles.avi3, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(4), 'spline');
set(handles.pp4, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi4, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp4, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(4), y, '-or');
else
    stem(x(4), y, '-oc');
    set(handles.avi4, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(5), 'spline');
set(handles.pp5, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi5, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp5, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(5), y, '-or');
else
    stem(x(5), y, '-oc');
    set(handles.avi5, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(6), 'spline');
set(handles.pp6, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi6, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp6, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(6), y, '-or');
else
    stem(x(6), y, '-oc');
    set(handles.avi6, 'String', 'Zona segura');
end
```

### 8.7.2.5 Push Button % positivo

*Tag= tqp*, este botón tiene la misma función que el boton *%negativo* con la diferencia que este interpola los datos de las casillas: *qp1, qp2, qp3, qp4, qp5, qp6*, contra los

valores de las casillas *qx1*, *qx2*, *qx3*, *qx4*, *qx5*, *qx6* y *por1*, *por2*, *por3*, *por4*, *por5*, *por6*.

```
function tqp_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.pp1, 'String', '');
set(handles.pp1, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp2, 'String', '');
set(handles.pp2, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp3, 'String', '');
set(handles.pp3, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp4, 'String', '');
set(handles.pp4, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp5, 'String', '');
set(handles.pp5, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp6, 'String', '');
set(handles.pp6, 'BackgroundColor', 'white');
q(1)=str2double(get(handles.qx1, 'String'));
q(2)=str2double(get(handles.qx2, 'String'));
q(3)=str2double(get(handles.qx3, 'String'));
q(4)=str2double(get(handles.qx4, 'String'));
q(5)=str2double(get(handles.qx5, 'String'));
q(6)=str2double(get(handles.qx6, 'String'));
p(1)=str2double(get(handles.por1, 'String'));
p(2)=str2double(get(handles.por2, 'String'));
p(3)=str2double(get(handles.por3, 'String'));
p(4)=str2double(get(handles.por4, 'String'));
p(5)=str2double(get(handles.por5, 'String'));
p(6)=str2double(get(handles.por6, 'String'));
x(1)=str2double(get(handles.qp1, 'String'));
x(2)=str2double(get(handles.qp2, 'String'));
x(3)=str2double(get(handles.qp3, 'String'));
x(4)=str2double(get(handles.qp4, 'String'));
x(5)=str2double(get(handles.qp5, 'String'));
x(6)=str2double(get(handles.qp6, 'String'));
y=interp1(q,p,x(1), 'spline');
set(handles.pp1, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avil, 'String', 'Zona de alarma');
```

```
    set(handles.pp1, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(1), y, '-or');
else
    stem(x(1), y, '-oc');
    set(handles.avi1, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(2), 'spline');
set(handles.pp2, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi2, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp2, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(2), y, '-or');
else
    stem(x(2), y, '-oc');
    set(handles.avi2, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(3), 'spline');
set(handles.pp3, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi3, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp3, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(3), y, '-or');
else
    stem(x(3), y, '-oc');
    set(handles.avi3, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(4), 'spline');
set(handles.pp4, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi4, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp4, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(4), y, '-or');
else
    stem(x(4), y, '-oc');
    set(handles.avi4, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(5), 'spline');
```

```
set(handles.pp5, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi5, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp5, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(5), y, '-or');
else
    stem(x(5), y, '-oc');
    set(handles.avi5, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(6), 'spline');
set(handles.pp6, 'String', num2str(y));
if y>91
    set(handles.avi6, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.pp6, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(6), y, '-or');
else
    stem(x(6), y, '-oc');
    set(handles.avi6, 'String', 'Zona segura');
end
```

#### 8.7.2.6 . Push Button RESET Qmax+

*Tag= reset3*, este botón tiene la misma función que el botón *RESET Qmax-* con la diferencia que Este limpia los datos de las casillas: *qp1, qp2, qp3, qp4, qp5, qp6, pp1, pp2, pp3, pp4, pp5, pp6*. y que después que limpia los datos y las líneas de la gráfica, hace la función del *Push Button %negativo* para no afectar sus casillas si están graficadas.

```
function reset3_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.qp1, 'String', '');
set(handles.qp2, 'String', '');
set(handles.qp3, 'String', '');
set(handles.qp4, 'String', '');
set(handles.qp5, 'String', '');
set(handles.qp6, 'String', '');
set(handles.pp1, 'String', '');
```

```
set(handles.pp2, 'String', '');
set(handles.pp3, 'String', '');
set(handles.pp4, 'String', '');
set(handles.pp5, 'String', '');
set(handles.pp6, 'String', '');
set(handles.avi1, 'String', '');
set(handles.avi2, 'String', '');
set(handles.avi3, 'String', '');
set(handles.avi4, 'String', '');
set(handles.avi5, 'String', '');
set(handles.avi6, 'String', '');
set(handles.pp1, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp2, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp3, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp4, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp5, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.pp6, 'BackgroundColor', 'white');
x=0;
y=0;
hold off;
plot(x,y);
q(1)=str2double(get(handles.qx1, 'String'));
q(2)=str2double(get(handles.qx2, 'String'));
q(3)=str2double(get(handles.qx3, 'String'));
q(4)=str2double(get(handles.qx4, 'String'));
q(5)=str2double(get(handles.qx5, 'String'));
q(6)=str2double(get(handles.qx6, 'String'));
p(1)=str2double(get(handles.por1, 'String'));
p(2)=str2double(get(handles.por2, 'String'));
p(3)=str2double(get(handles.por3, 'String'));
p(4)=str2double(get(handles.por4, 'String'));
p(5)=str2double(get(handles.por5, 'String'));
p(6)=str2double(get(handles.por6, 'String'));
plot(q,p);
hold on;
title('Grafica Base de datos');
xlabel('mV');
```

```
ylabel('%');
grid on;
set(handles.tp1, 'String', '');
set(handles.tp1, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp2, 'String', '');
set(handles.tp2, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp3, 'String', '');
set(handles.tp3, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp4, 'String', '');
set(handles.tp4, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp5, 'String', '');
set(handles.tp5, 'BackgroundColor', 'white');
set(handles.tp6, 'String', '');
set(handles.tp6, 'BackgroundColor', 'white');
q(1)=str2double(get(handles.qx1, 'String'));
q(2)=str2double(get(handles.qx2, 'String'));
q(3)=str2double(get(handles.qx3, 'String'));
q(4)=str2double(get(handles.qx4, 'String'));
q(5)=str2double(get(handles.qx5, 'String'));
q(6)=str2double(get(handles.qx6, 'String'));
p(1)=str2double(get(handles.por1, 'String'));
p(2)=str2double(get(handles.por2, 'String'));
p(3)=str2double(get(handles.por3, 'String'));
p(4)=str2double(get(handles.por4, 'String'));
p(5)=str2double(get(handles.por5, 'String'));
p(6)=str2double(get(handles.por6, 'String'));
x(1)=str2double(get(handles.qn1, 'String'));
x(2)=str2double(get(handles.qn2, 'String'));
x(3)=str2double(get(handles.qn3, 'String'));
x(4)=str2double(get(handles.qn4, 'String'));
x(5)=str2double(get(handles.qn5, 'String'));
x(6)=str2double(get(handles.qn6, 'String'));
y=interp1(q,p,x(1), 'spline');
set(handles.tp1, 'String', num2str(y));
if y>90
    set(handles.avsl, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.tp1, 'BackgroundColor', 'red');
```

```
    stem(x(1),y, '-or');
else
    stem(x(1),y, '-og');
    set(handles.avsl, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(2), 'spline');
set(handles.tp2, 'String', num2str(y));
if y>90
    set(handles.av2, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.tp2, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(2),y, '-or');
else
    stem(x(2),y, '-og');
    set(handles.av2, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(3), 'spline');
set(handles.tp3, 'String', num2str(y));
if y>90
    set(handles.av3, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.tp3, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(3),y, '-or');
else
    stem(x(3),y, '-og');
    set(handles.av3, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(4), 'spline');
set(handles.tp4, 'String', num2str(y));
if y>90
    set(handles.av4, 'String', 'Zona de alarma');
    set(handles.tp4, 'BackgroundColor', 'red');
    stem(x(4),y, '-or');
else
    stem(x(4),y, '-og');
    set(handles.av4, 'String', 'Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(5), 'spline');
set(handles.tp5, 'String', num2str(y));
```

```
if y>90
    set(handles.av5,'String','Zona de alarma');
    set(handles.tp5,'BackgroundColor','red');
    stem(x(5),y,'-or');
else
    stem(x(5),y,'-og');
    set(handles.av5,'String','Zona segura');
end
y=interp1(q,p,x(6),'spline');
set(handles.tp6,'String',num2str(y));
if y>90
    set(handles.av6,'String','Zona de alarma');
    set(handles.tp6,'BackgroundColor','red');
    stem(x(6),y,'-or');
else
    stem(x(6),y,'-og');
    set(handles.av6,'String','Zona segura');
end
```

## 8.8 Programa localización

### 8.8.1 Descripción

Este programa facilita la interpretación de las descargas parciales, el usuario solo tiene que elegir en los *Radio Button* el tipo de predominancia y los ángulos en que se agrupan los pulsos, dependiendo de la combinación de estos dos así será la respuesta *causa del daño*. Para saber la localización del daño solo es necesario saber la predominancia, el programa mostrará también una figura donde se mostrará la probable localización del daño. Al programa se le agregó un video donde se aprecia comportamiento de las descargas parciales en una cavidad.

### 8.8.2 Programación

Primero se crea la interfaz de usuario mostrada en la figura 8-27, este programa tiene 8 *Radio Button* de estos 3 pertenecen a (predominancia de pulsos) y 5 a (agrupación de pulsos). Un *Push Button*, el entorno donde se muestra la imagen del daño se crea usando *Axes*, el entorno donde se muestra el video se busca en el *ActiveX Control (Window Media Player)*. Y dos *unipanel* creados por medio de *Button Group*.

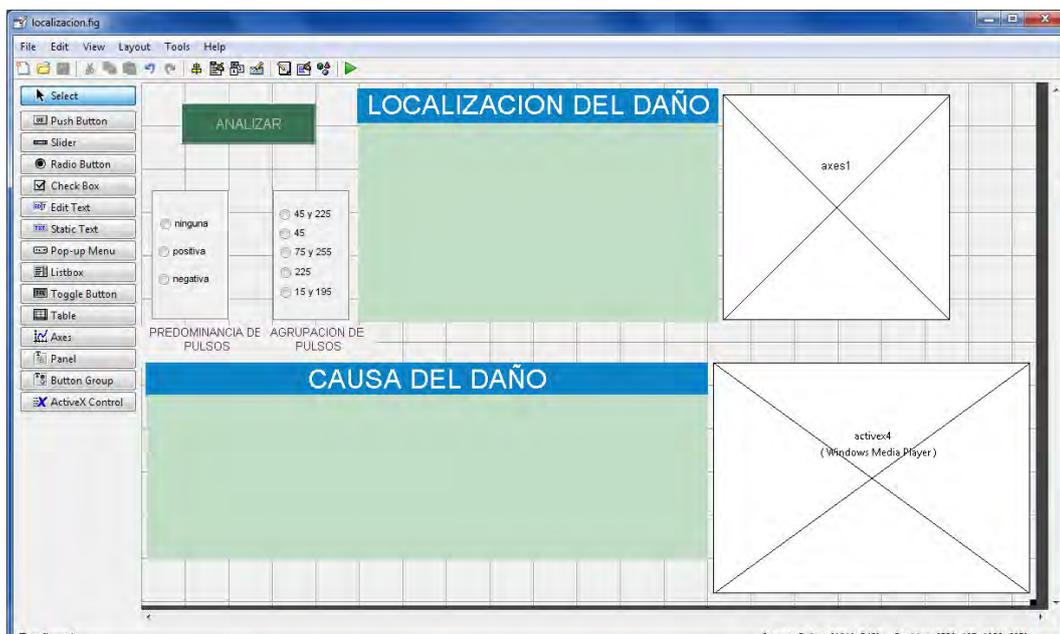


Figura 8-27. Interfas gráfica, localización.fig

Al guardar la interfaz gráfica con el nombre *localización* se puede ver en la ventana *Current Directory* los archivos *localizacion.fig* y *localizacion.m*. Es en este último donde está el código del programa. A continuación se describe el funcionamiento de los botones:

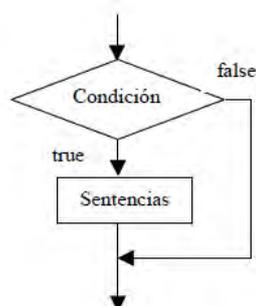
Primero es necesario conocer el *Tag* de cada elemento del archivo *localización.fig* la figura 8-25 muestra el *Tag* de cada uno. El *Tag* de la gráfica es *axes1*, ya que es la única de este archivo no es necesario en el código.



**Figura 8-28. Tags del archivo *localización.fig***

### 8.8.2.1 Push Button Analizar

El funcionamiento de este botón se ejecuta en dos partes, la primera parte se describe mediante la siguiente bifurcación.



**Figura 8-29 Bifurcación con un bloque**

La condicion es: si esta seleccionado *pulso1* (condicion cuando la propiedad value es igual a la propiedad max (1==1)).

```
if get(handles.pulso1, 'value')==get(handles.pulso1, 'Max')
```

La primera sentencia es: mostrar: *Descarga parcial es el aislamiento principal (groundwall)*, en la caja de texto *Tag=respuesta1*.

```
set(handles.respuesta1, 'string', 'Descarga parcial es el aislamiento principal (groundwall)');
```

La segunda sentencia es: mostrar la imagen 01.jpg en el *axes1* sin mostrar los ejes.

```
x=imread('01.jpg');  
image(x);  
axis image;  
axis off;
```

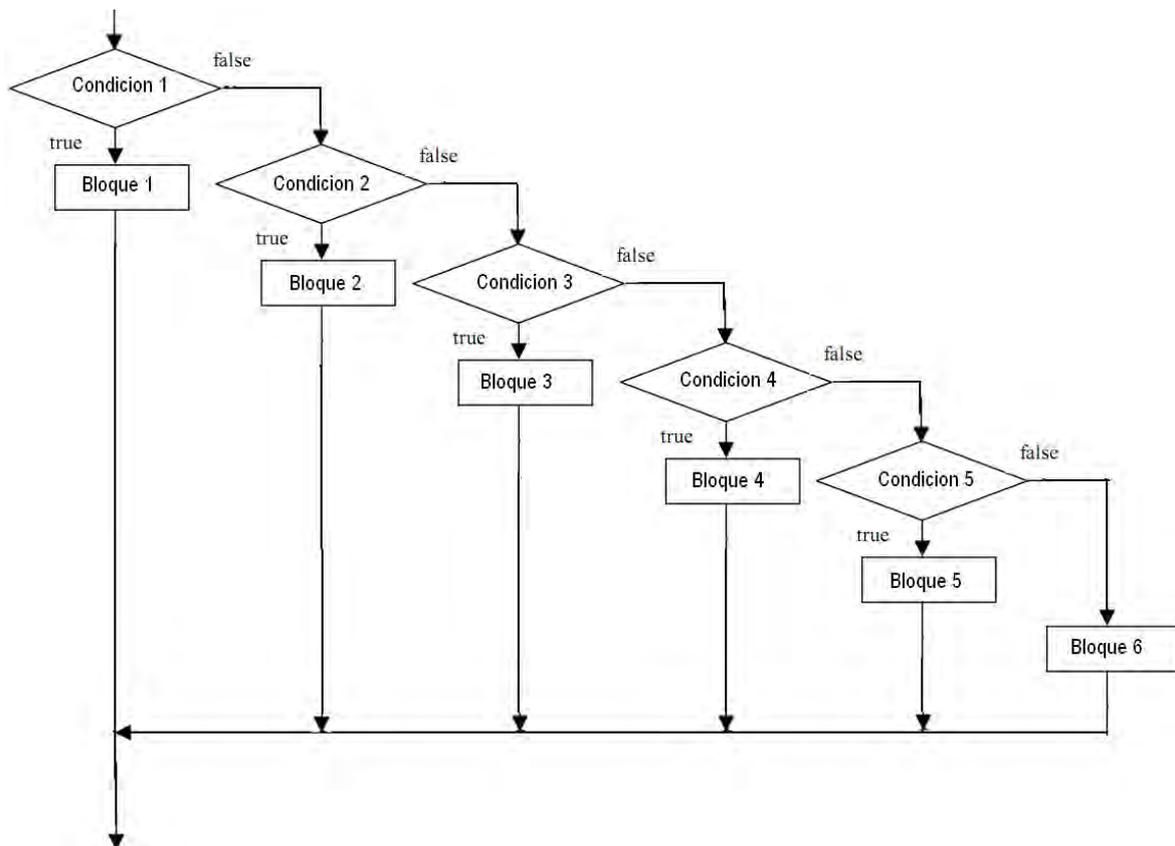
Lo anterior se repite dos veces mas; para las otras dos predominancias.

```
function analizar_Callback(hObject, eventdata, handles)  
if get(handles.pulso1, 'value')==get(handles.pulso1, 'Max')  
    set(handles.respuesta1, 'string', 'Descarga parcial es el aislamiento principal (groundwall)');  
    x=imread('01.jpg');  
    image(x);  
    axis image;  
    axis off;  
end  
if get(handles.pulso2, 'value')==get(handles.pulso2, 'Max')  
    set(handles.respuesta1, 'string', 'Actividad de descarga parcial en la capa semiconductor o en la superficie de la bobina, también llamada descarga en ranura, la más probable localización de esta actividad es en la sección de la bobina que está dentro de la ranura o en las esquinas de la bobina y vueltas finales, la descarga en ranura la cual es una descarga superficial, ocurre entre la superficie de la barra del estator y el núcleo de hierro. ');  
    x=imread('02.jpg');  
    image(x);  
    axis image;
```

```
axis off;  
end  
if get(handles.pulso3, 'value')==get(handles.pulso3, 'Max')  
    set(handles.respuesta1, 'string', 'Presencia de cavidades o delaminación  
cerca de la barra de cobre, lo que significa descargas parciales en la  
interface del cobre y el aislamiento principal.');
```

```
    x=imread('03.jpg');  
    image(x);  
axis image;  
axis off;  
end
```

La segunda parte se describe mediante la siguiente bifurcación.



**Figura 8-30. Bifurcación con seis bloques**

La primera condición es: si esta seleccionado *pulso1* (condicion cuando la propiedad value es igual a la propiedad max (1==1)). Y tambien este seleccionado *distribucion1* (condicion cuando la propiedad value es igual a la propiedad max (1==1)).

```
if(get(handles.pulso1, 'value')==get(handles.pulso1, 'Max'))&&(get(handles.distribucion1, 'value')==get(handles.distribucion1, 'Max'));
```

La sentencia del Bloque 1 es: mostrar *Deterioro Termico, mala Impregnacion y posible contaminación*, en la caja de texto de *Tag= causa*.

```
set(handles.causa, 'string', 'Deterioro Termico, mala Impregnacion y posible contaminacion');
```

La segunda condición es: si esta seleccionado *pulso1* y *distribucion4*

```
elseif(get(handles.pulso1, 'value')==get(handles.pulso1, 'Max'))&&(get(handles.distribucion4, 'value')==get(handles.distribucion4, 'Max'));
```

Sentencia del Bloque 2: *Contaminación, espacio inadecuado entre barras*.

```
set(handles.causa, 'string', 'Contaminacion, espacio inadecuado entre barras');
```

La lógica es la misma para las siguientes tres sentencias.

Si ninguna de las anteriores se cumple da el mensaje: *Causa desconocida*.

```
else
    set(handles.causa, 'string', 'Causa desconocida');
```

La siguiente sección del código se puede ver en el Anexo H.

```
if(get(handles.pulso1, 'value')==get(handles.pulso1, 'Max'))&&(get(handles.distribucion1, 'value')==get(handles.distribucion1, 'Max'));
```

```
    set(handles.causa, 'string', 'Deterioro Termico, mala Impregnacion y posible contaminacion');
```

```
elseif(get(handles.pulso1, 'value')==get(handles.pulso1, 'Max'))&&(get(handles.distribucion4, 'value')==get(handles.distribucion4, 'Max'));
```

```
    set(handles.causa, 'string', 'Contaminacion, espacio inadecuado entre barras');
```

```
elseif(get(handles.pulso1,'value')==get(handles.pulso1,'Max'))&&(get(handles.distribucion5,'value')==get(handles.distribucion5,'Max'));
    set(handles.causa,'string','Contaminacion, espacio inadecuado entre barras');

elseif(get(handles.pulso3,'value')==get(handles.pulso3,'Max'))&&(get(handles.distribucion2,'value')==get(handles.distribucion2,'Max'));
    set(handles.causa,'string','Ciclo de carga');

elseif(get(handles.pulso2,'value')==get(handles.pulso2,'Max'))&&(get(handles.distribucion3,'value')==get(handles.distribucion3,'Max'));
    set(handles.causa,'string','Interface semiconductora y graduadora, devanado flojo o descargas a la ranura, Se recomienda hacer una prueba con poca carga en (No load), si las descargas parciales bajan con esta prueba, la unidad experimenta las etapas iniciales de devanado flojo, si baja la temperatura y las descargas parciales bajan sera el daño en la interface semiconductor y graduadora, y si las descargas parciales suben cuando la temperatura baja se confirmaria que el devanado esta flojo y descargas a la ranura. ');
else
    set(handles.causa,'string','Causa desconocida');
end
```

### 8.8.2.2 Panel 1

*Tag= unipanel1*, esta función es llamada cada vez que se selecciona un elemento que esta dentro del panel de control *uipanel1*. Los controles ubicados dentro de el son *pulso1*, *pulso2*, *pulso3*, la propiedad *value* cambia a 1 cuando se selecciona seleccionado (click sobre uno de ellos), con el *unipanel1* se se logra seleccionar un solo radio button a la vez.

Se guarda el *Tag* del radio button seleccionado en la variable *case* a travez de la sentencia *switch*, por ejemplo: si se elige *pulso1* actuan los comandos:

```
set(handles.pulso2,'Value',0.0);
```

```
set(handles.pulso3, 'Value', 0.0);
```

Para que la propiedad *value* de *pulso2* y *pulso3* pase a cero (no seleccionado), de este modo solo *pulso1* estara seleccionado. Esto se repite para *pulso2* y *pulso3* sucesivamente.

```
function uipanel1_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
switch get(eventdata.NewValue, 'Tag')
    case 'pulso1'
        set(handles.pulso2, 'Value', 0.0);
        set(handles.pulso3, 'Value', 0.0);
    case 'pulso2'
        set(handles.pulso1, 'Value', 0.0);
        set(handles.pulso3, 'Value', 0.0);
    case 'pulso3'
        set(handles.pulso2, 'Value', 0.0);
        set(handles.pulso1, 'Value', 0.0);
end
```

### 8.8.2.3 Panel 2

*Tag= unipanel2*, esta función es llamada cada vez que se selecciona un elemento que esta dentro del panel de control *uipanel2*. Los controles ubicados dentro de él son: *distribucion1*, *distribucion2*, *distribucion3*, *distribucion4*, *distribucion5*, la lógica de programación es la misma que *panel 2*, con la diferencia que se ha usado *Min en* lugar de *0.0* solo para fines demostrativos.

```
function uipanel2_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
switch get(eventdata.NewValue, 'Tag')
    case 'distribucion1'
        set(handles.distribucion2, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion3, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion4, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion5, 'Value', 'Min');
    case 'distribucion2'
        set(handles.distribucion1, 'Value', 'Min');
```

```
        set(handles.distribucion3, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion4, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion5, 'Value', 'Min');
    case 'distribucion3'
        set(handles.distribucion2, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion1, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion4, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion5, 'Value', 'Min');
    case 'distribucion4'
        set(handles.distribucion2, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion3, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion1, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion5, 'Value', 'Min');
    case 'distribucion5'
        set(handles.distribucion2, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion3, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion4, 'Value', 'Min');
        set(handles.distribucion1, 'Value', 'Min');
    otherwise
end
```

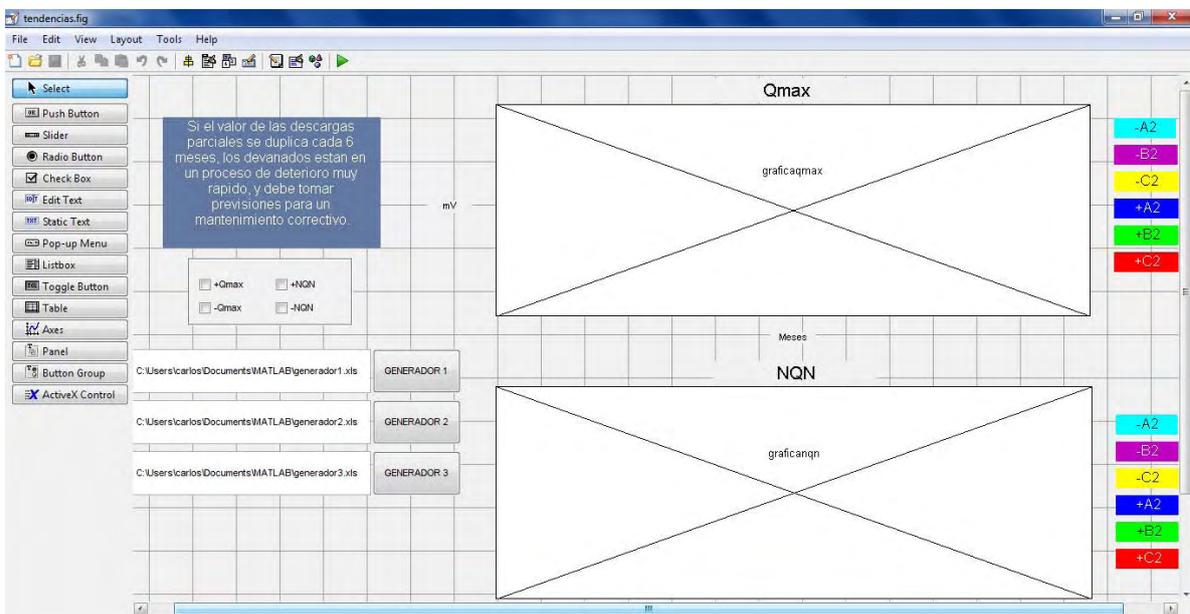
## 8.9 Programa tendencias

### 8.9.1 Descripción

Este programa permite ver el comportamiento de las descargas parciales, graficando los valores utiles para las tendencias de Qmax y NQN, el usuario podra ver rapidamente si la tendencia aumenta progresivamente, ya que si las descargas parciales se duplican cada seis meses los devanados estan en un proceso de deterioro muy rápido y deben tomarse previsiones. Con el programa se extrae la información de una base de datos creada en excel y que esta en un formato .xls, esta base de datos, para cada generador se ha creado un archivo .xls que contiene los NQN y los Qmax de cada prueba, la muestra es de una prueba por mes.

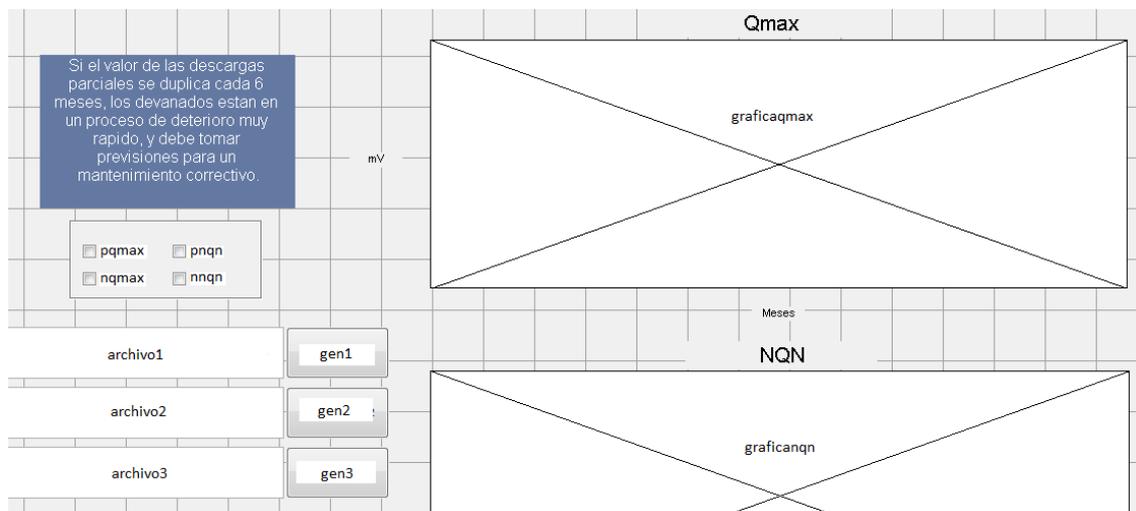
### 8.9.2 Programación

Primero se crea la interfaz de usuario mostrada en la figura 8-31, este programa tiene cuatro *Check Box*, con estos se escojen los *Qmax* y los *NQN* que se quieren graficar, tres *Push Button*, estos son para graficar los datos de cada generador, dos *Axes*, donde se grafican las tendencias de *Qmax* y *NQN*, tres *Edit Text*, para escribir la dirección de cada uno de los archivos *.xls*, y trece *Static Text*, estos sirven para que el usuario identifique los colores de las graficas y pueda ver un mensaje.



**Figura 8-31 Interfas grafica, tendencias.fig**

Se guarda la interfaz gráfica con el nombre *tendencias* y aparece en la ventana *Current Directory* los archivos *tendencias.fig* y *tendencias.m*. En este último se guarda el código del programa. Primero es necesario conocer el *Tag* de cada elemento del archivo *tendencias.fig* la figura 8-32 muestra el *Tag* de cada elemento.



**Figura 8-32. Tags del archivo tendencias.fig**

A continuación se describe el funcionamiento de los botones:

### 8.9.2.1 Push Button GENERADOR 1

Tag = gen1, en la primera etapa el comando `xlsread` lee un archivo de Excel que esta en un formato `.xls`. La dirección y nombre del archivo se escribe en el *Edit Text* de `archivo1` y queda guardado en la propiedad `string` de este, la cual se pone como argumento dentro de la función `xlsread`, y luego se crea y guarda la variable `matriz1` para tenerla disponible en el código.

```
matriz1=xlsread(handles.archivo1,'String');
save variable matriz1;
```

En la figura 8-34 se muestran las primeras dos pruebas del generador 1, en el archivo `generador1.xls`, se ha tecleado en la command window:

```
>>matriz1=xlsread('C:\Users\carlos\Documents\MATLAB\generador1.xls')
```

Para demostrar que los datos numéricos del archivo `generador1.xls`, se pueden importar a Matlab en forma de matriz, usando el comando `xlsread`. Para analizar las tendencias se ocupan los datos de A2, B2 y C2 de NQN-, NQN+, Qmax- y Qmax+.



---

La sentencia es: crear la variable  $a2columnannqn(i)$  con los valores que va tomando  $n$  en el vector  $columnannqn$  (columna de NQN-) iniciando en uno e incrementando de uno en uno.

```
i=1;
for n=2:9:length(columnannqn)
    a2columnannqn(i)=columnannqn(n);
    i=i+1;
end
```

Despues se ejecutan dos ciclos *for* para los valores de B2 y C2 siempre de NQN-. La lógica para los ciclos *for* de NQN+, Qmax- y Qmax- es la misma. Ver Anexo H.

```
function gen1_Callback(hObject, eventdata, handles)
matriz1=xlsread(get(handles.archivo1,'String'));
save variable matriz1;
columnannqn=matriz1(:,2);
    i=1;
    for n=2:9:length(columnannqn)
        a2columnannqn(i)=columnannqn(n);
        i=i+1;
    end
    i=1;
    for n=4:9:length(columnannqn)
        b2columnannqn(i)=columnannqn(n);
        i=i+1;
    end
    i=1;
    for n=6:9:length(columnannqn)
        c2columnannqn(i)=columnannqn(n);
        i=i+1;
    end
columnapnqn=matriz1(:,3);
    i=1;
    for n=2:9:length(columnapnqn)
        a2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
        i=i+1;
    end
```

```
i=1;
for n=4:9:length(columnapnqn)
    b2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=6:9:length(columnapnqn)
    c2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
    i=i+1;
end
columnanqmax=matriz1(:,4);
i=1;
for n=2:9:length(columnanqmax)
    a2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=4:9:length(columnanqmax)
    b2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=6:9:length(columnanqmax)
    c2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
columnapqmax=matriz1(:,5);
i=1;
for n=2:9:length(columnapqmax)
    a2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=4:9:length(columnapqmax)
    b2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end
```

```
i=1;
for n=6:9:length(columnapqmax)
    c2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end
```

La segunda etapa se describe mediante la bifurcación de la figura 8-29. Para el primer *if* la condición es: si nnqn esta elegido y pnqn no esta elegido.

```
if (get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Max')) &&
(get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Min'))
```

La sentenencia para el primer if es: graficar a2columnannqn en color celeste (A2 de NQN-), b2columnannqn en color magenta (B2 de NQN-) y c2columnannqn en color Amarillo (C2 de NQN-), luego colocarle un a cuadrícula a la gráfica.

```
eje=1:length(a2columnannqn);
plot(handles.graficanqn,eje,a2columnannqn,'cyan',eje,b2columnannqn,'magenta',eje,c2columnannqn,'yellow');
set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
grid on
```

La lógica es la misma para los otros cinco *if* de esta etapa:

```
if (get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Max')) &&
    (get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Min'))
    eje=1:length(a2columnannqn);
    plot(handles.graficanqn,eje,a2columnannqn,'cyan',eje,b2columnannqn,'magenta',eje,c2columnannqn,'yellow');
    set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
    set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
    grid on
end
if (get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Max')) &&
(get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Min'))
```

```
eje=1:length(a2columnapnqn);
plot(handles.graficanqn,eje,a2columnapnqn,'blue',eje,b2columnapnqn,'gr
een', eje,c2columnapnqn,'red');
set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
grid on
end
if (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Max')) &&
(get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Max'))
    eje=1:length(a2columnapnqn);
    plot(handles.graficanqn,eje,a2columnapnqn,'blue',eje,b2columnapnqn,'gr
een',eje,c2columnapnqn,'red',eje,a2columnannqn,'cyan',eje,b2columnannq
n,'magenta',eje,c2columnannqn,'yellow');
    set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
    set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
    grid on;
end
if (get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Max')) &&
(get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Min'))
    eje=1:length(a2columnanqmax);
    plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnanqmax,'cyan',eje,b2columnanqmax,
'magenta',eje,c2columnanqmax,'yellow');
    set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');
    set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');
    grid on
end

if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) &&
(get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Min'))
    eje=1:length(a2columnapqmax);
    plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnapqmax,'blue',eje,b2columnapqmax,
'green',eje,c2columnapqmax,'red');
    set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');
    set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');
    grid on
end
```

```
if (get(handles.pqmax, 'value')==get(handles.pqmax, 'Max')) &&  
(get(handles.nqmax, 'value')==get(handles.nqmax, 'Max'))  
    eje=1:length(a2columnapqmax);  
    plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnanqmax,'cyan',eje,b2columnanqmax,  
        'magenta',eje,c2columnanqmax,'yellow',eje,a2columnapqmax,'blue',eje,b2  
        columnapqmax,'green',eje,c2columnapqmax,'red');  
    set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');  
    set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');  
    grid on;  
end
```

### 8.9.2.2 Push Button GENERADOR 2

Tag= gen2, este tiene exactamente la misma programación que el Push Button GENERADOR 1.

```
function gen2_Callback(hObject, eventdata, handles)  
matriz2=xlsread(get(handles.archivo2,'String'));  
save variable matriz2;  
matriz2=xlsread(get(handles.archivo2,'String'));  
columnannqn=matriz2(:,2);  
    i=1;  
    for n=2:9:length(columnannqn)  
        a2columnannqn(i)=columnannqn(n);  
        i=i+1;  
    end  
    i=1;  
    for n=4:9:length(columnannqn)  
        b2columnannqn(i)=columnannqn(n);  
        i=i+1;  
    end  
    i=1;  
    for n=6:9:length(columnannqn)  
        c2columnannqn(i)=columnannqn(n);  
        i=i+1;  
    end  
columnapnqn=matriz2(:,3);
```

```
i=1;
for n=2:9:length(columnapnqn)
    a2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=4:9:length(columnapnqn)
    b2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=6:9:length(columnapnqn)
    c2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
    i=i+1;
end
columnanqmax=matriz2(:,4);
i=1;
for n=2:9:length(columnanqmax)
    a2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=4:9:length(columnanqmax)
    b2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=6:9:length(columnanqmax)
    c2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
columnapqmax=matriz2(:,5);
i=1;
for n=2:9:length(columnapqmax)
    a2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end
```

```
i=1;
for n=4:9:length(columnapqmax)
    b2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=6:9:length(columnapqmax)
    c2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end

if (get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Max')) &&
(get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Min'))
eje=1:length(a2columnannqn);
plot(handles.graficanqn,eje,a2columnannqn, 'cyan', eje,b2columnannqn, 'magenta
',eje,c2columnannqn, 'yellow');
    set(handles.graficanqn, 'Xminorgrid', 'on');
    set(handles.graficanqn, 'Yminorgrid', 'on');
    grid on
end
if (get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Max')) &&
(get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Min'))
    eje=1:length(a2columnapnqn);
plot(handles.graficanqn,eje,a2columnapnqn, 'blue', eje,b2columnapnqn, 'green',
eje,c2columnapnqn, 'red');
    set(handles.graficanqn, 'Xminorgrid', 'on');
    set(handles.graficanqn, 'Yminorgrid', 'on');
    grid on
end
if (get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Max')) &&
(get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Max'))
    eje=1:length(a2columnapnqn);
plot(handles.graficanqn,eje,a2columnapnqn, 'blue', eje,b2columnapnqn, 'green',
eje,c2columnapnqn, 'red', eje,a2columnannqn, 'cyan', eje,b2columnannqn, 'magenta
',eje,c2columnannqn, 'yellow');
    set(handles.graficanqn, 'Xminorgrid', 'on');
    set(handles.graficanqn, 'Yminorgrid', 'on');
```

```
        grid on;
end
if (get(handles.nqmax, 'value')==get(handles.nqmax, 'Max')) &&
(get(handles.pqmax, 'value')==get(handles.pqmax, 'Min'))
    eje=1:length(a2columnanqmax);
plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnanqmax, 'cyan', eje,b2columnanqmax, 'magenta', eje,c2columnanqmax, 'yellow');
set(handles.graficaqmax, 'Xminorgrid', 'on');
set(handles.graficaqmax, 'Yminorgrid', 'on');
    grid on
end

if (get(handles.pqmax, 'value')==get(handles.pqmax, 'Max')) &&
(get(handles.nqmax, 'value')==get(handles.nqmax, 'Min'))
    eje=1:length(a2columnapqmax);
plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnapqmax, 'blue', eje,b2columnapqmax, 'green', eje,c2columnapqmax, 'red');
set(handles.graficaqmax, 'Xminorgrid', 'on');
set(handles.graficaqmax, 'Yminorgrid', 'on');
    grid on
end

if (get(handles.pqmax, 'value')==get(handles.pqmax, 'Max')) &&
(get(handles.nqmax, 'value')==get(handles.nqmax, 'Max'))
    eje=1:length(a2columnapqmax);
plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnanqmax, 'cyan', eje,b2columnanqmax, 'magenta', eje,c2columnanqmax, 'yellow', eje,a2columnapqmax, 'blue', eje,b2columnapqmax, 'green', eje,c2columnapqmax, 'red');
set(handles.graficaqmax, 'Xminorgrid', 'on');
set(handles.graficaqmax, 'Yminorgrid', 'on');
    grid on;
end
```

---

### 8.9.2.3 Push Button GENERADOR 3

Tag= gen3, este tiene la misma lógica de programación que el *Push Button GENERADOR 1*. Con la diferencia que la *matriz3* tiene la mitad de elementos que las otras dos matrices, esto se debe a que el generador 3 tiene solo tres acopladores capacitivos.

```
function gen3_Callback(hObject, eventdata, handles)
matriz3=xlsread(get(handles.archivo3,'String'));
save variable matriz3;

columnannqn=matriz3(:,2);
    i=1;
    for n=2:6:length(columnannqn)
        a2columnannqn(i)=columnannqn(n);
        i=i+1;
    end
    i=1;
    for n=3:6:length(columnannqn)
        b2columnannqn(i)=columnannqn(n);
        i=i+1;
    end
    i=1;
    for n=4:6:length(columnannqn)
        c2columnannqn(i)=columnannqn(n);
        i=i+1;
    end
columnapnqn=matriz3(:,3);
    i=1;
    for n=2:6:length(columnapnqn)
        a2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
        i=i+1;
    end
    i=1;
    for n=3:6:length(columnapnqn)
        b2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
        i=i+1;
    end
end
```

```
i=1;
for n=3:6:length(columnapnqn)
    c2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
    i=i+1;
end
columnanqmax=matriz3(:,4);
i=1;
for n=2:6:length(columnanqmax)
    a2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=3:6:length(columnanqmax)
    b2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=4:6:length(columnanqmax)
    c2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
    i=i+1;
end
columnapqmax=matriz3(:,5);
i=1;
for n=2:6:length(columnapqmax)
    a2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=3:6:length(columnapqmax)
    b2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end
i=1;
for n=4:6:length(columnapqmax)
    c2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
    i=i+1;
end
```

```
if (get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Max')) &&
(get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Min'))
    eje=1:length(a2columnannqn);
    plot(handles.graficanqn,1:length(a2columnannqn),a2columnannqn, 'cyan',1
:length(b2columnannqn),b2columnannqn, 'magenta',1:length(a2columnannqn)
,a2columnannqn, 'cyan',1:length(b2columnannqn),b2columnannqn, 'magenta',
1:length(c2columnannqn),c2columnannqn, 'yellow');
    set(handles.graficanqn, 'Xminorgrid', 'on');
    set(handles.graficanqn, 'Yminorgrid', 'on');
    grid on
end
if (get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Max')) &&
(get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Min'))
    eje=1:length(a2columnapnqn);
    plot(handles.graficanqn,1:length(a2columnapnqn),a2columnapnqn, 'blue',1
:length(b2columnapnqn),b2columnapnqn, 'green',1:length(c2columnapnqn),c
2columnapnqn, 'red');
    set(handles.graficanqn, 'Xminorgrid', 'on');
    set(handles.graficanqn, 'Yminorgrid', 'on');
    grid on
end
if (get(handles.pnqn, 'value')==get(handles.pnqn, 'Max')) &&
(get(handles.nnqn, 'value')==get(handles.nnqn, 'Max'))
    eje=1:length(a2columnapnqn);
    plot(handles.graficanqn,1:length(a2columnapnqn),a2columnapnqn, 'blue',1
:length(b2columnapnqn),b2columnapnqn, 'green',1:length(c2columnapnqn),c
2columnapnqn, 'red',1:length(a2columnannqn),a2columnannqn, 'cyan',1:leng
th(b2columnannqn),b2columnannqn, 'magenta',1:length(c2columnannqn),c2co
lumnannqn, 'yellow');
    set(handles.graficanqn, 'Xminorgrid', 'on');
    set(handles.graficanqn, 'Yminorgrid', 'on');
    grid on;
end
if (get(handles.nqmax, 'value')==get(handles.nqmax, 'Max')) &&
(get(handles.pqmax, 'value')==get(handles.pqmax, 'Min'))
```

```
eje=1:length(a2columnanqmax);  
plot(handles.graficaqmax,1:length(a2columnanqmax),a2columnanqmax,'cyan'  
,1:length(b2columnanqmax),b2columnanqmax,'magenta',1:length(c2columna  
nqmax),c2columnanqmax,'yellow');  
set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');  
set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');  
grid on
```

end

```
if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) &&  
(get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Min'))  
    eje=1:length(a2columnapqmax);  
    plot(handles.graficaqmax,1:length(a2columnanqmax),a2columnapqmax,'blue'  
,1:length(b2columnapqmax),b2columnapqmax,'green',1:length(c2columnapq  
max),c2columnapqmax,'red');  
    set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');  
    set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');  
    grid on
```

end

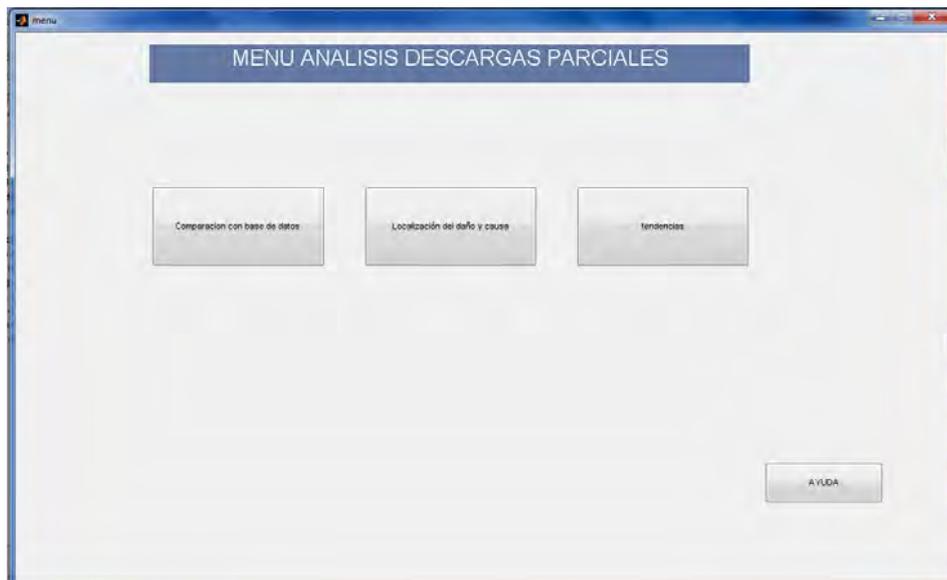
```
if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) &&  
(get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Max'))  
    eje=1:length(a2columnapqmax);  
    plot(handles.graficaqmax,1:length(a2columnanqmax),a2columnanqmax,'cyan'  
,1:length(b2columnanqmax),b2columnanqmax,'magenta',1:length(c2columna  
nqmax),c2columnanqmax,'yellow',1:length(a2columnapqmax),a2columnapqmax  
, 'blue',1:length(b2columnapqmax),b2columnapqmax,'green',1:length(c2col  
umnapqmax),c2columnapqmax,'red');  
    set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');  
    set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');  
    grid on;
```

end

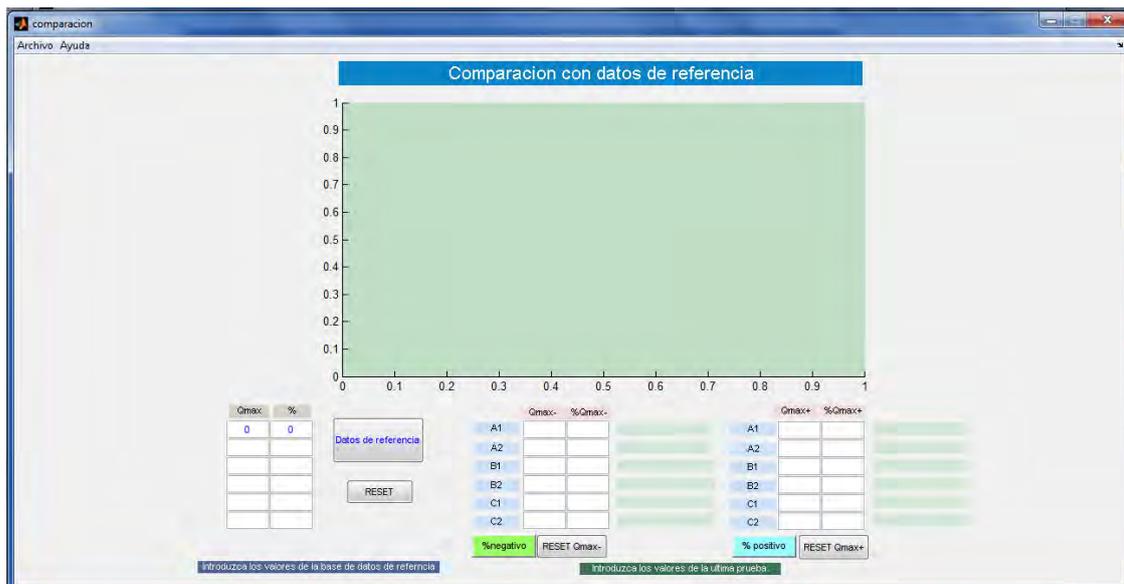
## 9. Protocolo de analisis descargas parciales

A continuación se numeran los pasos a seguir para hacer el análisis de las descargas parciales, utilizando la herramienta creada para este propósito, se usarán los datos de las pruebas del generador 2.

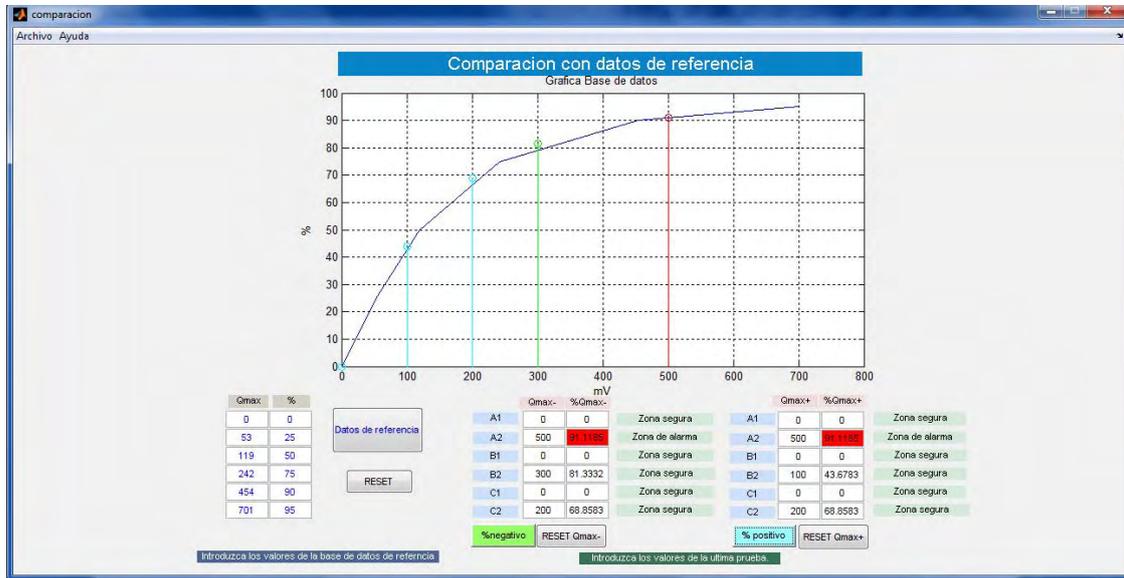
1. Habrir el programa menú



2. Elegir el boton *Comparación con base de datos.*



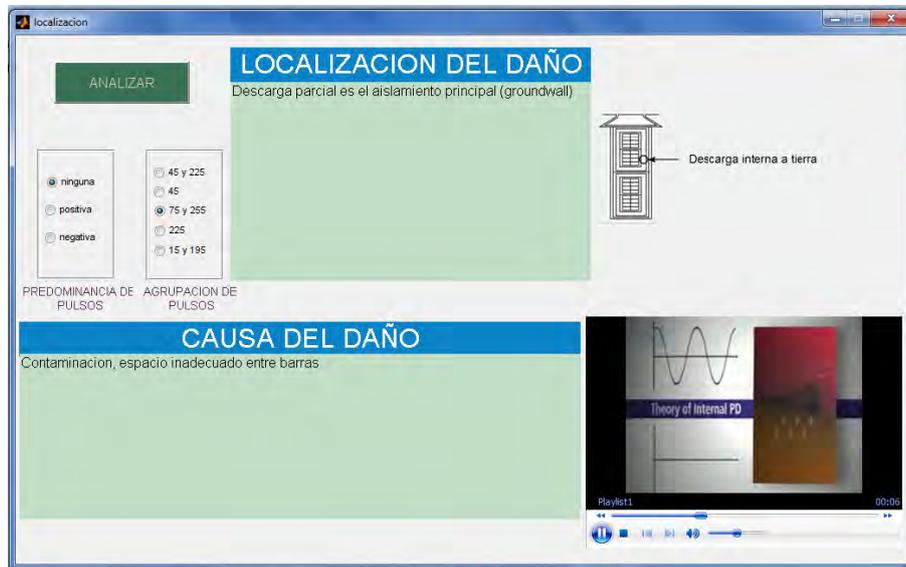
3. Introducir los datos de referencia y los de la ultima prueba, luego graficarlos.



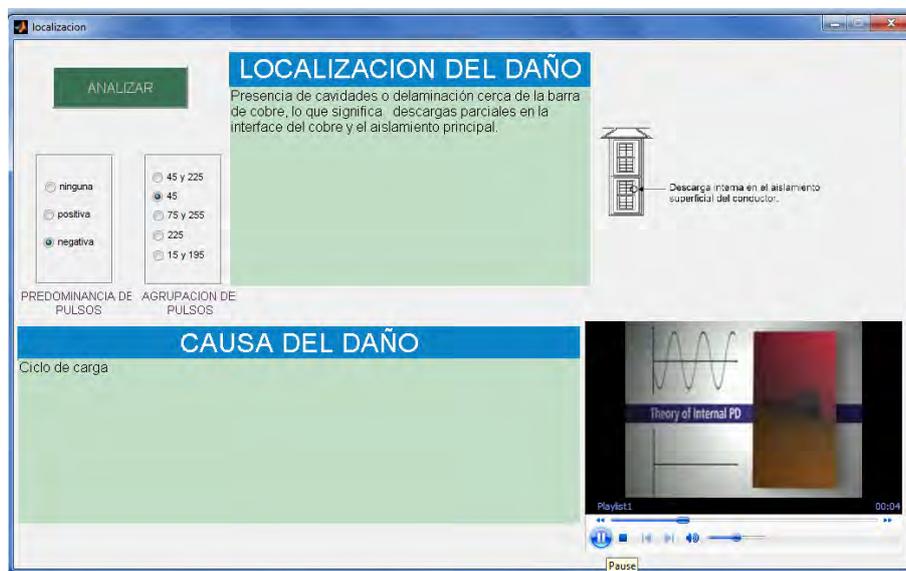
4. Por medio del menú, habrir el programa *localización*.



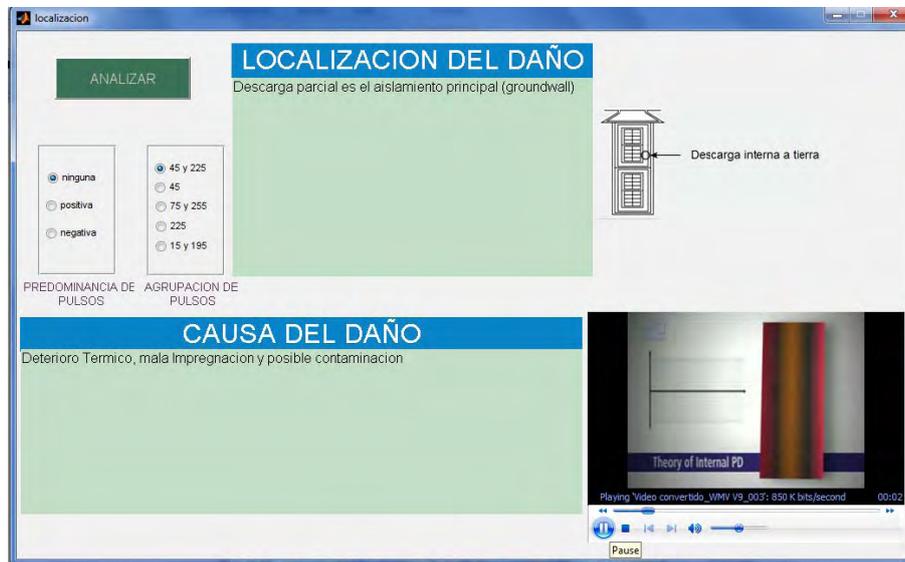
5. Escoger el tipo de predominancia y agrupación de pulsos de A2.



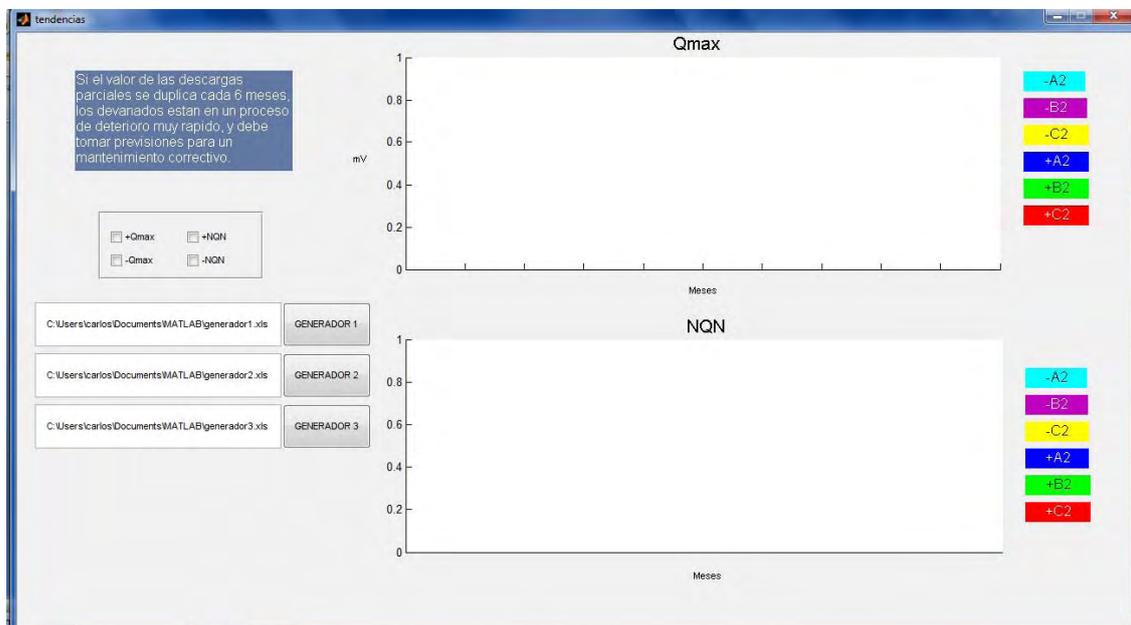
6. Escoger el tipo de predominancia y agrupación de pulsos de B2.



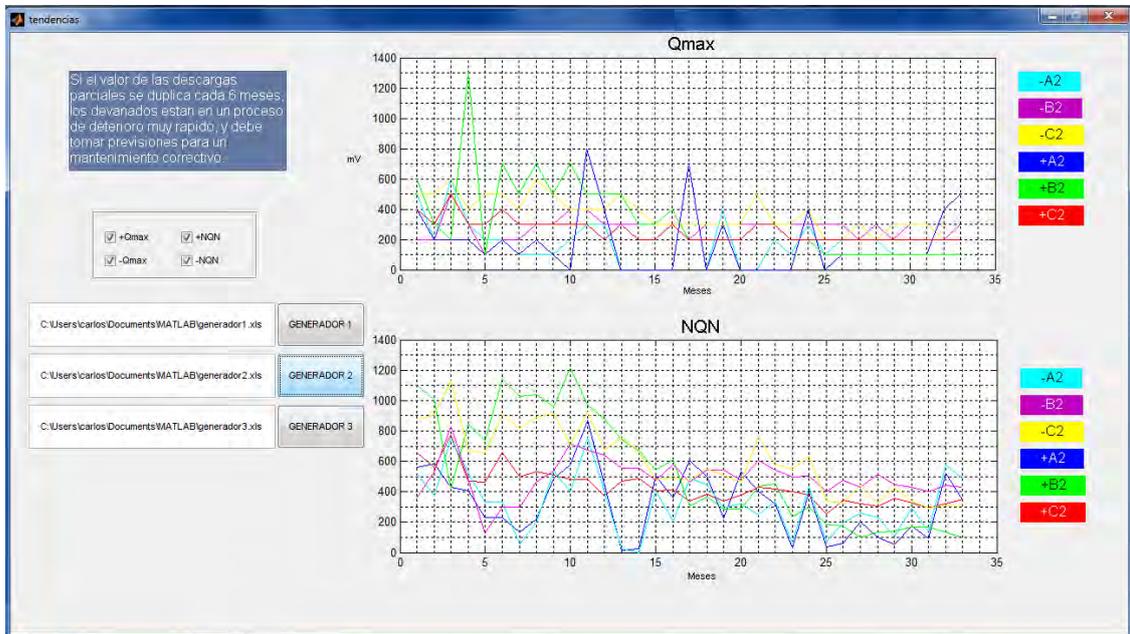
7. Escoger el tipo de predominancia y agrupación de pulsos de C2.



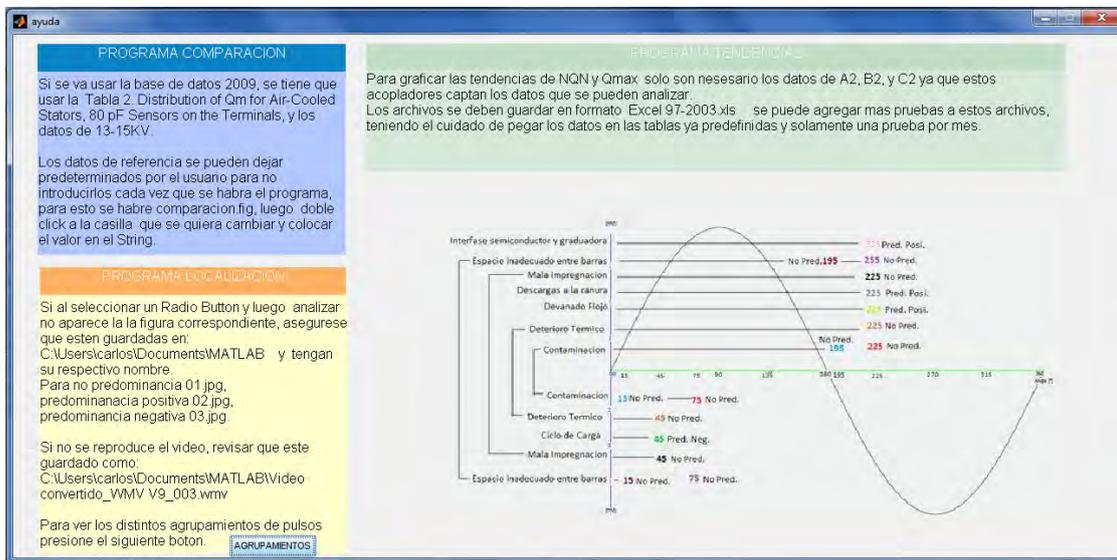
8. Por medio del menú, abrir el programa *tendencias*.



9. Elegir: +Qmax, +Qmax, +NQN, -NQN y graficarlos con el boton *GENERADOR 2*



10. Para obtener ayuda de los tres programas usados anteriormente se elige *AYUDA* en el menú.



11. Hacer un informe de resultados utilizando el siguiente formato.

<b>ANALISIS DESCARGAS PARCIALES</b>	<b>CENTRAL GEOTERMICA DE BERLIN AREA DE INSTRUMENTACIÓN</b>	
---	---	---

Código de equipo: GEN 2 Fecha de análisis: 19 de octubre 2010  
 Nombre: Generador Unidad 2 Fecha de ultimo análisis: Primer análisis  
 Numero de serie: 500178  
 Marca: Alsthom  
 Modelo: T190 -240  
 Potencia: 37.05 MVA  
 Enfriamiento: Aire  
 Clase de aislamiento: F  
 Tiempo de trabajo: horas  
 Tiempo acumulado: horas  
 Análisis realizado por: Carlos Antonio López Turcios.  
 Supervisado por:

**1. BASE DE DATOS DE REFERENCIA CORRESPONDIENTE AL AÑO: 2009**

Vn	6-9 KV	10-12 KV	13-15 KV	16-18 KV	>19 KV
25%	28mv	30mv	53mv	43mv	34mv
50%	70mv	70mv	119mv	77mv	79mv
75%	147mv	160mv	242mv	153mv	205mv
90%	277mv	341mv	454mv	287mv	454mv
95%	404mv	525mv	701mv	556mv	776mv

Tabla para turbogeneradores.

**2. RESULTADO DE PRUEBAS**

Couper	Rango	OFL	NQN-	NQN+	Qmax-	Qmax+
A1	1600 mV	No	0	15	0mV	0mV
A2	1600 mV	No	585	351	500mV	500mV
B1	1600 mV	No	0	0	0mV	0mV
B2	1600 mV	No	430	102	300mV	100mV
C1	1600 mV	No	0	0	0mV	0mV
C2	1600 mV	No	304	348	200mV	200mV

Archivo	Fecha	Hora	Voltaje	Potencia Activa	Potencia Reactiva	temperatura
1.BE2_1010182	18/10/2010	9:13 a.m.	13.8 kV	27.2 MW	7.2 MVar	75 °C

Equipo de prueba: PDA Premium

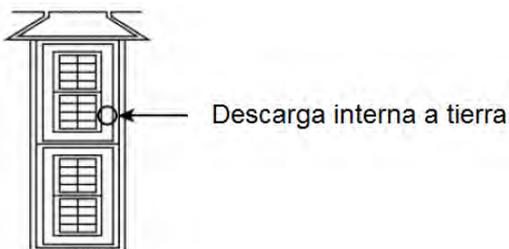
**3. PORCENTAJE**

Acoplador	Qmax-	%Qmax-	Qmax+	%Qmax+
A1	0 mV	0 %	0 mV	0 %
A2	500 mV	91.11 %	500 mV	91.11 %
B1	0 mV	0 %	0 mV	0 %
B2	300 mV	81.33 %	100 mV	43.67 %
C1	0 mV	0 %	0 mV	0 %
C2	200 mV	68.85 %	200 mV	68.85 %

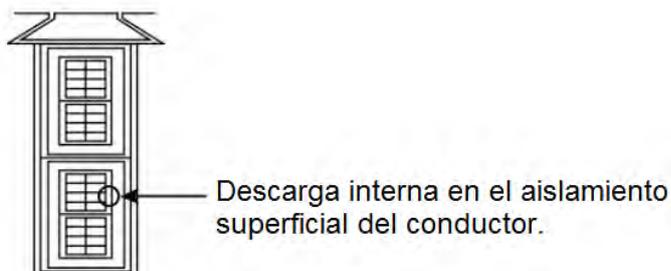
La comparación con la base de datos de referencia dio como resultado un nivel alarmante de descargas parciales en el acoplador A2, en la interpretación de la prueba se mencionan los mecanismos de falla.

**4. INTERPRETACION DE LA PRUEBA**

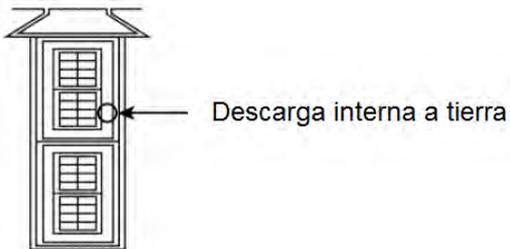
**Fase A.** La fuente probable de las descargas parciales en la fase A es el aislamiento principal (groundwall), debido a espacio insuficiente entre barras. También posibles descargas en las cabezas de bobina (final de vuelta de bobina), debido a contaminación. Existe la posibilidad de daño en la capa semiconductora y delaminación cerca de la barra de cobre.



**Fase B.** Presencia de cavidades o delaminación cerca de la barra de cobre, lo que significa descargas parciales en la interface del cobre y el aislamiento principal, debido al ciclo de carga.

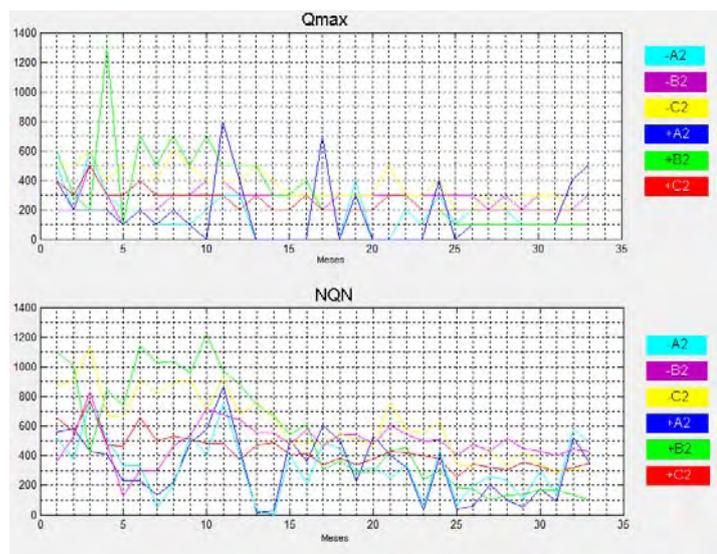


**Fase C.** Actividad de descargas parciales en el aislante principal, probablemente a la mala impregnación, contaminación o deterioro térmico.



### **5. TENDENCIA.**

Se muestra una tendencia no peligrosa para el generador 2.



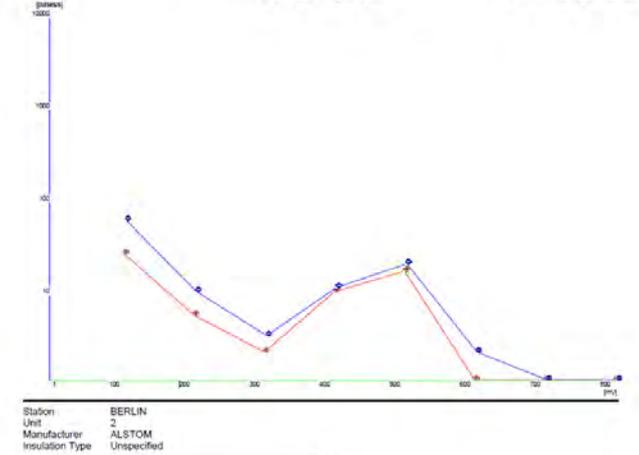
### **6. OBSERVACIONES**

Para confirmar si hay cuñas o bobinas flojas hay que tomar una prueba sin carga (no-load), para analizarla junto con la prueba con carga (full-load).

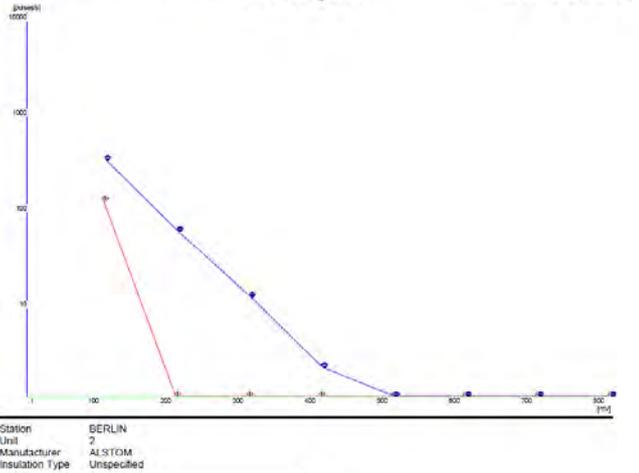
Los niveles de descargas parciales superan el 90%, se recomienda seguir las investigaciones con la prueba de índice de polaridad y factor de potencia.

**7. ANEXOS**

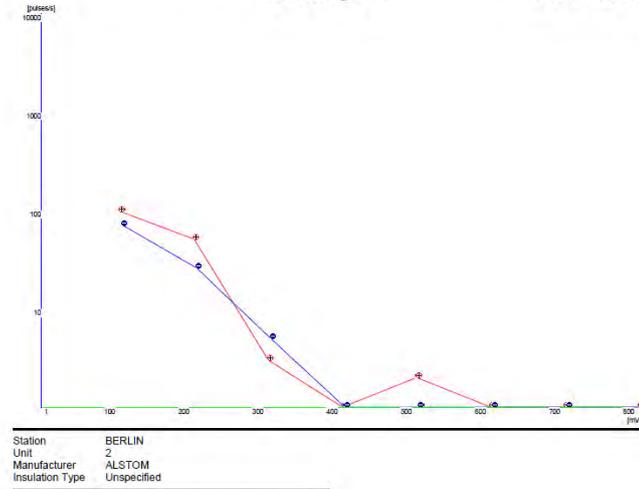
Premium Analysis Measurement Catalogue  
**Pulse Height A2** 10/18/10 09:13:19



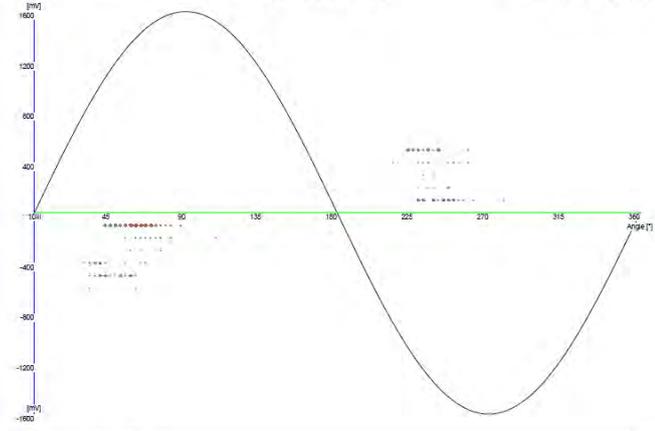
Premium Analysis Measurement Catalogue  
**Pulse Height B2** 10/18/10 09:16:09



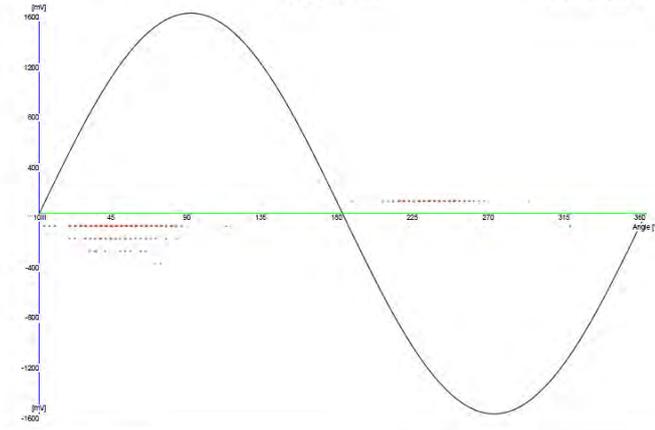
Premium Analysis Measurement Catalogue  
**Pulse Height C2** 10/18/10 09:16:43



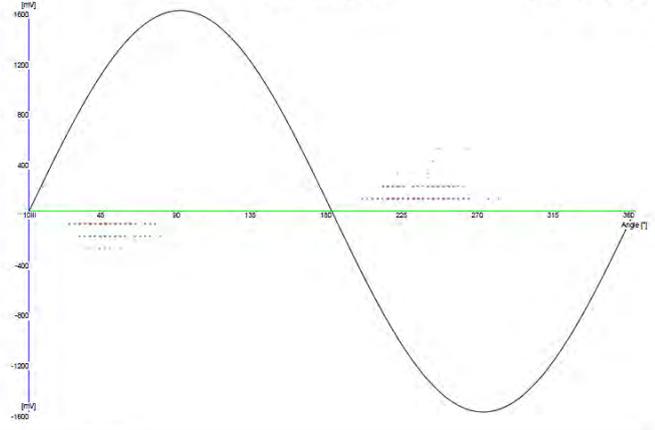
Premium Analysis Measurement Catalogue  
**Distribution A2** 10/18/10 09:17:30



Premium Analysis Measurement Catalogue  
**Distribution B2** 10/18/10 09:17:54



Premium Analysis Measurement Catalogue  
**Distribution C2** 10/18/10 09:18:13



### Bibliografía

#### Bibliografía del trabajo de investigación

1. GREG C. STONE, EDWARD A. BOULTER, TAN CULBERT, HUSSEIN DHIRANI. *Electrical Insulation for Rotating Machines*. 1ª ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2004. 371 p. ISBN 9780471445067.
2. MATTHEW N. O. SADIKU. *Fundamentos de circuitos eléctricos*, 3ª ed. Mexico: McGraw Hill, 2006. 902 p. ISBN: 9701056069.
3. STEPHEN J. CHAPMAN. *Maquinas Eléctricas*, 3ª ed. México: McGraw Hill. 2000. 775 p. ISBN 9584100564.
4. *Diagnóstico integral del devanado del estator de generadores eléctricos*. [en línea]. Disponible en: <http://www.cigre.org.mx/uploads/media> [Consulta: 1 de junio 2010]
5. *IEEE 1434 Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery*. [en línea]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org> [Consulta: 15 de junio 2010]
6. *Seminario técnico de descargas parciales en máquinas rotativas. Madrid, 30 de septiembre al 1 de octubre de 2008*. [En línea]. Disponible en: <http://www.unitronics-electric.es> [Consulta: 25 de junio 2010]

### Bibliografía de la propuesta

1. CESAR PÉREZ. *Matlab y sus aplicaciones en la ciencia y la ingeniería*. 1ª ed. España: Pearson. 2002. 610 p. ISBN 9788420535371.
2. DAVID BÁEZ LÓPEZ. *Matlab con aplicaciones a la ingeniería, física y finanzas*. 1ª ed. México: Editorial Alfaomega. 2008. 445 p ISBN: 9789701511374.
3. HOLLY MOORE. *Matlab para ingenieros*. 1ª ed. México: Pearson. 2007. 624 p. ISBN: 9702610826.
4. *Aprenda Matlab como si estuviera en primero*. [En línea]. Disponible en: <http://mat21.etsii.upm.es/ayudainf/aprendainf/Matlab70/matlab70primero.pdf> [Consulta: 2 de noviembre 2010]
5. *Manual de interfaz gráfica de usuario en matlab*. [En línea]. Disponible en: [http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/19/%255Bmatlab%255D\\_MATLAB\\_GUIDE.pdf](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/19/%255Bmatlab%255D_MATLAB_GUIDE.pdf) [Consulta: 6 de noviembre 2010]

### GLOSARIO TECNICO

#### **Flujo magnético:**

El flujo magnético  $\Phi$ , es una medida de la cantidad de magnetismo, y se calcula a partir del campo magnético,

#### **Campo magnético:**

El campo magnético es producido por la corriente eléctrica que circula por un conductor. Ocupa una región del espacio en la cual una carga eléctrica puntual que se desplaza a una velocidad  $V$  sufre los efectos de una fuerza que es perpendicular y proporcional tanto a la velocidad como al campo.

#### **Bobina:**

La bobina o inductor es un componente pasivo de un circuito eléctrico por su forma (espiras de alambre arrollados) almacena energía en forma de campo magnético, reacciona contra los cambios en la corriente a través de él, generando un voltaje que se opone al voltaje aplicado y es proporcional al cambio de la corriente.

#### **Conductor eléctrico:**

Un conductor eléctrico esta hecho por materiales cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja.

#### **Aislamiento eléctrico:**

Los aislantes eléctricos poseen alta resistividad eléctrica, Tiene como objetivo la aislación en un conductor y evitar que la energía eléctrica que circula por él, entre en contacto con las personas o con superficies a diferente potencial ya sea otros conductores o un elemento conectado a tierra.

### **Generador síncrono:**

El generador síncrono es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica. Está compuesto principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estátor.

### **Rotor:**

También conocido como inductor, pues es la parte que induce el voltaje en el estator. El núcleo del rotor es construido de lámina troquelada de acero al silicio, material de excelentes características magnéticas, con la finalidad de evitar pérdidas por histéresis y corrientes parasitas. El rotor gira concéntricamente en la flecha del generador a una velocidad síncrona medida en revoluciones por minuto (RPM). En esencia es un gran electroimán.

### **Estator:**

Un estator es una parte fija de una máquina rotativa, la cual alberga una parte móvil (rotor), en el estator está un grupo trifásico de devanados donde se mide el voltaje de salida del generador.

### **Fuerza electromotriz (FEM):**

La fem es el trabajo que tiene que realizar el generador para que se muevan las cargas del circuito. Sea  $q$  la cantidad de carga que pasa por cualquier sección del circuito en un intervalo de tiempo determinado, y  $T$  el trabajo realizado por el generador; la fem viene dada por:  $E = \frac{q}{T}$

### **Tercera Armónica:**

Son corriente o tensiones que se generan de la corriente o tensión fundamental, que es 60 Hz, por lo que las armónicas derivadas de esta son múltiplos de 60 o sea que la tercera armónica corresponde a 180 hz., la quinta armónica corresponde a 300 Hz., etc. Generalmente la tercera armónica es producida por el desbalanceo entre las fases.

### **Resistencia dieléctrica:**

Voltaje máximo al que puede exponerse un material sin provocarle ruptura alguna; expresado en voltios o kilovoltios por unidad de grosor. También llamada resistencia de aislamiento.

### **Factor de pérdidas dieléctricas:**

Cuando se aplica una corriente alterna a un dieléctrico perfecto, la corriente adelantará al voltaje en  $90^\circ$ , sin embargo debido a las pérdidas dieléctricas, la corriente adelanta el voltaje en solo  $90^\circ - \delta$ , siendo  $\delta$  el ángulo de pérdida dieléctrica.

### **Constante dieléctrica $\epsilon$ :**

La constante dieléctrica puede ser medida de la siguiente manera, primero medimos la capacidad de un capacitor de prueba en el vacío  $C_i$  (o en aire si aceptamos un pequeño error), luego usando el mismo capacitor y la misma distancia entre sus placas se mide la capacidad con el dieléctrico insertado entre ellas  $C_f$ .

### **Pérdidas $i^2r$ :**

Son las pérdidas en el cobre de los devanados del rotor y estator de una máquina se dan por el calentamiento debido a la resistencia de los conductores.

### **Separador de cabezas de bobina:**

Estos sirven para mantener separadas las cabezas de bobinas y que no se produzca descargas parciales entre ellas por acumulación de contaminación.

### **Ionización:**

La ionización es el proceso químico o físico mediante el cual se producen iones, éstos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra.

### **Descargas parciales:**

Una descarga parcial es un fenómeno de ruptura eléctrica que está confinado y localizado en la región de un medio aislante, entre dos conductores que se encuentran a diferente potencial.

### **Tensión de ruptura del los materiales aislantes:**

Atendiendo a la definición de descargas parciales es un proceso de ruptura dieléctrica, en el cual el arco que se forma entre dos electrodos es de carácter parcial y transitorio, con un tiempo de duración muy corto y de un bajo contenido energético. La tensión de ruptura localizada en un punto depende también de la presión, de la temperatura, de la polaridad de la descarga parcial, del gas involucrado y, en menor medida, de la humedad. En aquellos huecos donde se alcance a través de ellos un nivel de tensión de aproximadamente 3 kV/mm, se romperá dieléctricamente el aire contenido en ellos y se producirán descargas parciales.

### **Ganancia**

Es la diferencia en el voltaje entre una de entrada y de salida, donde un voltaje es aplicado a una señal de entrada, resultando en una voltaje de salida amplificado

### **Amplitud de ventana**

Se define por la selección de ganancia, por ejemplo para una ganancia de uno, el máximo rango es 1600mV, y toda la amplitud de ventana es 100 mV de ancho.

### **Pulsos negativos**

Son los pulsos causados con descargas parciales entre los angulos de fase  $-\pi / 4$  y  $+3\pi / 4$  (Radianes).

### **Pulsos positivos**

Son pulsos parciales entre los angulos de fase  $+3\pi / 4$  y  $+7\pi / 4$  (Radianes).

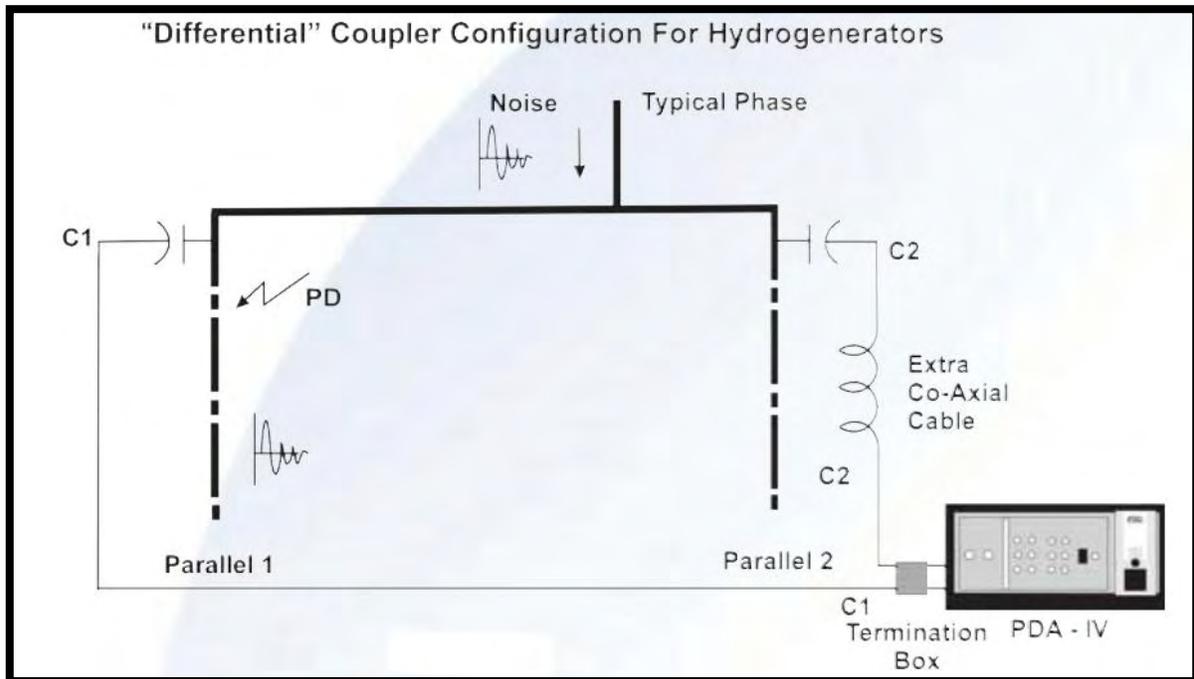
### **NQN**

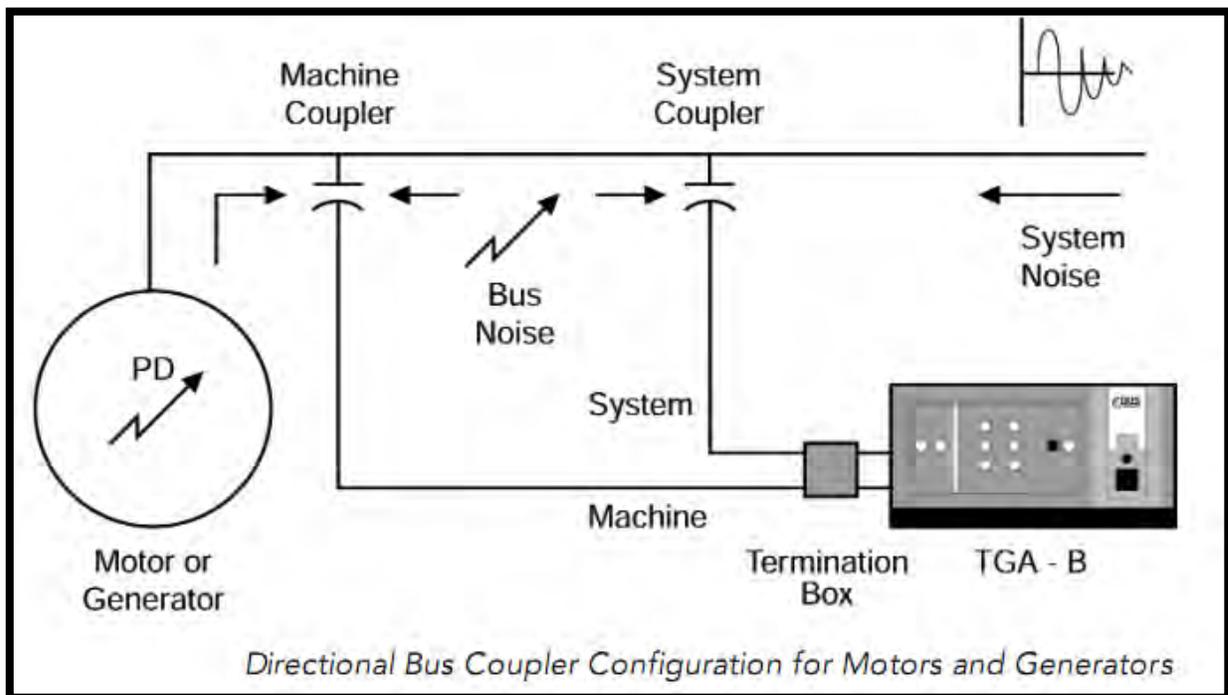
Es el número normalizado, una medida de pulsos por segundo basado en la amplitud de descarga parcial (mV). A diferentes valores de ganancias diferentes valores de NQN.

### **Qmax**

Es una unidad de medida de la máxima magnitud de descarga parcial (mV), a una tasa de repetición de las descargas parciales de 10 pulsos por segundo, según la norma IEEE1434, Qmax se calcula separadamente para los pulsos positivos y negativos.

## ANEXOS A: Diagramas de instalaciones de los acopladores





---

**ANEXOS B: Generadores**

Generador 1



Generador 2



Generador 3



Caja de terminales montada en los generadores.



## ANEXOS C: Marca y modelo del equipo

QUALITROL-IRIS POWER HAS BEEN THE WORLD LEADER IN MOTOR AND GENERATOR WINDING DIAGNOSTICS SINCE 1990, PROVIDING A FULL LINE OF ON-LINE AND OFF-LINE TOOLS, AS WELL AS COMMISSIONING AND CONSULTING SERVICES.



Iris Power LP  
3110 American Drive  
Mississauga, ON, Canada L4V 1T2  
Phone: 1-905-677-4824  
Fax: 1-905-677-8498  
sales.iris@qualitrolcorp.com

Qualitrol Company LLC  
1385 Fairport Road  
Fairport, NY, USA 14450  
Phone (585) 586-1515  
Fax (585) 377-0220



QUALITROL  
Defining Reliability  
Ver 5 • 08/10



Equipos de Pruebas para  
Máquinas Rotatorias

### Análisis de Descargas Parciales

#### PDA Premium, Analizador de Descargas Parciales

Prueba de descargas parciales en línea en devanados del estator de generadores y motores.

El **PDA Premium** mide la actividad de descargas parciales en los devanados del estator en máquinas rotatorias. Este puede ser usado en máquinas equipadas con acopladores capacitivos o Transformadores de Corriente de Alta Frecuencia (HFCT). El **PDA Premium** no solo es compatible con el **PDA Standard** (antes PDA-H) pionero en la industria, sino también proporciona mapas de análisis en fase, seis entradas para mediciones trifásicas y una entrada de sincronización externa para mediciones usando transformadores de corriente de alta frecuencia. Los datos del **PDA Premium** pueden ser fácilmente exportados a EXCEL y a la mayoría de las hojas de cálculo para análisis posteriores y generación de reportes.



La prueba de Análisis de Descargas Parciales durante la operación de una máquina rotatoria de alta tensión puede detectar serios mecanismos de deterioro del estator tales como descargas en las ranuras, intersticios internos así como cuñas y devanados flojos. Si estos problemas no son detectados, monitoreados y corregidos, pueden ocasionar una falla catastrófica en la máquina.

#### Especificaciones

<b>Entradas:</b>	6 a 24 acopladores / máquina
<b>Tipo de sensor:</b>	Acoplador capacitivo
<b>Respuesta en frecuencia:</b>	Sintonizado para capturar pulsos de PD de tan solo 2,3 ns
<b>Rechazo del ruido:</b>	Comparación digital de los tiempos de llegada del pulso; forma del pulso
<b>Rango dinámico:</b>	16 a 6400 mV
<b>Ventanas de magnitud:</b>	16 por polaridad y por fase
<b>Ventanas de ángulo de fase:</b>	120 (3° de resolución)
<b>Tiempo de adquisic. de datos:</b>	20 segundos por fase
<b>Sincronización externa:</b>	25, 50, 60 Hz
<b>Entradas analógicas del ADAU:</b>	24 de 4 a 20 mA (4 entradas / máquina, máximo 6 máquinas) por cada ADAU
<b>Salidas del ADAU:</b>	18 de 4 a 20 mA (Omáx. para cada fase por máquina, máximo 6 máquinas); puerto RS485.
<b>Salidas por relé del ADAU:</b>	18 NC/NA (alarma por PD para cada fase por máquina, máximo 6 máquinas); LEDs indicadores
<b>Entradas del PDDAU:</b>	Hasta 24 conectores BNC de 50 ohm de los sensores de PD
<b>Interfaz de comunicaciones:</b>	10/100 BaseT o FL (óptico)
<b>Cantidad máxima de ADAUs:</b>	16 (hasta 96 máquinas por planta)
<b>Alimentación:</b>	Universal, 100 a 240 Vca; 50 / 60 Hz
<b>Sistema operativo:</b>	Windows XP

ISO 9001: CERTIFICADA AÑO 2000

**SEDE CENTRAL**

ADWEL INTERNATIONAL LTD.  
50 Ironside Crescent, Unit 6  
Toronto, Ontario,  
Canadá M1X 1G4  
Teléfono: +1 (416) 321-1988  
Llamada sin cargo al: (800) 463-9371  
Fax: +1 (416) 321-1991  
Info@adwel.com

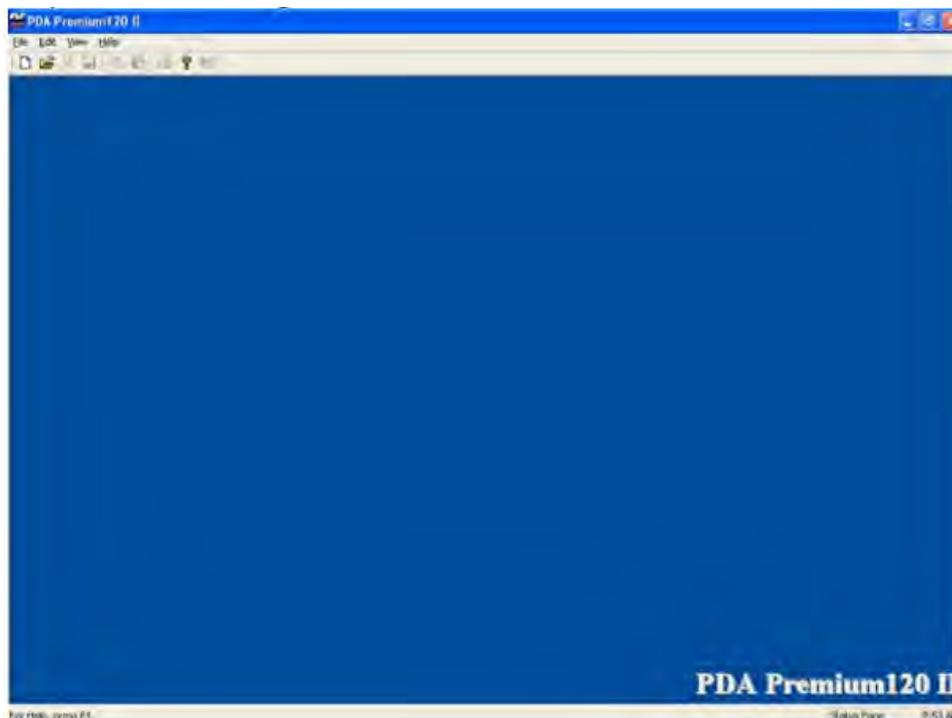
**SEDE EN EUROPA**

---

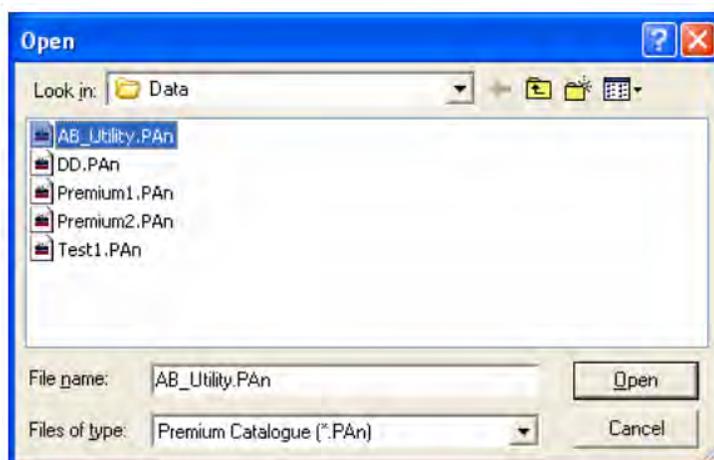
## ANEXOS D: PDA Premium 120 II

Software PDA Premium 120 II.

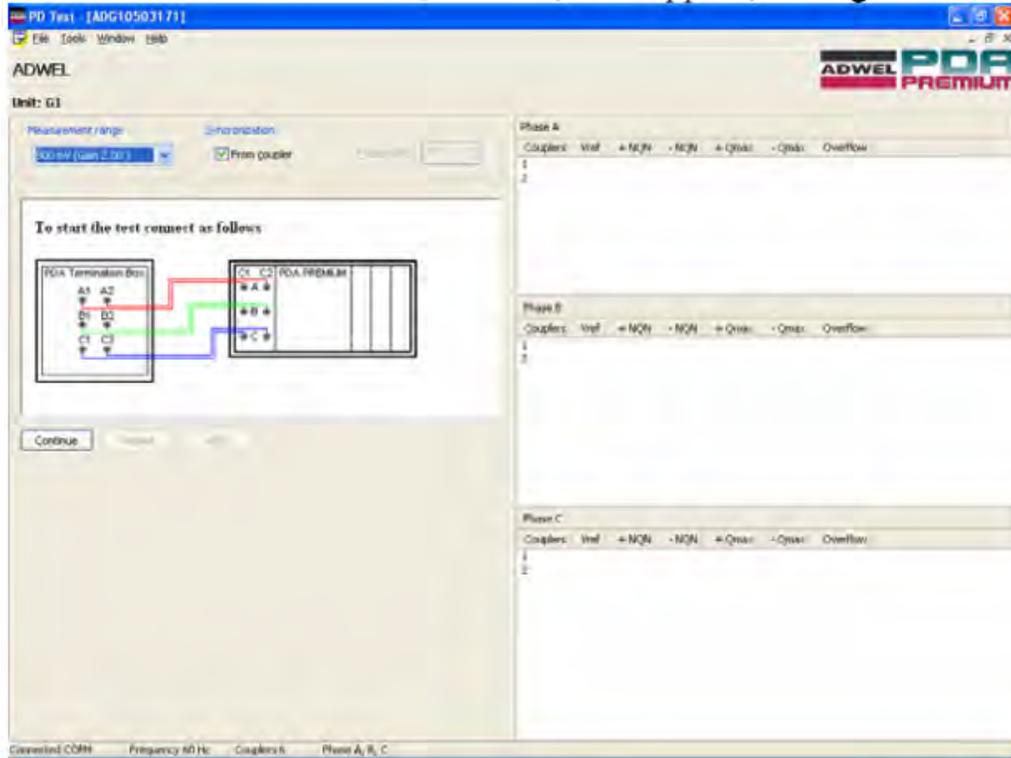
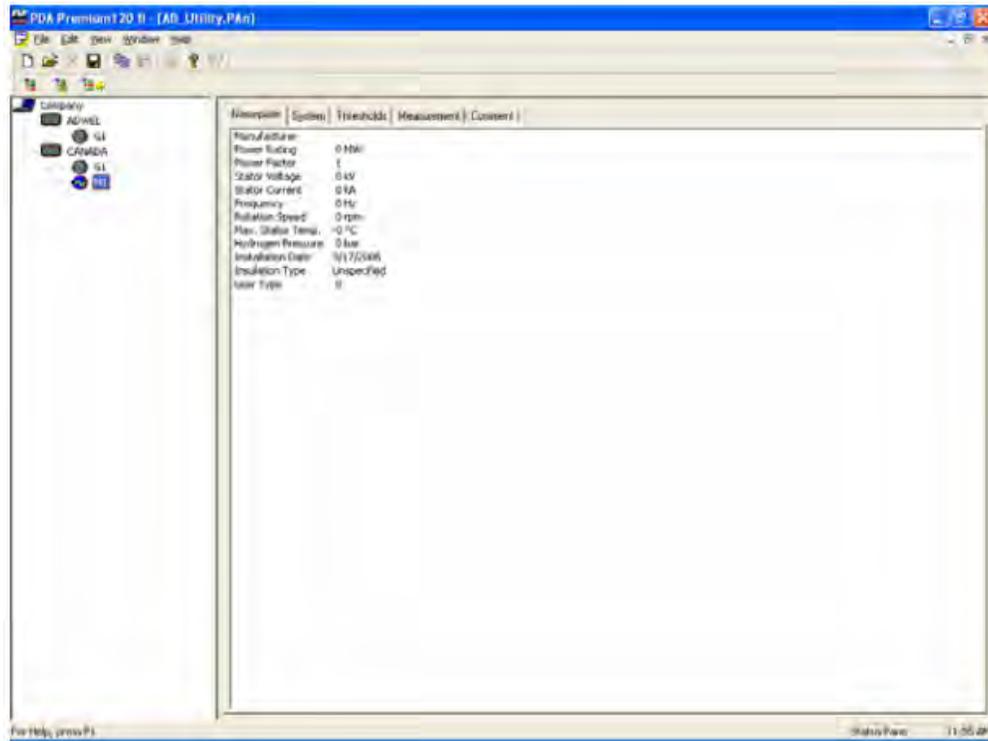
Está diseñado para usarse con PDA Premium: se utiliza para la adquisición de datos y para ver los resultados de pruebas de descargas parciales. Primero se corre el programa.



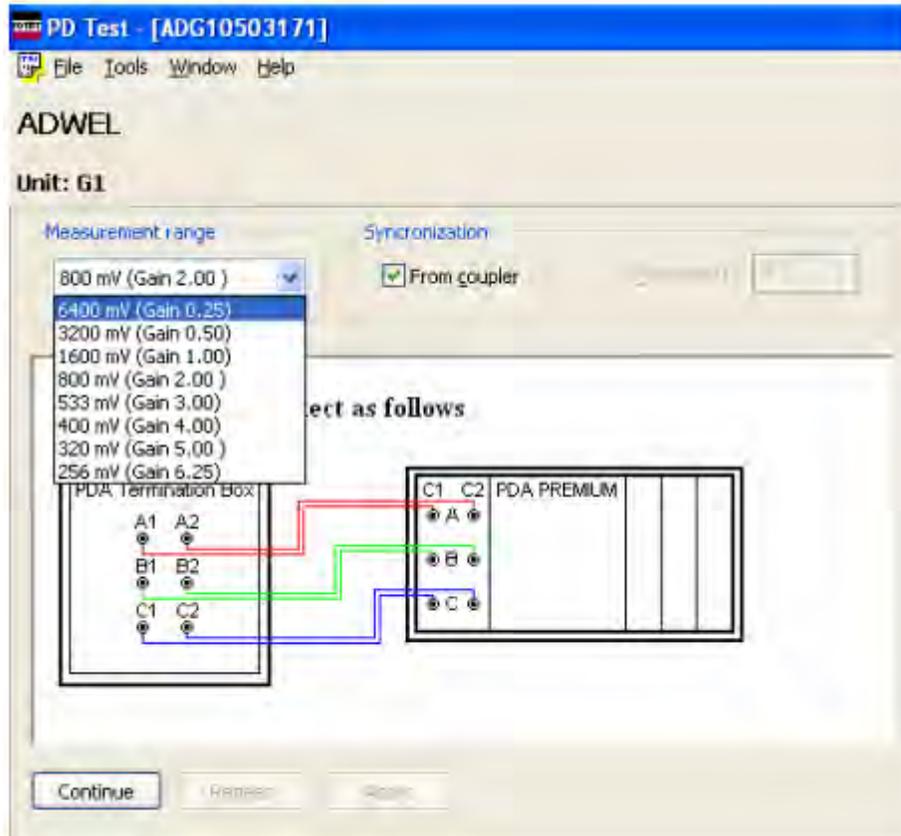
Luego se abre el archivo que contiene la base de datos de cada generador.



Se abre el generador al que se le hará la prueba.

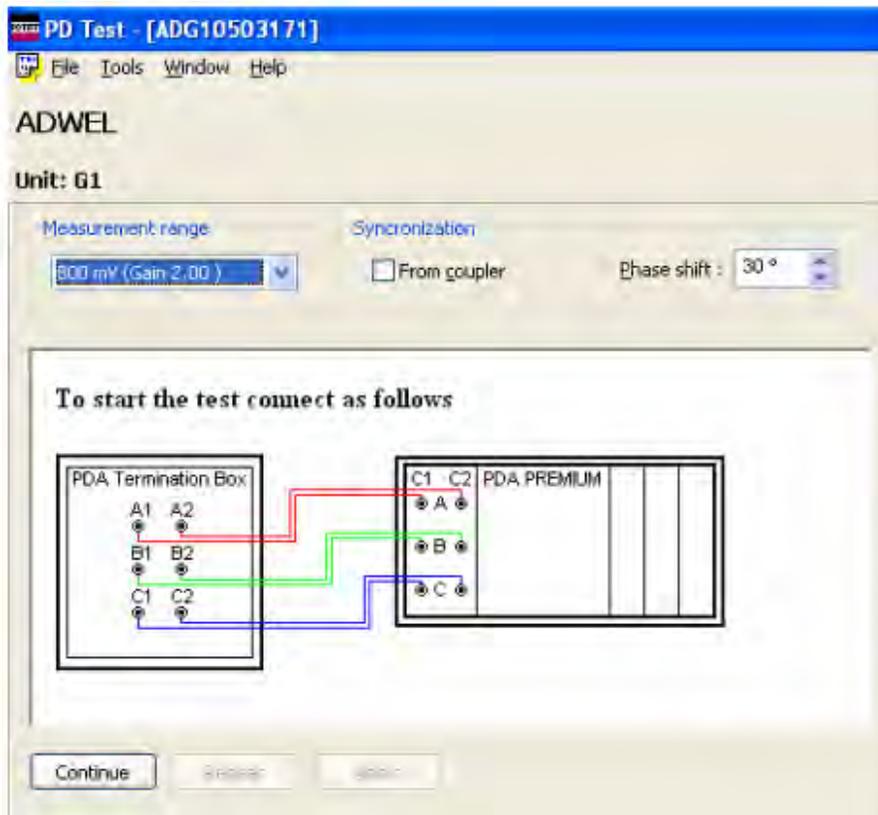


Se inicia la prueba.

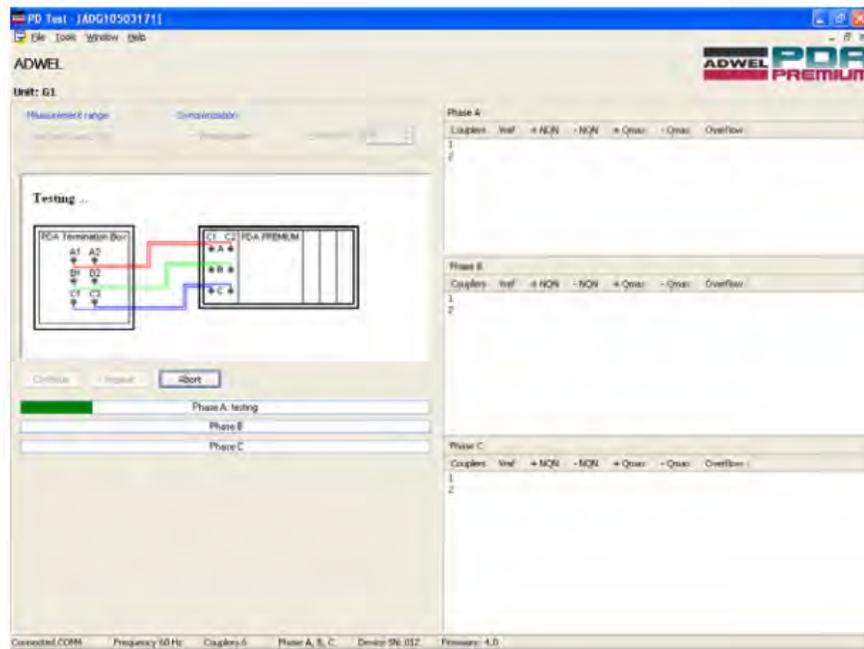


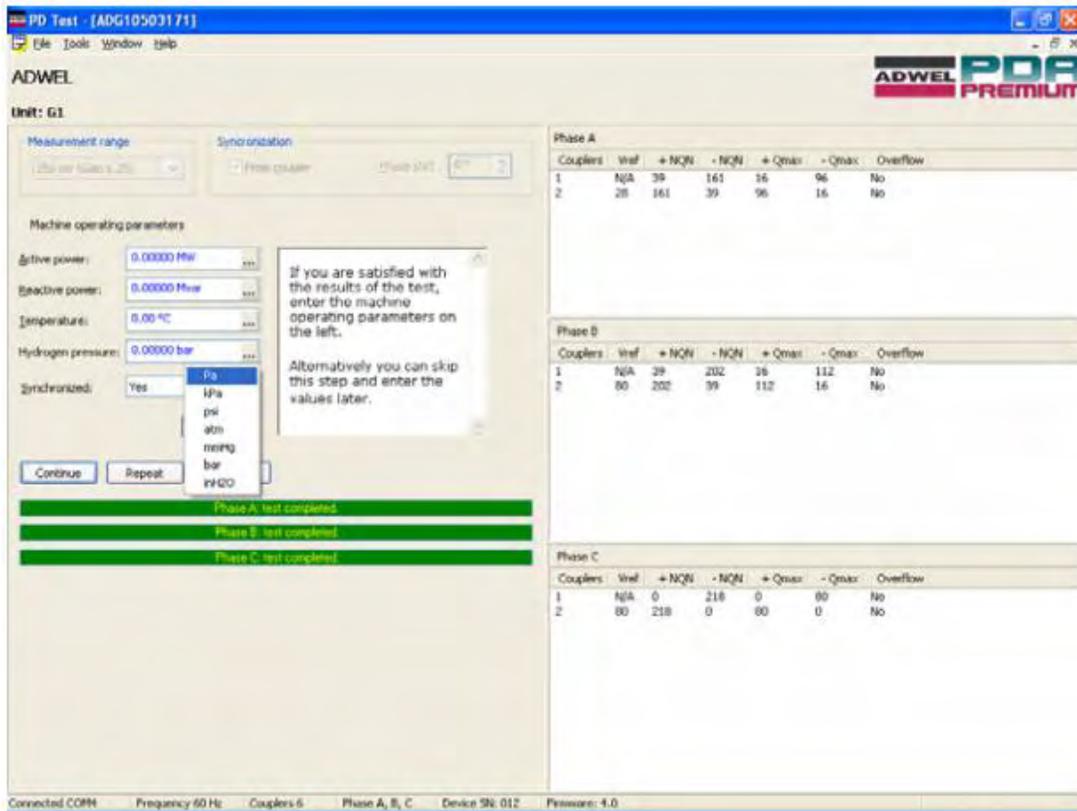
Se escoge una ganancia, para los generadores 1 y 3 es 4, para el generador 2 es 1. Se escoge la ganancia según el nivel de descargas parciales, ya que la selección de ganancia indica el máximo rango y resolución de voltaje.

GAIN	RESOLUTION (mV)	MAXIMUM RANGE (mV)
0.25	400	6400
0.5	200	3200
1.0	100	1600
2.0	50	800
3.0	33	533
4.0	25	400
5.0	20	320
6.25	16	256

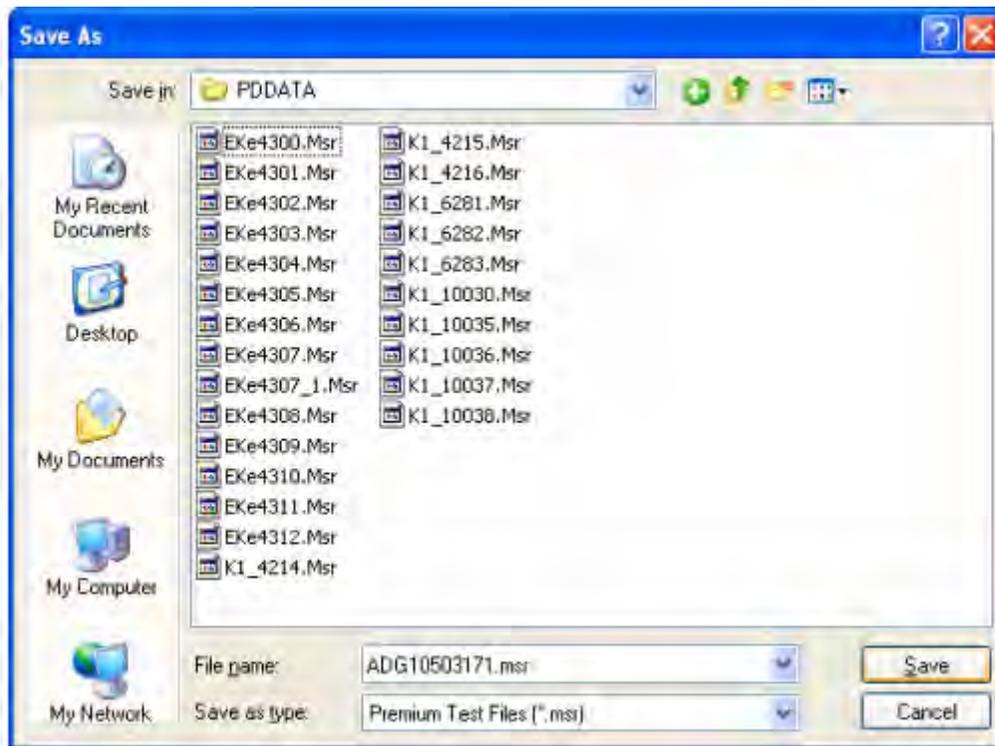


Luego continuar para que el software comience a analizar fase por fase.

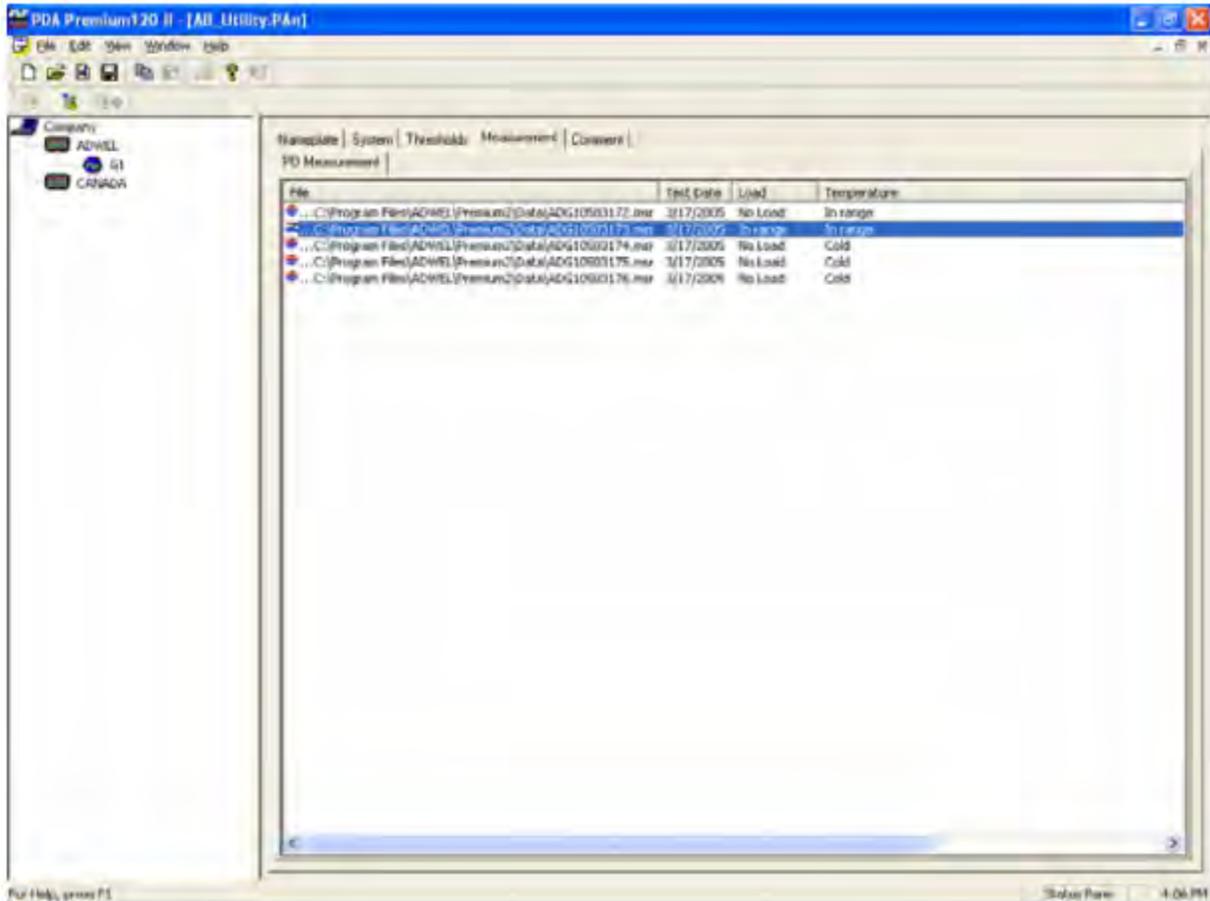




Cuando termina con las tres fases, se guardan los datos.



Luego que se han guardado los datos, estos pueden verse cuando se abre la base de datos.



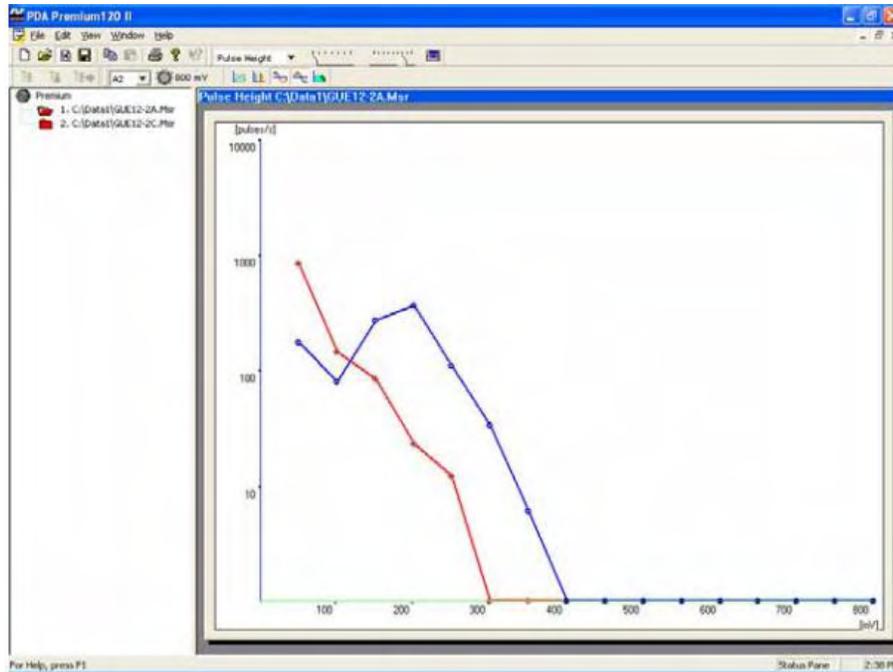
A continuación se muestra las estadísticas de una sola prueba correspondiente a un generador.

The 'Measurement Information' dialog box displays the following data:

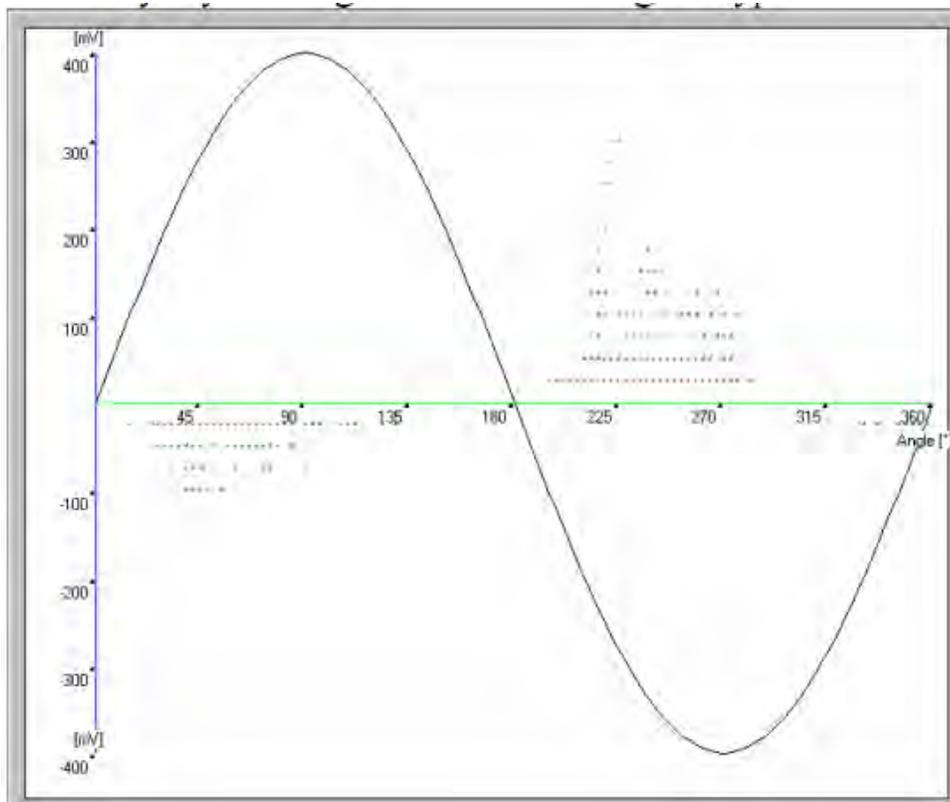
Measurement	Statistic	Unit	Threshold	Coupler	Comment
	Range	OFL	NQN-	NQN+	Qmax- Qmax+
A1	256 mV	0	234	19	80 mV 16 mV
A2	256 mV	0	19	234	16 mV 80 mV
B1	256 mV	0	239	39	96 mV 16 mV
B2	256 mV	0	39	234	16 mV 96 mV
C1	256 mV	0	312	39	144 mV 16 mV
C2	256 mV	0	39	312	16 mV 144 mV

Buttons: Save As ... Cancel

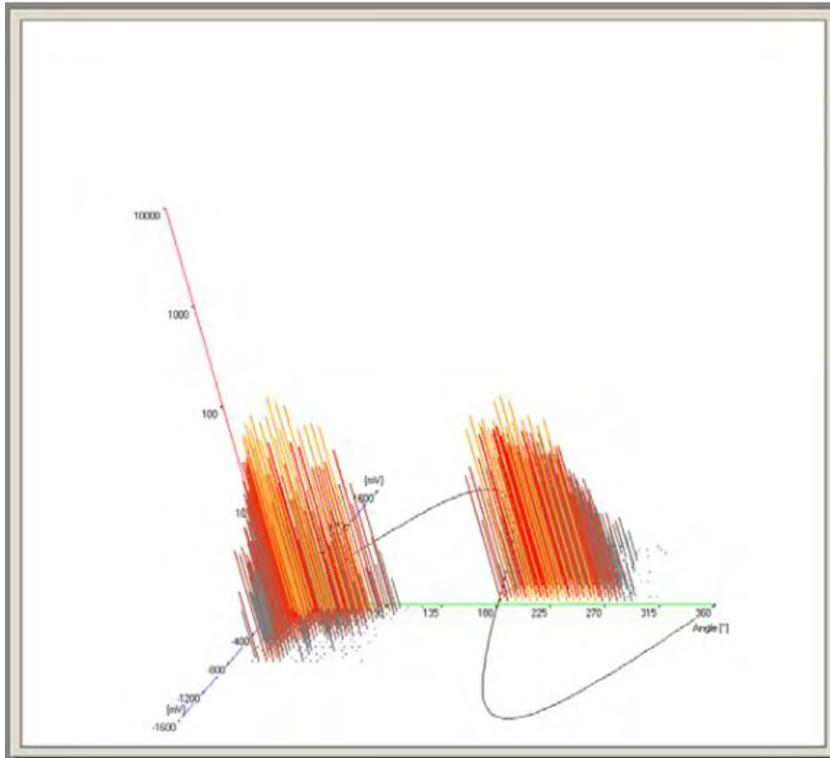
Luego se pueden ver las graficas, para poder hacer un análisis de los datos.  
Gráfica de altura de pulso:



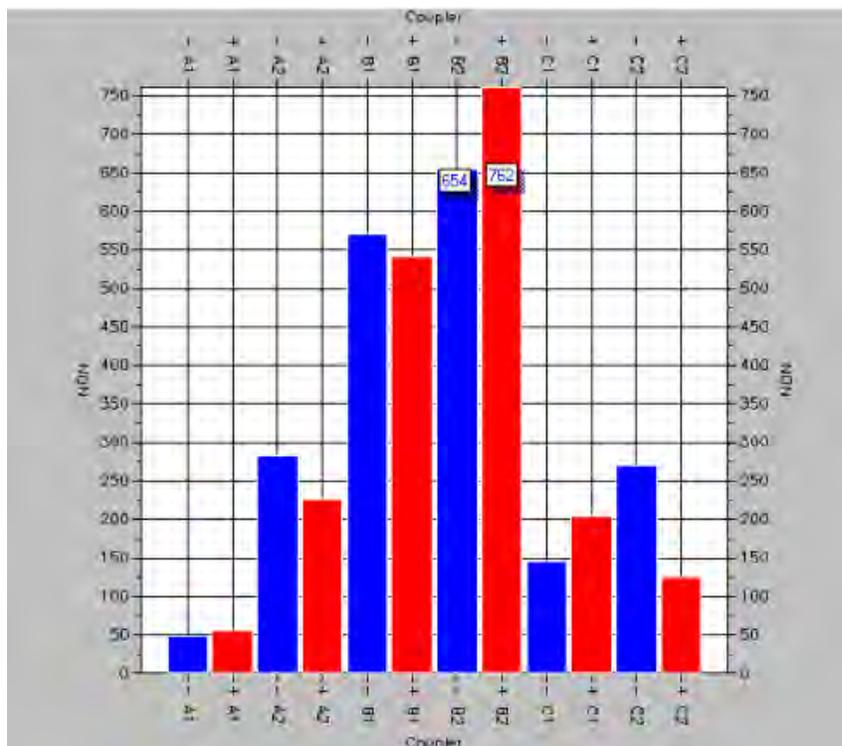
Gráfica de distribución de pulsos en 1D:



Gráfica de distribución de pulsos en 3D:



Gráfica de NQN:



**Botones**

Icon	Description
	NEW Create New PAn Folder
	OPEN Open Existing PAn Folder
	DISPLAY MEASUREMENT
	SAVE Save Changes
	COPY
	PASTE
	PRINT
	ABOUT PDA Premium Software Version
	HELP PDA Premium Help
	P/S – PD Pulse Height Display
	P/S MAX Pulse Height Display
	POS. PULSES Display Positive Pulses
	NEG. PULSES Display Negative Pulses
	VIEW AREA DIAGRAM (Pulse Height Display)

Icon	Description
	VIEW LINE DIAGRAM (Pulse Height Display)
	FILES View Files (NQN, Qmax Display)
	COUPLERS View Couplers (NQN, Qmax Display)
	FILE – COUPLERS View Trending (NQN, Qmax Display)
	PULSES – ANGLE (Distribution Display)
	P/S MAX (Distribution Display)
	VIEW POLAR DIAGRAM (Distribution Display)
	VIEW SURFACE DIAGRAM (Distribution Display)
	VIEW BAR DIAGRAM (Distribution Display)
	SPLIT Open New Display
	APPEND ITEM Creates New Station/Unit
	DELETE ITEM Delete Station/Unit
	START MEASUREMENT

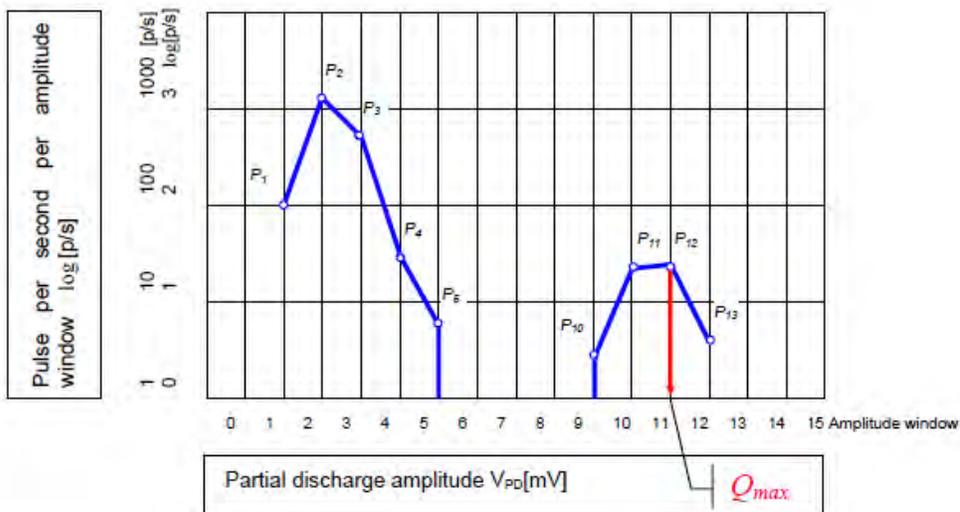
**Central Personal Computer (CPC)**

Component	Specification
Processor	Intel Pentium based
Operating System	Windows XP Professional (with licence)
Video	17" CRT monitor
Input Devices	Keyboard Mouse
Communication Devices	Serial port Parallel port RG45 10/100 Ethernet port
Printer	Optional

Cálculos internos del Software PDA Premium 120 II.

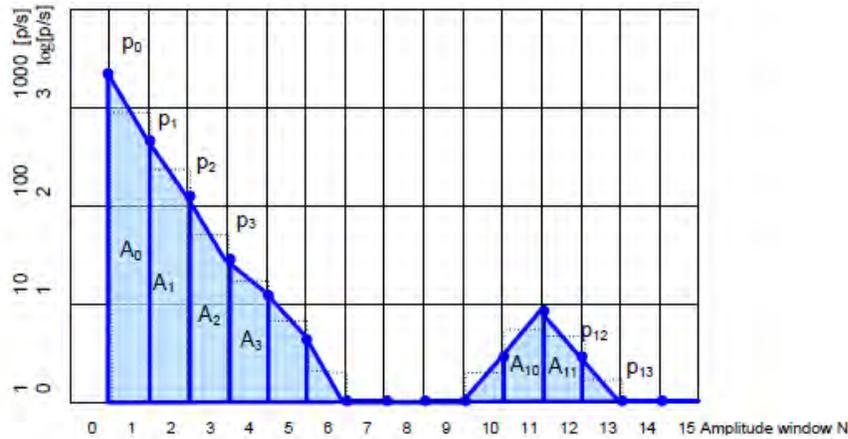
**Qmax**

**Qmax** refers to a unit of measurement that measures the maximum discharge magnitude, i.e., the number of partial discharge pulses greater than 10 per second at a certain voltage level. Qmax is calculated separately for the positive and negative pulses for each coupler.



**NQN**

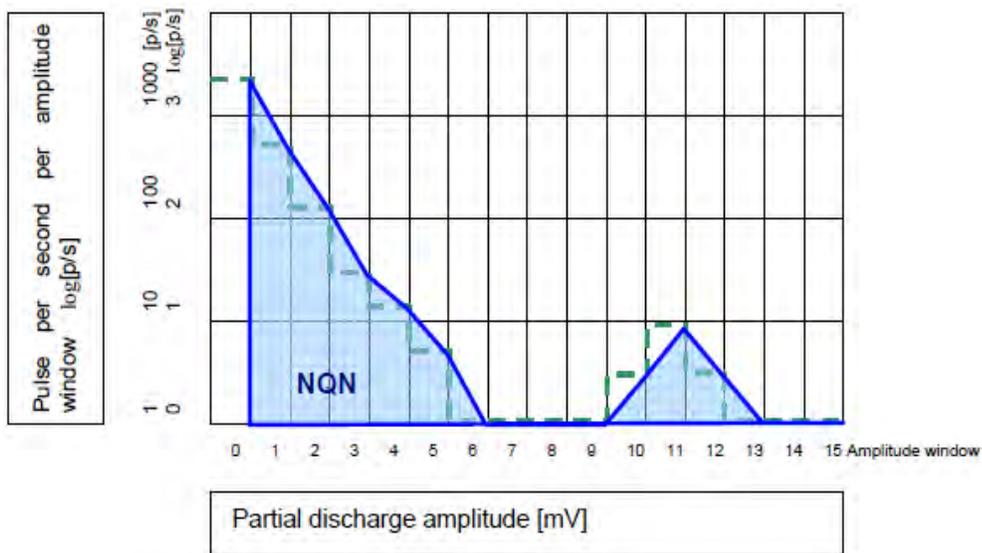
**NQN** refers to the normalized quantity number, which is a measure of pulses per second based on partial discharge amplitude (mV). Different gain values will result in different **NQN** values.



$$NQN = \frac{FS}{G \times N} \times \left[ \frac{\log_{10} P_1}{2} + \sum_{i=2}^{N-1} \log_{10} P_i + \frac{\log_{10} P_N}{2} \right]$$

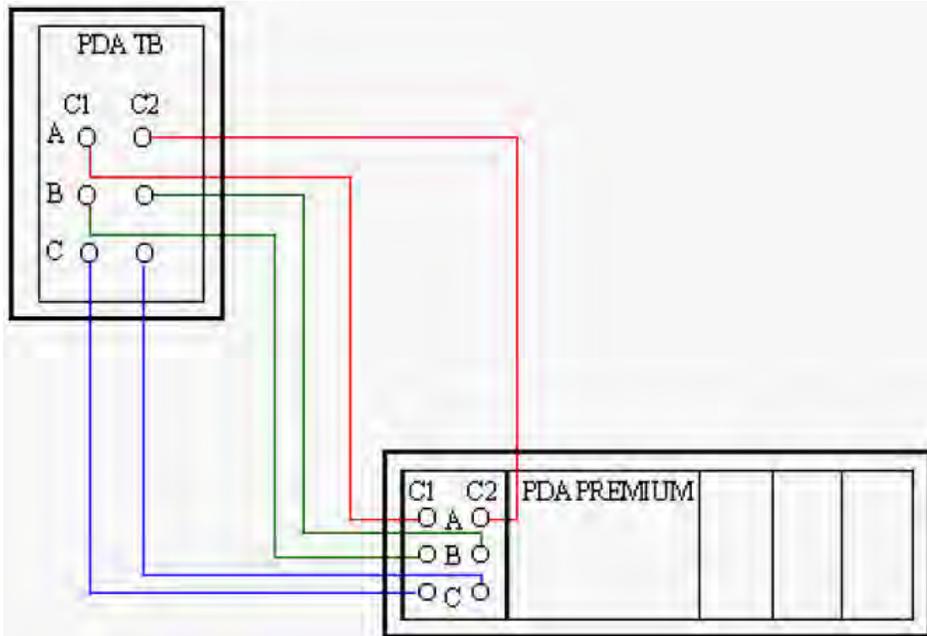
where

- $P_i$  is number of pulses per second in magnitude window  $i$ ,
- $N$  is number of magnitude windows,
- $G$  is gain of the partial discharge detector (arithmetic, not decibels),
- $FS$  is maximum magnitude window in millivolts at unity gain.

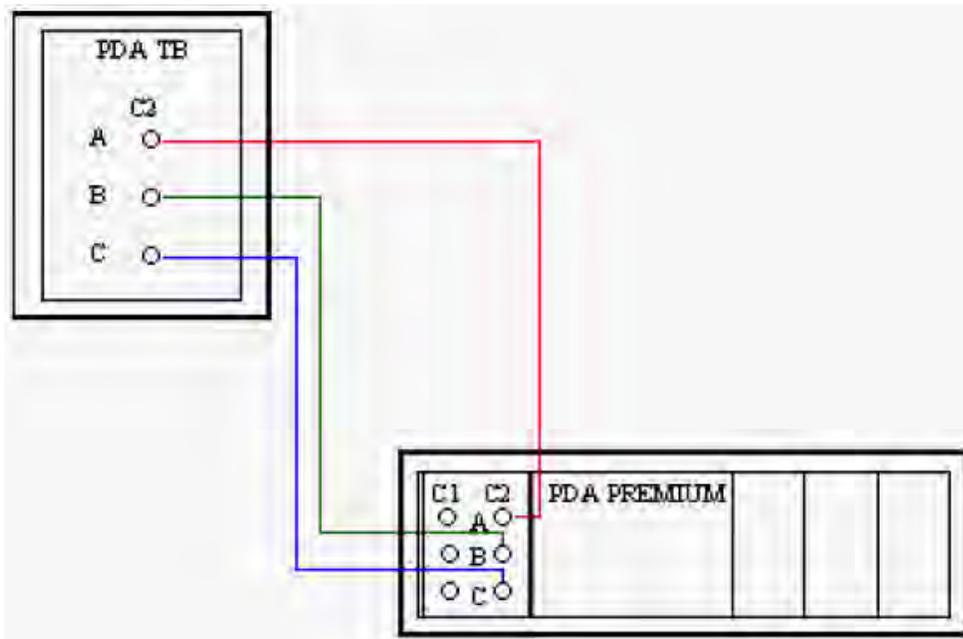


**ANEXOS E: Conexiones del PDA Premium con el generador.**

Conexión del PDA Premium con el generador 1 y 2.



Conexión de PDA Premium con el generador 3.



Archivo menú.m

```

1 function varargout = menu(varargin)
2 % MENU M-file for menu.fig
3 %
4 % MENU, by itself, creates a new MENU or raises the existing
5 % singleton*.
6 %
7 % H = MENU returns the handle to a new MENU or the handle to
8 % the existing singleton*.
9 %
10 % MENU('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
11 % function named CALLBACK in MENU.M with the given input arguments.
12 %
13 % MENU('Property','Value',...) creates a new MENU or raises the
14 % existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
15 % applied to the GUI before menu_OpeningFcn gets called. An
16 % unrecognized property name or invalid value makes property application
17 % stop. All inputs are passed to menu_OpeningFcn via varargin.
18 %
19 % *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
20 % instance to run (singleton)".
21 %
22 % See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
23
24 % Edit the above text to modify the response to help menu
25
26 % Last Modified by GUIDE v2.5 01-Nov-2010 12:34:52
27
28 % Begin initialization code - DO NOT EDIT
29 gui_Singleton = 1;
30 gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
31                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
32                  'gui_OpeningFcn', @menu_OpeningFcn, ...
33                  'gui_OutputFcn',  @menu_OutputFcn, ...
34                  'gui_LayerFcn',   [], ...
35                  'gui_Callback',    []);
36
37 if nargin && ischar(varargin{1})
38     gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
39 end
40
41 if nargin
42     [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
43 else
44     gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
45 end
46 % End initialization code - DO NOT EDIT
47
48 % --- Executes just before menu is made visible.
49 function menu_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
50 % This function has no output args, see OutputFcn.
51 % hObject handle to figure
52 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
53 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
54 % varargin command line arguments to menu (see VARARGIN)
55
56 % Choose default command line output for menu
57 handles.output = hObject;
58
59 % Update handles structure
60 guidata(hObject, handles);
61
62 % UIWAIT makes menu wait for user response (see UIRESUME)
63 % uiwait(handles.figure1);
64
65 % --- Outputs from this function are returned to the command line.
66 function varargout = menu_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
67 % varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
68 % hObject handle to figure
69 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
70 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
71
72 % Get default command line output from handles structure
73 varargout{1} = handles.output;
74
75
76
77 function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
78 %comparacion:
79
80
81 function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
82 %tendencias:
83
84
85 function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
86 %localizacion:
87
88
89 function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
90 %ayuda:
91

```

Archivo comparacion.m

```

1  function varargout = comparacion(varargin)
2  %
3  % COMPARACION M-file for comparacion.fig
4  %
5  %   COMPARACION, by itself, creates a new COMPARACION or raises the existing
6  %   singleton*.
7  %
8  %   H = COMPARACION returns the handle to a new COMPARACION or the handle to
9  %   the existing singleton*.
10 %
11 %   COMPARACION('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
12 %   function named CALLBACK in COMPARACION.M with the given input arguments.
13 %
14 %   COMPARACION('Property','Value',...) creates a new COMPARACION or raises the
15 %   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
16 %   applied to the GUI before comparacion_OpeningFcn gets called. An
17 %   unrecognized property name or invalid value makes property application
18 %   stop. All inputs are passed to comparacion_OpeningFcn via varargin.
19 %
20 % *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
21 % instance to run (singleton)".
22 %
23 % See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
24 %
25 % Edit the above text to modify the response to help comparacion
26 %
27 % Last Modified by GUIDE v2.5 09-Nov-2010 09:32:39
28 %
29 % Begin initialization code - DO NOT EDIT
30 gui_Singleton = 1;
31 gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
32                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
33                  'gui_OpeningFcn', @comparacion_OpeningFcn, ...
34                  'gui_OutputFcn',  @comparacion_OutputFcn, ...
35                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
36                  'gui_Callback',    []);
37
38 if nargin && ischar(varargin{1})
39     gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
40 end
41
42 if nargin
43     [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
44 else
45     gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
46 end
47 % End initialization code - DO NOT EDIT
48 %
49 % --- Executes just before comparacion is made visible.
50 function comparacion_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
51 % This function has no output args, see OutputFcn.
52 % hObject    handle to figure
53 % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
54 % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
55 % varargin   command line arguments to comparacion (see VARARGIN)
56 %
57 % Choose default command line output for comparacion
58 handles.output = hObject;
59 %
60 % Update handles structure
61 guidata(hObject, handles);
62 %
63 % UIWAIT makes comparacion wait for user response (see UIRESUME)
64 % uiwait(handles.figure1);

```

```

65 % --- Outputs from this function are returned to the command line.
66 function varargout = comparacion_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
67 % varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
68 % hObject handle to figure
69 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
70 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
71
72 % Get default command line output from handles structure
73 varargout(1) = handles.output;
74
75
76 function bdfref_Callback(hObject, eventdata, handles)
77 q(1)=str2double(get(handles.qx1,'String'));
78 q(2)=str2double(get(handles.qx2,'String'));
79 q(3)=str2double(get(handles.qx3,'String'));
80 q(4)=str2double(get(handles.qx4,'String'));
81 q(5)=str2double(get(handles.qx5,'String'));
82 q(6)=str2double(get(handles.qx6,'String'));
83 p(1)=str2double(get(handles.por1,'String'));
84 p(2)=str2double(get(handles.por2,'String'));
85 p(3)=str2double(get(handles.por3,'String'));
86 p(4)=str2double(get(handles.por4,'String'));
87 p(5)=str2double(get(handles.por5,'String'));
88 p(6)=str2double(get(handles.por6,'String'));
89 plot(q,p);
90 hold on;
91 title('Grafica Base de datos');
92 xlabel('m^3');
93 ylabel('%');
94 grid on;
95
96
97 function reset_Callback(hObject, eventdata, handles)
98 set(handles.qx2,'String','');
99 set(handles.por2,'String','');
100 set(handles.qx3,'String','');
101 set(handles.por3,'String','');
102 set(handles.qx4,'String','');
103 set(handles.por4,'String','');
104 set(handles.qx5,'String','');
105 set(handles.por5,'String','');
106 set(handles.qx6,'String','');
107 set(handles.por6,'String','');
108 x=0;
109 y=0;
110 hold off;
111 plot(x,y);
112 grid on;
113 xlabel('m^3');
114 ylabel('%');
115
116
117 function tqn_Callback(hObject, eventdata, handles)
118 set(handles.tp1,'String','');
119 set(handles.tp1,'BackgroundColor','white');
120 set(handles.tp2,'String','');
121 set(handles.tp2,'BackgroundColor','white');
122 set(handles.tp3,'String','');
123 set(handles.tp3,'BackgroundColor','white');
124 set(handles.tp4,'String','');
125 set(handles.tp4,'BackgroundColor','white');
126 set(handles.tp5,'String','');
127 set(handles.tp5,'BackgroundColor','white');
128 set(handles.tp6,'String','');
129 set(handles.tp6,'BackgroundColor','white');
130 q(1)=str2double(get(handles.qx1,'String'));
131 q(2)=str2double(get(handles.qx2,'String'));
132 q(3)=str2double(get(handles.qx3,'String'));
133 q(4)=str2double(get(handles.qx4,'String'));
134 q(5)=str2double(get(handles.qx5,'String'));
135 q(6)=str2double(get(handles.qx6,'String'));
136 p(1)=str2double(get(handles.por1,'String'));
137 p(2)=str2double(get(handles.por2,'String'));
138 p(3)=str2double(get(handles.por3,'String'));
139 p(4)=str2double(get(handles.por4,'String'));
140 p(5)=str2double(get(handles.por5,'String'));
141 p(6)=str2double(get(handles.por6,'String'));
142 x(1)=str2double(get(handles.qn1,'String'));
143 x(2)=str2double(get(handles.qn2,'String'));
144 x(3)=str2double(get(handles.qn3,'String'));
145 x(4)=str2double(get(handles.qn4,'String'));
146 x(5)=str2double(get(handles.qn5,'String'));
147 x(6)=str2double(get(handles.qn6,'String'));
148 y=interp1(q,p,x(1),'spline');
149 set(handles.tp1,'String',num2str(y));
150 if y>90
151 set(handles.av1,'String','Zona de alarma');
152 set(handles.tp1,'BackgroundColor','red');
153 stem(x(1),y,'-or');
154 else
155 stem(x(1),y,'-og');
156 set(handles.av1,'String','Zona segura');
157 end
158 y=interp1(q,p,x(2),'spline');
159 set(handles.tp2,'String',num2str(y));
160 if y>90
161 set(handles.av2,'String','Zona de alarma');
162 set(handles.tp2,'BackgroundColor','red');

```

```

163 - stem(x(2),y,'-or');
164 - else
165 -     stem(x(2),y,'-og');
166 -     set(handles.av2,'String','Zona segura');
167 - end
168 - y=interp1(q,p,x(3),'spline');
169 - set(handles.tp3,'String',num2str(y));
170 - if y>90
171 -     set(handles.av3,'String','Zona de alarma');
172 -     set(handles.tp3,'BackgroundColor','red');
173 -     stem(x(3),y,'-or');
174 - else
175 -     stem(x(3),y,'-og');
176 -     set(handles.av3,'String','Zona segura');
177 - end
178 - y=interp1(q,p,x(4),'spline');
179 - set(handles.tp4,'String',num2str(y));
180 - if y>90
181 -     set(handles.av4,'String','Zona de alarma');
182 -     set(handles.tp4,'BackgroundColor','red');
183 -     stem(x(4),y,'-or');
184 - else
185 -     stem(x(4),y,'-og');
186 -     set(handles.av4,'String','Zona segura');
187 - end
188 - y=interp1(q,p,x(5),'spline');
189 - set(handles.tp5,'String',num2str(y));
190 - if y>90
191 -     set(handles.av5,'String','Zona de alarma');
192 -     set(handles.tp5,'BackgroundColor','red');
193 -     stem(x(5),y,'-or');
194 - else
195 -     stem(x(5),y,'-og');
196 -     set(handles.av5,'String','Zona segura');
197 - end
198 - y=interp1(q,p,x(6),'spline');
199 - set(handles.tp6,'String',num2str(y));
200 - if y>90
201 -     set(handles.av6,'String','Zona de alarma');
202 -     set(handles.tp6,'BackgroundColor','red');
203 -     stem(x(6),y,'-or');
204 - else
205 -     stem(x(6),y,'-og');
206 -     set(handles.av6,'String','Zona segura');
207 - end
208 -
209 -
210 - % --- Executes on button press in reset2.
211 - function reset2_Callback(hObject, eventdata, handles)
212 - set(handles.qn1,'String','');
213 - set(handles.qn2,'String','');
214 - set(handles.qn3,'String','');
215 - set(handles.qn4,'String','');
216 - set(handles.qn5,'String','');
217 - set(handles.qn6,'String','');
218 - set(handles.tp1,'String','');
219 - set(handles.tp2,'String','');
220 - set(handles.tp3,'String','');
221 - set(handles.tp4,'String','');
222 - set(handles.tp5,'String','');
223 - set(handles.tp6,'String','');
224 - set(handles.av1,'String','');
225 - set(handles.av2,'String','');
226 - set(handles.av3,'String','');
227 - set(handles.av4,'String','');
228 - set(handles.av5,'String','');

```

```

229 - set(handles.av6,'String','');
230 - set(handles.tp1,'BackgroundColor','white');
231 - set(handles.tp2,'BackgroundColor','white');
232 - set(handles.tp3,'BackgroundColor','white');
233 - set(handles.tp4,'BackgroundColor','white');
234 - set(handles.tp5,'BackgroundColor','white');
235 - set(handles.tp6,'BackgroundColor','white');
236 - x=0;
237 - y=0;
238 - hold off;
239 - plot(x,y);
240 - q(1)=str2double(get(handles.qx1,'String'));
241 - q(2)=str2double(get(handles.qx2,'String'));
242 - q(3)=str2double(get(handles.qx3,'String'));
243 - q(4)=str2double(get(handles.qx4,'String'));
244 - q(5)=str2double(get(handles.qx5,'String'));
245 - q(6)=str2double(get(handles.qx6,'String'));
246 - p(1)=str2double(get(handles.por1,'String'));
247 - p(2)=str2double(get(handles.por2,'String'));
248 - p(3)=str2double(get(handles.por3,'String'));
249 - p(4)=str2double(get(handles.por4,'String'));
250 - p(5)=str2double(get(handles.por5,'String'));
251 - p(6)=str2double(get(handles.por6,'String'));
252 - plot(q,p);
253 - hold on;
254 - title('Grafica Base de datos');
255 - xlabel('mV');
256 - ylabel('');
257 - grid on;
258 - set(handles.pp1,'String','');
259 - set(handles.pp1,'BackgroundColor','white');
260 - set(handles.pp2,'String','');
261 - set(handles.pp2,'BackgroundColor','white');

```

```

262 - set(handles.pp3,'String','');
263 - set(handles.pp3,'BackgroundColor','white');
264 - set(handles.pp4,'String','');
265 - set(handles.pp4,'BackgroundColor','white');
266 - set(handles.pp5,'String','');
267 - set(handles.pp5,'BackgroundColor','white');
268 - set(handles.pp6,'String','');
269 - set(handles.pp6,'BackgroundColor','white');
270 - q(1)=str2double(get(handles.qx1,'String'));
271 - q(2)=str2double(get(handles.qx2,'String'));
272 - q(3)=str2double(get(handles.qx3,'String'));
273 - q(4)=str2double(get(handles.qx4,'String'));
274 - q(5)=str2double(get(handles.qx5,'String'));
275 - q(6)=str2double(get(handles.qx6,'String'));
276 - p(1)=str2double(get(handles.por1,'String'));
277 - p(2)=str2double(get(handles.por2,'String'));
278 - p(3)=str2double(get(handles.por3,'String'));
279 - p(4)=str2double(get(handles.por4,'String'));
280 - p(5)=str2double(get(handles.por5,'String'));
281 - p(6)=str2double(get(handles.por6,'String'));
282 - x(1)=str2double(get(handles.qp1,'String'));
283 - x(2)=str2double(get(handles.qp2,'String'));
284 - x(3)=str2double(get(handles.qp3,'String'));
285 - x(4)=str2double(get(handles.qp4,'String'));
286 - x(5)=str2double(get(handles.qp5,'String'));
287 - x(6)=str2double(get(handles.qp6,'String'));
288 - y=interp1(q,p,x(1),'spline');
289 - set(handles.pp1,'String',num2str(y));
290 - if y>91
291 -     set(handles.av11,'String','Zona de alarma');
292 -     set(handles.pp1,'BackgroundColor','red');
293 -     stem(x(1),y,'-or');
294 - else
295 -     stem(x(1),y,'-oc');
296 -     set(handles.av11,'String','Zona segura');
297 - end
298 - y=interp1(q,p,x(2),'spline');
299 - set(handles.pp2,'String',num2str(y));
300 - if y>91
301 -     set(handles.av12,'String','Zona de alarma');
302 -     set(handles.pp2,'BackgroundColor','red');
303 -     stem(x(2),y,'-or');
304 - else
305 -     stem(x(2),y,'-oc');
306 -     set(handles.av12,'String','Zona segura');
307 - end
308 - y=interp1(q,p,x(3),'spline');
309 - set(handles.pp3,'String',num2str(y));
310 - if y>91
311 -     set(handles.av13,'String','Zona de alarma');
312 -     set(handles.pp3,'BackgroundColor','red');
313 -     stem(x(3),y,'-or');
314 - else
315 -     stem(x(3),y,'-oc');
316 -     set(handles.av13,'String','Zona segura');
317 - end
318 - y=interp1(q,p,x(4),'spline');
319 - set(handles.pp4,'String',num2str(y));
320 - if y>91
321 -     set(handles.av14,'String','Zona de alarma');
322 -     set(handles.pp4,'BackgroundColor','red');
323 -     stem(x(4),y,'-or');
324 - else
325 -     stem(x(4),y,'-oc');
326 -     set(handles.av14,'String','Zona segura');
327 - end

328 - y=interp1(q,p,x(5),'spline');
329 - set(handles.pp5,'String',num2str(y));
330 - if y>91
331 -     set(handles.av15,'String','Zona de alarma');
332 -     set(handles.pp5,'BackgroundColor','red');
333 -     stem(x(5),y,'-or');
334 - else
335 -     stem(x(5),y,'-oc');
336 -     set(handles.av15,'String','Zona segura');
337 - end
338 - y=interp1(q,p,x(6),'spline');
339 - set(handles.pp6,'String',num2str(y));
340 - if y>91
341 -     set(handles.av16,'String','Zona de alarma');
342 -     set(handles.pp6,'BackgroundColor','red');
343 -     stem(x(6),y,'-or');
344 - else
345 -     stem(x(6),y,'-oc');
346 -     set(handles.av16,'String','Zona segura');
347 - end
348 -
349 -
350 -
351 - function tqp_Callback(hObject,eventdata,handles)
352 - set(handles.pp1,'String','');
353 - set(handles.pp1,'BackgroundColor','white');
354 - set(handles.pp2,'String','');
355 - set(handles.pp2,'BackgroundColor','white');
356 - set(handles.pp3,'String','');
357 - set(handles.pp3,'BackgroundColor','white');
358 - set(handles.pp4,'String','');
359 - set(handles.pp4,'BackgroundColor','white');
360 - set(handles.pp5,'String','');

```

```

361 - set(handles.pp5,'BackgroundColor','white');
362 - set(handles.pp6,'String','');
363 - set(handles.pp6,'BackgroundColor','white');
364 - q(1)=str2double(get(handles.qx1,'String'));
365 - q(2)=str2double(get(handles.qx2,'String'));
366 - q(3)=str2double(get(handles.qx3,'String'));
367 - q(4)=str2double(get(handles.qx4,'String'));
368 - q(5)=str2double(get(handles.qx5,'String'));
369 - q(6)=str2double(get(handles.qx6,'String'));
370 - p(1)=str2double(get(handles.por1,'String'));
371 - p(2)=str2double(get(handles.por2,'String'));
372 - p(3)=str2double(get(handles.por3,'String'));
373 - p(4)=str2double(get(handles.por4,'String'));
374 - p(5)=str2double(get(handles.por5,'String'));
375 - p(6)=str2double(get(handles.por6,'String'));
376 - x(1)=str2double(get(handles.qp1,'String'));
377 - x(2)=str2double(get(handles.qp2,'String'));
378 - x(3)=str2double(get(handles.qp3,'String'));
379 - x(4)=str2double(get(handles.qp4,'String'));
380 - x(5)=str2double(get(handles.qp5,'String'));
381 - x(6)=str2double(get(handles.qp6,'String'));
382 - y=interp1(q,p,x(1),'spline');
383 - set(handles.pp1,'String',num2str(y));
384 - if y>91
385 -     set(handles.av11,'String','Zona de alarma');
386 -     set(handles.pp1,'BackgroundColor','red');
387 -     stem(x(1),y,'-or');
388 - else
389 -     stem(x(1),y,'-oc');
390 -     set(handles.av11,'String','Zona segura');
391 - end
392 - y=interp1(q,p,x(2),'spline');
393 - set(handles.pp2,'String',num2str(y));
394 - if y>91
395 -     set(handles.av12,'String','Zona de alarma');
396 -     set(handles.pp2,'BackgroundColor','red');
397 -     stem(x(2),y,'-or');
398 - else
399 -     stem(x(2),y,'-oc');
400 -     set(handles.av12,'String','Zona segura');
401 - end
402 - y=interp1(q,p,x(3),'spline');
403 - set(handles.pp3,'String',num2str(y));
404 - if y>91
405 -     set(handles.av13,'String','Zona de alarma');
406 -     set(handles.pp3,'BackgroundColor','red');
407 -     stem(x(3),y,'-or');
408 - else
409 -     stem(x(3),y,'-oc');
410 -     set(handles.av13,'String','Zona segura');
411 - end
412 - y=interp1(q,p,x(4),'spline');
413 - set(handles.pp4,'String',num2str(y));
414 - if y>91
415 -     set(handles.av14,'String','Zona de alarma');
416 -     set(handles.pp4,'BackgroundColor','red');
417 -     stem(x(4),y,'-or');
418 - else
419 -     stem(x(4),y,'-oc');
420 -     set(handles.av14,'String','Zona segura');
421 - end
422 - y=interp1(q,p,x(5),'spline');
423 - set(handles.pp5,'String',num2str(y));
424 - if y>91
425 -     set(handles.av15,'String','Zona de alarma');
426 -     set(handles.pp5,'BackgroundColor','red');

```

```

427 - stem(x(5),y,'-or');
428 - else
429 -     stem(x(5),y,'-oc');
430 -     set(handles.avi5,'String','Zona segura');
431 - end
432 - y=interp1(q,p,x(6),'spline');
433 - set(handles.pp6,'String',num2str(y));
434 - if y>91
435 -     set(handles.avi6,'String','Zona de alarma');
436 -     set(handles.pp6,'BackgroundColor','red');
437 -     stem(x(6),y,'-or');
438 - else
439 -     stem(x(6),y,'-oc');
440 -     set(handles.avi6,'String','Zona segura');
441 - end
442 -
443 -
444 - function reset3_Callback(hObject, eventdata, handles)
445 - set(handles.qp1,'String','');
446 - set(handles.qp2,'String','');
447 - set(handles.qp3,'String','');
448 - set(handles.qp4,'String','');
449 - set(handles.qp5,'String','');
450 - set(handles.qp6,'String','');
451 - set(handles.pp1,'String','');
452 - set(handles.pp2,'String','');
453 - set(handles.pp3,'String','');
454 - set(handles.pp4,'String','');
455 - set(handles.pp5,'String','');
456 - set(handles.pp6,'String','');
457 - set(handles.avi1,'String','');
458 - set(handles.avi2,'String','');
459 - set(handles.avi3,'String','');
460 - set(handles.avi4,'String','');
461 - set(handles.avi5,'String','');
462 - set(handles.avi6,'String','');
463 - set(handles.pp1,'BackgroundColor','white');
464 - set(handles.pp2,'BackgroundColor','white');
465 - set(handles.pp3,'BackgroundColor','white');
466 - set(handles.pp4,'BackgroundColor','white');
467 - set(handles.pp5,'BackgroundColor','white');
468 - set(handles.pp6,'BackgroundColor','white');
469 - x=0;
470 - y=0;
471 - hold off;
472 - plot(x,y);
473 - q(1)=str2double(get(handles.qx1,'String'));
474 - q(2)=str2double(get(handles.qx2,'String'));
475 - q(3)=str2double(get(handles.qx3,'String'));
476 - q(4)=str2double(get(handles.qx4,'String'));
477 - q(5)=str2double(get(handles.qx5,'String'));
478 - q(6)=str2double(get(handles.qx6,'String'));
479 - p(1)=str2double(get(handles.por1,'String'));
480 - p(2)=str2double(get(handles.por2,'String'));
481 - p(3)=str2double(get(handles.por3,'String'));
482 - p(4)=str2double(get(handles.por4,'String'));
483 - p(5)=str2double(get(handles.por5,'String'));
484 - p(6)=str2double(get(handles.por6,'String'));
485 - plot(q,p);
486 - hold on;
487 - title('Grafica Base de datos');
488 - xlabel('m');
489 - ylabel('s');
490 - grid on;
491 - set(handles.tp1,'String','');
492 - set(handles.tp1,'BackgroundColor','white');
493 - set(handles.tp2,'String','');
494 - set(handles.tp2,'BackgroundColor','white');
495 - set(handles.tp3,'String','');
496 - set(handles.tp3,'BackgroundColor','white');
497 - set(handles.tp4,'String','');
498 - set(handles.tp4,'BackgroundColor','white');
499 - set(handles.tp5,'String','');
500 - set(handles.tp5,'BackgroundColor','white');
501 - set(handles.tp6,'String','');
502 - set(handles.tp6,'BackgroundColor','white');
503 - q(1)=str2double(get(handles.qx1,'String'));
504 - q(2)=str2double(get(handles.qx2,'String'));
505 - q(3)=str2double(get(handles.qx3,'String'));
506 - q(4)=str2double(get(handles.qx4,'String'));
507 - q(5)=str2double(get(handles.qx5,'String'));
508 - q(6)=str2double(get(handles.qx6,'String'));
509 - p(1)=str2double(get(handles.por1,'String'));
510 - p(2)=str2double(get(handles.por2,'String'));
511 - p(3)=str2double(get(handles.por3,'String'));
512 - p(4)=str2double(get(handles.por4,'String'));
513 - p(5)=str2double(get(handles.por5,'String'));
514 - p(6)=str2double(get(handles.por6,'String'));
515 - x(1)=str2double(get(handles.qn1,'String'));
516 - x(2)=str2double(get(handles.qn2,'String'));
517 - x(3)=str2double(get(handles.qn3,'String'));
518 - x(4)=str2double(get(handles.qn4,'String'));
519 - x(5)=str2double(get(handles.qn5,'String'));
520 - x(6)=str2double(get(handles.qn6,'String'));
521 - y=interp1(q,p,x(1),'spline');
522 - set(handles.tp1,'String',num2str(y));
523 - if y>90
524 -     set(handles.av1,'String','Zona de alarma');
525 -     set(handles.tp1,'BackgroundColor','red');

```

```

526 - stem(x(1),y,'-or');
527 - else
528 - stem(x(1),y,'-og');
529 - set(handles.av1,'String','Zona segura');
530 - end
531 - y=interp1(q,p,x(2),'spline');
532 - set(handles.tp2,'String',num2str(y));
533 - if y>90
534 - set(handles.av2,'String','Zona de alarma');
535 - set(handles.tp2,'BackgroundColor','red');
536 - stem(x(2),y,'-or');
537 - else
538 - stem(x(2),y,'-og');
539 - set(handles.av2,'String','Zona segura');
540 - end
541 - y=interp1(q,p,x(3),'spline');
542 - set(handles.tp3,'String',num2str(y));
543 - if y>90
544 - set(handles.av3,'String','Zona de alarma');
545 - set(handles.tp3,'BackgroundColor','red');
546 - stem(x(3),y,'-or');
547 - else
548 - stem(x(3),y,'-og');
549 - set(handles.av3,'String','Zona segura');
550 - end
551 - y=interp1(q,p,x(4),'spline');
552 - set(handles.tp4,'String',num2str(y));
553 - if y>90
554 - set(handles.av4,'String','Zona de alarma');
555 - set(handles.tp4,'BackgroundColor','red');
556 - stem(x(4),y,'-or');
557 - else
558 - stem(x(4),y,'-og');
559 - set(handles.av4,'String','Zona segura');
560 - end
561 - y=interp1(q,p,x(5),'spline');
562 - set(handles.tp5,'String',num2str(y));
563 - if y>90
564 - set(handles.av5,'String','Zona de alarma');
565 - set(handles.tp5,'BackgroundColor','red');
566 - stem(x(5),y,'-or');
567 - else
568 - stem(x(5),y,'-og');
569 - set(handles.av5,'String','Zona segura');
570 - end
571 - y=interp1(q,p,x(6),'spline');
572 - set(handles.tp6,'String',num2str(y));
573 - if y>90
574 - set(handles.av6,'String','Zona de alarma');
575 - set(handles.tp6,'BackgroundColor','red');
576 - stem(x(6),y,'-or');
577 - else
578 - stem(x(6),y,'-og');
579 - set(handles.av6,'String','Zona segura');
580 - end
581 -
582 -
583 - function qx1_Callback(hObject, eventdata, handles)
584 -
585 - function qx1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
586 -
587 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
588 - set(hObject,'BackgroundColor','white');
589 - end
590 -
591 -
592 - function qx2_Callback(hObject, eventdata, handles)
593 -
594 - function qx2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
595 -
596 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
597 - set(hObject,'BackgroundColor','white');
598 - end
599 -
600 -
601 - function qx3_Callback(hObject, eventdata, handles)
602 -
603 - function qx3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
604 -
605 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
606 - set(hObject,'BackgroundColor','white');
607 - end
608 -
609 -
610 - function qx4_Callback(hObject, eventdata, handles)
611 -
612 - function qx4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
613 -
614 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
615 - set(hObject,'BackgroundColor','white');
616 - end
617 -
618 -
619 - function qx5_Callback(hObject, eventdata, handles)
620 -
621 - function qx5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
622 -
623 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
624 - set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

625 -   end
626
627   function qx6_Callback(hObject, eventdata, handles)
628
629
630   □ function qx6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
631
632   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
633     set(hObject,'BackgroundColor','white');
634   end
635
636
637   function por1_Callback(hObject, eventdata, handles)
638
639   □ function por1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
640
641   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
642     set(hObject,'BackgroundColor','white');
643   end
644
645
646   function por2_Callback(hObject, eventdata, handles)
647
648   □ function por2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
649
650   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
651     set(hObject,'BackgroundColor','white');
652   end
653
654
655   function por3_Callback(hObject, eventdata, handles)
656
657   □ function por3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
658
659   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
660     set(hObject,'BackgroundColor','white');
661   end
662
663
664   function por4_Callback(hObject, eventdata, handles)
665
666   □ function por4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
667
668   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
669     set(hObject,'BackgroundColor','white');
670   end
671
672
673   function por5_Callback(hObject, eventdata, handles)
674
675   □ function por5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
676
677   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
678     set(hObject,'BackgroundColor','white');
679   end
680
681
682   function por6_Callback(hObject, eventdata, handles)
683
684   □ function por6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
685
686   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
687     set(hObject,'BackgroundColor','white');
688   end
689
690
691   function qn1_Callback(hObject, eventdata, handles)
692
693   □ function qn1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
694
695   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
696     set(hObject,'BackgroundColor','white');
697   end
698
699
700   function qn2_Callback(hObject, eventdata, handles)
701
702   □ function qn2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
703
704   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
705     set(hObject,'BackgroundColor','white');
706   end
707
708
709   function qn3_Callback(hObject, eventdata, handles)
710
711   □ function qn3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
712
713   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
714     set(hObject,'BackgroundColor','white');
715   end
716
717
718   function qn4_Callback(hObject, eventdata, handles)
719
720   □ function qn4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
721
722   if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
723     set(hObject,'BackgroundColor','white');
724   end
725
726
727   function qn5_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```
724
725 function qn5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
726
727 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
728     set(hObject,'BackgroundColor','white');
729 end
730
731 function qn6_Callback(hObject, eventdata, handles)
732
733 function qn6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
734
735 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
736     set(hObject,'BackgroundColor','white');
737 end
738
739 function tp1_Callback(hObject, eventdata, handles)
740
741 function tp1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
742
743 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
744     set(hObject,'BackgroundColor','white');
745 end
746
747
748 function tp2_Callback(hObject, eventdata, handles)
749
750 function tp2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
751
752 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
753     set(hObject,'BackgroundColor','white');
754 end
755
756
757 function tp3_Callback(hObject, eventdata, handles)
758
759 function tp3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
760
761 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
762     set(hObject,'BackgroundColor','white');
763 end
764
765
766 function tp4_Callback(hObject, eventdata, handles)
767
768 function tp4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
769
770 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
771     set(hObject,'BackgroundColor','white');
772 end
773
774
775 function tp5_Callback(hObject, eventdata, handles)
776
777 function tp5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
778
779 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
780     set(hObject,'BackgroundColor','white');
781 end
782
783
784 function tp6_Callback(hObject, eventdata, handles)
785
786 function tp6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
787
788 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
789     set(hObject,'BackgroundColor','white');
790 end
791
792
793 function qp1_Callback(hObject, eventdata, handles)
794
795 function qp1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
796
797 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
798     set(hObject,'BackgroundColor','white');
799 end
800
801
802 function qp2_Callback(hObject, eventdata, handles)
803
804 function qp2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
805
806 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
807     set(hObject,'BackgroundColor','white');
808 end
809
810
811 function qp3_Callback(hObject, eventdata, handles)
812
813 function qp3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
814
815 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
816     set(hObject,'BackgroundColor','white');
817 end
818
819
820 function qp4_Callback(hObject, eventdata, handles)
821
822
```

```

823 function qp4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
824
825 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
826     set(hObject,'BackgroundColor','white');
827 end
828
829
830 function qp5_Callback(hObject, eventdata, handles)
831
832 function qp5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
833
834 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
835     set(hObject,'BackgroundColor','white');
836 end
837
838
839 function qp6_Callback(hObject, eventdata, handles)
840
841 function qp6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
842
843 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
844     set(hObject,'BackgroundColor','white');
845 end
846
847
848 function pp1_Callback(hObject, eventdata, handles)
849
850 function pp1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
851
852 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
853     set(hObject,'BackgroundColor','white');
854 end
855
856
857 function pp2_Callback(hObject, eventdata, handles)
858
859 function pp2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
860
861 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
862     set(hObject,'BackgroundColor','white');
863 end
864
865
866 function pp3_Callback(hObject, eventdata, handles)
867
868 function pp3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
869
870 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
871     set(hObject,'BackgroundColor','white');
872 end
873
874
875 function pp4_Callback(hObject, eventdata, handles)
876
877 function pp4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
878
879 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
880     set(hObject,'BackgroundColor','white');
881 end
882
883
884 function pp5_Callback(hObject, eventdata, handles)
885
886 function pp5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
887
888 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
889
890 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
891     set(hObject,'BackgroundColor','white');
892 end
893
894
895 function pp6_Callback(hObject, eventdata, handles)
896
897 function pp6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
898
899 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
900     set(hObject,'BackgroundColor','white');
901 end

```

Archivo localizacion.m

```

1  function varargout = localizacion(varargin)
2  % LOCALIZACION M-file for localizacion.fig
3  % LOCALIZACION, by itself, creates a new LOCALIZACION or raises the existing
4  % singleton*.
5  %
6  % H = LOCALIZACION returns the handle to a new LOCALIZACION or the handle to
7  % the existing singleton*.
8  %
9  % LOCALIZACION('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
10 % function named CALLBACK in LOCALIZACION.M with the given input arguments.
11 %
12 % LOCALIZACION('Property','Value',...) creates a new LOCALIZACION or raises the
13 % existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
14 % applied to the GUI before localizacion_OpeningFcn gets called. An
15 % unrecognized property name or invalid value makes property application
16 % stop. All inputs are passed to localizacion_OpeningFcn via varargin.
17 %
18 % *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
19 % instance to run (singleton)".
20 %
21 % See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
22
23 % Edit the above text to modify the response to help localizacion
24
25 % Last Modified by GUIDE v2.5 08-Nov-2010 11:20:05
26
27 % Begin initialization code - DO NOT EDIT
28 gui_Singleton = 1;
29 gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
30                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
31                  'gui_OpeningFcn', @localizacion_OpeningFcn, ...
32                  'gui_OutputFcn',  @localizacion_OutputFcn, ...
33                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
34                  'gui_Callback',    []);
35
36 if nargin && ischar(varargin{1})
37     gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
38 end
39
40 if nargin
41     [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
42 else
43     gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
44 end
45 % End initialization code - DO NOT EDIT
46
47 % --- Executes just before localizacion is made visible.
48 function localizacion_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
49 % This function has no output args, see OutputFcn.
50 % hObject    handle to figure
51 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
52 % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
53 % varargin   command line arguments to localizacion (see VARARGIN)
54
55 % Choose default command line output for localizacion
56 handles.output = hObject;
57
58 % Update handles structure
59 guidata(hObject, handles);
60
61 % UIWAIT makes localizacion wait for user response (see UIRESUME)
62 % uiwait(handles.figure1);
63
64 % --- Outputs from this function are returned to the command line.
65
66 function varargout = localizacion_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
67 % varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
68 % hObject    handle to figure
69 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
70 % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
71
72 % Get default command line output from handles structure
73 varargout{1} = handles.output;
74
75
76 function analizar_Callback(hObject, eventdata, handles)
77 if get(handles.pulso1,'value')==get(handles.pulso1,'Max')
78     set(handles.respuesta1,'string','Descarga parcial es el aislamiento principal (groundwall)');
79     x=imread('01.jpg');
80     image(x);
81     axis image;
82     axis off;
83 end
84 if get(handles.pulso2,'value')==get(handles.pulso2,'Max')
85     set(handles.respuesta1,'string','Actividad de descarga parcial en la capa semiconductora o en la superficie de la bobina, también llamada descarga en ran');
86     x=imread('02.jpg');
87     image(x);
88     axis image;
89     axis off;
90 end
91 if get(handles.pulso3,'value')==get(handles.pulso3,'Max')
92     set(handles.respuesta1,'string','Presencia de cavidades o delaminación cerca de la barra de cobre, lo que significa descargas parciales en la interfaz

```

```

93 - x=imread('03.jpg');
94 - image(x);
95 - axis image;
96 - axis off;
97 - end
98 - if (get(handles.pulso1,'value')==get(handles.pulso1,'Max')) && (get(handles.distribucion1,'value')==get(handles.distribucion1,'Max')) ;
99 - set(handles.causa,'string','Deterioro Termico, mala Impregnacion y posible contaminacion');
100
101 - elseif (get(handles.pulso1,'value')==get(handles.pulso1,'Max')) && (get(handles.distribucion4,'value')==get(handles.distribucion4,'Max')) ;
102 - set(handles.causa,'string','Contaminacion, espacio inadecuado entre barras');
103
104 - elseif (get(handles.pulso1,'value')==get(handles.pulso1,'Max')) && (get(handles.distribucion5,'value')==get(handles.distribucion5,'Max')) ;
105 - set(handles.causa,'string','Contaminacion, espacio inadecuado entre barras');
106
107 - elseif (get(handles.pulso3,'value')==get(handles.pulso3,'Max')) && (get(handles.distribucion2,'value')==get(handles.distribucion2,'Max')) ;
108 - set(handles.causa,'string','Ciclo de carga');
109
110 - elseif (get(handles.pulso2,'value')==get(handles.pulso2,'Max')) && (get(handles.distribucion3,'value')==get(handles.distribucion3,'Max')) ;
111 - set(handles.causa,'string','Interface semiconductora y graduadora, devanado flojo o descargas a la ranura, Se recomienda hacer una prueba con poca carga en
112 - else
113 - set(handles.causa,'string','Causa desconocida');
114 - end
115
116
117 - function uipanel1_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
118 - switch get(eventdata.NewValue,'Tag')
119 - case 'pulso1'
120 - set(handles.pulso2,'Value',0.0);
121 - set(handles.pulso3,'Value',0.0);
122 - case 'pulso2'
123 - set(handles.pulso1,'Value',0.0);
124 - set(handles.pulso3,'Value',0.0);
125 - case 'pulso3'
126 - set(handles.pulso2,'Value',0.0);
127 - set(handles.pulso1,'Value',0.0);
128 - end
129
130
131 - function uipanel2_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
132 - switch get(eventdata.NewValue,'Tag')
133 - case 'distribucion1'
134 - set(handles.distribucion2,'Value','Min');
135 - set(handles.distribucion3,'Value','Min');
136 - set(handles.distribucion4,'Value','Min');
137 - set(handles.distribucion5,'Value','Min');
138 - case 'distribucion2'
139 - set(handles.distribucion1,'Value','Min');
140 - set(handles.distribucion3,'Value','Min');
141 - set(handles.distribucion4,'Value','Min');
142 - set(handles.distribucion5,'Value','Min');
143 - case 'distribucion3'
144 - set(handles.distribucion2,'Value','Min');
145 - set(handles.distribucion1,'Value','Min');
146 - set(handles.distribucion4,'Value','Min');
147 - set(handles.distribucion5,'Value','Min');
148 - case 'distribucion4'
149 - set(handles.distribucion2,'Value','Min');
150 - set(handles.distribucion3,'Value','Min');
151 - set(handles.distribucion1,'Value','Min');
152 - set(handles.distribucion5,'Value','Min');
153 - case 'distribucion5'
154 - set(handles.distribucion2,'Value','Min');
155 - set(handles.distribucion3,'Value','Min');
156 - set(handles.distribucion4,'Value','Min');
157 - set(handles.distribucion1,'Value','Min');
158 - otherwise
159 - end
160
161
162 - function pulso1_Callback(hObject, eventdata, handles)
163
164 - function pulso2_Callback(hObject, eventdata, handles)
165
166 - function pulso3_Callback(hObject, eventdata, handles)
167
168 - function distribucion1_Callback(hObject, eventdata, handles)
169
170 - function distribucion2_Callback(hObject, eventdata, handles)
171
172 - function distribucion3_Callback(hObject, eventdata, handles)
173
174 - function distribucion4_Callback(hObject, eventdata, handles)
175
176 - function distribucion5_Callback(hObject, eventdata, handles)
177

```

## Archivo tendencias.m

```
Editor - C:\Users\carlos\Documents\MATLAB\tendencias.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack Base
1 function varargout = tendencias(varargin)
2 % TENDENCIAS M-file for tendencias.fig
3 % TENDENCIAS, by itself, creates a new TENDENCIAS or raises the existing
4 % singleton*.
5 %
6 % H = TENDENCIAS returns the handle to a new TENDENCIAS or the handle to
7 % the existing singleton*.
8 %
9 % TENDENCIAS('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
10 % function named CALLBACK in TENDENCIAS.M with the given input arguments.
11 %
12 % TENDENCIAS('Property','Value',...) creates a new TENDENCIAS or raises the
13 % existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
14 % applied to the GUI before tendencias_OpeningFcn gets called. An
15 % unrecognized property name or invalid value makes property application
16 % stop. All inputs are passed to tendencias_OpeningFcn via varargin.
17 %
18 % *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
19 % instance to run (singleton)".
20 %
21 % See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
22
23 % Edit the above text to modify the response to help tendencias
24
25 % Last Modified by GUIDE v2.5 12-Nov-2010 02:04:29
26
27 % Begin initialization code - DO NOT EDIT
28 gui_Singleton = 1;
29 gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
30                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
31                  'gui_OpeningFcn', @tendencias_OpeningFcn, ...
32                  'gui_OutputFcn',  @tendencias_OutputFcn, ...
33                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
34                  'gui_Callback',    []);
35
36 if nargin && ischar(varargin{1})
37     gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
38 end
39
40 if nargin
41     [varargout(1:nargout)] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
42 else
43     gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
44 end
45 % End initialization code - DO NOT EDIT
46
47 % --- Executes just before tendencias is made visible.
48 function tendencias_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
49 % This function has no output args, see OutputFcn.
50 % hObject handle to figure
51 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
52 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
53 % varargin command line arguments to tendencias (see VARARGIN)
54
55 % Choose default command line output for tendencias
56 handles.output = hObject;
57
58 % Update handles structure
59 guidata(hObject, handles);
60
61 % UIWAIT makes tendencias wait for user response (see UIRESUME)
62 % uiwait(handles.figure1);
63
64 % --- Outputs from this function are returned to the command line.
65 function varargout = tendencias_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
66 % varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
67 % hObject handle to figure
68 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
69 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
70
71 % Get default command line output from handles structure
72 varargout(1) = handles.output;
73
74
75
76 function geni_Callback(hObject, eventdata, handles)
77 matriz1=xlread(get(handles.archivo1,'String'));
78 save variable matriz1;
79 columnannq=matriz1(:,2);
80 i=1;
81 for n=2:9:length(columnannq)
82     a2columnannq(i)=columnannq(n);
83     i=i+1;
84 end
85 i=1;
86 for n=4:9:length(columnannq)
87     b2columnannq(i)=columnannq(n);
88     i=i+1;
89 end
90 i=1;
91 for n=6:9:length(columnannq)
92     c2columnannq(i)=columnannq(n);
```

```

93 -         i=i+1;
94 -     end
95 -     columnapnqn=matriz1(:,3);
96 -     i=1;
97 -     for n=2:9:length(columnapnqn)
98 -         a2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
99 -         i=i+1;
100 -     end
101 -     i=1;
102 -     for n=4:9:length(columnapnqn)
103 -         b2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
104 -         i=i+1;
105 -     end
106 -     i=1;
107 -     for n=6:9:length(columnapnqn)
108 -         c2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
109 -         i=i+1;
110 -     end
111 -     columnanqmax=matriz1(:,4);
112 -     i=1;
113 -     for n=2:9:length(columnanqmax)
114 -         a2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
115 -         i=i+1;
116 -     end
117 -     i=1;
118 -     for n=4:9:length(columnanqmax)
119 -         b2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
120 -         i=i+1;
121 -     end
122 -     i=1;
123 -     for n=6:9:length(columnanqmax)
124 -         c2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
125 -         i=i+1;
126 -     end
127 -     columnapqmax=matriz1(:,5);
128 -     i=1;
129 -     for n=2:9:length(columnapqmax)
130 -         a2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
131 -         i=i+1;
132 -     end
133 -     i=1;
134 -     for n=4:9:length(columnapqmax)
135 -         b2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
136 -         i=i+1;
137 -     end
138 -     i=1;
139 -     for n=6:9:length(columnapqmax)
140 -         c2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
141 -         i=i+1;
142 -     end
143 -
144 -     if (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Max')) && (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Min'))
145 -         eje=1:length(a2columnannqn);
146 -         plot(handles.graficanqn,eje,a2columnannqn,'cyan',eje,b2columnannqn,'magenta',eje,c2columnannqn,'yellow');
147 -         set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
148 -         set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
149 -         grid on
150 -     end
151 -     if (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Max')) && (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Min'))
152 -         eje=1:length(a2columnapnqn);
153 -         plot(handles.graficanqn,eje,a2columnapnqn,'blue',eje,b2columnapnqn,'green',eje,c2columnapnqn,'red');
154 -         set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
155 -         set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
156 -         grid on
157 -     end
158 -     if (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Max')) && (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Max'))
159 -         eje=1:length(a2columnapnqn);
160 -         plot(handles.graficanqn,eje,a2columnapnqn,'blue',eje,b2columnapnqn,'green',eje,c2columnapnqn,'red',eje,a2columnannqn,'cyan',eje,b2columnannqn,'magenta');
161 -         set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
162 -         set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
163 -         grid on;
164 -     end
165 -     if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) && (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Min'))
166 -         eje=1:length(a2columnanqmax);
167 -         plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnanqmax,'cyan',eje,b2columnanqmax,'magenta',eje,c2columnanqmax,'yellow');
168 -         set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');
169 -         set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');
170 -         grid on
171 -     end
172 -
173 -     if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) && (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Min'))
174 -         eje=1:length(a2columnapqmax);
175 -         plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnapqmax,'blue',eje,b2columnapqmax,'green',eje,c2columnapqmax,'red');
176 -         set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');
177 -         set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');
178 -         grid on
179 -     end
180 -
181 -     if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) && (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max'))
182 -         eje=1:length(a2columnapqmax);

```

```

183 - plot(handles.graficaqmax,eje,a2columnnqmax,'cyan',eje,b2columnnqmax,'magenta',eje,c2columnnqmax,'yellow',eje,a2columnapqmax,'blue',eje,b2columnapqma:
184 - set(handles.graficaqmax,'Xminorgrid','on');
185 - set(handles.graficaqmax,'Yminorgrid','on');
186 - grid on;
187 - end
188 -
189 -
190 - function gen2_Callback(hObject, eventdata, handles)
191 - matrix2=xlsread(get(handles.archivo2,'String'));
192 - save variable matrix2;
193 - columnannqn=matrix2(:,2);
194 - i=1;
195 - for n=2:9:length(columnannqn)
196 -     a2columnannqn(i)=columnannqn(n);
197 -     i=i+1;
198 - end
199 - i=1;
200 - for n=4:9:length(columnannqn)
201 -     b2columnannqn(i)=columnannqn(n);
202 -     i=i+1;
203 - end
204 - i=1;
205 - for n=6:9:length(columnannqn)
206 -     c2columnannqn(i)=columnannqn(n);
207 -     i=i+1;
208 - end
209 - columnapnqn=matrix2(:,3);
210 - i=1;
211 - for n=2:9:length(columnapnqn)
212 -     a2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
213 -     i=i+1;
214 - end
215 - i=1;
216 - for n=4:9:length(columnapnqn)
217 -     b2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
218 -     i=i+1;
219 - end
220 - i=1;
221 - for n=6:9:length(columnapnqn)
222 -     c2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
223 -     i=i+1;
224 - end
225 - columnanqmax=matrix2(:,4);
226 - i=1;
227 - for n=2:9:length(columnanqmax)
228 -     a2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
229 -     i=i+1;
230 - end
231 - i=1;
232 - for n=4:9:length(columnanqmax)
233 -     b2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
234 -     i=i+1;
235 - end
236 - i=1;
237 - for n=6:9:length(columnanqmax)
238 -     c2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
239 -     i=i+1;
240 - end
241 - columnapqmax=matrix2(:,5);
242 - i=1;
243 - for n=2:9:length(columnapqmax)
244 -     a2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
245 -     i=i+1;
246 - end
247 - i=1;
248 - for n=4:9:length(columnapqmax)
249 -     b2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
250 -     i=i+1;
251 - end
252 - i=1;
253 - for n=6:9:length(columnapqmax)
254 -     c2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
255 -     i=i+1;
256 - end
257 -
258 - if (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Max')) && (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Min')) %examina las casillas seleccionadas
259 -     eje=1:length(a2columnannqn);
260 -     plot(handles.graficanqn,eje,a2columnannqn,'cyan',eje,b2columnannqn,'magenta',eje,c2columnannqn,'yellow'); % si la casilla -NQN esta seleccionado grafic
261 -     set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
262 -     set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
263 -     grid on
264 - end
265 - if (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Max')) && (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Min'))
266 -     eje=1:length(a2columnapnqn);
267 -     plot(handles.graficanqn,eje,a2columnapnqn,'blue',eje,b2columnapnqn,'green',eje,c2columnapnqn,'red');
268 -     set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
269 -     set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
270 -     grid on
271 - end
272 - if (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Max')) && (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Max'))

```

```

273 -     eje=1:length(a2columnapnqn);
274 -     plot(handles.graficanqn,eje,a2columnapnqn,'blue',eje,b2columnapnqn,'green',eje,c2columnapnqn,'red',eje,a2columnannqn,'cyan',eje,b2columnannqn,'magenta');
275 -     set(handles.graficanqn,'Xminorgrid','on');
276 -     set(handles.graficanqn,'Yminorgrid','on');
277 -     grid on;
278 - end
279 - if (get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Max')) && (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Min'))
280 -     eje=1:length(a2columnanqmax);
281 -     plot(handles.graficanqmax,eje,a2columnanqmax,'cyan',eje,b2columnanqmax,'magenta',eje,c2columnanqmax,'yellow');
282 -     set(handles.graficanqmax,'Xminorgrid','on');
283 -     set(handles.graficanqmax,'Yminorgrid','on');
284 -     grid on;
285 - end
286 -
287 - if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) && (get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Min'))
288 -     eje=1:length(a2columnanqmax);
289 -     plot(handles.graficanqmax,eje,a2columnanqmax,'blue',eje,b2columnanqmax,'green',eje,c2columnanqmax,'red');
290 -     set(handles.graficanqmax,'Xminorgrid','on');
291 -     set(handles.graficanqmax,'Yminorgrid','on');
292 -     grid on;
293 - end
294 -
295 - if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) && (get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Max'))
296 -     eje=1:length(a2columnanqmax);
297 -     plot(handles.graficanqmax,eje,a2columnanqmax,'cyan',eje,b2columnanqmax,'magenta',eje,c2columnanqmax,'yellow',eje,a2columnanqmax,'blue',eje,b2columnanqmax);
298 -     set(handles.graficanqmax,'Xminorgrid','on');
299 -     set(handles.graficanqmax,'Yminorgrid','on');
300 -     grid on;
301 - end
302 -
303 -
304 - function gen3_Callback(hObject, eventdata, handles)
305 -     matriz3=xlsread(get(handles.archivo3,'String'));
306 -     save variable matriz3;
307 -
308 -     columnannqn=matriz3(:,2);
309 -     i=1;
310 -     for n=2:6:length(columnannqn)
311 -         a2columnannqn(i)=columnannqn(n);
312 -         i=i+1;
313 -     end
314 -     i=1;
315 -     for n=3:6:length(columnannqn)
316 -         b2columnannqn(i)=columnannqn(n);
317 -         i=i+1;
318 -     end
319 -     i=1;
320 -     for n=4:6:length(columnannqn)
321 -         c2columnannqn(i)=columnannqn(n);
322 -         i=i+1;
323 -     end
324 -     columnapnqn=matriz3(:,3);
325 -     i=1;
326 -     for n=2:6:length(columnapnqn)
327 -         a2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
328 -         i=i+1;
329 -     end
330 -     i=1;
331 -     for n=3:6:length(columnapnqn)
332 -         b2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
333 -         i=i+1;
334 -     end
335 -     i=1;
336 -     for n=3:6:length(columnapnqn)
337 -         c2columnapnqn(i)=columnapnqn(n);
338 -         i=i+1;
339 -     end
340 -     columnanqmax=matriz3(:,4);
341 -     i=1;
342 -     for n=2:6:length(columnanqmax)
343 -         a2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
344 -         i=i+1;
345 -     end
346 -     i=1;
347 -     for n=3:6:length(columnanqmax)
348 -         b2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
349 -         i=i+1;
350 -     end
351 -     i=1;
352 -     for n=4:6:length(columnanqmax)
353 -         c2columnanqmax(i)=columnanqmax(n);
354 -         i=i+1;
355 -     end
356 -     columnapqmax=matriz3(:,5);
357 -     i=1;
358 -     for n=2:6:length(columnapqmax)
359 -         a2columnapqmax(i)=columnapqmax(n);
360 -         i=i+1;
361 -     end
362 -     i=1;

```

```

363 - for n=3:6:length(columnapqmax)
364 -     b2columnapqmax(1)=columnapqmax(n);
365 -     i=i+1;
366 - end
367 - i=1;
368 - for n=4:6:length(columnapqmax)
369 -     c2columnapqmax(1)=columnapqmax(n);
370 -     i=i+1;
371 - end
372 -
373 - if (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Max')) && (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Min'))
374 -     eje=1:length(a2columnannqn);
375 -     plot(handles.graficanqn,1:length(a2columnannqn),a2columnannqn,'cyan',1:length(b2columnannqn),b2columnannqn,'magenta',1:length(c2columnannqn),c2columnannqn);
376 -     set(handles.graficanqn,'XMinorGrid','on');
377 -     set(handles.graficanqn,'YMinorGrid','on');
378 -     grid on
379 - end
380 - if (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Max')) && (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Min'))
381 -     eje=1:length(a2columnapnqn);
382 -     plot(handles.graficanqn,1:length(a2columnapnqn),a2columnapnqn,'blue',1:length(b2columnapnqn),b2columnapnqn,'green',1:length(c2columnapnqn),c2columnapnqn);
383 -     set(handles.graficanqn,'XMinorGrid','on');
384 -     set(handles.graficanqn,'YMinorGrid','on');
385 -     grid on
386 - end
387 - if (get(handles.pnqn,'value')==get(handles.pnqn,'Max')) && (get(handles.nnqn,'value')==get(handles.nnqn,'Max'))
388 -     eje=1:length(a2columnapnqn);
389 -     plot(handles.graficanqn,1:length(a2columnapnqn),a2columnapnqn,'blue',1:length(b2columnapnqn),b2columnapnqn,'green',1:length(c2columnapnqn),c2columnapnqn);
390 -     set(handles.graficanqn,'XMinorGrid','on');
391 -     set(handles.graficanqn,'YMinorGrid','on');
392 -     grid on;
393 - end
394 - if (get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Max')) && (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Min'))
395 -     eje=1:length(a2columnanqmax);
396 -     plot(handles.graficaqmax,1:length(a2columnanqmax),a2columnanqmax,'cyan',1:length(b2columnanqmax),b2columnanqmax,'magenta',1:length(c2columnanqmax),c2columnanqmax);
397 -     set(handles.graficaqmax,'XMinorGrid','on');
398 -     set(handles.graficaqmax,'YMinorGrid','on');
399 -     grid on
400 - end
401 -
402 - if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) && (get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Min'))
403 -     eje=1:length(a2columnanqmax);
404 -     plot(handles.graficaqmax,1:length(a2columnanqmax),a2columnanqmax,'blue',1:length(b2columnanqmax),b2columnanqmax,'green',1:length(c2columnanqmax),c2columnanqmax);
405 -     set(handles.graficaqmax,'XMinorGrid','on');
406 -     set(handles.graficaqmax,'YMinorGrid','on');
407 -     grid on
408 - end
409 -
410 - if (get(handles.pqmax,'value')==get(handles.pqmax,'Max')) && (get(handles.nqmax,'value')==get(handles.nqmax,'Max'))
411 -     eje=1:length(a2columnanqmax);
412 -     plot(handles.graficaqmax,1:length(a2columnanqmax),a2columnanqmax,'cyan',1:length(b2columnanqmax),b2columnanqmax,'magenta',1:length(c2columnanqmax),c2columnanqmax);
413 -     set(handles.graficaqmax,'XMinorGrid','on');
414 -     set(handles.graficaqmax,'YMinorGrid','on');
415 -     grid on;
416 - end
417 -
418 -
419 - function pqmax_Callback(hObject, eventdata, handles)
420 -
421 - function nqmax_Callback(hObject, eventdata, handles)
422 -
423 - function pnqn_Callback(hObject, eventdata, handles)
424 -
425 - function nnqn_Callback(hObject, eventdata, handles)
426 -
427 -
428 -
429 - function archivo1_Callback(hObject, eventdata, handles)
430 - function archivo1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
431 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
432 -     set(hObject,'BackgroundColor','white');
433 - end
434 -
435 - function archivo2_Callback(hObject, eventdata, handles)
436 - function archivo2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
437 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
438 -     set(hObject,'BackgroundColor','white');
439 - end
440 -
441 - function archivo3_Callback(hObject, eventdata, handles)
442 - function archivo3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
443 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
444 -     set(hObject,'BackgroundColor','white');
445 - end
446 -

```