

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA UN CENTRO DE CONTROL DEL LABORATORIO DE ALTA
TENSIÓN EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, CAMPUS KENNEDY

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.

TEMA:

“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA UN CENTRO DE CONTROL DEL
LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA, CAMPUS KENNEDY”

AUTOR:

LUIGI ANDRÉS FURLAN GARCÍA

DIRECTOR:

ING. DIEGO CARRIÓN

QUITO, ABRIL 2013

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Ing. Diego Carrión

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos de la tesis titulada: “Estudio de factibilidad para un centro de control del laboratorio de Alta Tensión en la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Kennedy”, realizado por el señor: Luigi Andrés Furlan García, previa la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Habiendo cumplido los requisitos, autorizo su presentación.

Quito, Abril del 2013

Ing. Diego Carrión

DIRECTOR

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Luigi Andrés Furlan García, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Quito, Abril del 2013

Luigi Andrés Furlan García

AUTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme grandes profesionales y excelentes personas que con su conocimiento aportaron para la realización del presente trabajo.

A mi familia por todo el esfuerzo que hicieron para darme una profesión y hacer de mí una persona de bien, gracias por los sacrificios y la paciencia que demostraron durante estos años así como el apoyo brindado para culminar el proyecto de tesis y a los profesores quienes han cooperado con sus conocimientos y experiencias para mi desarrollo como profesional.

Luigi Andrés Furlan García

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de tesis a mis padres y hermana, quienes a lo largo de toda mi vida supieron brindarme su apoyo en todo proyecto en el que participé, a las personas que siempre tuvieron una palabra de apoyo en los momentos más difíciles y que han sido incentivos para mi vida.

Luigi Andrés Furlan García

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	I
DECLARATORIA DE AUTORÍA	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XX
JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	XX
ALCANCES.....	XXI
OBJETIVO GENERAL.....	XXI
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XXI
HIPÓTESIS.....	XXII
MARCO METODOLÓGICO	XXII
ESQUEMA DE CONTENIDOS.....	XXIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XXV
RESUMEN.....	XXVI

CAPÍTULO I

CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

1.1. GENERALIDADES DE UN CENTRO DE CONTROL	1
1.1.1.-FORMAS DE CONTROL	2
1.1.2.-ESTRUCTURA DE UN CENTRO DE CONTROL.....	2
1.1.2.1.-CENTRO DE CONTROL.....	3
1.1.2.2.-COMUNICACIONES	4
1.1.2.2.1. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL.....	9
1.1.2.2.2. MODOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS.....	12
1.1.2.2.3. TIPOS DE CONFIGURACIONES DE CONEXIONES	12
1.1.2.2.4. TRANSMISIÓN EN SERIE	14
1.1.2.2.5. TIPOS DE REDES DE ACUERDO A LA DISTANCIA DE COBERTURA	15
1.1.2.2.6. TIPOS DE TOPOLOGÍAS	17
1.1.2.3. EQUIPAMIENTO CON LOS BUS DE CAMPO	21

1.1.2.3.1. AS-INTERFACE (AS-I).....	22
1.1.2.3.2. PROFIBUS	26
1.1.2.3.3. ETHERNET.....	31
1.2. INTRODUCCIÓN AL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA U.P.S.....	32
1.2.1. LABORATORIO ÁREA INTERNA	33
1.2.1.1. JAULA DE FARADAY	33
1.2.1.3. TRANSFORMADOR	34
1.2.1.2. AUTO TRANSFORMADOR.....	36
1.2.2. EXTERIOR DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	37
1.2.2.1. EQUIPO DMI 551.....	37
1.2.2.2. EQUIPO DE ALTA TENSIÓN OT 276.....	38
1.2.2.3. EQUIPAMIENTOS PRINCIPALES	39
1.3. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	40
1.3.1. RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	41
1.3.2. MALLAS DE TIERRA	42
1.3.3. ELECTRODOS	43
1.3.3.1. ELECTRODOS TIPO PICAS.....	43
1.3.3.2. ELECTRODOS TIPO PLACAS.....	44
1.3.3.3. CONDUCTORES ENTERRADOS	45
1.3.3.4. MALLAS METÁLICAS	46
1.4. NORMAS DE SEGURIDAD DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	47
1.4.1. CUIDADOS GENERALES	48
1.4.2. TRABAJO DENTRO DE LA JAULA DE FARADAY.....	48
1.4.3. CUIDADOS DE EQUIPOS.....	49

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

2.1. DATOS A MONITOREAR.....	50
2.1.1. VOLTAJE ALTERNO.....	50
2.1.1.1. VALOR PICO-PICO (VPP)	53
2.1.1.2. VALOR MEDIO (VMED)	53
2.1.1.3. VALOR EFICAZ (VRMS).....	54
2.1.2. CORRIENTE CONTINUA	54
2.1.2.1. VOLTAJE ALTERNO EN VOLTAJE CONTINUO	54

2.2. DISEÑO DEL CENTRO DE CONTROL	55
2.2.1. DISEÑO ACTUAL	55
2.2.2. SEÑALES DEL ESTUDIO	56
2.2.2.1. TENSIÓN DE IMPULSO.....	58
2.2.2.2. ONDA DE IMPULSO ATMOSFÉRICO	58
2.2.3. ESPECIFICACIONES CENTRO DE CONTROL	60
2.2.3.1. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN.....	60
2.2.3.2. SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE SEÑAL	61
2.2.3.3. ESPACIO FÍSICO.....	63
2.2.3.4. MUEBLES TIPO RAKS PARA EQUIPOS DE COMUNICACIÓN, CONTROL Y MEDIDA.....	64
2.2.3.5. SISTEMA DE CABLEADO.....	65
2.2.3.5.1. TIPOS DE CABLES.....	66
2.2.3.6. PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES	70
2.2.3.6.1. PROTOCOLO TCP/IP	71
2.2.3.6.2. TCP.....	71
2.2.3.6.3. PROTOCOLO DE DATAGRAMAS DE USUARIO (UDP)	72
2.2.3.7. EQUIPOS DE CONTROL Y MONITOREO	72
2.2.3.7.1. EQUIPO DMI 551.....	72
2.2.3.7.2. EQUIPO OT 276.....	74
2.3. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	74
2.3.1. AMPLIFICACIÓN	77
2.3.2. AISLAMIENTO	77
2.3.3. FILTRADO	77
2.3.4. DIVISORES DE TENSIÓN.	77
2.3.4.1. DIVISORES DE RESISTIVO	78
2.3.4.2. DIVISOR CAPACITIVO	79
2.3.5. TARJETA DE ADQUISICIÓN DATOS NI 6212 USB.....	80
2.3.5.1. LOS CONECTORES E/S	81
2.3.5.2. NI-PGIA... ..	82
2.3.5.3. AI FIFO..... ..	83
2.4. ESTUDIO DE EQUIPOS A IMPLEMENTAR	83
2.4.1. EQUIPO DE PROCESAMIENTO	83
2.4.2. MONITORES O PROYECTORES	84

2.4.3. TARJETAS DE ADQUISICIÓN.....	84
-------------------------------------	----

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL CENTRO DE CONTROL

3.1. DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA.....	87
3.1.1. SOFTWARE.....	87
3.1.2. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	88
3.1.3. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE SEÑALES.....	91
3.1.4. GENERACIÓN DE REPORTE.....	93
3.1.5. SISTEMA SCADA EN FUNCIÓN DE LAS PRÁCTICAS.....	104
3.1.5. 1. APLICACIONES DE DIVISORES.....	104
3.1.5. 1.1. DIVISOR DE TENSIÓN DE VOLTAJE EN AC.....	104
3.1.5. 1.2. DIVISOR DE TENSIÓN DE VOLTAJE EN DC.....	106
3.1.5.1.3. DIVISOR DE TENSIÓN DE VOLTAJE EN IMPULSO.....	110
3.1.5.2. APLICACIÓN DE LOS DIVISORES DE TENSIÓN.....	114
3.1.6. PRÁCTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO.....	116
3.1.6.1. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC 100KV.....	116
3.1.6.2. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC Y DC.....	118
3.1.6.3. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE DE IMPULSO.....	121
3.1.6.3.1. HERRAMIENTAS PARA GUARDAR LAS SEÑALES DE IMPULSO.....	125
3.1.6.3.2. PROGRAMACIÓN BASE DE DATOS PARA LA SEÑAL DE IMPULSO.....	127
3.1.6.4. PRUEBA DESTRUCTIVA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE.....	132
3.1.6.5. PRUEBAS DE AISLAMIENTOS DE UN TRANSFORMADOR DE 13.8 KV.....	134
3.1.6.5.1. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS DEVANADOS.....	135
3.1.6.6. PRUEBAS DE ACEITE DE UN TRANSFORMADOR.....	138
3.1.6.7. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DIELECTRICAS DEL AIRE.....	141
3.1.6.8. RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE A DIFERENTES PRESIONES.....	143
3.1.6.9. PRUEBA DE AISLADORES.....	145
3.1.6.10. PRUEBA DE AISLADORES EN CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN.....	147
3.1.6.11. PRUEBA DEL PARARRAYOS.....	148
3.2. DIMENSIONAMIENTO DEL CENTRO DE CONTROL.....	150
3.3. DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO DE CONEXIONES Y PROTOCOLOS.....	152
3.3.1. DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO DE CONEXIONES.....	153
3.3.1.1. PRESIÓN.....	156

3.3.1.2. MOVIMIENTO	157
3.3.1.2.1. ENCODER INCREMENTAL	158
3.3.1.2.2. ENCODER ABSOLUTO	158
3.3.1.3. TEMPERATURA.....	159
3.4. SISTEMA DE MONITOREO CON BASE DE DATOS DINÁMICA Y REPORTES WEB.	159
3.4.1. SISTEMA DE BASE DE DATOS DINÁMICA.....	160
3.4.1.1. CREACIÓN DE ARCHIVO .UDL	160
3.4.1.2. BLOQUE PARA GUARDAR LOS DATOS.....	162
3.4.2. REPORTES WEB.....	166

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRUEBAS

4.1. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.	168
4.2. ESTUDIO COSTO-BENEFICIO.	168
4.3. FACTIBILIDAD TÉCNICA.	174
4.3.1. PERSONAL.....	174
4.3.2. HARDWARE	174
4.3.3. SOFTWARE.....	175
4.4. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN.	175
4.5. VERIFICACIÓN DE DATOS.....	175
4.5.1. VOLTAJE ALTERNO O VOLTAJE AC.....	176
4.5.2. VOLTAJE CONTINUO O VOLTAJE DC.....	178
4.5.3. VOLTAJE DE IMPULSO.	181
4.6. REPORTES.	182
4.6.1. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC 100KV.....	182
4.6.2. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC. Y DC.....	182
4.6.3. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE DE IMPULSO	182
4.6.4. PRUEBA DESTRUCTIVA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE	183
4.6.5. PRUEBAS DE AISLAMIENTOS DE UN TRANSFORMADOR	183
4.6.6. PRUEBAS DE ACEITE DE UN TRANSFORMADOR.....	183
4.6.7. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DIELECTRICAS DEL AIRE	184
4.6.8. RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE A DIFERENTES PRESIONES	184
4.6.9. PRUEBA DE AISLADORES.....	184
4.6.10. PRUEBA DE AISLADORES EN CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN	185

4.6.11. PRUEBA DE PARARRAYOS.....	185
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	186
ANEXOS.....	190
REFERENCIAS.....	223

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

FIGURA 1.1. CENTRO DE CONTROL	3
FIGURA 1.2. LEY DE SNELL DE LA REFLEXIÓN	5
FIGURA 1.3. FIBRA MONOMODO	6
FIGURA 1.4. FIBRA MULTIMODO.	7
FIGURA 1.5. FIBRA MULTIMODO DE GRADIENTE GRADUAL.	8
FIGURA 1.6. FIBRA MULTIMODO DE GRADIENTE ESCALONADO.	8
FIGURA 1.7. DESCRIPCIÓN DE SEÑALES INDIVIDUALES.	10
FIGURA 1.8. ENVIÓ DE MENSAJE EN UNA SOLA DIRECCIÓN.....	13
FIGURA 1.9. ENVIÓ DE MENSAJE DE UNA DIRECCIÓN A OTRA.	13
FIGURA 1.10. ENVIÓ DE MENSAJE DE UNA DIRECCIÓN A OTRA POR EL MISMO CANAL.	14
FIGURA 1.11. ENVIÓ DE BITS POR UN CANAL.	14
FIGURA 1.22. RED ANILLO.....	18
FIGURA 1.23. RED EN ÁRBOL.....	19
FIGURA 1.24. RED EN MALLA.	19
FIGURA 1.25. RED EN BUS.	20
FIGURA 1.26. ESTRELLA.....	21
FIGURA 1.12. CONFIGURACIONES BÁSICAS DE UNA RED	22
FIGURA 1.13. CONTROL DE ACCESO AL MEDIO AS-I.	24
FIGURA 1.14. TRAMA AS-I.....	24
FIGURA 1.15. TRAMA MAESTRO AS-I.	24
FIGURA 1.16. TRAMA DE RESPUESTA DEL ESCLAVO AS-I.....	25
FIGURA 1.17. SISTEMA MULTIMAESTRO.	27
FIGURA 1.18. COMUNICACIÓN DIRECTA.	28
FIGURA 1.19. ACOPLE DE SEGMENTOS DP Y PA.	29
FIGURA 1.20. PROFIBUS CON LOS TRES PERFILES.	30
FIGURA 1.21. FORMAS DE TRAMA GIGABIT ETHERNET.	32
FIGURA 1.27. CONEXIONES INTERNAS DEL TRANSFORMADOR.....	34
FIGURA 1.28. REPRESENTACIÓN DE UN TRANSFORMADOR.....	35

FIGURA 1.29. TRASFORMADORES CON SUS DEVANADOS A) CONECTADOS DE MANERA CONVENCIONAL Y B CONECTADOS COMO AUTO TRANSFORMADOR.	36
FIGURA 1.35. EQUIPO DMI 551.....	37
FIGURA 1.36. EQUIPO OT 276.....	38
FIGURA 1.30. MALLA A TIERRA.....	42
FIGURA 1.31. ELECTRODOS EN PICAS	44
FIGURA 1.32. ELECTRODOS EN PLACA	45
FIGURA 1.33. CONDUCTORES ENTERRADOS	46
FIGURA 1.34. MALLA A TIERRA.....	47

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

FIGURA 2.1. OSCILACIÓN SINUSOIDAL.....	50
FIGURA 2.2. OSCILACIÓN SINUSOIDAL CON DESPLAZAMIENTO.....	51
FIGURA 2.3. REPRESENTACIÓN FASORIAL DE UNA OSCILACIÓN SINUSOIDAL	52
FIGURA 2.4. VALOR PICO-PICO DE LA ONDA SINUSOIDAL.....	53
FIGURA 2.5. REPRESENTACIÓN DE RECTIFICACIÓN DE MEDIA ONDA	55
FIGURA 2.6. PROTECCIONES DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	56
FIGURA 2.7. CIRCUITO PARA LA MEDICIÓN DE AC, DC Y TENSIÓN DE IMPULSO	57
FIGURA 2.8. SEÑAL ASIMÉTRICA	58
FIGURA 2.9. FORMA DE ONDA DE IMPULSO ATMOSFÉRICO	59
FIGURA 2.10. FORMA DE ONDA DE IMPULSO ATMOSFÉRICO CORTADA	59
FIGURA 2.11. VIDEOWALLS DEL CENTRO DE CONTROL DEL CENACE.....	61
FIGURA 2.12. RACKS DE COMUNICACIONES.....	64
FIGURA 2.13. TABLERO ELÉCTRICO.	65
FIGURA 2.14. CABLES COAXIALES	67
FIGURA 2.15. CABLES PAR TRENZADO.	68
FIGURA 2.16. CABLE UTP	69
FIGURA 2.17. CABLE STP.	70
FIGURA 2.18. CABLE FTP.	70
FIGURA 2.19. DIVISOR RESISTIVO.....	78
FIGURA 2.20. DIVISOR CAPACITIVO.....	79
FIGURA 2.21. NI 6212 USB	80

FIGURA 2.22. CONFIGURACIÓN CIRCUITO DE ENTRADA ANALÓGICA	81
FIGURA 2.23. TERMINALES DE NI 6212.....	85

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL CENTRO DE CONTROL

FIGURA 3.1. DIAGRAMA DE BLOQUE Y PANEL FRONTAL.....	88
FIGURA 3.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN.....	89
FIGURA 3.3. PANTALLA SELECCIÓN DE CANAL DE ADQUISICIÓN	89
FIGURA 3.4. PANTALLA DE CONFIGURACIÓN CANAL	90
FIGURA 3.5. VI DE ADQUISICIÓN DE DATOS	90
FIGURA 3.6. PALETA WAVEFROM MEASUREMENTS	91
FIGURA 3.7. EXTRACT SINGLE TONE INFORMATION	92
FIGURA 3.8. AMPLITUDE AND LEVELS	92
FIGURA 3.9. HARMONIC DISTORTION ANALYZER VI.....	92
FIGURA 3.10. PALETA DE GENERACIÓN DE REPORTE.....	93
FIGURA 3.11. NEW REPORT VI.....	93
FIGURA 3.12. SAVE REPORT TO FILE VI.....	94
FIGURA 3.13. PRINT REPORT VI.....	94
FIGURA 3.14. OPEN HTML REPORT IN BROWSER VI.....	94
FIGURA 3.15. DISPOSE REPORT VI.....	95
FIGURA 3.16. EXCEL EASY TITLE VI.....	95
FIGURA 3.17. EXCEL EASY TABLE VI.....	96
FIGURA 3.18. EXCEL RENAME WORKSHEET VI.....	96
FIGURA 3.19. EXCEL GET WORKSHEET VI.....	97
FIGURA 3.20. ARREGLO DE VARIABLES.....	97
FIGURA 3.21. CREACIÓN DE VARIABLE.....	99
FIGURA 3.22. CUADRO DE CONFIGURACIÓN DE LA VARIABLE.....	100
FIGURA 3.23. VARIABLE GLOBAL.....	101
FIGURA 3.24. WAVEFORM GRAPH DESDE OTRO SUB VI.....	101
FIGURA 3.25. COMUNICACIÓN ENTRE LA VARIABLE GLOBAL- VARIABLE LOCAL.....	101
FIGURA 3.26. APPEND FRONT PANEL IMAGE TO REPORT VI.....	102
FIGURA 3.27. BLOQUE ENCARGADO DE GUARDAR LAS SEÑALES DE AC, DC E IMPULSO	102
FIGURA 3.28. BLOQUE PARA GUARDAR LOS DATOS EN EL REPORTE.....	103

FIGURA 3.29. DIVISOR RESISTIVO PARA 150 V DEL EQUIPO DMI 551 HACIA LA DAQ.....	105
FIGURA 3.30. CIRCUITO PARA LA MEDICIÓN EN DC.....	107
FIGURA 3.31. DIVISOR RESISTIVO PARA 7.5 V DEL EQUIPO DMI 551.....	109
FIGURA 3.32. CIRCUITO PARA LA MEDICIÓN DEL IMPULSO.....	110
FIGURA 3.33. CIRCUITO PARA LA MEDICIÓN DEL IMPULSO.....	111
FIGURA 3.34. DIVISOR RESISTIVO PARA 400 V DEL EQUIPO DMI 551 HACIA LA DAQ.....	113
FIGURA 3.35. PROGRAMACIÓN PARA LOS DIVISORES DE TENSIÓN.	115
FIGURA 3.36. PROGRAMACIÓN PARA ANÁLISIS DE LA MEDICIÓN EN AC.	116
FIGURA 3.37. PROGRAMACIÓN DE LOS DIVISORES DE TENSIÓN EN AC	117
FIGURA 3.38. PROGRAMACIÓN PARA GUARDAR LOS DATOS REPORTE	118
FIGURA 3.39. PROGRAMACIÓN PARA ANÁLISIS MEDICIÓN EN AC Y DC.....	119
FIGURA 3.40. PROGRAMACIÓN DE LOS DIVISORES DE TENSIÓN EN AC Y DC	120
FIGURA 3.41. PROGRAMACIÓN PARA GUARDAR DATOS DENTRO DEL REPORTE	120
FIGURA 3.42. PROGRAMACIÓN PARA ANÁLISIS MEDICIÓN EN AC, DC E IMPULSO.....	121
FIGURA 3.43. CIRCUITO PARA LA MEDICIÓN EN IMPULSO.....	122
FIGURA 3.44. PROGRAMACIÓN DE LOS DIVISORES DE TENSIÓN DEL IMPULSO	122
FIGURA 3.45. REPRESENTACIÓN DEL ESTADO DE LAS ESFERAS DURANTE LA PRÁCTICA.	123
FIGURA 3.46. CONFIGURACIÓN DE LA ENTRADA DIGITAL PARA MEDIR POSICIÓN.	124
FIGURA 3.47. OPEN DATA STORAGE.	125
FIGURA 3.48. WRITE DATA.	126
FIGURA 3.49. WRITE DATA.	126
FIGURA 3.50. CLOSE DATA.....	126
FIGURA 3.51. VI EXPRESS SET PROPERTIES DATA.....	127
FIGURA 3.52. DATA FILE VIEWER	127
FIGURA 3.53. PUNTOS CRÍTICOS DE LA SEÑAL DE IMPULSO	128
FIGURA 3.54. MASK AND LIMIT TESTING EXPRESS.....	129
FIGURA 3.55. PROGRAMACIÓN PARA DETECTAR LOS LÍMITES DE LA SEÑAL.	129
FIGURA 3.56. LECTURA DE DATOS DE LA SEÑAL DE IMPULSO GENERADA.....	130
FIGURA 3.57. LECTURA DE DATOS DE LA SEÑAL DE IMPULSO GENERADA.....	130
FIGURA 3.58. PROGRAMACIÓN PARA GUARDAR SEÑAL DE IMPULSO.	131
FIGURA 3.59. PROGRAMACIÓN PARA GUARDAR SEÑAL DE IMPULSO.	131
FIGURA 3.60. BLOQUE DE APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE PARCHEN.	134
FIGURA 3.61. CONFIGURACIÓN PARA MEDIR AISLAMIENTO EN EL TRANSFORMADOR	136

FIGURA 3.62. TRANSFORMADO UTILIZADO EN EL LABORATORIO	137
FIGURA 3.63. PANTALLA DE CARACTERÍSTICAS PRESENTE EN EL SCADA.....	137
FIGURA 3.64. CONFIGURACIÓN PARA LA PRUEBA DEL ACEITE	138
FIGURA 3.65. EQUIPO DKU PARA LA PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE	139
FIGURA 3.66. REPRESENTACIÓN DE LA PRUEBA DEL ACEITE EN EL SISTEMA DE MONITOREO. ...	140
FIGURA 3.67. REPRESENTACIÓN DEL ESTADO DE LAS ESFERAS DURANTE LA PRÁCTICA.	141
FIGURA 3.68. DEPENDENCIA DEL ESPACIADO-PRESIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE LOS GASES CURVA DE PARCHEN.....	144
FIGURA 3.69. REPRESENTACIÓN PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE A DIFERENTES PRESIONES.	145
FIGURA 3.70. CONFIGURACIÓN PARA LA PRUEBA DE UN AISLADOR.	146
FIGURA 3.71. MENÚ DE SELECCIÓN DEL TIPO DE AISLADOR.....	147
FIGURA 3.72. PANTALLA DE CARACTERÍSTICAS PARA LA PRUEBA DE AISLADORES EN CONTAMINACIÓN.	148
FIGURA 3.73. CONFIGURACIÓN PARA LA PRUEBA DE UN AISLADOR.	149
FIGURA 3.74. REPRESENTACIÓN DE LA PRÁCTICA DE PARARRAYOS.	150
FIGURA 3.75. REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL CENTRO DE CONTROL.	152
FIGURA 3.76. PARTE POSTERIOR DEL EQUIPO DMI 551 CON LAS ENTRADAS DE BNC.	153
FIGURA 3.77. ADAPTADOR BNC EN T, HEMBRA-MACHO-HEMBRA	153
FIGURA 3.78. CONECTOR BNC HEMBRA FIJACIÓN	154
FIGURA 3.79. POSICIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN EN EL EQUIPO DKU	156
FIGURA 3.80. A) EQUIPO CONTENEDOR DE PARA ESFERAS B) CONTROLADOR DE DISTANCIAS DE ESFERA C) DISPARADOR ELECTRÓNICO PARA GENERAR IMPULSOS.	157
FIGURA 3.81. FUNCIONAMIENTO DEL ENCODER AL RECIBIR DATOS POR MOVIMIENTO	158
FIGURA 3.82. ENCODER ABSOLUTO.	159
FIGURA 3.83. HERRAMIENTAS PARA CREACIÓN DE ENLACES.	160
FIGURA 3.84. TIPOS DE VÍNCULOS DE DATOS	161
FIGURA 3.85. CARACTERÍSTICAS DE LA BASE DE DATOS EN SQL.....	162
FIGURA 3.86. HERRAMIENTAS DE SQL.....	163
FIGURA 3.87. DB TOOLS OPEN CONNECTION VI	163
FIGURA 3.88. DB TOOLS INSERT DATA VI	163
FIGURA 3.89. DB TOOLS SELECT DATA VI.....	164
FIGURA 3.90. DB TOOLS CLOSE CONNECTION VI.....	164

FIGURA 3.91. ESTRUCTURA DE ARREGLO PARA LA BASE DE DATOS.	165
FIGURA 3.92. SELECCIÓN DE LOS CASOS PARA LA BASE DE DATOS EN SQL.	165
FIGURA 3.93. ARREGLO PARA GUARDAR CON UN NOMBRE ESPECIFICO EN LA BASE DE DATOS.	166
FIGURA 3.94. APERTURA DEL BLOQUE DE COMUNICACIONES AL SERVIDOR DE E-MAIL.....	167

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRUEBAS

FIGURA 4.1. VALOR OBTENIDO DE LA MEDICIÓN DEL VOLTAJE ALTERNO.....	177
FIGURA 4.2. VALOR DE AC MOSTRADO POR EL SISTEMA DE MONITOREO.....	178
FIGURA 4.3. VALOR OBTENIDO DE LA MEDICIÓN DEL VOLTAJE CONTINUO.....	180
FIGURA 4.4. VALOR DE DC MOSTRADO POR EL SISTEMA DE MONITOREO.....	180

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

TABLA 1.1. NIVELES LÓGICOS DE VOLTAJE PARA RS 232C.	10
TABLA 1.2. VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN DE RS-422A.....	11
TABLA 1.3. RESUMEN DE NIVELES DE TENSIÓN.	11
TABLA 1.4. TIPOS DE SUELOS SEGÚN LA NORMA IEEE STD 142-1991	41

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

TABLA 2.1. REPRESENTACIÓN CONEXIÓN DE TIERRAS DE LOS EQUIPOS.	82
TABLA 2.2. DATOS TÉCNICOS NI 6912 USB.	86

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL CENTRO DE CONTROL

TABLA 3.1. CÁLCULOS DE LOS VOLTAJES EN AC UTILIZADOS EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	104
TABLA 3.2. CÁLCULOS DEL VOLTAJE EN AC PRESENTE EN EL EQUIPO DMI 551 DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	106
TABLA 3.3. CÁLCULOS DE LOS VOLTAJES EN DC UTILIZADOS EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	108
TABLA 3.4. CÁLCULOS DE LOS VOLTAJES EN DC PARA EL EQUIPO DE MEDICIÓN DMI 551 DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.	109
TABLA 3.5. CÁLCULOS DE LOS VOLTAJES DEL IMPULSO DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	111
TABLA 3.6. CÁLCULO DE LOS VOLTAJES DEL IMPULSO PARA EL EQUIPO DMI 551	112
TABLA 3.7. CÁLCULO DE LOS VOLTAJES DE IMPULSO PARA LA TARJETA DE ADQUISICIÓN.	114
TABLA 3.8. CHISPAS MÍNIMA PARA DIFERENTES GASES.	133
TABLA 3.9. RIGIDEZ DIELECTRICA EN DISTINTOS TIPOS DE ACEITE	140
TABLA 3.10. CORRECCIÓN DE DENSIDAD DEL AIRE	143
TABLA 3.11. CARACTERÍSTICAS DE LA VELOCIDAD DE UN CABLE COAXIAL.....	154

TABLA 3.12. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL CABLE COAXIAL.....	155
---	-----

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRUEBAS

TABLA 4.1. COSTO DE CONEXIÓN ENTRE TARJERA DE ADQUISICIÓN Y EL DMI 551.....	169
TABLA 4.2. COSTO DE SENSORES Y CABLES PARA TARJERA DE ADQUISICIÓN.....	169
TABLA 4.3. COSTO DE EQUIPO DE VISUALIZACIÓN CENTRO DE CONTROL.....	170
TABLA 4.4. COSTO DE LAS HORAS PROFESIONALES.	171
TABLA 4.5. COSTO DE EQUIPOS DE ADQUISICIÓN.....	171
TABLA 4.6. COSTO DE GASTOS ADMINISTRATIVOS.	172
TABLA 4.7. COSTOS GENERALES DEL PROYECTO.....	173
TABLA 4.8. INDICADORES ECONÓMICOS.....	173
TABLA 4.9. VALORES DE VOLTAJE ALTERNO DENTRO DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	176
TABLA 4.10. RANGOS DE VOLTAJES	177
TABLA 4.11. VALORES DE VOLTAJE CONTINUO DENTRO DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	179
TABLA 4.12. RANGOS DE VOLTAJES.....	180

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS.....	190
ANEXO 1_CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DMI 551	191
ANEXO 2_CUIDADOS PERSONALES	193
ANEXO 3_PLANO LABORATORIO ALTA TENSION	197
ANEXO 4_NORMA 60815	202
ANEXO 5_IEEE STD 4-1995 STANDARD TECHNIQUES FOR HIGH-VOLTAGE TESTING	205
ANEXO 6_REPORTES	209
GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC 100KV.	210
GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC Y DC.....	211
GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE DE IMPULSO	212
PRUEBA DESTRUCTIVA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE	213
PRUEBAS DE AISLAMIENTOS DE UN TRANSFORMADOR.....	214
PRUEBAS DE ACEITE DE UN TRANSFORMADOR	215
DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DIELECTRICAS DEL AIRE ...	216
RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE A DIFERENTES PRESIONES	217
PRUEBA DE AISLADORES	218
PRUEBA DE AISLADORES EN CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN.....	220
PRUEBA DE PARARRAYOS	221

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Kennedy, no cuenta con un sistema SCADA que monitoree y controle las diferentes señales producidas en los ensayos del laboratorio de Alta Tensión; consecuentemente no brinda las facilidades de estudio, ya que solo muestra los valores variantes en el tiempo, producidos por los eventos eléctricos y no permite ver valores estáticos producidos por cada práctica realizada.

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Con el estudio de factibilidad de un centro de control del laboratorio de Alta Tensión se determinarán los equipos necesarios para la adquisición de las señales producidas durante cada evento eléctrico realizados en los diferentes ensayos en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Kennedy. Las metas y resultados se verán reflejados en la optimización y aprendizaje cooperativo de los estudiantes de Alta Tensión y protecciones.

ALCANCES

- Realizar un estudio técnico de los requerimientos para un centro de control.
- Realizar el estudio económico para el centro de control.
- Se diseñará un sistema de simulación para el centro de control.
- Los datos obtenidos se almacenarán en una base de datos dinámicos.
- Se generarán reportes WEB.

OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio de factibilidad para un centro de control y monitoreo del Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Kennedy.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de los equipos requeridos para el control y monitoreo de las señales.
- Conocer los diferentes tipos de equipos y los parámetros eléctricos que se puede estudiar en el laboratorio de Alta Tensión.
- Realizar una base de datos y generación de reportes Web.
- Hacer un sistema de simulación del centro de control.

HIPÓTESIS

Con el estudio de factibilidad de un centro de control para el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy, se mejorará el estudio de los diferentes parámetros eléctricos producidos en el laboratorio, y con estos se dispondrá de la información necesaria para la elección de los equipos del laboratorio.

MARCO METODOLÓGICO

El trabajo descrito anteriormente se realizará dentro del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Kennedy; es por eso que el método que se utilizará es el método inductivo, el cual dará resultados visibles a la hipótesis que se ha planteado, y para ello se realizará una investigación de los dispositivos compatibles para el laboratorio existente, teniendo en cuenta las características técnicas que éstos deben tener. Y con el método experimental el cual nos permitirá contrastar con lo anterior.

ESQUEMA DE CONTENIDOS.

CAPÍTULO I

TÍTULO: CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

- 1.1. Generalidades del Centro de Control.
- 1.2. Laboratorio de Alta Tensión de la U.P.S.
- 1.4. Sistemas de puesta a tierra.
- 1.3. Normas de Seguridad del laboratorio de Alta Tensión.

CAPÍTULO II

TÍTULO: ESTUDIO DE CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

- 2.1. Datos a monitorear.
- 2.2. Diseño del centro de Control.
- 2.3. Adquisición de datos.
- 2.4. Estudio de equipos a implementar.

CAPÍTULO III

TÍTULO: DISEÑO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL CENTRO DE CONTROL

- 3.1. Diseño de un sistema SCADA.
- 3.2. Dimensionamiento del centro de control.
- 3.3. Dimensionamiento eléctrico de conexiones y protocolos.
- 3.4. Sistema de monitoreo con base de Datos Dinámica y Reportes Web.

CAPÍTULO IV

TÍTULO: ANÁLISIS Y PRUEBAS.

- 4.1. Verificación de hipótesis.
- 4.2. Estudio Costo-Beneficio.
- 4.3. Factibilidad Técnica.
- 4.4. Factibilidad Implementación.
- 4.5. Verificación de datos.
- 4.6. Reportes.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

SCADA.- Supervisory Control And Data Acquisition - Control de Supervisión y adquisición de datos.

PLC.- Controlador Lógico Programable - Controlador lógico programable.

DTE. - Data Terminal Equipment.

DCE.- Data Communications Equipment

ASi.-Actuador /sensor Interface.

SubVI.- Instrumento Virtual secundario del software LabVIEW.

DAQ.- Adquisición de datos.

AC.- Corriente Alterna.

DC.- Corriente Continua.

FDDI.-Fiber Distributed Data Interface - Interfaz de Datos Distribuido por Fibra.

DLP.- Digital Light Processing- Procesado digital de luz.

TFT.- Thin Film Transistor - Transistor de Películas Finas

Fasor.- Es la representación gráfica de un número complejo que se utiliza para representar una oscilación, de forma que este pueda representar la magnitud y fase de la oscilación.

RESUMEN

En el presente estudio se explicará cuáles son los beneficios que se pueden tener al implementar un centro de control dentro del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Kennedy. Ya que en el laboratorio actual se realizan pruebas a equipos de Alta Tensión como: transformadores, pararrayos y aisladores, además también se pueden demostrar algunas características básicas de la Alta Tensión como lo son las señales de impulso, características de aire, pruebas bajo diferentes presiones y obtener los valores de niveles de tensión en AC, DC e impulso.

Al tener un centro de control en el mencionado laboratorio se obtendrá un mejor conocimiento de las pruebas que se realizan, ya que el monitoreo permitirá obtener las gráficas correspondientes a cada práctica y mostrar los valores obtenidos por medio de reportes basados en normas de los equipos a los que se les aplica las pruebas.

Un centro de control debe tener la posibilidad de ampliarse de acuerdo a las necesidades de del proceso, por lo que el diseño que se efectuó para el centro de control brindará y podrá ampliarse a futuro, ya que el sistema SCADA tiene la posibilidad de expansión si el laboratorio de Alta Tensión así lo requiere.

En el estudio se definirán los parámetros de un centro de control en función de los tipos de control, comunicaciones, tipos de estructuras y condiciones dentro de un laboratorio de Alta Tensión. Llegando a establecer las características de un centro de control eléctrico y los parámetros básicos en los que se debe basar el control y monitoreo. Además de analizar los parámetros básicos que un sistema SCADA debe tener, en función de los parámetros de estudios propuestos dentro de cada una de las prácticas y sus respectivas normas eléctricas. Con dicho estudio se pretende dar una alternativa para la optimización de tiempo, recursos y conocimientos adquiridos dentro de un laboratorio de Alta Tensión en función del ámbito técnico, económico y de los equipos presentes en el laboratorio.

CAPÍTULO I

CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

1.1. GENERALIDADES DE UN CENTRO DE CONTROL

El requerimiento de controlar y monitorear los procesos físicamente en lugares de alto riesgo hacen de los centros de control una buena opción de disponer de un sistema, en el cual se pueda manipular variables de los procesos eléctricos producidos durante la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, teniendo como base parámetros básicos de estudio dentro de cada evento eléctrico producido. [1]

Al tener un centro de control donde se pueda dar una lectura confiable y en tiempo real de todos los procesos se crea seguridad del sistema, además si en este se pueden aplicar acciones de control sobre los eventos de falla o de maniobra para la ejecución de un proceso ordenado y sistemático, se obtiene la confiabilidad de que el sistema actúe de una forma ordenada y no se produzcan fallas durante en el proceso.

En la actualidad la confiabilidad de estos sistemas se fundamenta en el tiempo de muestreo y velocidad de respuesta, ya que de estas depende la estabilidad del proceso, y definen la precisión.

Los centros de control eléctrico se encuentran sujetos a los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), los cuales permiten realizar un control y monitoreo de cualquier sistema local o remoto más eficientemente. El sistema SCADA se basa principalmente en una interface gráfica que comunica al operador con el sistema, facilitando la manipulación en tiempo real, y proporcionando la información del proceso a diversos usuarios por medio de los protocolos aplicados, en los cuales se pueden distribuir para operadores, supervisores de control de calidad, supervisión mantenimiento, etc. El sistema SCADA tiene como base cinco componentes principales los cuales son: una computadora maestra, una terminal remota, periféricos de comunicación, software de aplicación, actuadores y transductores. Todos estos componentes ayudan a que se cumpla con requerimientos del proceso y control de este. [2]

1.1.1.-FORMAS DE CONTROL

El control y monitoreo por computador con los sistemas SCADA facilitan el seguimiento del estado proceso a través de los sistemas informáticos, ya que estos procesan una gran cantidad de información, para que los resultados del proceso se vean desplegados en el sistema de monitoreo, ayudando al operador a tener una buena operación del sistema.

El procesamiento de datos de un centro de control tendrán como fundamentos dos tipos de señales, las cuales serán analógica y digital; la primera necesita un procesamiento de datos para su muestreo final, tomando en cuenta las condiciones de trabajo a las que son sometidas dichas señales; ya que en estas se podría perder o incorporar señales indeseadas, las mismas que afecten a la señal de control o de monitoreo; y la señal digital que es la más utilizada en los tiempos actuales, ya que procesa los valores de una mejor manera y permite el envío en una forma ordenada. En este tipo de señales también se puede perder cierta información por señales ajenas al proceso las cuales se mezclan dentro de la señal a monitorear o controlar; pero esto puede ser corregido por filtros los cuales pueden actuar antes de entregar o disponer de la señal.

En el control asistido por computador se puede:

- Tener mayor precisión de los procesos con la obtención de datos más confiables.
- Mayor seguridad al tener inconvenientes para corregir errores dentro del proceso.
- En el sistema digital es poco probable que existan interferencias, ya que este solo admite valores lógicos de 0 ó 1.
- Brinda una información detallada del control y monitoreo, en forma simultánea y en tiempo real.

1.1.2.-ESTRUCTURA DE UN CENTRO DE CONTROL

Dentro de la estructura para un centro de control se pueden distinguir tres etapas principales las cuales permiten de una manera sencilla determinar los elementos que conforman un centro de control y monitoreo, estos son:

- Centro de Control
- Comunicaciones
- Equipamiento de Campo (Actuadores y Sensores)

1.1.2.1.-CENTRO DE CONTROL

Cada una de las estaciones remotas se comunica permanentemente con un servidor central el cual envía toda la información generada por el sistema y la computadora principal al (Servidor) controlando permanentemente al sistema. Además el servidor también contiene una base de datos con todos los eventos producidos a lo largo del tiempo, permitiendo el acceso a los datos por los usuarios como se muestra en la figura 1.1.

A partir de los datos obtenidos por las estaciones remotas, se pueden generar informes de operación de protecciones y eventos eléctricos detallados, los cuales permiten gestionar el sistema para hacer correcciones, y analizar el comportamiento de un evento eléctrico. [2]

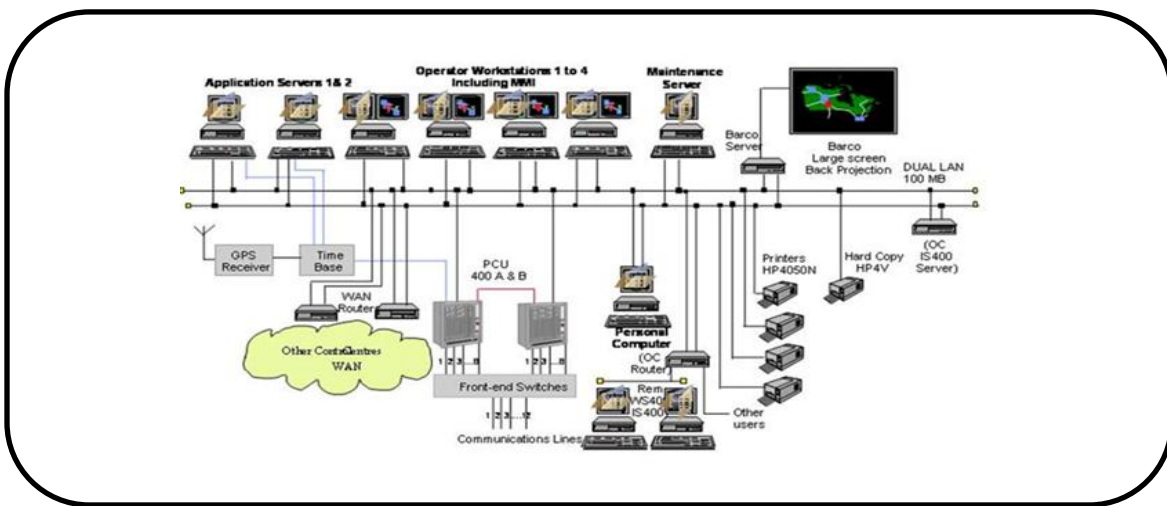


Figura 1.1. Centro de Control ¹

Este sistema de control y monitoreo será un medio de gestión y manipulación de los dispositivos eléctricos, que se encontrarán dentro de una sala de control, en la que se dispone de una consola de operación, la cual ayuda al operador a mostrar todo los datos del

¹ SSS Group, 2011, *Sistemas de Visualización y Adquisición de Datos (SCADA)*, <http://sss.com.do/wp-content/uploads/2011/10/control_center.jpg> [consulta: 28 de enero 2013]

proceso, y poder controlar este. En el centro de control deben existir pantallas las cuales permitan visualizar de manera ordenada todos los datos a monitorear.

Dentro de ella, existen servidores los cuales brindan el acceso a los datos recolectados y procesados por el sistema SCADA, por lo que los servidores deben de contar con los permisos de acceso a la información, los mismos que facilitan de gran manera la obtención de la información ya que se puede acceder a esta, en cualquier momento y disponer de los datos recolectados a voluntad para los casos de estudio. En el centro de control las comunicaciones juegan un papel importante, ya que se encarga de transmitir por protocolos, los cuales envían la información de los sensores y actuadores, como una cadena por los buses de campo hasta llegar a los controladores lógicos y al servidor, en el cual se almacenan los datos.[3]

1.1.2.2.-COMUNICACIONES

En los centros de control las comunicaciones toman un papel importante ya que se basan en los sistemas de arquitectura de procesamiento de datos estructurados y dependientes de modelos de sistemas de control distributivo, todas estas tienen que tener estructuras dependientes de sistemas de comunicaciones para que cada uno de estos funcione de manera ordenada. Para conseguir el intercambio de la información, entre dispositivos de medición y actuación, se necesita de un medio de transporte de energía eléctrica.

A. CABLE ELÉCTRICO

Este es un hilo metálico aislado, el cual ofrece poca resistencia al paso de la electricidad y se los puede encontrar dos grandes tipos como: [4]

- Par.
- Coaxial.

Y, de acuerdo a las aplicaciones en el diseño del cable de par, se pueden diferenciar:

- Par Simple Paralelo: Utilizado para las transmisiones eléctricas.

- Par apantallado: Este es protegido por una malla metálica interna, sin que exista señales ajenas al sistema, con esto se consigue una buena transmisión de las señales, analógicas y digitales.
- Par Trenzado: Sirve para la transmisión de audio y datos.
- Par coaxial: Es un conductor con una malla, que a veces hace de masa y de protección contra interferencias eléctricas, es utilizado principalmente para las señales de radio, video y datos.

B. FIBRA ÓPTICA

Este es un medio de transmisión en redes de datos, ya que es un hilo de material transparente, vidrio o materiales plásticos, en el cual se envían pulsos de luz que simbolizan los datos a transmitir, luego estos son convertidos a señales eléctricas, para su manipulación. El haz de luz se propaga por el interior de la fibra con ángulos de reflexión, este se basa en el principio de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser del tipo láser o un LED. [4]

“La ley de Snell dice los ángulos de incidencia (α_1) y de refracción (α_1) están relacionados mediante esta ley.”² La ley se muestra en la ecuación (1.1) y en la figura 1.2 [5]

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}; n_1 * \sin(\theta_2) = n_2 * \sin\theta_1 \quad (1.1)$$

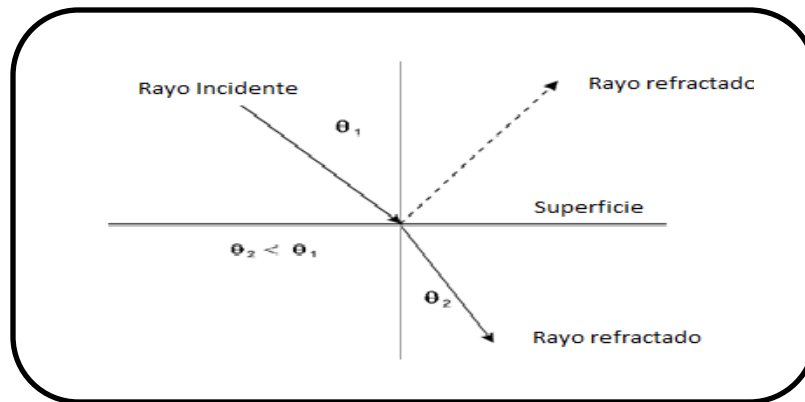


Figura 1.2. Ley de Snell de la Refracción³

² J. D. Peña, “Comunicaciones en el entorno industrial” Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, pp. 46.

³ Figura propia del autor.

Dónde:

n_1 y n_2 : Son los índices de refracción de los materiales.

Θ_1 : El ángulo de la onda incidente.

Θ_2 : El ángulo de la onda refractada.

Para este tipo de comunicación existen dos tipos de fibras como las Fibras Multimodo y Fibras Monomodo.

La Fibra Monomodo, tiene una gran capacidad de transporte de información, con una banda de 100 GHz/km, por lo que se obtiene mayores flujos de información, pero también es la más compleja al momento de implementar. El haz de luz que viaja por la fibra, tiene un eje directo de reflexión sobre la fibra y un modo de propagación único. Las fibras poseen el diámetro del núcleo de igual dimensión que la amplitud de onda de las señales ópticas que transmiten. Existe una menor dispersión de luz a lo largo de la señal, es utilizada en la transmisión de datos a larga distancia de varios de miles de metros, la fuente de luz principal es un láser y su ventaja en las fibras monomodo es su tamaño, pero incluye un manejo delicado e involucran dificultades en la conexión.

El uso de laser de alta intensidad hace posible que esta fibra pueda transmitir de datos y enviar grandes tasas de información hasta alcanzar decenas de Gb/s.

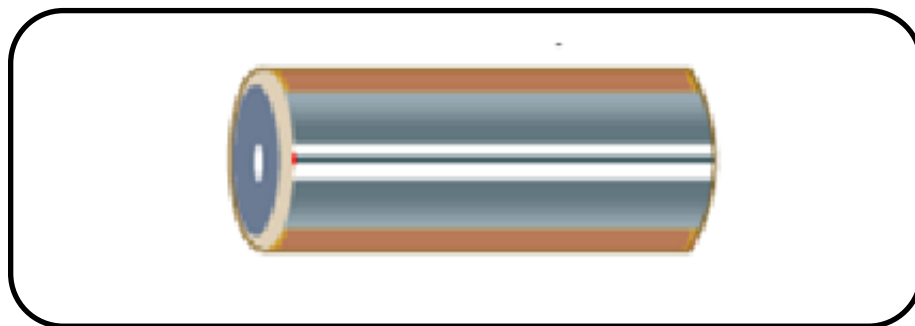


Figura 1.3. Fibra Monomodo⁴

⁴ *Figura propia del autor.*

En una fibra multimodo, los haces de luz pasan por más de un camino, como se muestra en la figura 1.4, ya que la información de cada dato es enviado en frecuencias distintas. En una fibra multimodo se puede conseguir más de mil formas de propagación del haz de luz. Se la utiliza principalmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km y como máxima es de 2 km; para la transferencia de datos se utilizan diodos tipo láser de baja intensidad. Esta posee un índice de refracción superior y es mucho más fácil de conectar. [6][7][8]

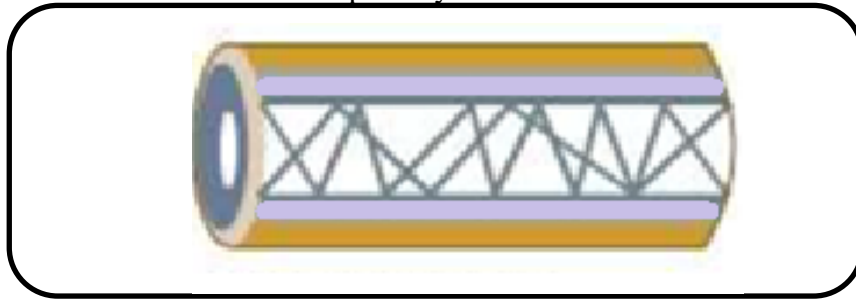


Figura 1.4. Fibra Multimodo.⁵

Dentro de la fibra multimodo de índice de gradiente gradual, existen tamaños de diámetro del núcleo / diámetro de la cubierta normalizado, pero también se pueden encontrar otros tipos como lo son:

- Multimodo de índice escalonado
- Multimodo de índice de gradiente gradual

A. Fibra multimodo de índice gradiente gradual

El índice de refracción en el interior del núcleo no es único y disminuye cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los haces de los rayos de luz se encuentra orientados hacia el eje de la fibra como se describe en la figura 1.5., por lo que se reduce la propagación entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra. [6][7][8]

*“Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500 MHz por kilómetro.”*⁶

⁵ Figura propia del autor.

⁶ J. D. Cabezas Pozo, "Sistemas de Telefonía", Ediciones Paraninfo, S.A., 2006, p. 168.

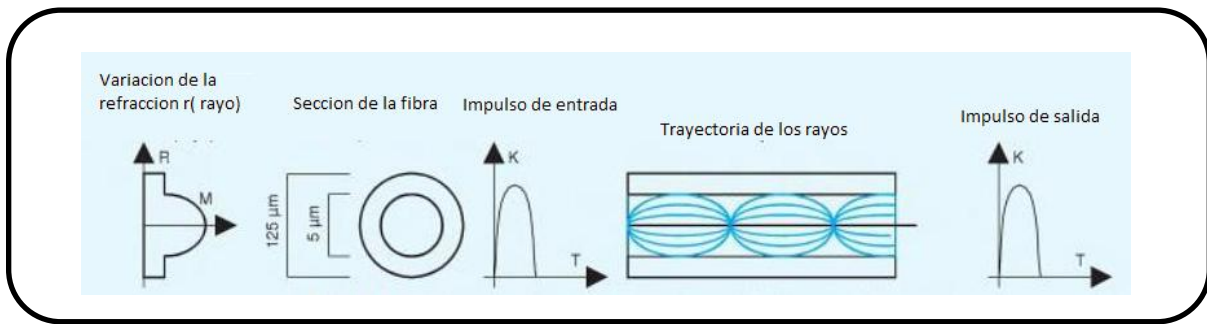


Figura 1.5. Fibra multimodo de gradiente gradual. ⁷

B. Fibra multimodo de índice escalonado

Este tipo de fibra tiene como material el vidrio y el plástico. El núcleo es de un material similar, el índice de refracción es superior a la que la rodea, dentro de la figura 1.6 se puede observar el la propagación del haz de luz.[8]

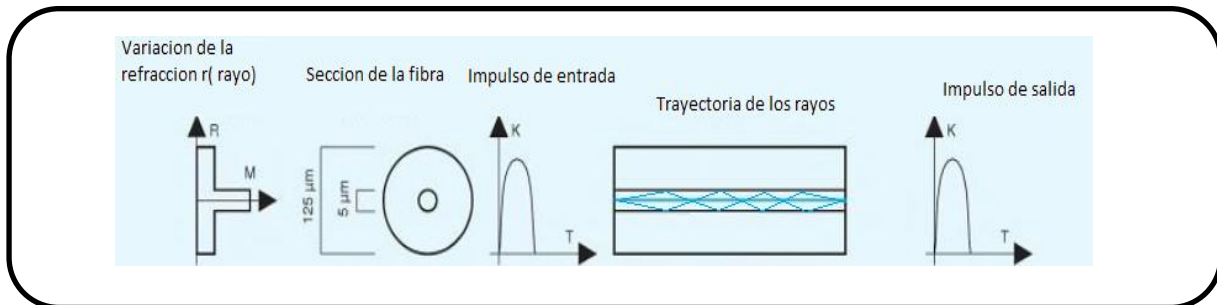


Figura 1.6. Fibra multimodo de gradiente escalonado. ⁸

La fibra multimodo, puede llegar a tener más de mil formas de propagación de luz, por lo que se las puede clasificar por su ancho de banda como: [9]

- OM1: Fibra de 62.5/125 μm , soporta hasta Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), se utilizan diodos tipo LED como emisores
- OM2: Fibra de 50/125 μm , soporta hasta Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), se utilizan diodos tipo LED como emisores
- OM3: Fibra de 50/125 μm , soporta hasta 10 Gigabit Ethernet (300 m), se utilizan diodos láser (VCSEL) como emisores.

⁷ J. D. Cabezas Pozo, "Sistemas de Telefonía", Ediciones Paraninfo, S.A., 2006, p. 168. (modificada por el autor)

⁸ Ídem. (modificada por el autor)

- OM4: Fibra de 50 µm con mayor ancho de banda para Ethernet, FibreChannel y OIF, esta puede alcanzar una distancia mayor a los 550 metros a 10 Gb/s para conexiones de área local dentro de grandes edificios y campus de media distancia, se usan diodos tipo laser.

1.1.2.2.1. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL

Son elementos como cables y adaptadores, que se utiliza para transmitir una señal de un lugar a otro. La señal puede ser transmitida de forma eléctrica, óptica o de radiofrecuencia de acuerdo a las necesidades del sistema, además dependerá del tipo de protocolo y bus de campo a utilizar, para ello; existen diferentes niveles de tensión estandarizados para cada una de estos protocolos. [10]

Dentro de los niveles de tensión se pueden encontrar del tipo analógico o digital teniendo como base los siguientes:

A. RS 232C (V24)

En 1980 la industria de las PC encontró el estándar RS-232-C más barato. El RS-232-C se estableció como un nuevo estándar para conectarse con las computadoras, impresoras, terminales y otros dispositivos, para realizar varios tipos de comunicación y otras PC. Por lo que este estándar soporta velocidades de transmisión hasta 20 Kbps y con distancias hasta 16 metros, con una transmisión sincrónica y asincrónica. [11][12]

*"En 1960 esta técnica fue adoptada por la IEA (En Electronics Industries Association) y la recomendación 232, versión C, fue publicada en 1969, denominándose RS-232C."*⁹

Ya que cada fabricante utilizaba una interfaz diferente para comunicarse este era un DTE (Data Terminal Equipment) y un DCE (Data Communications Equipment). Ya que los elementos eléctricos como: cables, conectores y niveles de voltaje eran diferentes al momento de realizar las conexiones, la conexión entre equipos de diferentes fabricantes se realizaba con el uso de convertidores de niveles de voltaje, la fabricación de los cables y

⁹ J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, p. 258.

conectores exclusivos eran de acuerdo a cada equipo. En la tabla 1.1 se muestran los niveles lógicos aplicados dentro de la interfaz RS-232C. [11][12]

Tabla 1.1. Niveles lógicos de voltaje para RS 232C.

Señales de datos	0	1
Emisor (necesario)	de 5 a 15 Voltios	de -5 a -15 Voltios
Receptor (esperado)	de 3 a 25 Voltios	de -3 a -25 Voltios
Señales de control	OFF	ON
Emisor (necesario)	de -5 a -15 Voltios	de 5 a 15 Voltios
Receptor (esperado)	de -3 a -25 Voltios	de 3 a 25 Voltios

B. RS.422A

A esta interface, se la conoce como un tipo de interface para circuitos eléctricos balanceados diferenciales, ya que usan voltajes diferenciales balanceados, estas señales son mostradas en la figura 1.7; y admite transmitir varios Mbps a más de 1000 m. Esta se lo realiza por medio de un transmisor diferencial, el cual emite señales gemelas de igual voltaje y con polaridad opuesta por cada bit 1 ó bit 0, y el receptor es sensible sólo a la diferencia entre las dos señales, por lo que el ruido que se filtra en los hilos no afectará la acción del receptor. [13][14][15]

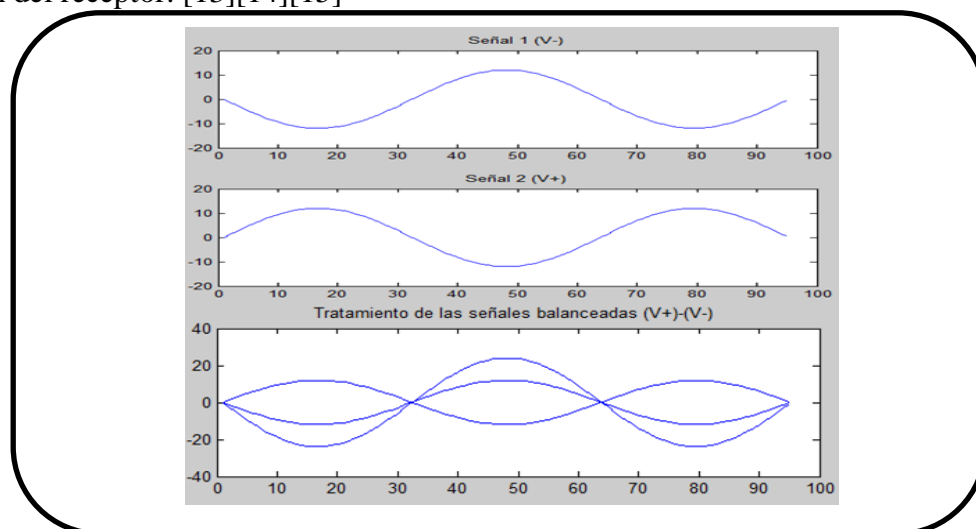


Figura 1.7. Descripción de Señales Individuales.¹⁰

¹⁰ *Figura propia del autor.*

Dentro de la tabla 1.2 se muestran las velocidades y longitudes admitidas por esta interface RS-422A.

Tabla 1.2. Velocidades de transmisión de RS-422A.

TIPO DE SEÑAL	longitud(M)	Velocidad Max de Transmisión
RS-422A/V.11(terminada)	10	1 Mbps
	100	100 Kbps
	1000	10 Kbps
RS-422A/V.11(No terminada)	10	10 Mbps
	100	1 Mbps
	1000	100 Kbps

C. RS-485

Es un bus de transferencia, el cual maneja velocidades de 35 Mbps con distancias de 10 m y 19,2 Kbps en 1.200 metros. El medio físico de transmisión es un par entrelazado de un solo hilo, con una distancia máxima de la comunicación half-duplex (semiduplex). Soporta 32 transmisiones y 32 receptores. La transmisión es del tipo diferencial, permite múltiples conexiones dando la posibilidad de una configuración multipunto. [16][17]

Para cada uno de los protocolos existen diferentes tipos de voltajes por lo se tiene un resumen de cada una de estas interfaces dentro de la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Resumen de niveles de tensión.¹¹

Tipos	Señal	Elementos	Distancia(m)	Velocidad (Kbits/s)
RS232	Asimétrica	1	15	20
RS422	Simétrica	10	1200	10000
RS485	Simétrica	32	50	10000

¹¹ J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, p 260.

1.1.2.2. MODOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Esta se da por dos formas, una por señal analógica y otra por señal digital, como se describe a continuación:

A. TRANSMISIÓN ANALÓGICA

Se caracteriza por el intercambio continuo de la señal, esta se encuentra entre los valores de 4 y 20 mA. En una señal analógica, la información es limitada, por lo que el valor de la corriente y la falta de la misma pueden ser determinantes para errores en la señal.

B. TRANSMISIÓN DIGITAL

Su principio es una comunicación de bits de forma discreta, la cual es decodificada antes de ser enviada por el canal de comunicación, en esta se la reconoce por los valores lógicos 0 y 1. Llegando a una transferencia de información por un canal entra dos o más equipos, se la puede describir con las siguientes características

- La dirección de puertos o direcciones, específicas ya sean por canales analógicos o digitales.
- Por el número de bits enviados simultáneamente y su codificación.
- La sincronización entre el transmisor y el receptor es fundamental para la transmisión de datos
- Niveles de tensión y velocidades de transmisión

1.1.2.2.3. TIPOS DE CONFIGURACIONES DE CONEXIONES

Existen 3 modos de transmisión diferentes caracterizados de acuerdo a la dirección de los intercambios:[18][19]

A. CONEXIÓN SIMPLEX

En esta los datos se envían por una sola dirección, desde el transmisor hasta el receptor como se muestra en la figura 1.8. Este tipo de conexión es útil, ya que solo se envían la

información sin que esta sea interrumpida por la repuesta del receptor, y no existan errores en las acciones.

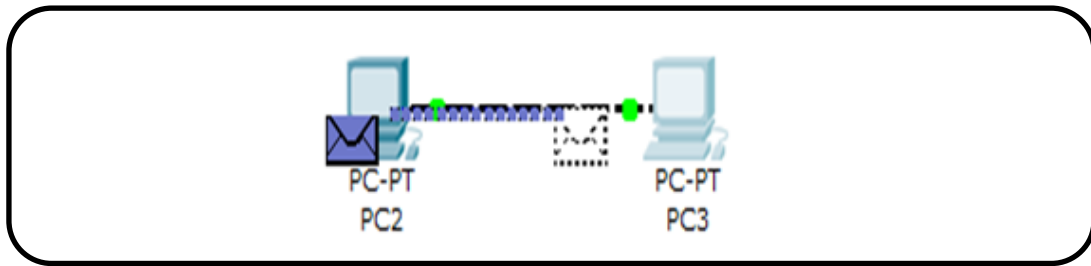


Figura 1.8. Envío de mensaje en una sola dirección.¹²

B. CONEXIÓN SEMIDÚPLEX (HALF DUPLEX)

Los datos se envían de una u otra dirección, pero no las dos al mismo tiempo como se muestra en la figura 1.9. Ya que cada extremo de la conexión transmite uno después del otro, esperando la señal del último para poder comenzar a enviar datos. Este tipo de conexión hace posible tener una comunicación bidireccional, utilizando toda la capacidad de la línea. Pero con retraso en la información.

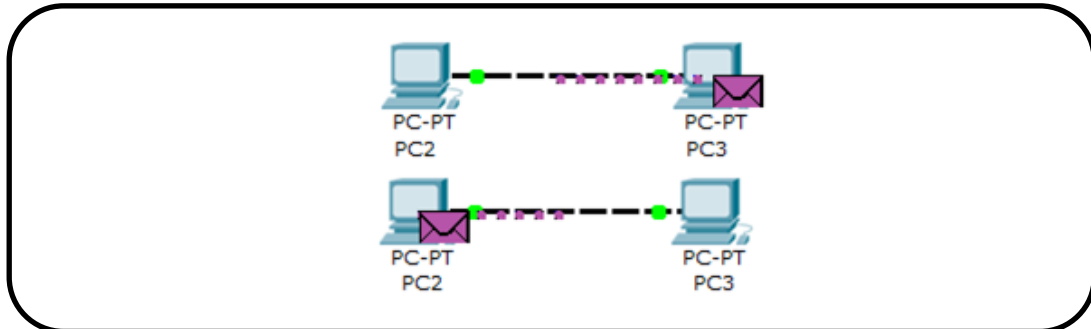


Figura 1.9. Envío de mensaje de una dirección a otra.¹³

C. CONEXIÓN FULL DÚPLEX

En esta los datos se envían paralelamente en ambas direcciones y cada extremo de la conexión puede transmitir y recibir al mismo tiempo a diferentes frecuencias de transmisión como se muestra en la figura 1.10; ya que el ancho de banda se divide en dos para cada dirección de la transmisión de datos.

¹² Figura propia del autor.

¹³ Ídem.

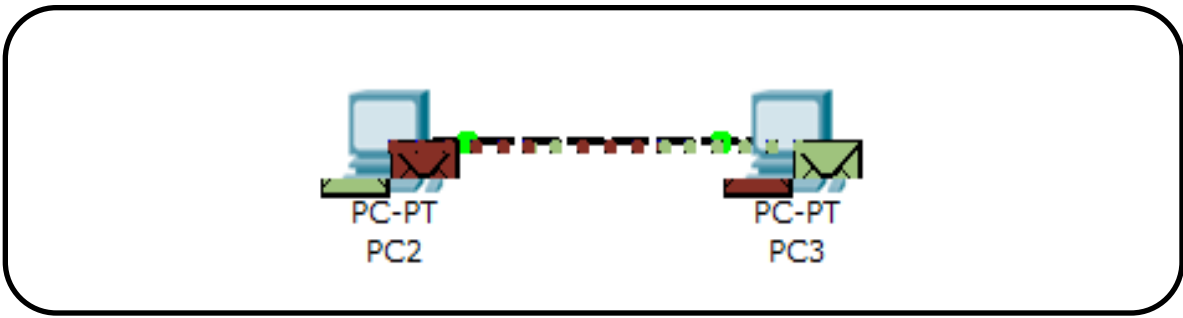


Figura 1.10. Envío de mensaje de una dirección a otra por el mismo canal.¹⁴

1.1.2.2.4. TRANSMISIÓN EN SERIE

Esta se basa, en la cantidad de información en bits que se pueden enviar simultáneamente por los canales de comunicación. Los procesadores actuales, procesan una gran cantidad de bytes por segundos. [20][21]

Los datos se transmiten de a un byte por vez, y por un solo canal; llega a ser lenta ante la transmisión paralela, ya que solo envía un byte a la vez, pero eficiente ya que su costo es menor, porque el byte se envía por un solo cable, como se muestra en la figura 1.11 y puede manejar mayores distancias sin que exista caídas de tensión.

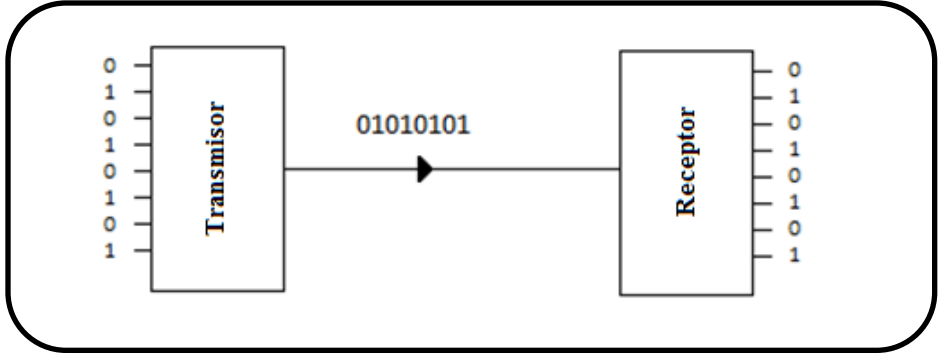


Figura 1.11. Envío de bits por un canal.¹⁵

Para la comunicación sincrónica y asincrónica se la realiza por un solo canal, teniendo como principio a la sincronización que debe existir entre el emisor y el receptor; ya que estos pueden tener la misma señal de sincronización o diferentes. Existen dos tipos de transmisiones que son:

¹⁴ *Figura propia del autor.*
¹⁵ *Ídem.*

A. TRANSMISIÓN ASINCRÓNICA

Esta se basa en una cadena de bits que se envía en intervalos de tiempos diferentes, ya que estos no se encuentran sincronizados, por esa razón cada transmisión es precedida por un bit o cadena que indica el inicio de la transmisión, y para terminar la transmisión se tiene un bit o cadena al final de la transmisión, este se denomina bit de “Finalización”, pero además pueden haber varios “bits de Finalización”.

B. TRANSMISIÓN SINCRÓNICA

El transmisor y el receptor están sincronizados con el mismo reloj. El receptor recibe con la misma velocidad que el transmisor, ya que los bits son enviados sucesivamente. En esta cadena de bits debe contar con la información necesaria para sincronizar los relojes del emisor y receptor dentro de la trama que se envíe, además soporta velocidades de transmisión entre los 1200 baudios.

1.1.2.2.5. TIPOS DE REDES DE ACUERDO A LA DISTANCIA DE COBERTURA

Existen diferentes tipos de redes las cuales se clasifican de acuerdo a la distancia de cobertura, en las que podemos tener las siguientes: [34] [36]

A. LAN (Local Area Network)

La Red de Área Local, es la que conecta con varios dispositivos en una red local definida por la distancia de propagación de la señal, las LAN, utilizan las tecnologías Ethernet, Token Ring, FDDI para conectividad, básicamente este se consigue por tres medios de comunicación los cuales son:

- Coaxial hasta 500 metros.
- Par trenzado hasta 90 metros.
- Fibra óptica decenas de metros.

B. CAN (Campus Area Network)

La red de área de Campus son pequeñas redes LANs dispersas geográficamente dentro de un sitio, cada una de estas pertenece a una sola red, equivalente a la configuración árbol. Esta utiliza tecnologías como FDDI y Gigabit Ethernet para conectividad a través de medios de comunicación tales como fibra óptica y tecnología inalámbricas.

C. MAN (Metropolitan Area Network)

La Red de Área Metropolitana es la unión de LANs o CANs extendidas a lo largo de una ciudad. Este tipo de red utiliza tecnologías tales como ATM, Frame Relay, etc. pero principalmente se encuentra conectadas a una red principal y formando una estructura del tipo árbol.

D. WAN (Wide Area Network)

La Red de Área Local es la unión de LANs dispersadas geográficamente a cientos de kilómetros una de otra. Permitiendo conectar a redes de compañías de comunicaciones entre países, basándose en los medios de comunicación como: fibra óptica, microondas, celular y satélite.

E. WLAN Y WPAN

Estas son las primeras del tipo wireless Local Area Network, están definidas por la distancia de propagación y de la tecnología empleada.[36]

- Las WLAN usan tecnologías como IEEE 802.11a, b, g, n, HiperLAN2, HomeRF, etc. para conectividad, a través, de espectro disperso con rangos de 2.4 GHz y 5 GHz
- Las WPANs Wireless Personal Area Network, se las puede diferenciar por el rango de cobertura que tienen desde los 30 metros hasta los 100 metros en condiciones óptimas en interiores. Dentro de este tipo de tecnologías, se pueden encontrar las IEEE 802.15, Bluetooth, para la conectividad.

1.1.2.2.6. TIPOS DE TOPOLOGÍAS

La topología se define como la disposición de los diferentes equipos alrededor del medio de transmisión de datos, cada una de estas se caracteriza de acuerdo a su forma de transmitir frente a las fallas o problemas de comunicación que estas tenga con respecto a la comunicación dentro de la red. [37][38]

A. REDES CENTRALIZADA

Todos los equipos se encuentran conectados a un equipo central que es capaz de controlar el sistema y controlar a los demás, brindándoles las opciones de manipular o solo monitorear un proceso. Este equipo debe de contar con una buena infraestructura ya que de este dependerá toda la red, si este colapsa la red deja de funcionar. [38]

B. REDES DISTRIBUIDAS

En estas redes los equipos pueden compartir los datos, distribuir el procesamiento de datos y respaldarlos, ya que en este no existe un equipo principal, si una falla no afecta al sistema. [38]

Las configuraciones básicas que se pueden encontrar son las siguientes:

- Anillo
- Árbol
- Bus
- Estrella
- Red

Dentro de la clasificación de las redes, se pueden encontrar tipos de topologías o distribuciones que tiene los equipos como lo son: las computadoras y equipos de comunicación que se encuentran dentro de un espacio físico en la red. [39]

A. RED EN ANILLO

Esta se basa principalmente, en que las estaciones se encuentran conectadas en forma de un anillo como se muestra en la figura 1.22. Cada estación está acoplada a la siguiente y la

última se conecta a la primera cerrando el anillo. El modo de enviar información se basa en permisos de cada una de las estaciones, ya que los datos enviados o consultas deben pasar bajo permisos o autorizaciones de cada una de las estaciones, la señal no se disminuye ya que cada una de las estaciones equivale a una repetidora. [38] [39]

Si alguna estación deja de funcionar la red deja de funcionar, el gran problema es la de añadir equipos nuevos, ya que si esta se le añaden estaciones, la red deja de operar.

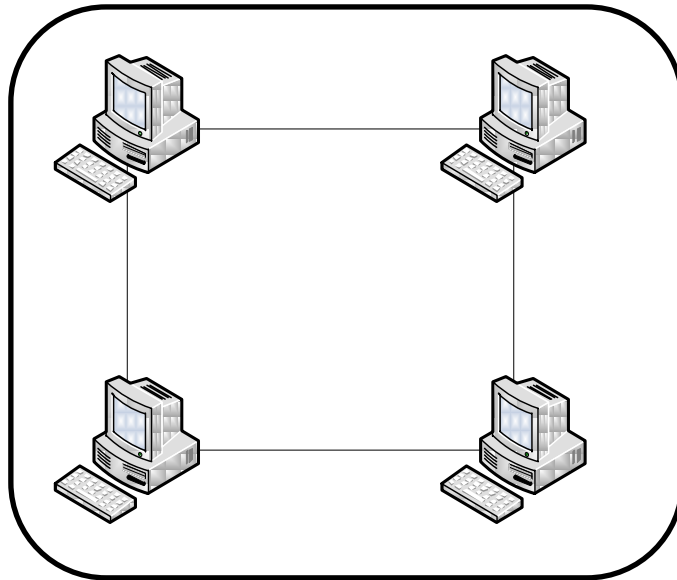


Figura 1.22. Red anillo¹⁶

B. RED EN ÁRBOL

Las estaciones están en forma de árbol, esta puede ser la mezcla de topologías como red, bus y estrella como se muestra en la figura 1.23, esta se compone de estaciones esclavos y uno principal o solo principales. Si fallase alguno de los esclavos la red no se verá afectada, ya que se comparte el mismo canal para cada estación. [38]

¹⁶ *Figura propia del autor.*

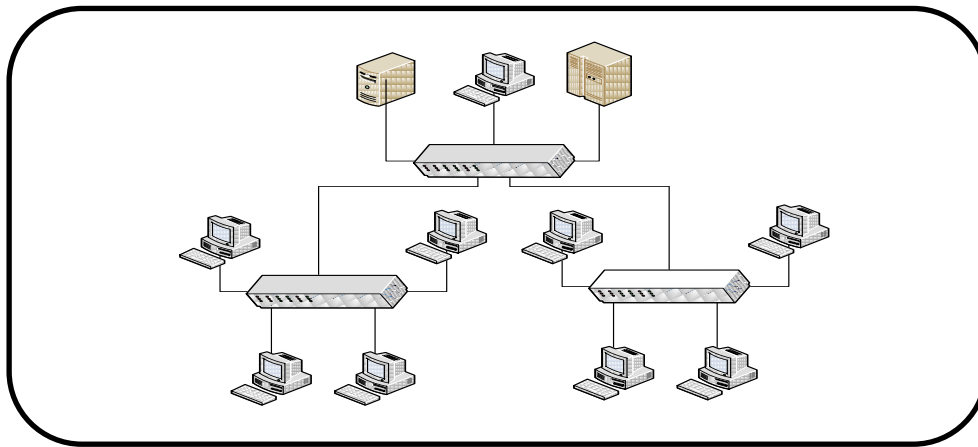


Figura 1.23. Red en árbol.¹⁷

C. RED EN MALLA

Permite la conexión entre dos o más estaciones de la red, por lo que resulta mucho más fácil la interconexión de la información, esta se demuestra en la figura 1.24, pero tiene una ventaja, ya que al caerse la comunicación con cierta estación, esta puede encontrar otro camino para comunicarse, es una de las más costosas, ya que requiere de infraestructura de comunicación. [38] [39]

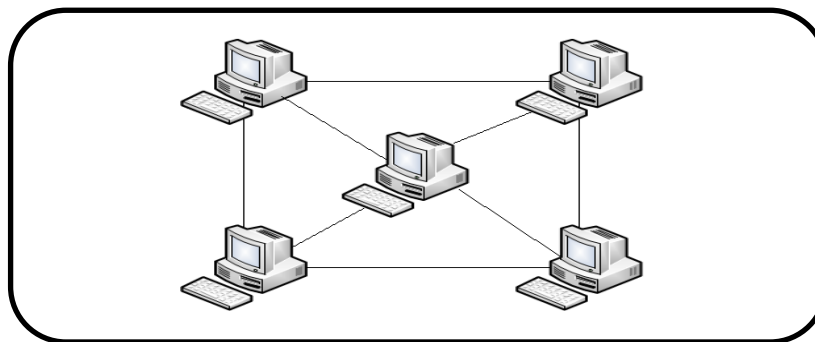


Figura 1.24. Red en malla.¹⁸

D. RED EN BUS

No requiere de grandes cantidades de cable para su implementación, ya que esta con unidades derribadoras. Posee una gran velocidad de trasmisión de datos, las comunicaciones entre los equipos no requieren de sincronización, la salida de uno, no afecta al sistema.

¹⁷ *Figura propia del autor.*

¹⁸ *Ídem.*

"El modo de la transmisión es aleatorio, un equipo transmite cuando lo necesite. Si hay transmisiones simultáneas (colisiones), unos algoritmos especiales solventan el problema".¹⁹

La gran desventaja de esta topología es que todas las estaciones se encuentran conectadas a un solo bus y estas pueden tener problemas de seguridad, ya que todos los dispositivos de la red pueden ver todas las señales de todos los demás dispositivos, pero a su vez favorable, ya que todos los equipos pueden tener los mismos datos, en estas redes se tiene problemas de sobrecarga de la red, haciéndola lenta frente a las otras, es utilizada en redes comunes como: LAN, hub o switch a esta se la puede representar en la figura 1.25. [38] [39]

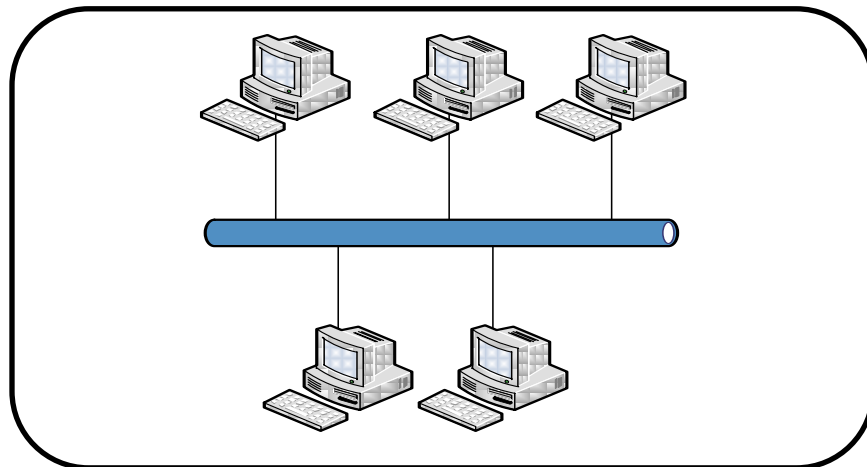


Figura 1.25. Red en bus. ²⁰

E. RED EN ESTRELLA

Las estaciones están conectadas directamente al servidor u ordenador y todas las comunicaciones se las realizan en un punto en común, como se muestra en la figura 1.26. Todas las estaciones están conectadas por separado a un centro de comunicaciones o nodo central, pero no están conectadas entre sí. Ya que el hub o concentrador se encarga de gestionar la distribución de la información a los demás puntos de la red. La ventaja de este tipo de red es que si alguno de los equipos fallan la red no se ve afectada. Su lugar más débil de este tipo de red es el hub o concentrador, ya que es el que soporta la red. [38] [39]

¹⁹ A. Rodríguez Penín, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A., 2ª ed., 1ª imp. (2007).p 267.

²⁰ Figura propia del autor.

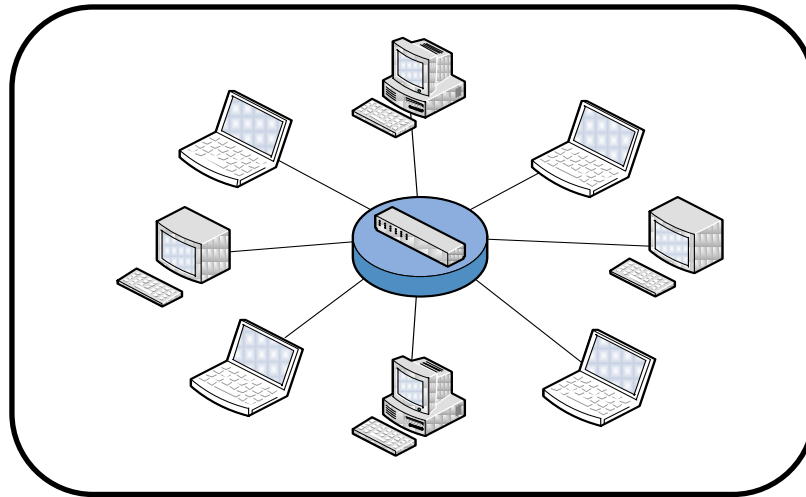


Figura 1.26. Estrella.²¹

1.1.2.3. EQUIPAMIENTO CON LOS BUS DE CAMPO

Es un sistema de transmisión de información primordial, en el cual se delimitará las posibles soluciones o casos de transmisión sobre una red de comunicaciones, ya que cada una cuenta con características que favorecerán a la conexión de los dispositivos de campo con actuadores y sensores, cada uno puede reflejar de una manera ordenada lo que ocurre dentro de un sistema, toda la información obtenida se concentrara en el controlador principal para el control y monitoreo del PLC, PC, etc.; a fin, de que los datos sean transferidos a un servidor principal para su almacenamiento. Cada dispositivo, puede llegar a conectarse con otros e intercambiar información en caso de que estos lo requieran para mejorar el proceso. [22]

Los protocolos de comunicaciones más comunes son:

- AS-i Control Discreto
- Profibus Control Discreto y Control de Procesos
- Ethernet Control Discreto y Control de Procesos

²¹ *Figura propia del autor.*

1.1.2.3.1. AS-INTERFACE (AS-I)

Fue creado en 1990 y es un Bus de Sensores y Actuadores, basándose en un estándar internacional IEC 62026-2 y europeo EN 50295 en sus primeras versiones para el uso dentro de campo.[25]

"El bus ASi (Actuador /sensor Interface) es una red de campo pensada para conectar sensores y actuadores, de tipo (on/off) sin armario de distribución, caja borneras y por debajo de los niveles de los buses de campo clásicos".²²

La idea original fue inicialmente por Siemens como una opción económica del cableado tradicional, esta puede darse como una estructura en tipo bus, estrella, árbol o en anillos como se muestra en la figura 1.12. El diseño de este evita errores de la polaridad al conectar nuevos esclavos a la red. [23]

La incorporación o eliminación de elementos sobre la red, no requiere la modificación del cable. Árbol

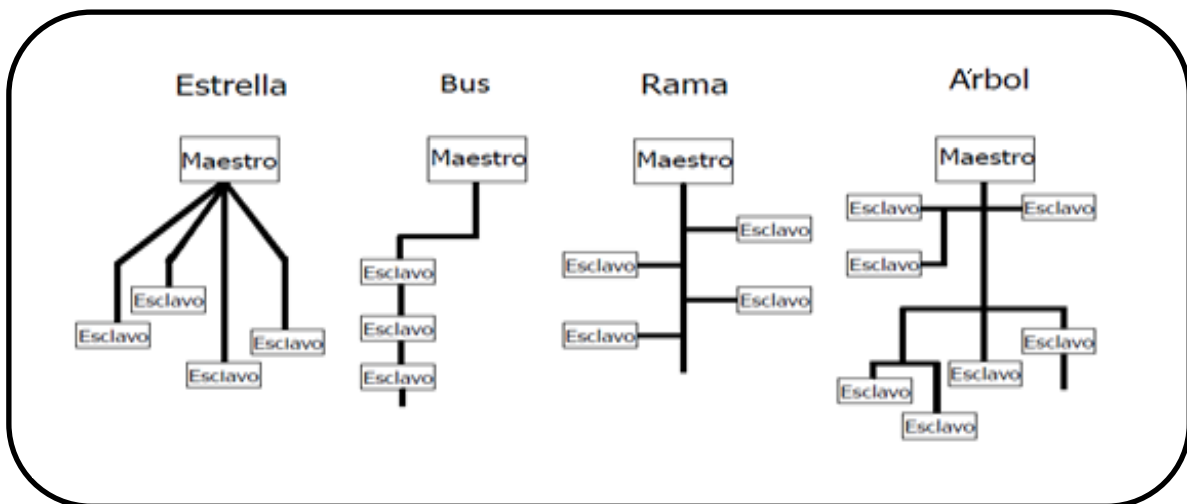


Figura 1.12. Configuraciones básicas de una red ²³

²² J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, p. 155.

²³ A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA". 2ª edición. Marcombo, S.A., 1ª imp. (2007). p. 323.

A. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

El bus AS-i está presente en los sensores y actuadores con el PLC O PC situados en los niveles de control junto a los procesos, o estaciones de la red AS-Interface con otras redes de nivel superior.[23][24][25]

Se fundamenta principalmente en la conexión de sensores y actuadores binarios, ya que esta transmisión permite el ahorro de cableado induciendo la transmisión de datos y alimentación, ya que solo requiere de dos cables este bus.

Entre las características principales de este bus tenemos las siguientes:

- El cable específico para AS-i es de color Amarillo, es auto regenerante y está diseñado para evitar su incorrecta polarización.
- Tiene una gran flexibilidad de topologías, que facilita el cableado de la instalación.
- Es un sistema mono maestro y un protocolo de comunicación con los esclavos muy sencillo de implementar.
- Ciclo del bus rápido con un máximo de tiempo de ciclo 5 ms con direccionamiento estándar y 10 ms con direccionamiento extendido.
- Hasta 124 sensores y 124 actuadores binarios con direccionamiento cerrado.
- Hasta 248 sensores y 186 actuadores binarios con direccionamiento abierto.
- Longitud máxima del cable de hasta 100 m uniendo todos los tramos, o hasta 300 m con repetidores.

La principal característica de este protocolo es manejar en su mayoría salidas y entradas digitales, en ciertos casos maneja las señales analógicas; pero contiene una forma específica para la comunicación con el maestro de acuerdo a lo que este le pida en la comunicación. La comunicación es de maestro a esclavos, como se muestra en la siguiente figura 1.13.

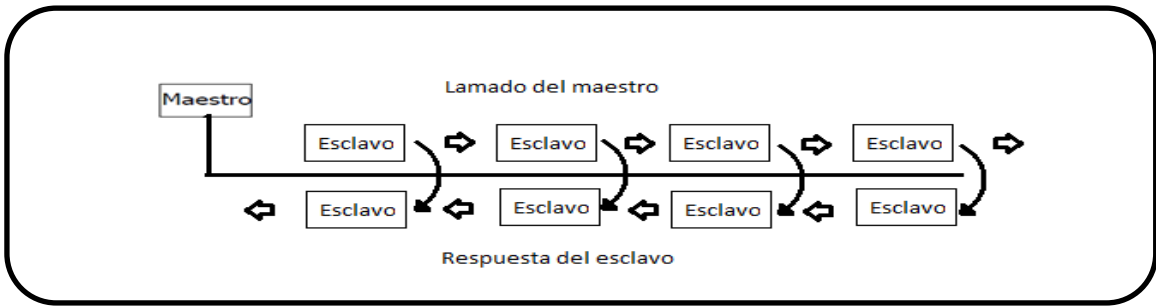


Figura 1.13. Control de acceso al medio AS-i.²⁴

“La comunicación se basa, en la llamada que envía el maestro pidiendo información y el número de esclavo respondiendo la llamada del maestro.”²⁵

El tipo de estructura se muestra en la figura 1.14

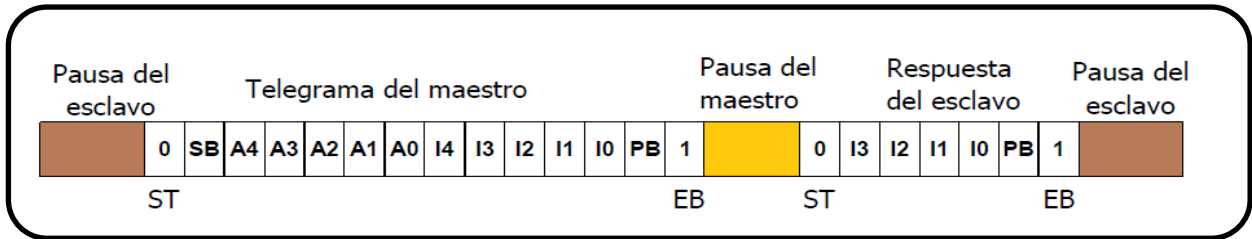


Figura 1.14. Trama AS-i²⁶

Siendo para el caso del maestro, se lo representa en la figura 1.15.

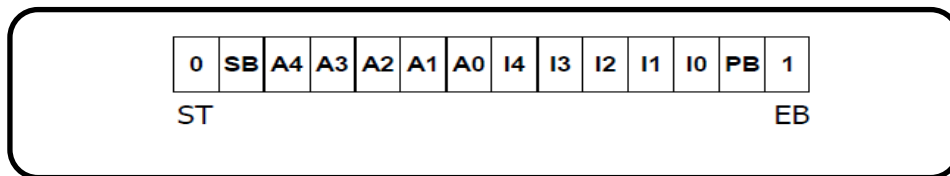


Figura 1.15. Trama maestro AS-i.²⁷

ST Bit de comienzo, siempre en 0

²⁴ J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, p. 163.

²⁵ D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp 259-260.

²⁶ D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp 259-260.

²⁷ Ídem.

SB	Bit de control
	0 Petición de datos / parámetros /dirección
	1 Llamada a comandos (Función M1)
A4...A0	Dirección de los esclavos solicitados
I4	Bits de información
	0 Petición de datos
	1 petición de parámetros
I3...I0	Bits de datos netos (4 bits)
PB	Bit de paridad
EB	Bit de Finalización, siempre en 1

Para la trama del esclavo, se lo puede representar en la figura 1.16.

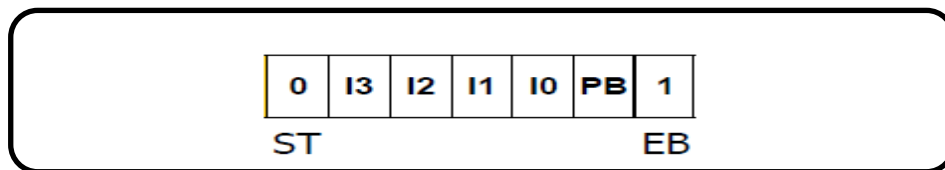


Figura 1.16. Trama de respuesta del esclavo AS-i.²⁸

ST	Bit de comienzo, siempre en 0
I3...I0	bits de datos netos del esclavo
PB	bit de paridad
EB	Bit de finalización, siempre en 1

²⁸ D. Bailey, E. Wright, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp 259-260.

1.1.2.3.2. PROFIBUS

Es un estándar de comunicaciones, diseñado para el uso industrial. Donde su definición se basa en las palabras PROcess Field BUS, cuyo significado es: bus de campo para un proceso.

"Es una arquitectura de comunicaciones desarrollada en el año de 1987 por las firmas alemanas Bosch Klockner Moller Siemens (posteriormente se suman ABB, AEG la organización técnica estatal VDE y otras)."²⁹

Dentro de este tipo de protocolo, tenemos que el Profibus tiene tres versiones o variantes:
[26] [27]

- Profibus-DP
- Profibus-PA
- Profibus-FMS

A. PROFIBUS-DP

También conocida como Periferia Distribuida. Está se encuentra diseñada para la transmisión en alta velocidad entre dispositivos maestro / maestro y maestro / esclavos dentro de una red industrial. Con un intercambio de datos cíclicos. Ya que se basa principalmente en la transferencia de grandes cantidades de datos. Basado para la comunicación entre los sistemas de control de automatismos y las entradas / salidas distribuidas en procesos. Dentro de esta existen tres versiones las cuales son: [26] [27]

La Periferia Distribuida Versión 0 proporciona las funciones básicas de un protocolo de comunicaciones; incluyendo transferencia cíclica de datos, análisis de las estaciones, módulos y canales, y soporte de interrupciones frente a fallas.

²⁹ J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, pp. 136.

“El tiempo de bus es de unos 10 milisegundos (10 estaciones con 128 bytes de e/s 10240 señales E/S a 12 Mbit/s tiene un tiempo de ciclo de bus de 2 milisegundos), La velocidad va desde 9600 a 12 Mbits sobre cobre o fibra óptica y puede llegar a 12 Km de distancia.”³⁰

Esta versión tiene la ventaja de detectar las posibles averías dentro del proceso, que se pueden presentar en la estación principal, además saber acerca de fallos al estado general de la estación, el diagnóstico de módulos, canales de comunicación o fallos en entradas y salidas.

La Periferia Distribuida Versión 1 adiciona la comunicación de datos, y es orientada a la transferencia de medidas de operación y visualización con una modalidad en el acceso remoto a estaciones ajenas al controlador principal, teniendo base las opciones de programación o diagnóstico de este, se lo describe en la figura 1.17.

"Aparece en 1997, englobado en las características de Profibus DP. Versión 0 y añadiendo presentaciones encaminadas a la automatización de procesos, como la comunicación a cíclica (parametrización, visualización y control de dispositivos inteligentes)".³¹

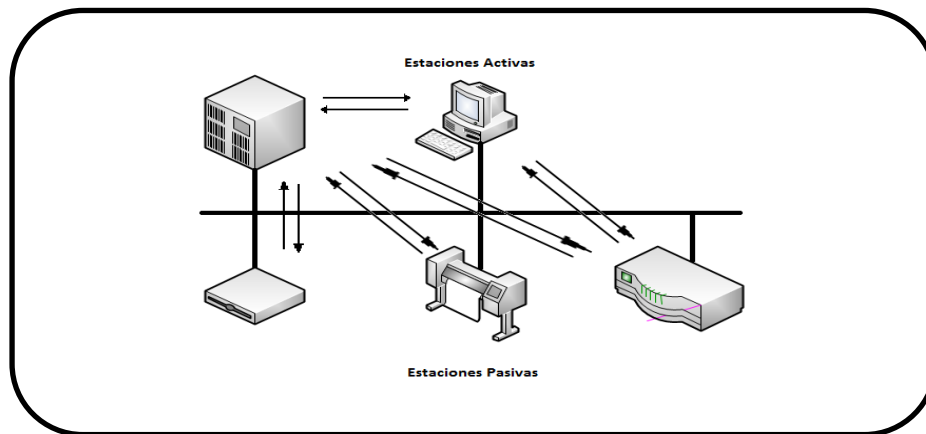


Figura 1.17. Sistema multimaestro. ³²

³⁰ J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, p 328.

³¹ A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA". 2ª edición. Marcombo, S.A., 1ª imp. (2007). p 329.

³² Ídem. p. 330. (modificada por el autor)

La Periferia Distribuida Versión 2, se debía enviar primero al maestro, para luego ser enviada al esclavo y procesarla para que continúe el otro esclavo, la comunicación se la realiza también, con los esclavos permitiendo mejorar la calidad del proceso como se muestra en la figura 1.18. [26][27]

*"Aparece en el 2002, complementa los niveles anteriores mediante nuevas posibilidades de control de motores y sistemas de seguridad (comunicaciones esclavo-esclavo, modo isócrono y gestión de reloj)."*³³

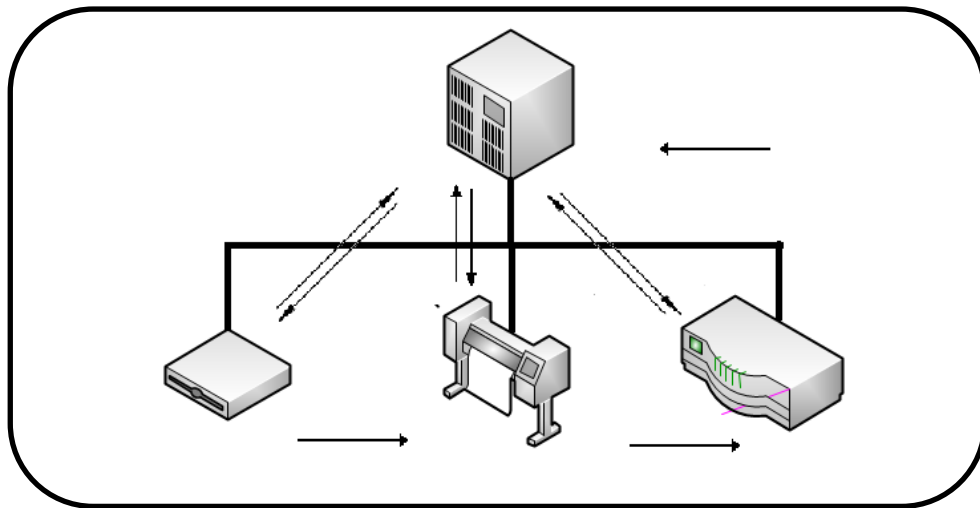


Figura 1.18. Comunicación directa.³⁴

Con el modo isócrono, se permite el control del sincronismo para los relojes del maestro y esclavo, permitiendo una mayor comunicación en los procesos, y la gestión de reloj brinda a todos los esclavos una sincronización de las señales para la sincronización del sistema y un mejor control de los eventos.

B. PROFIBUS-PA (Automatización de Procesos)

Es conocida como la automatización de procesos, es un desarrollo de Profibus-DP con una tecnología capaz de trabajar en ambientes peligrosos y con riesgo de explosión.

³³ A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA". 2ª edición. Marcombo, S.A., 1ª imp. (2007). p 330.

³⁴ Ídem. p. 331. (modificada por el autor.)

Permite la conexión de sensores y actuadores en un bus común en zonas protegidas como se muestra en la figura 1.19. Para una mayor confiabilidad de este bus, se da la comunicación de datos y energía mediante 2 conductores. [27][28]

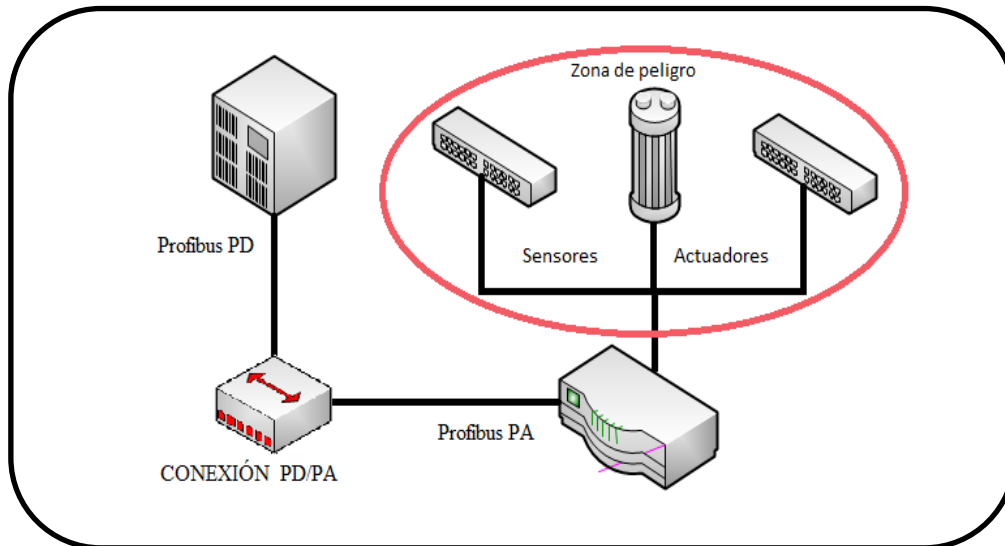


Figura 1.19. Acople de segmentos DP y PA. ³⁵

C. Profibus-FMS (Mensajes Específicos de Campo)

El protocolo de comunicaciones se encuentra diseñado para comunicaciones de propósito general, supervisión y configuración, como se puede apreciar en la figura 1.20. Además de la transmisión de grandes cantidades de datos de programas y bloques de datos. [29]

*“Diseñado para un gran número de aplicaciones y comunicaciones entre los PC’s y PLC’s para una comunicación entre sí. Con un tiempo de ciclo menor de 100 ms, también permite acceder a dispositivos de campo en zonas con riesgo de explosión (perfil PA intrínsecamente seguro) mediante el correspondiente acoplador FMS/PA Link.”*³⁶

Este tipo de protocolo puede reunir a las diferentes versiones del Profibus.

³⁵ J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, p. 139 (modificada por el autor.)

³⁶ J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, p. 139.

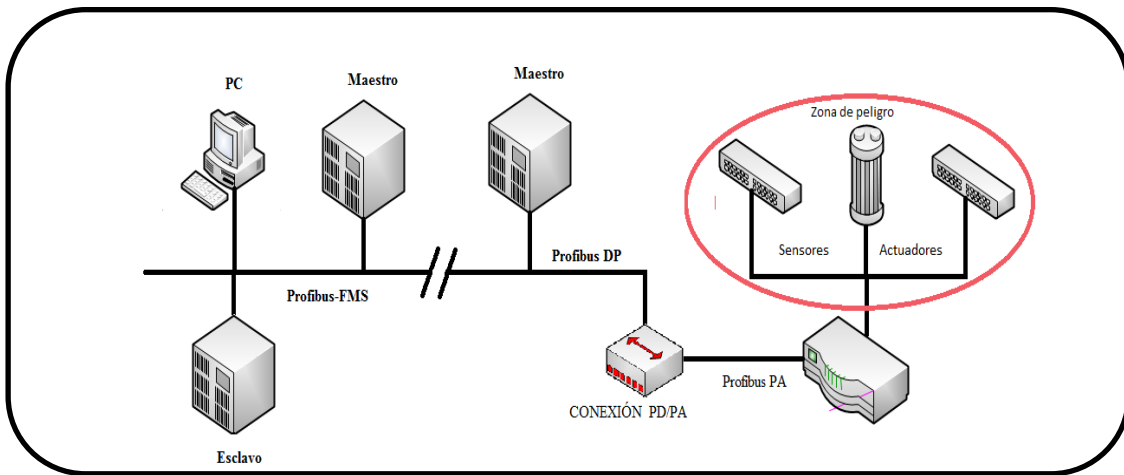


Figura 1.20. Profibus con los tres perfiles. ³⁷

Las conexiones que Profibus son de cinco diferentes tipos de tecnologías de transmisión, que son identificadas como:

- RS-485. Utiliza un par de cobre trenzado apantallado, y permite velocidades entre 9.6 kbps y 12 Mbps con 32 estaciones, o más si se utilizan repetidores.
- MBP y MBP IS. Utiliza una transmisión sincrónica con una velocidad fija de 31.25 Kbps.
- RS-485 IS. Las versiones IS son básicamente seguras, utilizadas en zonas de alto riesgo.
- Fibra óptica del tipo multimodo y monomodo, fibra plástica y fibra HCS (Hard Clad Silica) para redes de hasta 500 m del tipo industrial.

Los tipos de comunicaciones que el protocolo Profibus utiliza suelen ser maestro-esclavo, y tiene las siguientes ventajas dentro del campo de aplicación:[26][27][28]

- Aplicaciones como mono maestro, ya que solo existe un maestro en el bus, usualmente un PLC y los demás dispositivos son esclavos. Con este esquema se reduce los tiempos de operación de lectura.

³⁷ J. D. Peña, "Comunicaciones en el entorno industrial", Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003, p. 140. (modificada por el autor.)

- Aplicaciones como multimaestro, ya que existen dentro del bus más de un maestro, esto hace que el proceso se descentralice, haciendo que cada maestro tenga diferentes esclavos u otro tipo de módulos de diagnóstico y otros.

Dentro del estado multimaestro, puede haber dos tipos de maestros los cuales son:[29]

- DP Master Class 1. Es un controlador central que cambia información con sus esclavos en forma cíclica.
- DP Master Class 2. Son estaciones de operación, conectadas al bus principal, pero no mantienen su conexión permanentemente.

Este tipo de protocolo tiene las siguientes características:

- Velocidades de transmisión están dadas desde: 9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 12000 Kbps.
- Un número máximo de estaciones de 127 con repetidores y como máximo 32 sin el uso de repetidores.
- Distancias máximas desde 93.75 KBaudios con 1200 metros, 187.5 KBaudios con 600 metros 500 KBaudios con 200 metros.
- Las estaciones pueden llegar a ser del tipo maestros o esclavos.

1.1.2.3.3. ETHERNET

Esta fue desarrollada en 1972 ideada por Roberto Metralfe y otros investigadores de Xerox; Ethernet, fue conocido como Ethernet II o IEEE 802.3, hoy es la más común dentro de las redes actuales. El estándar 802.3 emplea una topología tipo bus y una topología física del tipo estrella o bus. Ethernet se encuentra apto para transmitir datos a través de una red con una velocidad de 10 Mbps por segundo o de acuerdo a la tecnología implementada. [30]

La versión experimental del Ethernet tenía las siguientes características:

- Una velocidad de transmisión de 2.94 Mbps.
- Longitud de enlace de 1 segmento de 1 kilómetro.
- Un número de nodos menor que 300.

Las redes locales, estuvieron estandarizadas para la década de los 80 y se comenzó a desarrollar las normas IEEE para las redes locales CSMA/CD. Dentro de esta bus existen cinco estándares fundamentales de Ethernet los cuales son: [30][31][33][35]

- 10Base5
- 10Base2
- 10BASE-T
- Fast Ethernet 100BaseVG
- 100BaseX

Cada estándar, define el uso del tipo de cable de red, los detalles de la longitud y la topología física que debe utilizarse para conectar nodos en la red. Lo fundamental de este tipo de comunicación es su trama como se muestra en la figura 1.12, a través de esta, se pueden comunicar de una manera rápida y ordenada diferentes dispositivos de una red. [32]

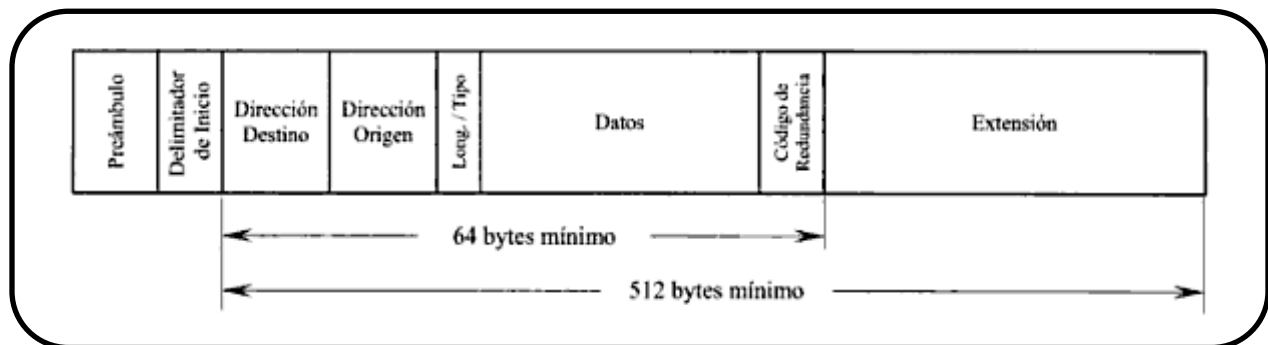


Figura 1.21. Formas de trama Gigabit Ethernet. ³⁸

1.2. INTRODUCCIÓN AL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA U.P.S.

El laboratorio Alta Tensión, está situado dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Kennedy, en los laboratorios de Ingeniería Eléctrica, en la actualidad el laboratorio está operando y cuenta con lo necesario para la realización de las prácticas, además de contar con las facilidades para el acceso y el espacio actual es el apropiado para la implementación de un Centro de Control y Monitoreo; Tomando en

³⁸ M. Miralles Aguiñiga, J. Lázaro Laporta, “Fundamentos de Telemática”, Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones, 1ª ed., 1ª imp. (01/2002), p. 176.

cuenta que en este se realizarán pruebas eléctricas con fines pedagógicos y pruebas de control de calidad. La seguridad dentro del laboratorio de Alta Tensión, debe ser lo primero en tomar en cuenta, ya que los procesos eléctricos son desarrollados tomando en cuenta normas de seguridad para los equipos y personas. Además se deberá enfatizar los elementos principales que componen la área interna y externa.

1.2.1. LABORATORIO ÁREA INTERNA

Dentro de este tenemos como elementos principales: la jaula de Faraday, kit de Alta Tensión (Equipo para Realizar las Pruebas) y el sistema de puesta a tierra, todos los mencionados juegan un papel importante dentro de las prácticas realizadas, como de la seguridad del personal que se encuentre dentro del laboratorio. Con lo que se puede mencionar de una manera más específica los siguientes elementos:

- Jaula de Faraday
- Transformador
- Autotransformador

1.2.1.1. JAULA DE FARADAY

Su nombre se debe al nombre del físico Michael Faraday, ya que una jaula de Faraday es estructura metálica que encierra los campos eléctricos estáticos. Se emplea para proteger de las descargas eléctricas

La jaula de Faraday se basa en las propiedades del equilibrio electrostático, ya que la estructura se encuentra sometida a un campo electromagnético externo, el cual se polariza positivamente en la dirección campo electromagnético, y cargado negativamente en el sentido contrario. Con lo cual se genera un campo magnético opuesto al campo electromagnético externo, haciendo que se anule. [40][41]

Como en el interior de la jaula de Faraday se producen por cada práctica grandes campos electromagnéticos, estos deben ser aislados para que no afecten a los equipos electrónicos y al ser humano, estos deben ser retenidos, para luego ser descargados a tierra en caso de presentarse una falla.

1.2.1.3. TRANSFORMADOR

Es un equipo eléctrico que permite aumentar o disminuir el nivel de tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, este principio se da por el flujo electromagnético que circula a través de las bobinas del transformador. Este equipo se encuentra construido por dos o más bobinas, una primaria y otra como secundaria, de un material conductor y aisladas entre sí eléctricamente, por lo general las bobinas son envueltas en un torno y con un núcleo de material ferromagnético en común como se muestra en la figura 1.27. La conexión entre las bobinas hace que exista un flujo magnético común que se forma en el núcleo.

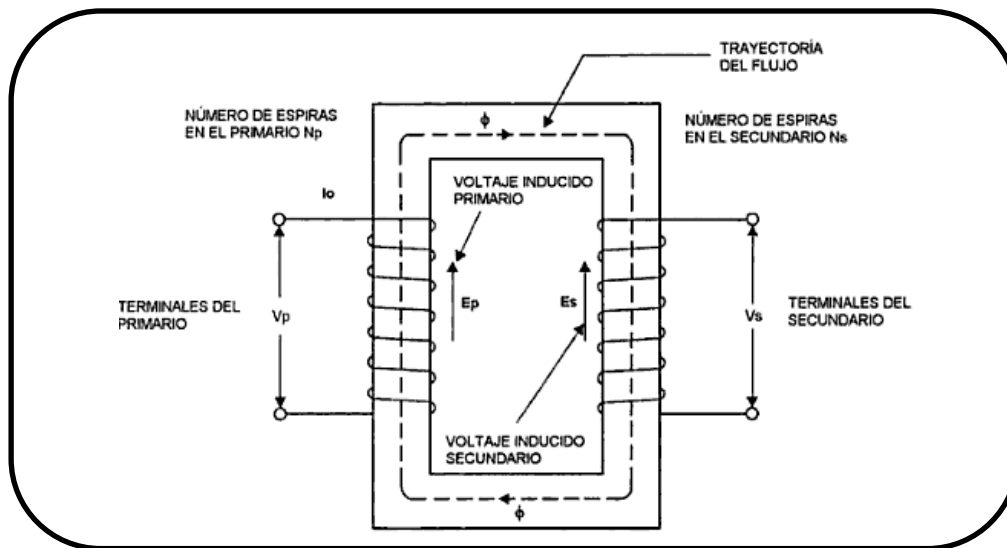


Figura 1.27. Conexiones internas del transformador.³⁹

Al aplicar una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, circulará una corriente alterna que creará un campo magnético variable. Este campo magnético, producirá una inducción electromagnética, por lo cual se tendrá un voltaje en los devanados del secundario. Por lo que se obtiene una relación de transformación, en función del voltaje aplicado, con respecto al número de vueltas como se muestra en la ecuación 1.2: [42]

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (1.2)$$

³⁹ G. E. Harper, "El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos", LIMUSA, 2000, p. 30.

Dónde:

V_p : es la tensión de entrada.

V_s : es la tensión en el devanado secundario o tensión de salida

N_p : son el número de vueltas en el primario.

N_s : son el número de vueltas en el secundario.

Con la relación entre la fuerza electromotriz (V_p), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz (V_s), la obtenida en el secundario, se tiene que es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario (N_p) y secundario (N_s). Esta relación, se la conoce como relación de vueltas del transformador o relación de transformación. [42]

La razón de la transformación de la tensión entre el bobinado primario y del secundario depende del número de vueltas que tenga cada una de las bobinas como se demuestra en la figura 1.28 y se la puede expresar por la ecuación 1.3.

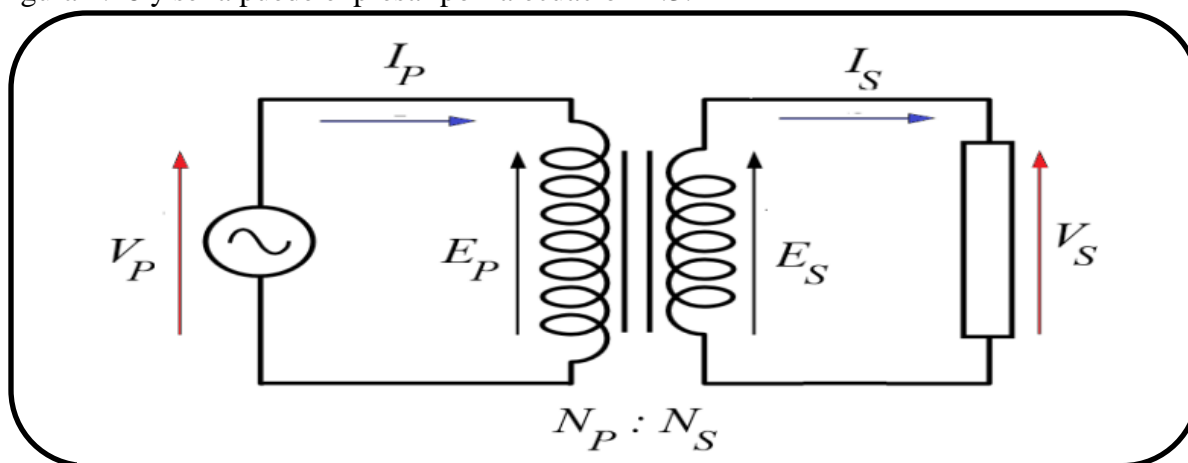


Figura 1.28. Representación de un transformador.⁴⁰

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (1.3)$$

⁴⁰ *Figura propia del autor.*

Dónde:

V_p : es la tensión de entrada.

V_s : es la tensión en el devanado secundario o tensión de salida.

I_p : es la corriente en el devanado primario o corriente de entrada.

I_s : es la corriente en el devanado secundario o corriente de salida.

N_p : son el número de vueltas en el primario.

N_s : son el número de vueltas en el secundario.

1.2.1.2. AUTO TRANSFORMADOR

Es una máquina eléctrica con las características similares a las de un transformador como se muestra en la figura 1.27; pero este no solo posee único devanado alrededor de un núcleo ferromagnético. El devanado debe tener al menos tres puntos de conexión eléctrica; la fuente de tensión y la carga, se conectan a dos de las tomas, mientras que una toma es una conexión común a ambos circuitos eléctricos fuente y carga. [43]

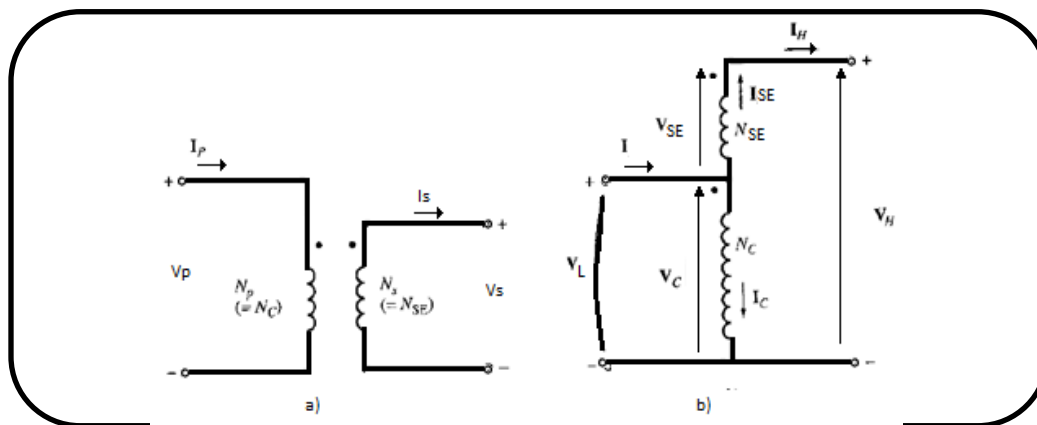


Figura 1.29. Transformadores con sus devanados a) conectados de manera convencional y b) conectados como auto transformador. ⁴¹

En un autotransformador, el segmento común del devanado único interviene como parte tanto del devanado primario como en el secundario. La parte restante del devanado toma el nombre de devanado serie y es la que suministra la diferencia de tensión entre ambos circuitos, mediante la adición en serie con la tensión del devanado común.

⁴¹ S. J. Chapman, "Maquinas eléctricas", Mcgraw-hill / interamericana de México, 2005, 4^{ta} Edición, p. 110. [consulta: 28 de enero 2013]

1.2.2. EXTERIOR DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.

En el exterior, encontramos los equipos necesarios para la realización de cada práctica, con lo que contamos con un equipo de control del nivel de tensión y uno de medida para manipular de una manera remota el laboratorio y poder observar las variaciones en los niveles de tensiones producidos durante cada evento eléctrico.

1.2.2.1. EQUIPO DMI 551

El instrumento de medición digital DMI 551 es un dispositivo para la medición de AC, DC y tensiones de impulso, como se muestra en la figura 1.35. Este posee tres canales independientes de medición, así como, la función de activación de la señal de impulso. El DMI 551 tiene un detector impulsos y descargas a tierra, además puede almacenar la última medición de la tensión y su polaridad antes de una avería o una sobrecarga. El instrumento está diseñado especialmente para su uso en laboratorios de Alta Tensión, donde existe un alto grado de precisión en las mediciones. Las principales aplicaciones de la DMI 551 incluyen la medición de una salida de divisor de tensión o de pruebas de productos en Alta Tensión.



Figura 1.35. Equipo DMI 551⁴²

Este equipo se caracteriza por:

- Determinar la tensión de la onda alterna la cual es medida en Vrms, pico y pico.
- Determinar la tensión de DC, la evaluación del valor medio y el factor de rizado.
- Determinar la tensión del impulso mediante la adquisición de los valores máximos de rayos o impulsos.

⁴² HAEFELY, DMI 551 Digital Measuring Instrument, <www.haefely.com/pdf/LL_DMI551.pdf>, p. 1. [consulta: 28 de enero 2013]

- Determinación de la corriente de impulso midiendo el voltaje, a través, de una derivación de corriente.
- Disparo de generador del dispositivo de medición para las pruebas de disrupción con un destello de detección de AC y DC de las descargas disruptivas.
- Puerto de comunicaciones para operar la unidad desde un ordenador o un portátil.
- Salida para la grabación de AC y DC con equipos de impresión de Haefely.

Las características técnicas de conexión y de niveles de tensión del equipo están referidas en el anexo 1.

1.2.2.2. EQUIPO DE ALTA TENSIÓN OT 276

Los controles OT 276, proporcionan un funcionamiento seguro y fácil de transformadores de tipo AC en sistemas para laboratorios de Alta Tensión. La operación es por medio de pulsadores y utiliza relés, para activar los estados de la secuencia de activación del transformador. El estado de los contactos, la intensidad y tensión en el secundario del transformador se muestran claramente en la placa frontal por medio de pantallas de LED y leds. Además, se encuentra equipado con funciones de seguridad exigidas por las normas internacionales, dentro de este también se puede llegar a controlar la distancia de esferas utilizadas para la disrupción eléctrica, con la opción de acercar o alejar en la figura 1.36 se observa el equipo.



Figura 1.36. Equipo OT 276⁴³

⁴³ HAEFELY, High Voltage Construction Kit, <http://www.haefely.com/pdf/LL_KIT.pdf>, p.18. [consulta: 28 de enero 2013]

Como objetivos principales de un laboratorio de Alta Tensión, es brindar prestaciones de conocimiento a la sociedad de los efectos eléctricos en equipos distribución, la entrega de tecnológica a la industria eléctrica y empresas de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, para los estudiantes, la investigación, docencia, postgrado y el control de calidad.

Dentro del laboratorio de Alta Tensión se realizan las siguientes pruebas

- Generación y medición de alto voltaje en AC. 100kV
- Generación y medición de alto voltaje en AC. y DC.
- Generación y medición de alto voltaje de impulso.
- Prueba destructiva de la rigidez dieléctrica del aire.
- Pruebas de aislamientos de un transformador de 13.8 kv.
- Pruebas de aceite de un transformador.
- Determinación de las características dieléctricas del aire.
- Rigidez dieléctrica del aire a diferentes presiones.
- Prueba de aisladores.
- Prueba de aisladores en condiciones de contaminación.
- Prueba del pararrayos.

1.2.2.3. EQUIPAMIENTOS PRINCIPALES

- Equipo para ensayos de tensión aplicada en componentes de hasta 100 kV a frecuencia industrial (60 Hz).
- Generador de tensiones de impulso de 125 kV de cresta.
- Equipo para determinación de rigidez dieléctrica de aceites aislantes.
- Equipo de medición de resistencia de aislación.
- Unidad de control para el comando de equipamientos de sistemas de ensayo de tipo impulsivo, con capacidad de comandar y disparar electrónicamente.
- Medidor digital voltajes en AC, DC y de Impulso
- Controlador de tensión del transformador en el secundario.
- Protecciones pértiga, indicadores de energización del equipo y seguridades para la activación de la jaula de Faraday con los equipos necesarios.

1.3. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

En un sistema de puesta a tierra, las conexiones de tierra se encuentran interconectadas a los sistemas de potencia, los elementos metálicos como: armazones o estructuras, equipos de control o potencia, carcasas de motores, etc. Los sistemas de puesta a tierra, se los utiliza para la protección contra las corrientes de falla, estos se diseñaron como un camino para las corrientes de falla, y de referencia de tierra para equipos de telecomunicaciones, control y potencia. Dentro de las normas internacionales se tiene como base las normas IEEE Std 80-2000 y IEEE Std 142-1991.

La malla a tierra, se la utiliza con la intención de controlar el voltaje a tierra, dentro de los límites previsible. El sistema de puesta a tierra debe tener la capacidad de controlar el flujo de corriente en magnitud y duración de un evento eléctrico producido durante una falla.

Esto también, puede ser el resultado de una corriente a tierra externa, como una descarga atmosférica o una falla en un conductor de Alta Tensión. Las principales características de un sistema de puesta a tierra son: [44]

- Reducir el peligro de sufrir un shock eléctrico
- Reducir el riesgo de daños a equipos de control y monitoreo.
- Suministrar un retorno de baja impedancia para las corrientes de falla a tierra, para la operación del sistema de protección.

La resistencia a tierra de un electrodo, se compone de la resistencia del electrodo, el cual está hecho de metal, más la resistencia del suelo. Si la conexión no es la indicada para el sistema de puesta a tierra, este no es apto para operar correctamente, provocando errores al sistema cuando se presenten fallas eléctricas. Ya que la resistencia en los electrodos debe ser la más baja, para permitir la rápida operación de los dispositivos de protección del circuito, ante una eventual falla a tierra y evitar la posibilidad de un shock eléctrico, para el personal que pueda estar dentro de una estructura.

1.3.1. RESISTIVIDAD DEL SUELO

Dentro de la norma IEEE Std 142-1991- “IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems”. Se explica que la resistividad en suelos cambia con el tipo, profundidad, contenido químico, lugar, humedad y temperatura del suelo. A continuación en la tabla 1.4 se establecen los valores de la resistividad para cada tipo de suelo.

Tabla 1.4. Tipos de suelos según la norma IEEE STD 142-1991

DESCRIPCIÓN DE SUELO	RESISTENCIA PROMEDIO (ohm*cm)
Grava bien nivelada, mezcla arena-grava, poco o más fina	60000-100000
Grava mal nivelada, mezcla arena -grava, poco o más fina	100000-250000
Grava o roca arcillosa, grava mal nivelada mezcla arcilla-grava	20000-40000
Arenas cenagosos, mezcla arena –cieno mal nivelada	10000-50000
Arena arcillosa, mezcla arena-arcilla, mal nivelada	5000-20000
Arenas finas cenagosos o arcillosas con poca plasticidad	3000-8000
Suelos cenagosos o arenosos finos, cieno elástico	8000-30000
Zarcillas con grava arcillas arenosas, arcillas cenagosos, arcillas magras	2500-6000
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	1000-5500

Los sistemas de puesta a tierra con coeficientes de resistencias menores a 1 [Ohm], se los consiguen a partir del uso de electrodos individuales conectados juntos, tales tipos de resistencias, sólo son requeridas para grandes subestaciones y líneas de transmisión. Para el caso del laboratorio de Alta Tensión se recomienda que la resistencia total, sea de un rango menor a 2 [Ohm]. para el uso adecuado del mismo.

1.3.2. MALLAS DE TIERRA

En el diseño de mallas de tierra constan de varios aspectos a considerar, los siguientes pueden servir como una guía para elaborar un sistema de malla de tierra: [44]

- El conductor debe rodear el perímetro de la zona a proteger, pero si se rodea una zona de mayor perímetro, este se ve afectado a la resistencia de la malla. Con esto se evita la concentración de altas corrientes en un área de la malla.
- Dentro de la malla se deben colocar conductores en forma paralela y en filas a lo largo de las estructuras para crear caminos para el despeje de la falla.
- La malla; se debe construir de forma cuadrícula. En cada cruce los conductores deben ser unidos. Las varillas de tierra pueden estar ubicadas en las esquinas de la malla y en los puntos de unión del perímetro, se puede reducir la resistencia de acuerdo al número de electrodos utilizados.
- Los conductores de tierra, tienen que localizarse en los lugares donde existan grandes concentraciones de corriente.

En los cruces en la malla a tierra tienen un efecto relativamente pequeño, el cual es reducir resistencia, pero la principal función es asegurar un adecuado control en el potencial de la superficie. En cada interconexión de cada conductor se provee de un paso para la corriente de falla de la forma más rápida hasta llegar a la varilla de tierra para que esta la despeje, en la figura 1.30 se detalla es estado de la configuración.

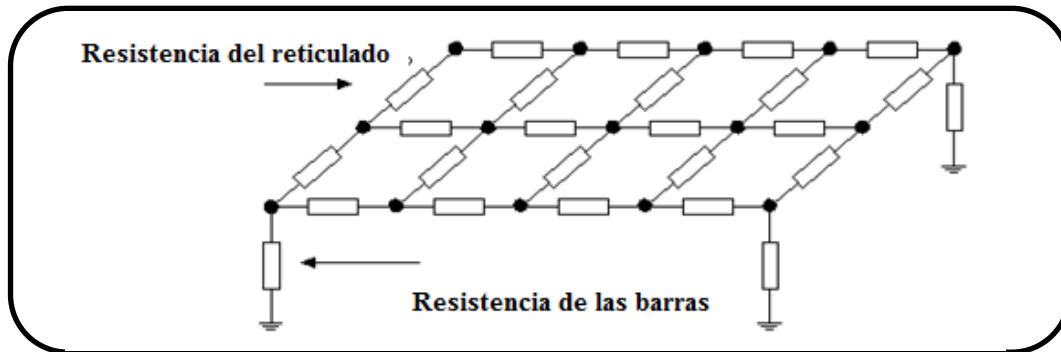


Figura 1.30. Malla a tierra⁴⁴

⁴⁴ G. H. Seguel Cuevas, J. A. Alamos Hernández. (2005). Sistema de Puesta a Tierra <http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/capitulo5/mallas_de_tierra.html> [consulta: 28 de enero 2013]

En el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana se tiene un sistema de puesta a tierra, el cual tiene 3 tomas, las cuales se conecta directamente con la malla, teniendo como principales elementos: la jaula de Faraday, los equipos de Alto Voltaje y los equipos de control. En el cuarto de pruebas se encuentran todos los elementos del equipo de alto voltaje para las prácticas cada uno de estos en su parte inferior están contruidos de partes metálicas, para el despeje de fallas, fuera del cuarto de pruebas está ubicado el equipo de control y monitoreo de este laboratorio. Estos sistemas de puesta a tierra se encuentran diseñados, como se describen a continuación.

1.3.3. ELECTRODOS

Existen diferentes tipos de electrodos y clasificación, ya que cada uno de ellos, se encuentra construido con materiales perdurables a la humedad y a la acción corrosiva del terreno como lo es la salinidad y contenido químico de este.

"Es una masa metálica en permanente contacto con el terreno. Su misión es facilitar el paso de las corrientes de defecto o cargas eléctricas al terreno que actuarán como descargadores".⁴⁵

Por esto se utilizan materiales como el cobre, el acero galvanizado y el hierro zincado para la construcción de los electrodos y mallas. Según su construcción la podemos encontrar como:[45]

1.3.3.1. ELECTRODOS TIPO PICAS

Pueden estar formadas por tubos de acero zincado de 60 mm de diámetro, como mínimo o de cobre puro de 14 mm de diámetro, y con unas longitudes no menores a los 2 m. Si son requeridas, más de una pica la distancia entre ellas será al menos, igual a la longitud en la siguiente figura 1.31 se describe su uso. [45]

⁴⁵ R. Mujal Rosas, "Tecnología eléctrica". Ira edición. Ediciones UPC. Aula Politécnica (2000), p 206

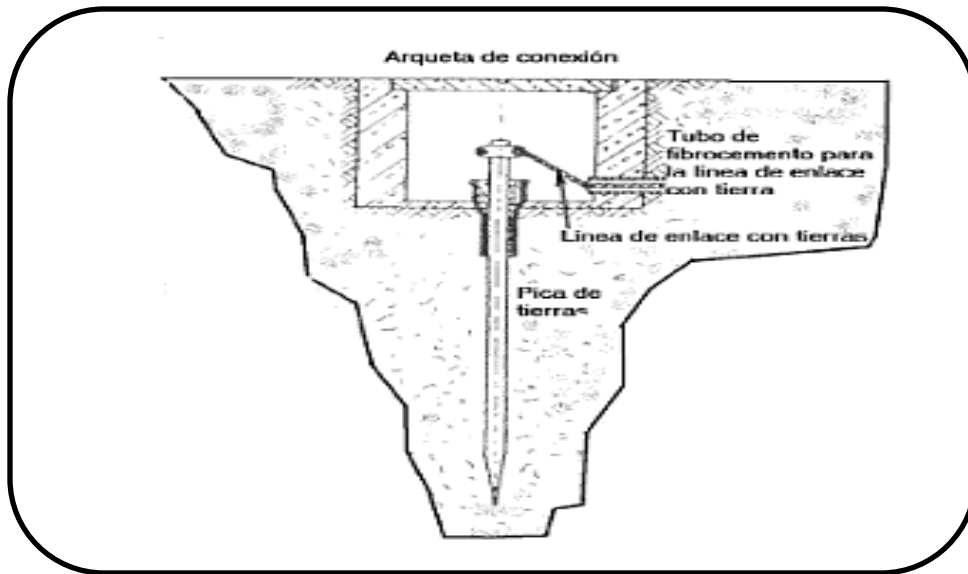


Figura 1.31. Electrodo en picas ⁴⁶

La resistividad de una barra vertical que se encuentra enterrada desde la superficie de un terreno, se la puede expresar con la ecuación 1.4. [45]

$$R = \frac{\rho_e}{2\pi l} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot l}{a} \right) - 1 \right] [\text{Ohms}] \quad (1.4)$$

Dónde:

R: es la resistencia de puesta a tierra [Ohm].

ρ_e : es la resistividad del terreno [Ohm-m].

a: es la área de la varilla [m²].

l: es la longitud de la varilla [m].

1.3.3.2. ELECTRODOS TIPO PLACAS

Estas son placas de cobre o hierro zincado de forma rectangular con una área mínima de 0.5 m² tipo placa y con un espesor de 2 mm si son de cobre ó de 2.5 mm, si son de acero galvanizado como se muestran en la figura 1.32. [45]

*”Las placas presentan una gran superficie de contacto con el terreno, en relación con su espesor, siendo muy grande la cantidad de energía que pueden disipar”.*⁴⁷

⁴⁶ R. Mujal Rosas, “Tecnología eléctrica”, 1ra edición. Ediciones UPC. Aula Politécnica (2000), p 196. [consulta: 28 de enero 2013]

⁴⁷ R. Mujal Rosas, “Tecnología eléctrica”. 1ra edición. Ediciones UPC. Aula Politécnica (2000), p 198

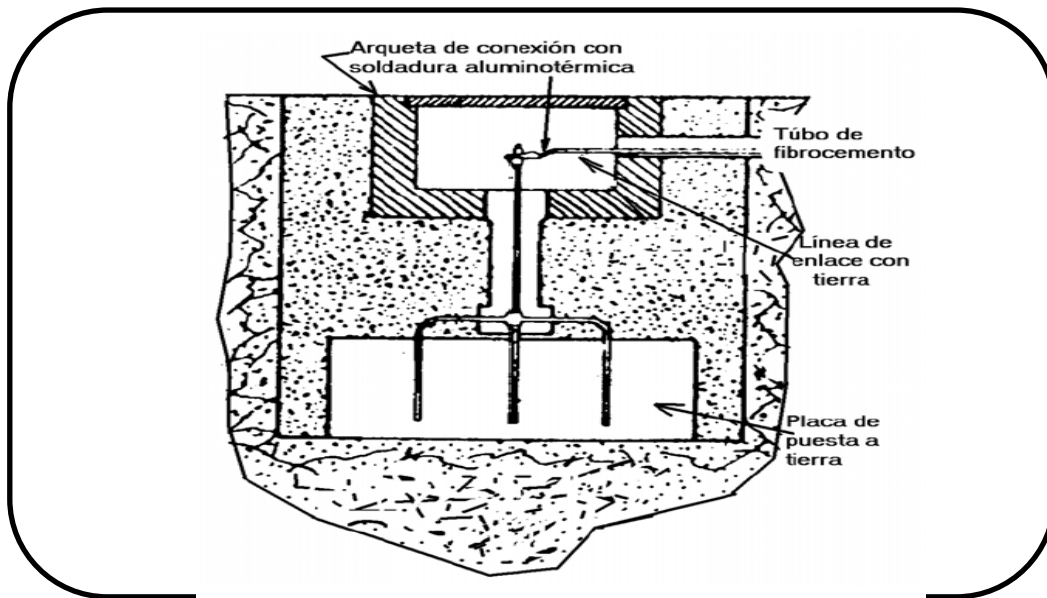


Figura 1.32. Electrodo en placa⁴⁸

Dentro de los electrodos tipo placas, se pueden establecer parámetros de profundidad de la malla y la resistividad, equivalente del terreno para determinar la ecuación 1.5. [45]

$$R = \frac{0,8 \cdot \rho_e}{L} [\text{Ohms}] \quad (1.5)$$

Dónde:

R: es la resistencia de puesta a tierra [Ohm].

ρ_e : es la resistividad del terreno [Ohm-m].

l: es la longitud de la varilla [m].

1.3.3.3. CONDUCTORES ENTERRADOS

Se utilizan de cobre desnudo de al menos 35 mm² de sección, o cables de acero galvanizado de un mínimo de 2.5 mm de diámetro. Estos electrodos, deberán enterrarse horizontalmente a una profundidad no inferior a los 50 cm como se muestra en la figura 1.33. [45]

⁴⁸ R. Mujal Rosas, "Tecnología eléctrica", 1ra edición. Ediciones UPC. Aula Politécnica (2000), p 198. [consulta: 28 de enero 2013]

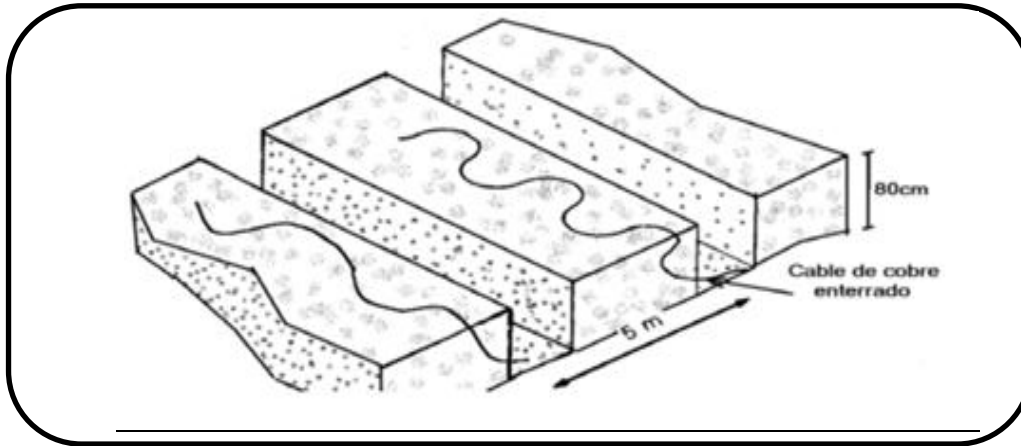


Figura 1.33. Conductores enterrados⁴⁹

La resistencia que posee un conductor horizontal de radio y longitud enterrado con una profundidad de h , con $h < l$, se la puede expresar con la ecuación 1.6.[46]

$$R = \frac{\rho_e}{2\pi l} \left[\text{Ln} \left(\frac{2l^2}{ah} \right) - 2 + 2 \frac{h}{l} - \frac{h^2}{l^2} + \frac{h^4}{2l^4} \dots \dots \dots \right] [\text{Ohms}] \quad (1.6)$$

Dónde:

R: es la resistencia de puesta a tierra [Ohm].

ρ_e : es la resistividad del terreno [Ohm-m].

a: es la área de la varilla [m^2].

l: es la longitud de la varilla [m].

h: es la profundidad de la varilla [m].

1.3.3.4. MALLAS METÁLICAS

Para formar las mallas metálicas, se necesitan utilizar electrodos unidos entre sí e instalados bajo la tierra, como se puede apreciar en la figura 1.34, por lo que se deben seleccionar electrodos que ofrezcan menor resistencia posible. Además se debe considerar la forma que tiene el electrodo, ya que de esto dependerá su resistividad que se obtenga.

⁴⁹ R. Mujal Rosas, "Tecnología eléctrica". Ira edición. Ediciones UPC. Aula Politécnica (2000), p 198.

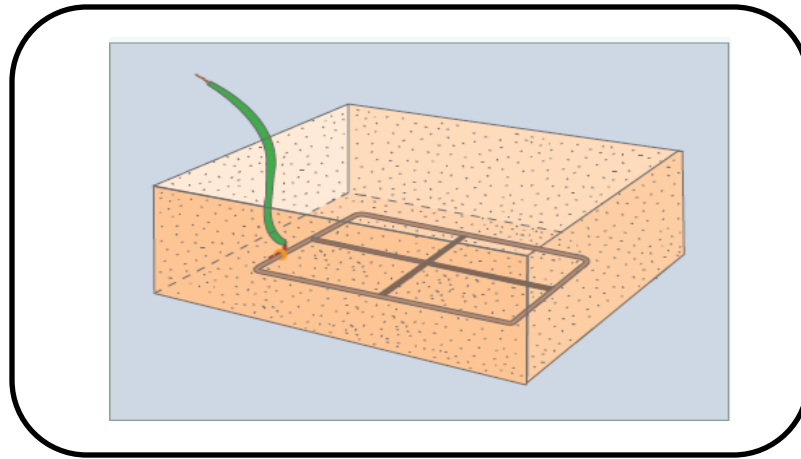


Figura 1.34. Malla a tierra⁵⁰

Para realizar el cálculo se utiliza la expresión de Laurent descrita en la ecuación 1.7.

$$R = \frac{\rho_e}{4\sqrt{S/\pi}} + \frac{\rho_e}{L} [Ohms] \quad (1.7)$$

Dónde:

R: es la resistencia de puesta a tierra.

ρ_e : Resistividad equivalente del terreno [Ohm-m].

S: Superficie que cubre la malla [m²].

L: Longitud total de conductor de la malla [m].

1.4. NORMAS DE SEGURIDAD DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.

El trabajo en un laboratorio de Alta Tensión, involucra el uso de equipos y otros elementos para prevenir riesgos, por eso es necesario conocer su utilización y su funcionamiento. El mal uso de los equipos o la falta de conocimiento del equipo de protección del laboratorio de Alta Tensión podrían provocar accidentes como incendios, shocks eléctricos o daños a los equipos electrónicos.

⁵⁰ PROCOBRE “Mallas de Tierra”, 1999, 1^{ra} edición, p. 13. <http://www.procobre.org/archivos/pdf/download_biblioteca/MANUALES/Mallas_de_Tierra.pdf>[consulta: 28 de enero 2013]

Al tener un laboratorio donde los niveles de tensión, corrientes y campos magnéticos son elevados, implican seguridad; por que tan solo al tocar el armazón de equipo que no se encuentre apropiadamente aislado, puede producir la muerte. A continuación, se mencionarán algunos puntos significativos que se deben tener en cuenta, para la utilización de los laboratorios de Alta Tensión.

1.4.1. CUIDADOS GENERALES

Los cuidados generales que se deben tener en cuenta son:

- No beber, comer, fumar o maquillarse en el laboratorio.
- No ingresar en estado alcohólico al laboratorio, ya que se pierden la percepción de los actos y podrían causar accidentes.
- Apagar los equipos electrónicos, porque estos distraen a las personas dentro del laboratorio.
- No correr en los laboratorios.
- No bloquear la salida con máquinas o elementos que dificulte la circulación o visualización de los procesos de cada práctica.
- No dejar equipos funcionando sin supervisión.
- Ingreso solo de estudiantes calificados, (Estudiantes de Ing. Eléctrica).
- Ingreso solo en horario establecido.
- Formar grupos de trabajo para realizar las prácticas, (Norma de seguridad).
- El responsable, es el mismo que se encargara de ingresar a la jaula de Faraday y el último en salir.

1.4.2. TRABAJO DENTRO DE LA JAULA DE FARADAY

Antes en la efectuar una práctica se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Trabajar mínimo entre dos, para ayudarse para la construcción de cada circuito, para la comprobación de la ubicación de cada elemento en el circuito y seguridad personal.

- Descargar los elementos eléctricos (Capacitores y transformadores), con la pértiga antes de comenzar a trabajar.
- Conocer la ubicación de los elementos de seguridad que exista en el laboratorio como extinguidores, alarmas, salidas de emergencia, interruptores de emergencia, etc.
- Mantener el orden de los equipos antes y después de utilizarlos.
- Verificar, antes de retirarse, que el circuito esté en condiciones de operar nominalmente con todos los dispositivos conectados adecuadamente a cada circuito.
- No distraerse con dispositivos ajenos (apagar celulares).

1.4.3. CUIDADOS DE EQUIPOS

Las fallas de los equipos se dan por causas eléctricas son muy frecuentes. Las causas son:

- Sobrecalentamiento de cables, debido a sobrecarga de los conductores por conexiones erróneas.
- Fugas eléctricas o magnéticas por fallas de aislación.
- Sobrecalentamiento de los materiales inflamables (aceites).
- Ignición de materiales inflamables, por chispas o arco en el caso de pruebas en aceite y aisladores.
- Utilizar los adaptadores y cables, acorde a cada equipo para evitar daños a los equipos.
- No conectar mal los elementos de medida, sin considerar los niveles de tensión admitida por cada uno de estos.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL CENTRO DE CONTROL ELÉCTRICO

2.1. DATOS A MONITOREAR

El principal dato a monitorear, será el de voltaje, ya que se tiene como base el estándar americano, con la norma ANSI C84.1 "Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60 Hz)". En el que se especifica los niveles óptimos de tensión para los sistemas de potencia desde los 100 V hasta los 230 kV a 60 Hz.

2.1.1. VOLTAJE ALTERNO

El voltaje alterno, varía en magnitud y el sentido de forma cíclica como se muestra en la figura 2.1. Por lo que se asemeja a la oscilación sinusoidal, esta se consigue por la inducción producida en el generador por el movimiento de los campos magnéticos y la alimentación de corriente continua, el cual, genera un voltaje de magnitud positiva y negativa. Ya que de esta manera es posible el transporte de la energía eléctrica, sin que exista perdidas, desde los centros de generación hasta las industrias y hogares esto se complementa por el uso de transformadores elevadores y reductores. [47]

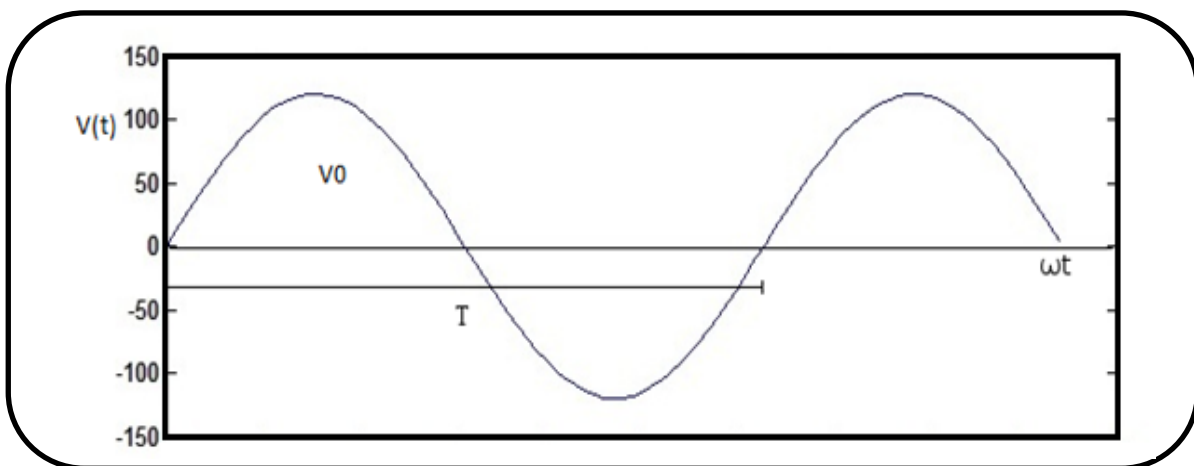


Figura 2.1. Oscilación sinusoidal⁵¹

⁵¹ Figura propia del autor.

Esta señal sinusoidal esta expresada matemáticamente, según sus parámetros, como una función en el dominio en el tiempo, por medio de la ecuación 2.1.

$$V(t) = V_o * \sin (wt) \quad (2.1)$$

Donde se pueden expresar como:

V_o : es la amplitud en voltios o amperios de una señal con un valor pico.

w : es la velocidad angular en radianes/segundo.

t : es el tiempo en segundos.

Para una señal con variación en el ángulo de desfase como se muestra en la figura 2.2, frente a una sin desfase se obtiene la ecuación 2.2.

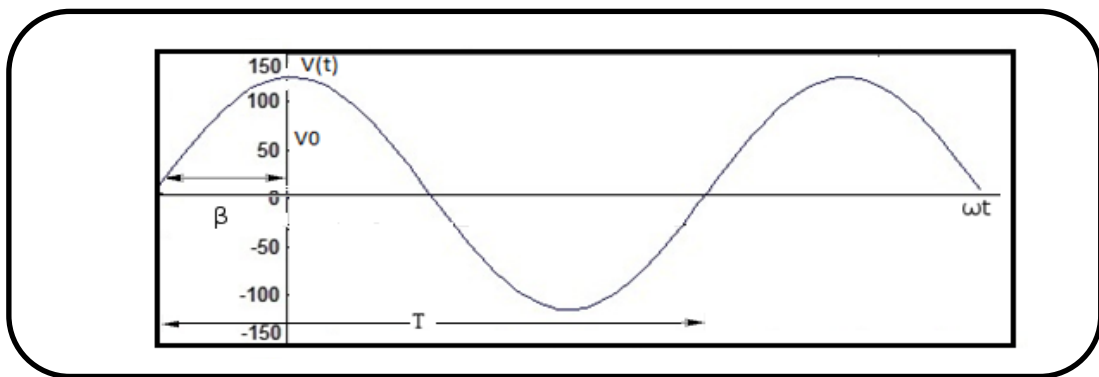


Figura 2.2. Oscilación sinusoidal con desplazamiento⁵²

$$V(t) = V_o * \sin (wt + \beta) \quad (2.2)$$

Donde se pueden expresar como:

V_o : es la amplitud en voltios o amperios de una señal con un valor pico.

w : la velocidad angular en radianes/segundo.

t : es el tiempo en segundos.

β es el ángulo de fase inicial en radianes.

⁵² Figura propia del autor.

La expresión para los dos casos de la velocidad angular, puede ser expresada con la ecuación 2.3.

$$W = 2 * \pi * f \quad (2.3)$$

Dónde:

f: es la frecuencia en hercios (Hz) y equivale a la inversa del período $f = \frac{1}{T}$.

Los valores más usados, están en los rangos de 50 Hz y 60 Hz, para la distribución de energía eléctrica.

La función sinusoidal puede estar representada por un número complejo, que crece linealmente con el tiempo, al que se denomina fasor como se muestra en la figura 2.3 ya que este tiene las siguientes características:

- Cambiará en función de la velocidad angular ω y ϕ
- Su módulo será el valor máximo.

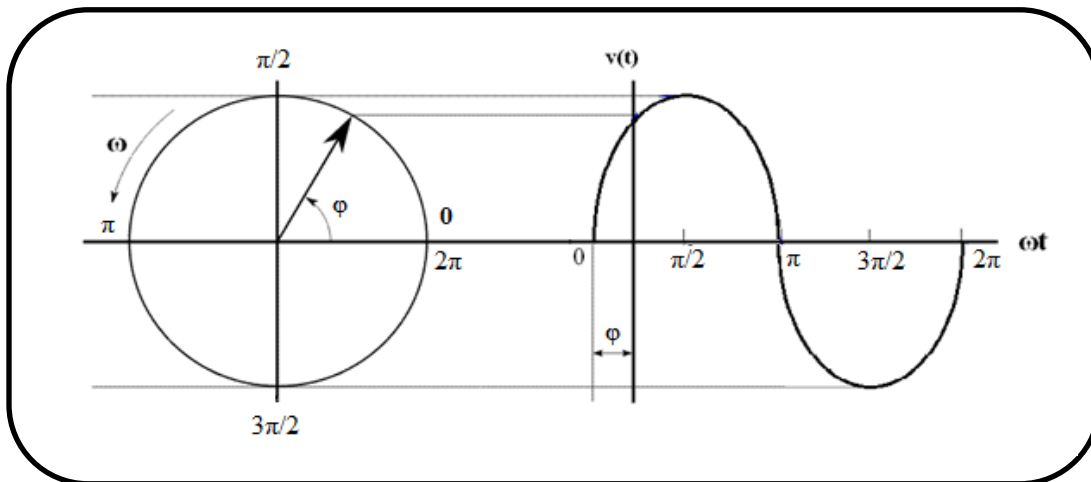


Figura 2.3. Representación fasorial de una oscilación sinusoidal⁵³

⁵³ Figura propia del autor.

2.1.1.1. VALOR PICO-PICO (VPP)

Es la diferencia del máximo positivo y un negativo de una señal sinusoidal, que oscila entre $+V_0$ y $-V_0$ como se puede apreciar en la figura 2.4. Este es descrito con la expresión V_{P-P} , es por lo tanto $(+V_0)-(-V_0) = 2 \times V_0$.

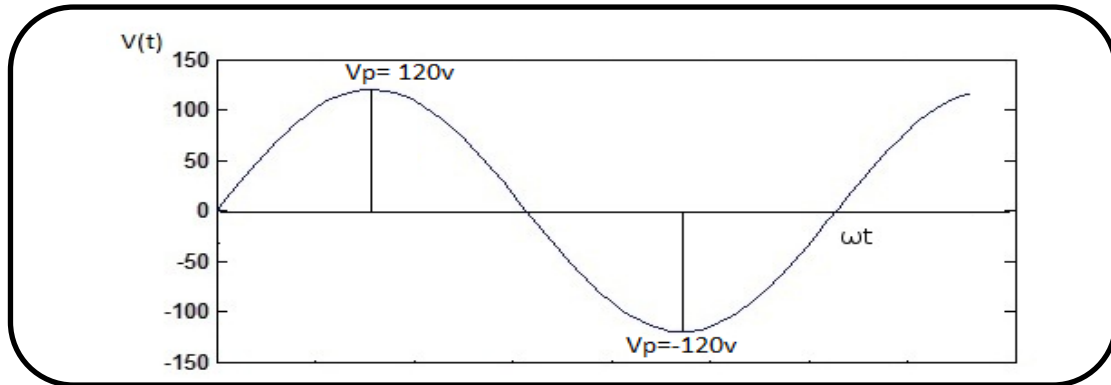


Figura 2.4. Valor pico-pico de la onda sinusoidal⁵⁴

2.1.1.2. VALOR MEDIO (Vmed)

Es el valor del área sobre el periodo. Este se lo puede expresar como el componente de continua de la oscilación sinusoidal. Ya que al tener una señal sinusoidal en el semiciclo positivo es equivalente al negativo, y su valor medio calculado es nulo. Por medio del cálculo integral se puede demostrar la ecuación 2.4. [48]

$$\text{Valor medio} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.4)$$

Donde se pueden expresar como:

$f(t)$: es la función en el tiempo, para el caso seno (t).

T : es el periodo o duración del ciclo.

V_p : es el voltaje pico.

⁵⁴ Figura propia del autor.

2.1.1.3. VALOR EFICAZ (V_{rms})

Se lo conoce como R.M.S. (root mean square), que es valor medio cuadrático, a este también se lo conoce como el efecto calorífico, que es equivalente en corriente continua. Se lo puede definir como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores transitorios alcanzados durante un período expresado en la ecuación 2.5. [48]

$$Valor\ RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad (2.5)$$

Donde se pueden expresar como:

$f(t)$: es la función en el tiempo, para el caso seno (t).

T : es el periodo o duración del ciclo.

V_p : es el voltaje pico.

2.1.2. CORRIENTE CONTINUA

La corriente continua CC en español, y en inglés DC, ya que esta es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de diferente potencial. En la corriente continua las cargas eléctricas, circulan siempre en la misma dirección, no existe diferencia semiciclos positivos o negativos como en la corriente alterna, por lo que se debe mantener siempre la misma polaridad.

2.1.2.1. VOLTAJE ALTERNO EN VOLTAJE CONTINUO

Para conseguir el voltaje alterno, se parte del voltaje en AC para luego convertirlo en DC con la rectificación, donde la señal se rectifica a partir de la señal fundamental o sinusoidal por parte de rectificadores o tiristores, transformando la señal de la entrada negativa en positiva o solo con el valor positivo, para posteriormente se filtra por un banco de capacitores, que disminuye el rizado de la señal rectificada obteniendo una señal triangular-sinusoidal, para luego llegar a una señal estabilizada y constante como se representa en la figura 2.5. Esta también puede partir de señales ajenas a las de distribución, como es el

caso; de las tensiones atmosféricas las cuales brindan una señal en corriente continua por la ruptura del dieléctrico que produce el rayo. [49]

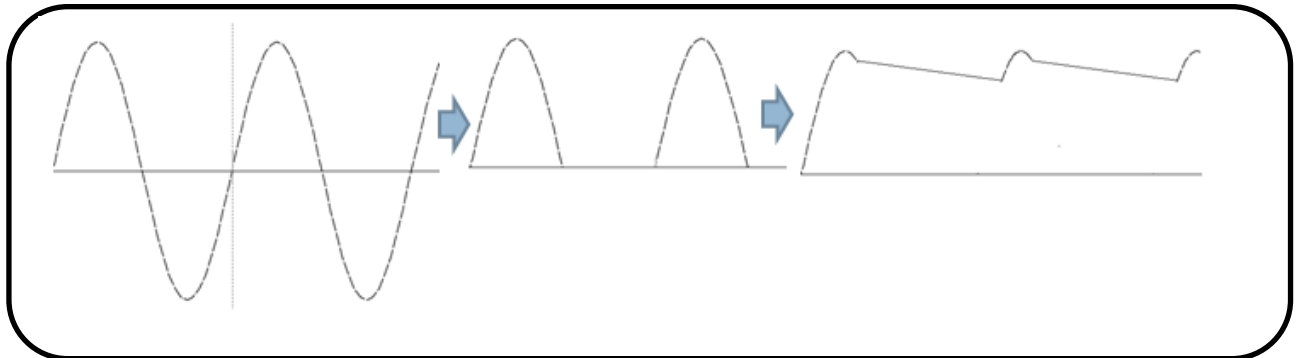


Figura 2.5. Representación de rectificación de media onda ⁵⁵

2.2. DISEÑO DEL CENTRO DE CONTROL.

En el diseño del centro de control, se deben tomar en cuenta los nuevos requerimientos que se establecen, para los niveles de tensión; versus el espacio físico, seguridad y de los equipos requeridos para la realización de cada ensayo.

Ya que el laboratorio, se encuentra operando desde hace más de 7 años y sufrió de una remodelación en su ubicación; este debe tener un nuevo estudio de los nuevos requerimientos y de los equipos de acuerdo a la necesidad de la carrera para el estudio de las señales producidas durante cada práctica.

Por lo que los puntos más importantes que se tomarán en cuenta en el capítulo serán:

- Diseño actual.
- Señales del estudio.

2.2.1. DISEÑO ACTUAL

El laboratorio de Alta Tensión, se encuentra ubicado dentro del laboratorio de Ingeniería de Eléctrica, y cuenta con una nueva infraestructura en la que se puede realizar las prácticas de una mejor manera, teniendo como principales beneficios:

⁵⁵ *Figura propia del autor.*

- Mejorar la manipulación de los elementos y equipos requeridos, durante cada práctica.
- Mejorar la condición de trabajo, con normas de seguridad al momento de trabajar con la Alta Tensión.
- Seguridad al operar el equipo, ya que se cuenta con un lugar específico para realizar las prácticas.
- Mejorar la visualización de los eventos eléctricos producidos durante cada práctica.

La jaula de Faraday, se la remodelo para tener una mejor protección para las personas que trabajan dentro de este laboratorio, y se la reconstruyo para tener una mejor manejo de los equipos, además se utilizó la tierra anterior de la protección de la malla a tierra para la actual, pero sin tomar en cuenta las posibles ampliaciones de prácticas para el futuro. Se mejoraron las protecciones de la puerta, para tener una mejor seguridad y se colocaron señales de precaución, como se muestra en la figura 2.6, para el uso adecuado del mismo.



Figura 2.6. Protecciones del laboratorio de Alta Tensión⁵⁶

Los planos del espacio físico utilizado por el laboratorio de Alta Tensión, se encuentran en los anexos A3.

2.2.2. SEÑALES DEL ESTUDIO

Dentro de un laboratorio de Alta Tensión tenemos distintas equipos; los cuales permiten realizar diferentes ensayos y con cada elemento se busca obtener de diferentes

⁵⁶ *Figura propia del autor.*

configuraciones y distintas señales eléctricas para estudiar, por lo que se conseguirán señales de diferente magnitud y con características únicas. Por lo que los ensayos donde se puede llegar obtener señales notables y se las puede llegar a visualizar en los siguientes ensayos:

- Generación y medición de alto voltaje de impulso
- Prueba destructiva de la rigidez dieléctrica del aire
- Pruebas de aislamientos de un transformador de 13.8 kV
- Determinación de las características dieléctricas del aire
- Rigidez dieléctrica del aire a diferentes presiones

Por cada configuración de los equipos presentes en el laboratorio, se tiene diferentes ensayos; en los cuales se obtiene distintas formas de conexiones, por lo que cada uno de estos divisores resistivos y capacitivos de los equipos de ensayos, dan como resultado distintas señales, las cuales son conectados al equipo de control y de medida del laboratorio actual para su monitoreo y control. En estas prácticas, se encuentran las señales de AC y DC, las cuales son las más frecuentes en monitorear pero dentro de estas se puede crear una señal de impulso, la cual consta de dos señales o más de acuerdo a las condiciones en la que se cree. Esta se compone por una señal AC y DC, pero su principal característica es que no se la puede recrear de una manera perfecta, ya que esta puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales, por lo que el circuito utilizado para este caso se detalla en la figura 2.7.

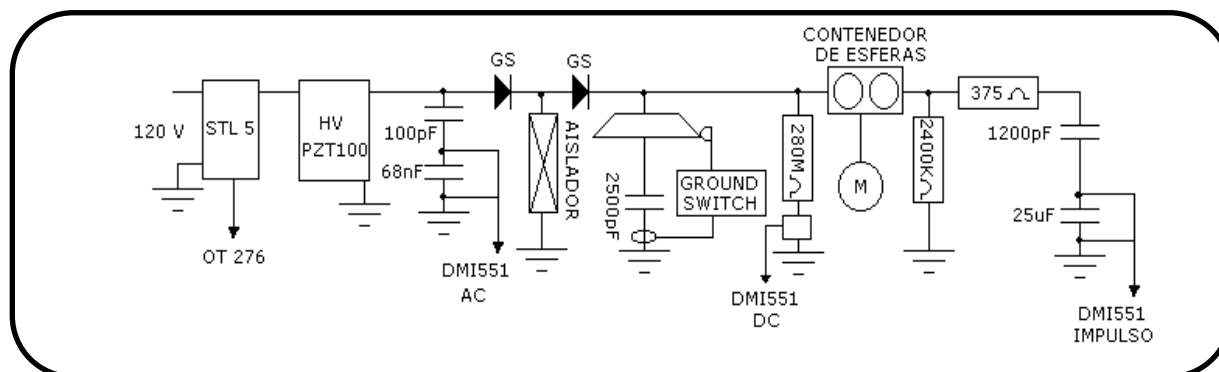


Figura 2.7. Circuito para la medición de AC, DC y tensión de impulso⁵⁷

⁵⁷ *Figura propia del autor.*

En el circuito de la figura 2.7, se puede observar la rectificación de la onda, con los divisores de tensión; los cuales, permiten que se reduzcan los valores de kilovoltios a valores estándares admisibles para los equipos de control, estos son enviados por cables especiales para aislar la señal de cada una de estas y llevarlas al equipo DMI 551, el que se encarga de monitorearlas y presentar los valores de AC, DC y la tensión máxima de impulso, por lo que llegaríamos a obtener valores de acuerdo a los valores procesados por los equipos de medición.

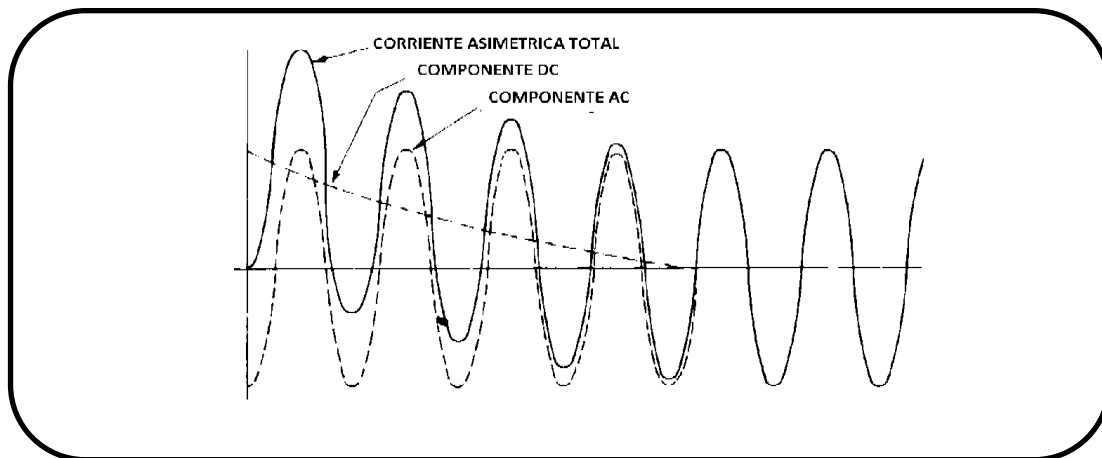


Figura 2.8. Señal asimétrica⁵⁸

2.2.2.1. TENSION DE IMPULSO

Esta es una tensión o una corriente transitoria aperiódica aplicada sobre los elementos, la misma que asciende rápidamente, hasta alcanzar un valor de pico, y después decrece más lentamente, hasta llegar a cero. Estos fenómenos se dan principalmente en la naturaleza. Por lo que los impulsos, con una duración de frente de hasta 1.2 us; se los reconoce como impulsos atmosféricos.

2.2.2.2. ONDA DE IMPULSO ATMOSFÉRICO

Una onda de impulso completa, es la que no se ve obstruida por una descarga disruptiva. Por lo que en la figura 2.9, se observa que el tiempo de frente de la onda es corto, en comparación del tiempo de cola; una onda de impulso atmosférico cortada, es aquella que

⁵⁸ IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings, IEEE Std 241-1990, p. 320.

se interrumpe bruscamente por una descarga disruptiva, provocando una brusca caída de tensión prácticamente a cero, esta se representa en la figura 2.10.[50]

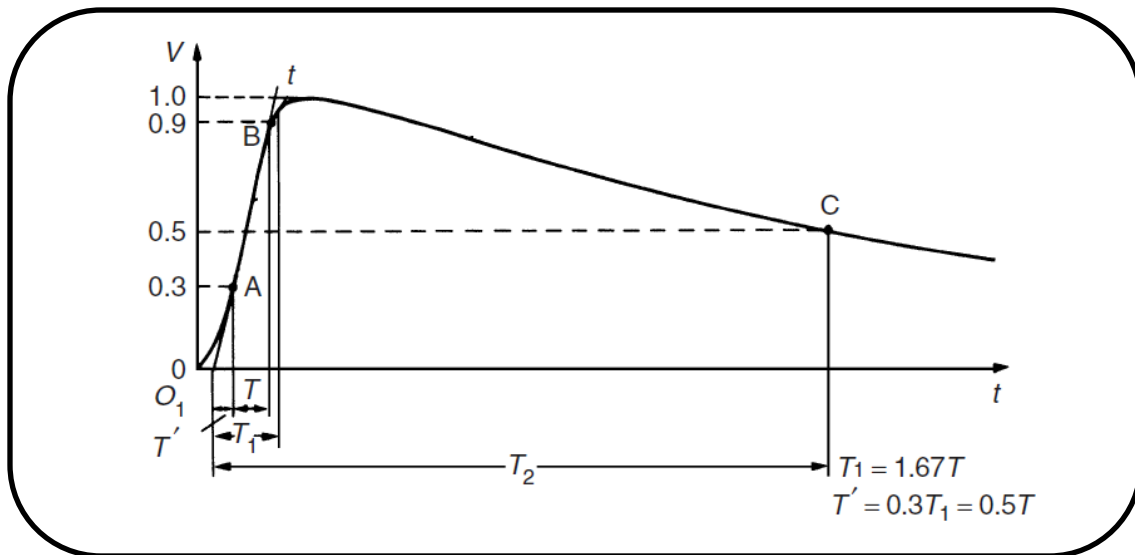


Figura 2.9. Forma de onda de impulso atmosférico⁵⁹

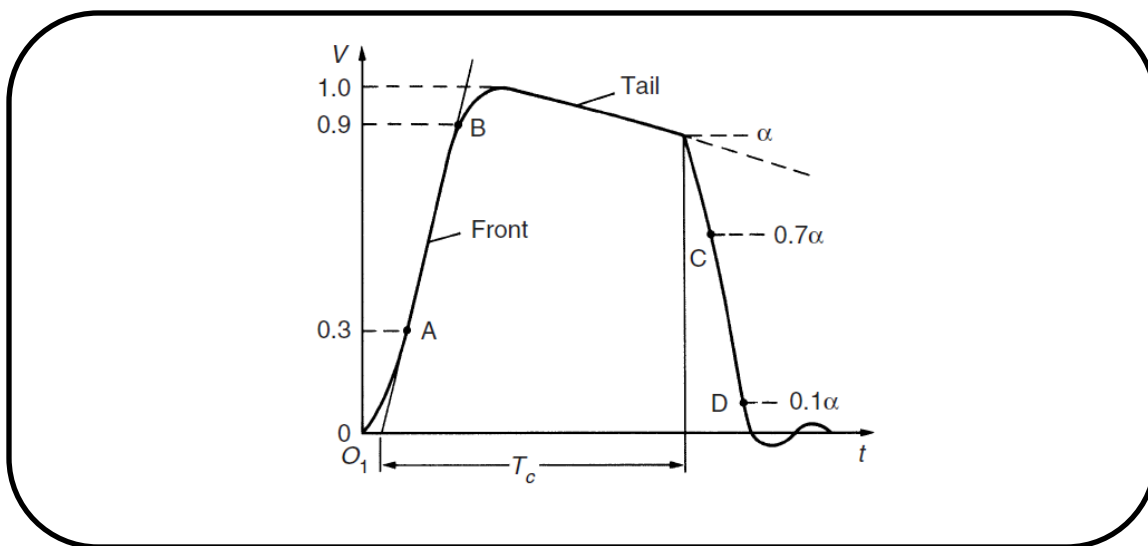


Figura 2.10. Forma de onda de impulso atmosférico cortada⁶⁰

La caída de tensión de la onda, puede producirse en el frente, cresta o cola. La forma de onda puede variar de acuerdo a la frecuencia de ocurrencia y condiciones atmosféricas en las que se produzca. Además, se puede obtener un tren de pulso de señales de impulso, ya

⁵⁹ IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing, IEEE Std 4-1995, p. 20.

⁶⁰ Ídem, p. 22.

que al producirse una señal atmosférica, se pierden las características físicas del aire por un momento, haciendo más fácil que se repita el evento eléctrico.

2.2.3. ESPECIFICACIONES CENTRO DE CONTROL

Con los principios de seguridad, control y monitoreo del laboratorio actual; se requerirá de los diferentes elementos electrónicos para asegurar un nivel de seguridad y fiabilidad en la adquisición de datos y control. En este sistema, se deberá contener los distintos tipos de visualización inteligente y notificaciones del caso, para tener una confiabilidad en el proceso de adquisición. Los puntos a tomar en cuenta en el diseño deberán ser: [51]

- Sistema de visualización.
- Sistema de procesamiento de señal.
- Espacio físico.
- Muebles tipo racks para equipos de comunicación, control y medida.
- Sistema de cableado.
- Protocolos de comunicaciones.
- Equipos de control y monitoreo.

2.2.3.1. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN

Los sistemas de visualización para los Centros de Control, son los Videowalls o murales de visualización, como se muestra en la figura 2.11. La utilidad principal de los Videowalls, es la de mostrar la información por medio visual o representativo a un grupo de personas, al mismo tiempo que el evento o proceso se produce, para que éste pueda ser estudiado. Estos Videowalls están formados principalmente por tres elementos:

- Los módulos de visualización: son retroproyectores DLP o paneles TFT apilados y/o situados de acuerdo a las necesidades del sistema, para la visualización del proceso, de forma que la separación entre los distintos módulos sea la menor posible.
- El sistema electrónico de procesamiento de señales: este se encarga de organizar las diferentes etapas de las señales a representar, en el conjunto de módulos de

visualización; con lo que se generará un escritorio extendido para la visualización del proceso.

- Software de servicio de la configuración de los paneles y etapas de las distintas fuentes de imagen para crear Videowalls.



Figura 2.11. Videowalls del centro de control del CENACE⁶¹

2.2.3.2. SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE SEÑAL

El procesamiento, se dará por medio de una tarjeta de adquisición de datos; la cual se encarga de tomar las señales eléctricas, por medio de niveles admisibles por equipos de monitoreo, este se complementa con un sistema de procesamiento de datos, el mismo que es un computador o a su vez, el equipo de adquisición. Al contar con un procesador acorde a las necesidades específicas para el proceso a medir, este se encargará de procesar la señal por medio del software, en donde los algoritmos procesarán los datos obtenidos para mostrar un resultado específico de lo que se requiere. Estos algoritmos se basan primordialmente en el tiempo de respuesta o velocidad que tenga la tarjeta de adquisición y de la velocidad del computador para manejar la información por los canales o protocolos de comunicación, ya que si se ve interrumpida la señal, se tienen errores o resultados erróneos dentro del procesamiento.

La mayoría de computadoras se basan en el procesamiento de las señales digitales, las cuales son mucho más fáciles de procesarlas por los diferentes programas, cabe mencionar,

⁶¹ CENACE, Centro de Nacional de Control de Energía del Ecuador, <www.cenace.org.ec> [consulta: 28 de enero 2013]

que se pueden también trabajar con las señales analógicas pero, estas a su vez; utilizan demasiada memoria del procesador y vuelven al sistema un poco lento, por eso se recomienda la utilización de equipos acordes a las necesidades del proceso, para un centro de control eléctrico.

Los requerimientos básicos para el centro de control, se basan primordialmente en la velocidad del procesamiento de las señales y características que el computador debe tener para brindar un control de flujo de datos adecuados, para el sistema SCADA.

El computador, será el encargado de soportar los distintos dispositivos como: disco duro, tarjeta de video, memorias RAM, tarjetas de comunicaciones, tarjetas de audio, adquisición de datos, entre otras y de acuerdo a lo que el usuario o proceso lo requiera. Dentro de estas se tienen características especiales que son los Slot de expansión, ya que se utilizan para colocar placas de expansión. Pueden ser de varios tipos: Slot para tarjetas gráficas, las que permitirán la entrada de nuevas tarjetas gráficas, esta pueden constar con un sistema SLI el cual se basa en la expansión de otra tarjeta de video, por medio de un segundo slot para el control independiente de los procesos gráficos independizando las señales. En la actualidad la tecnología SLI, desarrollada por NVidia puede alcanzar hasta un máximo de 4 monitores con una resolución excelente.

Además, se contara con los slots, del tipo PCI (Periferal Componet Interconnect), los cuales se encuentran en la versión PCI 3.0, estos poseen una tasa de transferencia de 503 Mbps a 66 Mhz. Su ubicación se encuentra dependiendo del tipo de placa, normalmente entre 5 slot (ATX) y 2 slot Mini ATX. Ya que estos se los utilizaría para la expansión de las tarjetas de comunicaciones, adquisición de datos u otros tipos de tarjetas que pueden enlazarse a programas. Otro medio indispensable para la realización de un centro de control; es la utilización de puertos USB, ya que en la actualidad la mayoría de tarjetas de adquisición se basan principalmente en la utilización de este puerto, por lo que la mayoría de mainboards actuales traen más conectores USB, teniendo más de cuatro puertos en la parte posterior del case y otros cuatro conectores internos. Las placas actuales incorporan USB 2.0 o USB 3.0, este último puede mostrar incompatibilidad con ciertos equipos y requiere la actualización del firmware para funcionar. La tasa de transmisión es hasta 480 Mbps para el USB de acuerdo al dispositivo de comunicación. Este tipo de tecnología

permite la conexión y desconexión de los periféricos, con voltaje; sin que existan fallos en la desconexión, además estos cuentan con una alimentación de hasta 5 Voltios.

Dependiendo de la mainboard, se pueden encontrar de diferentes tipos de comunicaciones adicionales: como tener varios puertos de comunicaciones de Ethernet, con velocidades 10/100, llegando a 10/100/1000 en las placas de gama media-alta y alta. Se pueden incorporar distintos tipos de tarjetas de comunicaciones de acuerdo a los equipos de control o monitoreo, ya que cada equipo puede basarse en un protocolo específico.

El procesador, permitirá el procesamiento de información en forma binaria, por medio de algoritmos matemáticos. Ya que este, trabajará en función a la velocidad de un reloj interno, con un cristal de cuarzo que se encuentra dependiente de la corriente eléctrica, el cual envía pulsos para dar paso a funcionamiento del procesador. Por lo que se requerirá de un procesador capaz de soportar las velocidades de procesamiento de los datos, para que estos sean procesados y transmitidos dentro del sistema SCADA.

2.2.3.3. ESPACIO FÍSICO

El espacio físico es importante, ya que de este dependerá la seguridad de las personas y la operación adecuada de los equipos de laboratorio, por lo que a continuación, se detallará como se debe distribuir los ambientes de acuerdo al espacio físico.

Actualmente se cuenta con un armario, el cual se encarga de mantener los elementos del laboratorio en orden y preservarlos intactos. Las señales de advertencia y luminosas deben estar ubicadas en lugares donde las personas que realicen las prácticas puedan distinguirlas, y deben llevar una rotulación de peligro o Advertencia de que los equipos están energizados y que no se deben acercarse demasiado a la jaula de Faraday.

Los equipos de control y medida, deben estar frente a la jaula de Faraday, para observar los efectos electromagnéticos producidos durante cada ensayo, pero teniendo una distancia de seguridad contra los efectos electromagnéticos y niveles de tensión presentes dentro de la jaula de Faraday.

Los armarios eléctricos de este laboratorio deben estar situados en lugares donde se puedan desconectar, si existiere el peligro de muerte, y los equipos de datos o redes deben estar ubicados en un lugar donde no se vean afectados por los efectos electromagnéticos producidos por el laboratorio de Alta Tensión.

Se deben establecer sitios para la proyección del sistema SCADA, para los equipos, muebles, armarios eléctricos y de datos, sin que estos intervengan en la movilidad de las personas. Todos estos deben complementarse para guardar un orden dentro de un centro de control.

2.2.3.4. MUEBLES TIPO RAKS PARA EQUIPOS DE COMUNICACIÓN, CONTROL Y MEDIDA

Los muebles utilizados dependerán de qué tipo de centro de control se desee implementar por eso se deberán tener armarios para proteger los equipos. Por lo que un Rack es un gabinete que puede contener los dispositivos de red como servidores, cables para conexiones con la computadora principal, también contiene equipos para el control o monitoreo del sistema, la mayoría de racks suelen ser de puertas de vidrio o un material transparente, para la supervisión de los equipos, como se muestra en la figura 2.12.



Figura 2.12. Racks de comunicaciones.⁶²

Los armarios eléctricos, están destinados a contener todas las conexiones eléctricas, para proteger cada uno de los distintos circuitos del centro de control, esta instalación contendrá fusibles, protecciones magnéticas o térmicas y diferenciales, como se lo puede apreciar en

⁶² Himel, “Armarios Combinables Metálicos OLN ”, p1 < http://electrocentro.com.mx/catalogos/Ficha_OLN.pdf > [consulta: 28 de enero 2013]

la figura 2.13. Este también tendrá el encendido del equipo principal y el de emergencia, de esta manera se garantiza que los usuarios no sufran pérdida de conectividad por algún cable que se desconecte o que exista riesgo sobre los cables de tensión de los equipos de medida hacia las personas.



Figura 2.13. Tablero eléctrico.⁶³

2.2.3.5. SISTEMA DE CABLEADO

Es un punto importante del centro de control, ya que de este dependen los datos de control y de monitoreo, este sistema de cableado, debe dar un soporte físico para la transmisión de las señales asociadas a las prácticas realizadas en el laboratorio. Para realizar esta función, el sistema de cableado, debe contener todos los cables, conectores, módulos, etc., rotulados especificando su función, ya que con esto, se podrá realizar el correcto funcionamiento de los equipos.

En el caso de un centro de control, se debe independizar los cables de energización de los cables de datos para los equipos de control y medida, ya que existirían interferencias en las lecturas, además, es imprescindible la independización de los cables de comunicaciones; ya que de no hacerlo se tendrán problemas en la comunicación con servidores y otro equipos o si fuere el caso daños a equipos. El laboratorio actual cuenta con un sistema de cableado para cada uno de los servicios, pero estos se deberán reestructurar de manera que exista un orden para la implementación de un centro de control.

⁶³ ZPAS S.A., Armario eléctrico < <http://www.directindustry.es/prod/zpas-sa/armarios-electricos-64355-527398.html> > [consulta: 28 de enero 2013]

2.2.3.5.1. TIPOS DE CABLES

El sistema cableado, deberá ser considerado no sólo en las condiciones actuales del laboratorio de Alta Tensión, sino cuando se requiera implementar nuevos equipos de control y monitoreo para necesidades futuras.

Al realizar esto, se podrá realizar la expansión del laboratorio de una manera segura y confiable sin la necesidad de necesitar costosas renovaciones, cada vez que se lo requiera.

Los cables más utilizados, son los que componen la mayoría del sistema eléctrico, hay que tomar en cuenta que si los niveles de tensión cambian, se deberán cambiar por los cables sugeridos por los fabricantes de los equipos de control y monitoreo para evitar fallas sobre estos.

El tener distintos tipos de cables cada uno cuenta con sus ventajas y desventajas, ya que la principal diferencia entre los distintos tipos de cables radica en los límites de tensión, el grado de blindaje ante interferencias electromagnéticas, caída de tensión, grado de flexibilidad, etc.

En la actualidad, existen básicamente tres tipos de cables factibles de ser utilizados para el laboratorio de Alta tensión como:

- Coaxial.
- Par Trenzado (2 pares y 4 pares).
- Fibra Óptica.

Los cables como el Par Trenzado se basan a partir de la norma ANSI/TIA/EIA-568 y la Fibra Óptica en la norma ANSI/TIA/EIA-568-B.3. A continuación, se describen las principales características de cada tipo de cable, tomando en cuenta los cables coaxiales y a la fibra óptica utilizados en el laboratorio de Alta Tensión.

A. CABLE COAXIAL

Está compuesto de un hilo central de cobre, envuelto por una malla de hilos de cobre. En el área entre el hilo y la malla se encuentra un conducto de plástico que separa los dos conductores y ayuda a mantener las propiedades eléctricas. Además cuenta con un recubrimiento de plástico de acuerdo al uso que se establezca se lo puede representar en la figura 2.14. Dentro del laboratorio de Alta Tensión, tenemos diferentes tipos cables los más utilizados o más reconocido son: los cables de medición en AC, DC e impulso, y control de los distintos equipos del laboratorio. [52]

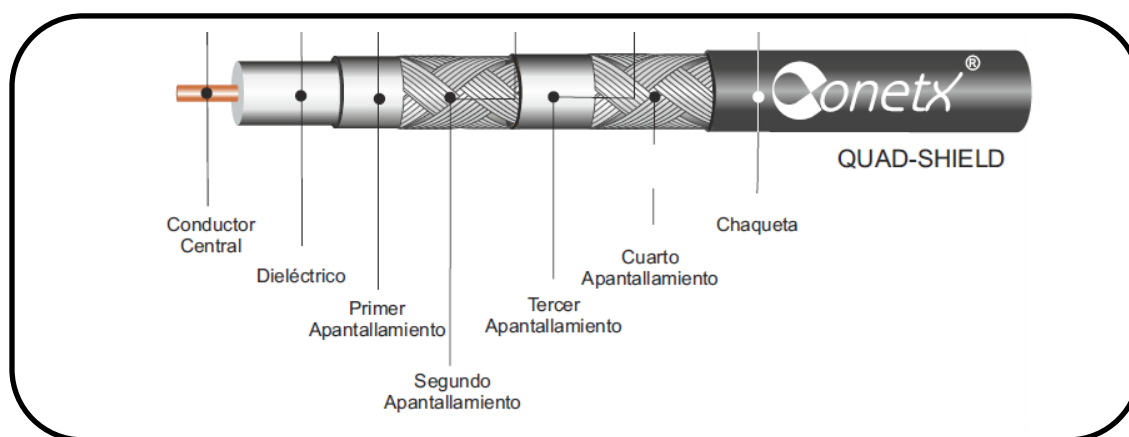


Figura 2.14. Cables coaxiales ⁶⁴

B. PAR TRENZADO

Sirve como medio de comunicación entre la computadora principal, otras computadoras, servidores o equipos eléctricos, para enviar la información, desde el centro de control al exterior, ya que este tipo de cable está diseñado para el uso en comunicaciones. Permitiendo frecuencias más altas de transmisión, este tipo de cable está compuesto por una serie de pares de cables trenzados y cada uno cuenta con un color específico, ya que de la forma en que se los conecte, se verá la forma de comunicación. Los pares se entrelazan para disminuir la interferencia entre pares adyacentes, como se muestra en la figura 2.15. [53]

⁶⁴ C O N E T X, CABLE COAXIAL RG-6, p. 2 < <http://www.energitel.com/fichas/22.pdf>> [consulta: 28 de enero 2013]

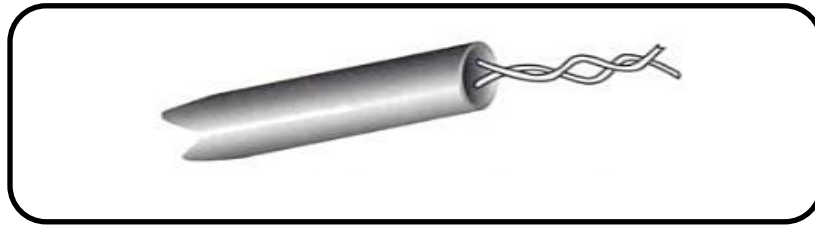


Figura 2.15. Cables par trenzado.⁶⁵

Los cables, se los puede clasificar de acuerdo a las características eléctricas, protección, tamaño, peso y flexibilidad, ya que cada uno tiene distintas aplicaciones dentro del campo de comunicaciones. A continuación se describen las características de los cables trenzados a partir de su clasificación:

A. CABLE UTP

Las principales ventajas de estos cables es su bajo costo y su facilidad de manejo y su mayor desventaja es su gran tasa de error, ya que carece de un apantallamiento o malla de protección, frente a señales eléctricas externas respecto a otros tipos de cable, y sus restricciones para trabajar a distancias elevadas; la representación de este tipo de cable está en la figura 1.16. Al tener señales de impulso, se generan señales electromagnéticas para el sistema, por lo que el cable carecería de la protección y se tendría problemas en los datos enviados por la red, ya que los equipos de datos se ubicarían a un extremo de los equipos de medida y control existentes guardando las distancias necesarias. Todos a su vez se ubican en la parte externa de la jaula de Faraday. El estándar EIA-568 en el adendum TSB-36 diferencia entre cuatro categorías distintas para este tipo de cables. [53][54]

- Categoría 3: Permiten trabajar con frecuencias de hasta 16 MHz
- Categoría 4: Permiten trabajar con frecuencias de hasta 20 MHz
- Categoría 5: Permiten trabajar con frecuencias de hasta 100 MHz
- Categoría 6: Permiten trabajar con frecuencias de hasta 250 MHz

De acuerdo a las aplicaciones, tenemos diferentes sub-categorías de cada uno de estos por lo que se enfatizara, con las especificaciones de acuerdo a la normativa de centros de control de un laboratorio de Alta Tensión.

⁶⁵ E. Herrera, "Tecnologías y redes de transmisión de datos", Limusa 2003, p. 82.

Las características generales, de este tipo de cable para el laboratorio serán:

- **Por Tamaño y peso:** por lo que al contar con un menor diámetro de los cables de par trenzado no blindado, son mucho más eficientemente en las canalizaciones y los armarios de datos; y su peso con respecto a los otros tipos de cable facilita el tendido.
- **Flexibilidad:** La facilidad para doblar y curvar este tipo de cables, permite un uso más rápido.

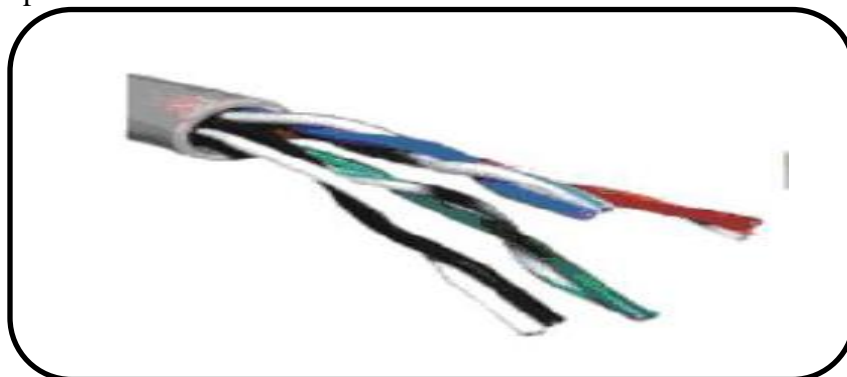


Figura 2.16. Cable UTP ⁶⁶

En el cable STP se encuentra cubierto por una malla metálica, y el conjunto de pares se encuentra recubierto con una lámina blindada de aluminio. Se identifica frecuentemente con sus siglas en inglés STP (Shielded twisted pair) o par trenzado blindado, como se muestra en la figura 2.17. Ya que con el uso de una malla blindada, se reduce la tasa de falla contra efectos electromagnéticos, pero se incrementa el costo de cada par, debido a que requiere de un proceso de fabricación más costoso. Este es adecuado dentro del laboratorio para proteger los datos enviados, a través, de una red de comunicación del laboratorio de Alta Tensión, pero existen problemas en el manejo, pues este es más pesado y no cuenta con una buena flexibilidad. [53][54]

⁶⁶ Pablo Gil Vázquez, Jorge Pomares Baeza, Francisco Candelas Herías, "Redes y transmisión de datos", Universidad de Alicante. Servicio de publicaciones, 2010, p. 83.

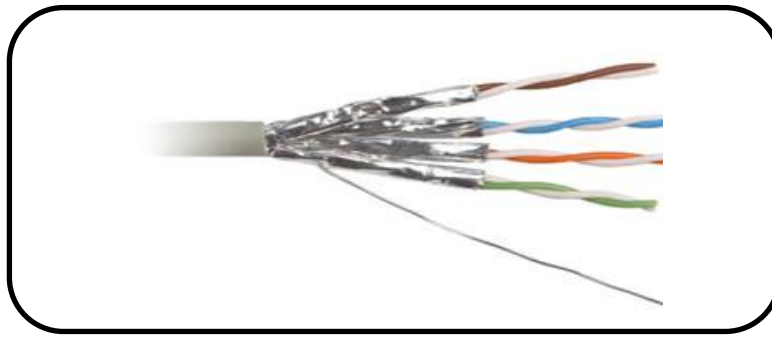


Figura 2.17. Cable STP. ⁶⁷

El cable FTP es similar al cable UTP, pero sus pares no están apantallados, sin embargo este dispone de una pantalla global para mejorar el nivel de protección, ante interferencias electromagnéticas, como se muestra en la figura 2.18. Su impedancia característica es mayor a los 100 ohmios, y su transmisión es similar a los cables mencionados anteriormente. [54]

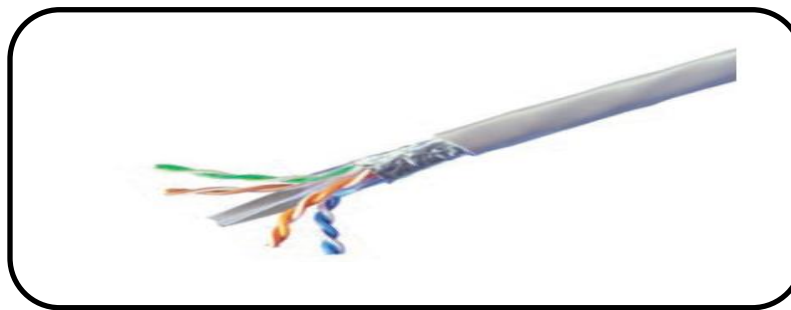


Figura 2.18. Cable FTP. ⁶⁸

2.2.3.6. PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES

Dentro de los protocolos de comunicaciones tenemos como base el Protocolo TCP/IP, el cual puede funcionar simultáneamente, con una gran variedad de protocolos. Los mismos que se apoyan en TCP y son del tipo de protocolos de nivel de aplicación, el cual provee de servicios como: transferencia de archivos, correo electrónico, servicios de terminales entre equipos. Estos tipos representan los niveles físico y de enlace de datos para el caso de un sistema SCADA.

⁶⁷ Pablo Gil Vázquez, Jorge Pomares Baeza, Francisco Candelas Herías, "Redes y transmisión de datos", Universidad de Alicante. Servicio de publicaciones, 2010, p. 83.

⁶⁸ Adckrone, "Cableado Estructurado TrueNet®", p 24, <<http://www.adckrone.com/eu/es/webcontent/support/PDFs/enterprise/catalogue%20es/Cableado%20horizontal.pdf>> [consulta: 28 de enero 2013]

2.2.3.6.1. PROTOCOLO TCP/IP

El protocolo TCP/IP, se lo puede definir mediante un número de puerto, ya que los datos son enviados por un canal y deben estar conectados a una red. Esta información es utilizada por los dos computadores o dispositivos para que puedan ser conectados a fin de recibir y enviar información.

El uso de número de puerto, brinda la capacidad de multiplexación, a varios programas o de usuarios, ya que se consigue tener una comunicación de forma repetida, con diferentes programas. Básicamente los números de puerto sirven para identificar a cada aplicación. Este concepto es semejante al del punto de aplicación de servicio SAP (Punto de acceso al servicio), que solo es la unión de servicios de red como por ejemplo el número del puerto o capa y la dirección del puerto. En la que la dirección IP solo indica una conexión dentro de una red.[55][56]

En las redes TCP/IP se identifican los computadores y las redes a las que están conectados utilizando direcciones de 32 bits. Su representación en la dirección está dada por:

$$\text{Dirección IP} = \text{Dirección de red} + \text{Dirección de computador}$$

Ya que esta oculta la subred creada debajo de los usuarios finales y crea una nueva red virtual para ellos. Ya que permite a diferentes redes conectarse a un puente IP, siendo este el punto de referencia para las conexiones a la web o servidores.

El IP es un protocolo de tipo datagrama, este soporta operaciones de segmentación y es una operación por la que una unidad de datos de protocolo PDU (Unidad de Datos del Protocolo) se divide y segmenta en unidades más pequeñas de acuerdo a la necesidad de los datos y su importancia dentro del servicio de red. [55][56]

2.2.3.6.2. TCP.

El TCP se debe encargar del control de flujo de datos, secuencia, aperturas y cierres de los puertos. Además el TCP es un protocolo dedicado a la conexión entre equipos. Este conserva la información del estado de cada arreglo de datos que el sistema envía por el canal y la transmisión de cada uno de estos; es del tipo bytes u octetos, por lo que cada una de estas sucesiones, permite un número de órdenes y admisiones o de rechazos. El TCP

admite el uso de una determinada longitud de la variable, debido a su diseño orientado a arreglos. [57]

La estructura del TCP, se forma a partir de dos partes, la primera de inicio donde se encuentran las características de comunicación-dirección; como la del puerto de fuente y puerto de destino, y en la segunda la parte de datos. En los primeros 16 bits se identifican a los programas de aplicación de nivel superior que utilizan la conexión TCP, y el siguiente campo que es el número de secuencia, este contiene el número de secuencia del primer octeto del campo de datos o de información. El número de secuencia se utiliza para la aceptación de los datos y la validación de estos.[57]

2.2.3.6.3. PROTOCOLO DE DATAGRAMAS DE USUARIO (UDP)

UDP este es un protocolo, el mismo que no está orientado a conexión. Se lo utiliza a veces como remplazo del TCP, cuando no hay que utilizar los servicios del mismo, este solo llama a determinados datos en el sistema de comunicaciones y sirve como interfaz de aplicación simple para IP, la única función de este canal es la de envío y recepción del tráfico de IP con direccionamiento de datos. Ya que este solo envía los datos requeridos por el usuario desde el actuador o controlador a la pc, facilitando de una manera, la comunicación, ya que no requiere de una trama compleja. [58]

2.2.3.7. EQUIPOS DE CONTROL Y MONITOREO

Dentro del laboratorio de Alta Tensión, tenemos distintos niveles de voltaje, los cuales nos permiten tener la posibilidad de adaptar distintos tipos tarjetas de adquisición de datos, pero se debe tomar en cuenta los niveles admisibles para cada una de estas, ya que el laboratorio cuenta con equipos de control y monitoreo, con los respectivos voltajes, los cuales son:

2.2.3.7.1. EQUIPO DMI 551

Es un elemento de medición y control digital DMI 551, está diseñado para la medición de AC, DC y tensiones de Impulso. Con tres canales independientes de medición, este cuenta

con la activación de un trigger, para activación de la señal de impulso, la cual es generada por las esferas del equipo de impulso.⁶⁹

A. MEDICIÓN

Para la medición del voltaje en AC, los valores óptimos que el equipo, tiene como base son:

- Rango del tensión AC
0-150 Vrms
- Frecuencia
16 2/3 a 40 Hz
40 a 400 Hz
- Rango de precisión
1 ± 1.0% rdg, ± 3 dígitos
2 ± 0.5% rdg, ± 3 dígitos

Para la medición del voltaje en DC, los valores óptimos que el equipo, tiene como base son:

- Rango de tensión.
0 a 7,5 V
- Rango de la onda.
0 a 0,5 V, 50 a 1000 Hz
- Rango de precisión.
± 0,5% rdg, ± 3 dígitos

Para la medición del voltaje de impulso, los valores óptimos que el equipo, tiene como base son:

- Rango de tensión.
0 a 400 V (BNC)
0 a 1600 V (LEMO 4250)

⁶⁹ *HAEFELY, DMI 551 Digital Measuring Instrument*, <www.haefely.com/pdf/LL_DMI551.pdf>, p.1-2. [consulta: 28 de enero 2013]

- Rango de precisión.
± 1% rdg, ± 3 dígitos

B. CONTROL

Para el control del disparo para el voltaje de impulso, los valores que el equipo, tiene como base son:

- Disparo Generador de Vacío
Manual
Automático
- Cortar brecha de
0 a 2000 ms
- Osciloscopio
20 a 2000 ms
- Fase de sincronización
0° a 360 °

2.2.3.7.2. EQUIPO OT 276

El equipo OT 276, proporciona un funcionamiento seguro y fácil de transformadores de tipo AC, en los sistemas de Alta Tensión, ya que en este tenemos control del transformador y se pueden visualizar los valores correspondiente del nivel de tensión y corriente del lado primario, por medio de pulsadores, además cuenta también con la opción de un descargador a tierra, para setear al equipo y con la opción de un motor, el cual se encarga de realizar la prueba destructiva de la rigidez dieléctrica del aire y encontrar las características dieléctricas del aire. Los niveles de tensión, están de acuerdo a las especificaciones de la marca Haefely.

2.3. ADQUISICIÓN DE DATOS.

Para la construcción del centro de control y monitoreo, se requieren implementar nuevos equipos de control y medida, con lo que se contará con un sistema de adquisición de datos,

que tiene como objetivo, tomar muestras de un proceso en un tiempo real o dinámico, estos valores pueden ser de forma analógica o digital de acuerdo al proceso.

Dentro de un laboratorio se tienen diferentes formas de obtener mediciones, estas pueden tomarse a partir de acciones físicas para luego ser convertidas a eléctricas o directamente de señales eléctricas, esas deben tener niveles tolerables, para los canales de adquisición o si fuere el caso ser convertidas a niveles de tensión adecuadas, para los equipos de medición y control; por medio de divisores de tensión, ya que con estas señales se pasan a un procesamiento digital, para que una computadora las pueda analizar y procesar de acuerdo al estudio a realizar.

Para estos casos, se requiere de elementos especiales llamados tarjetas de adquisición de datos, con sus siglas en inglés DAQ (Data Acquisition), las que se encargan de compilar los datos y transmitirlos por un protocolo, en especial para su manipulación dentro de un sistema de procesamiento. [59]

Dentro de los procesos de adquisición de datos, se obtienen los siguientes términos, estos forman parte de las características del procesamiento de las señales: [60]

- **Dato:** Se lo puede representar, como un estado alfa-numérico o propiedad del proceso, para el procesamiento en un estado matemático.
- **Adquisición:** Se lo representa, como la acción de tomar muestras de las variables físicas o eléctricas, como valores de tensión, luz, presión, etc. Para luego digitalizarla de manera que puedan ser procesadas.
- **Rango:** Son los valores máximo y mínimo entre los que el sensor o dispositivo puedan funcionar, bajo unas especificaciones estándares, pero también se lo puede llamar a los límites de operación que tenga el proceso para operar correctamente sin dañar el producto a acción a realizar.
- **Sistema:** Son los conjuntos de dispositivos y procesos que interactúan entre sí permitiendo que las acciones se realicen de una manera ordenada y sistematizada.
- **Bits de resolución:** Es el número de bits que el convertidor analógico / digital utiliza para representar una señal analógica, producida durante un proceso.

Los sistemas de adquisición de datos, se basan a partir de los acondicionamientos de las señales producidas durante un proceso. Estas señales obtenidas por el equipo de medición se visualizan, analizan y se almacenan en un ordenador o servidor de acuerdo al caso, ya que estos pueden ser utilizados localmente o remotamente. [60]

Los programas informáticos, brindan una gran ayuda al realizar el procesamiento de datos, porque dentro de ellos existen algoritmos diseñado con bibliotecas y herramientas para un mejor procesamiento de las señales de acuerdo a las necesidades del proceso, ya que estos brindan la posibilidad de crear HMI para mejorar el control del proceso de una manera didáctica y ordenada. En los sistemas de adquisición, se utilizan a los sensores, transductores, amplificadores y convertidores analógico-digitales (A/D), para obtener los cambios que se producen durante proceso de adquisición; ya con esto se puede utilizar la información obtenida para corregir el proceso y visualizar el estado del mismo.

Las tarjetas de adquisición de datos, pueden ser del tipo modular o sencillas, se las puede encontrar de forma interna al computador, a través, ranuras de las tarjetas conectadas (PCI, ISA) o por medio de los puertos USB, así mismo, se las puede encontrar de acuerdo a la necesidad ya sean del tipo industrial o estudiantil, también es importante señalar que estas dependerán de cantidad de entradas y salidas requeridas por el proceso, su tamaño, pero lo más importante es la velocidad de muestreo de las señales, ya que de estas dependerá el control y monitoreo.

Los acondicionamientos de las señales, pueden ser necesarios si la señal desde el divisor de tensión hacia el hardware, no es la adecuada, ya que pueden producir daños al equipo, y por ese motivo la señal es amplificada o des amplificada, o puede requerir del filtrado para corrección. En la etapa de acondicionamiento de la señal de control o medición, se pueden encontrar diferentes etapas muy bien definidas, aunque en ciertos casos alguna de estas no se la necesite dentro del proceso.[60]

- Amplificación.
- Filtrado.
- Aislamiento.

2.3.1. AMPLIFICACIÓN

La señal de entrada; se debe amplificar de modo que su máximo nivel sea igual o tenga el mismo valor de la tensión que el convertidor o entrada pueda leer, esta debe tener una escala de amplificación, sin que exista cambio en la señal.

2.3.2. AISLAMIENTO

El aislamiento eléctrico entre el divisor de tensión, ordenador y tarjeta de adquisición de datos es importante para protegerlos de las diferencias de potencial producidas durante la adquisición. Esto sirve para garantizar que las lecturas de la DAQ no se vean afectadas por diferencias en el potencial de masa o tensiones en modo común. Si el sistema de adquisición y la señal a medir se encuentran referidos a una sola masa, esto dependerá exclusivamente del tipo de entrada que se disponga dentro de la DAQ. Además cada una de las entradas del equipo de adquisición, debe tener un aislamiento de canal, para evitar señales de otras entradas o de las salidas del equipo.

2.3.3. FILTRADO.

Este se encarga de eliminar las señales no deseadas o parasitas que aparezcan en el sistema de adquisición de la señal. Ya que al medir los valores de red estandarizados para el centro de control, se deberá omitir el ruido producido por los equipos electrónicos e interferencias por las descargas que se produzcan dentro del laboratorio de Alta Tensión.

2.3.4. DIVISORES DE TENSIÓN.

El divisor de tensión, es una configuración de un circuito eléctrico que comparte la tensión que se genera por una fuente de voltaje entre una o más impedancias conectadas en una configuración de serie. A continuación se resaltarán algunos casos específicos de divisores de tensión de acuerdo a los tipos de corriente alterna y continua.

2.3.4.1. DIVISORES DE RESISTIVO

El divisor resistivo, es un circuito eléctrico en el que el voltaje que se ingresa es superior al de la salida, con lo que se obtiene una reducción del mismo. Este divisor resistivo, se compone de dos resistencias conectadas en serie, y de estas dos, el punto medio es la salida del divisor como se muestra en la figura 2.19. [61][62]

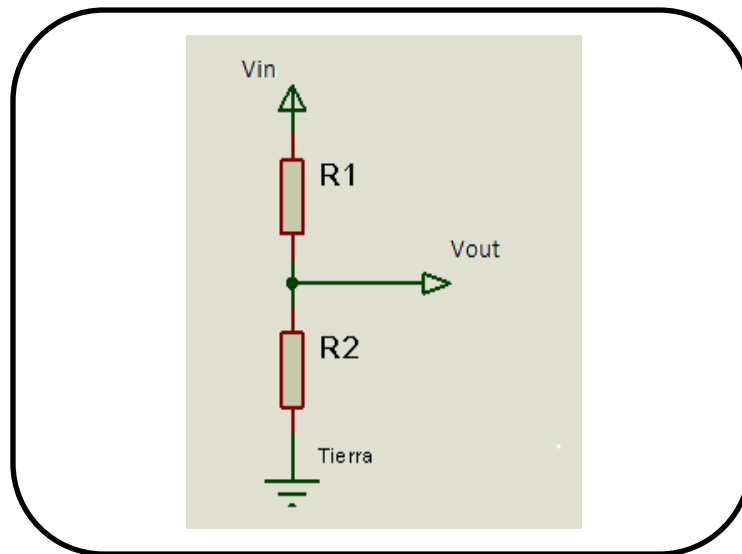


Figura 2.19. Divisor resistivo⁷⁰

Al ingresar un voltaje en el punto V_{in} , obtendremos una reducción del voltaje en el punto V_{out} . Para este cálculo de la disminución del voltaje en el punto V_{out} , se aplica en la ecuación 2.6:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \quad (2.6)$$

Dónde:

V_{in} : es el voltaje de entrada del divisor [Voltios].

V_{out} : es el voltaje de salida del divisor [Voltios].

R_2 y R_1 : son las resistencias [Ohm].

⁷⁰ Figura propia del autor.

2.3.4.2. DIVISOR CAPACITIVO

Para el divisor capacitivo, ambas impedancias son puramente capacitivas, las cuales son C_1 y C_2 como se muestra en la figura 2.20. En estos circuitos, las capacitancias suelen ser del orden de los pico o nano faradios y los condensadores, suelen ser del tipo cilíndrico coaxial, además brindan una solución al problema de la disipación de calor generado por el divisor resistivo. Por lo que se explica en la ecuación 2.7. [63]

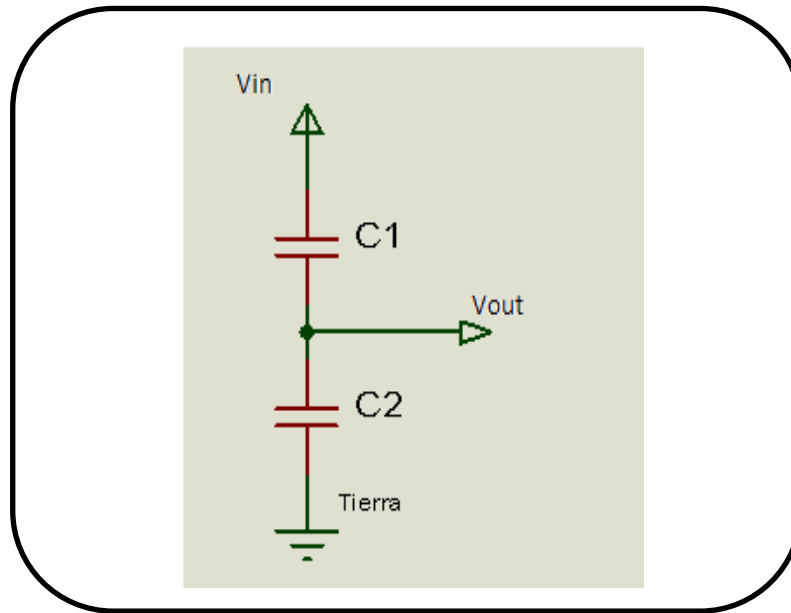


Figura 2.20. Divisor capacitivo⁷¹

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{C_1}{C_2 + C_1} \quad (2.7)$$

Dónde:

V_{in} : es el voltaje de entrada del divisor [Voltios].

V_{out} : es el voltaje de salida del divisor [Voltios].

C_2 y C_1 : son las resistencias [Faradios].

⁷¹ Figura propia del autor.

2.3.5. TARJETA DE ADQUISICIÓN DATOS NI 6212 USB

Para esto se implementan con una tarjeta de adquisición de datos NI 6212 USB, que permitirá la adquisición de los valores de voltajes producidos en cada ensayo de Alta Tensión. La USB-6212 de National Instruments, es un módulo de adquisición de datos (DAQ), con conexión USB como se muestra en la figura 2.21. Además mejorará la adquisición de los datos, con una precisión superior a las obtenidas por los microcontroladores. [64]



Figura 2.21. NI 6212 USB ⁷²

Este tipo de tarjeta, posee 16 entradas analógicas, con una velocidad de muestreo de 400 kS/s y con cuatro niveles de entrada programable de ± 0.2 V a ± 10 V por canal, dicha tarjeta no requiere de mucho espacio para ser utilizada dentro del campo, esta utiliza la tecnología NI Signal Streaming, la cual permite la transmisión de datos bidireccional a alta velocidad, y permite acceder a la memoria para escribir o leer, independientemente de la unidad central de procesamiento, facilitando la adquisición de datos, el esquema interno de procesamiento de la tarjeta se lo presenta en la figura 2.22.

⁷² National Instruments, <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207096>> [consulta: 28 de enero 2013]

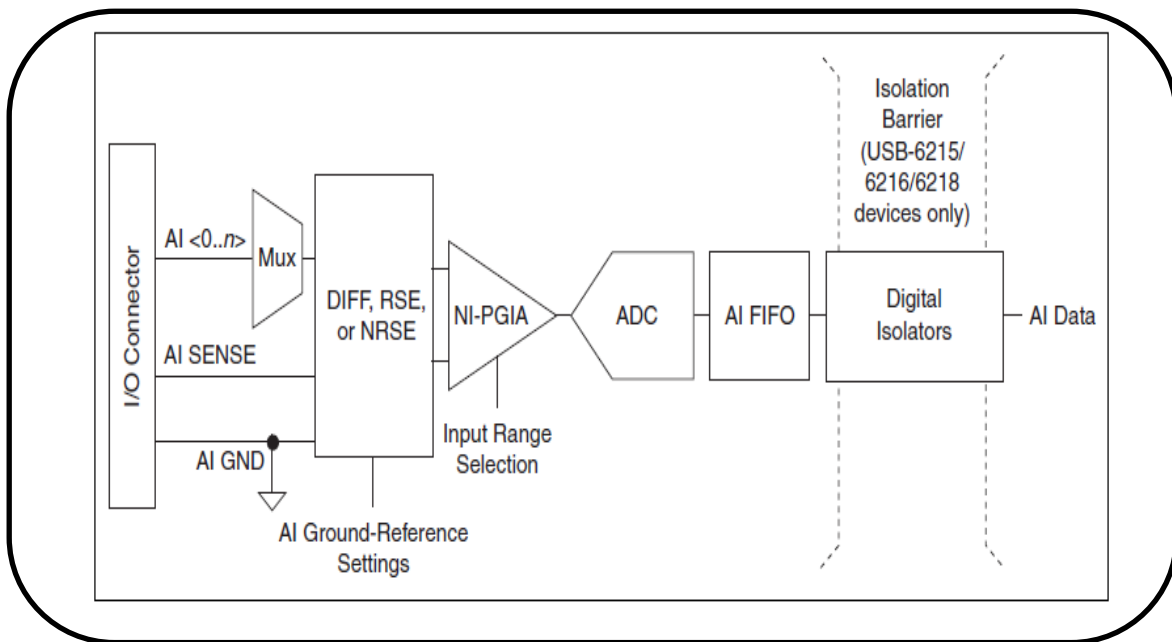


Figura 2.22. Configuración circuito de entrada analógica ⁷³

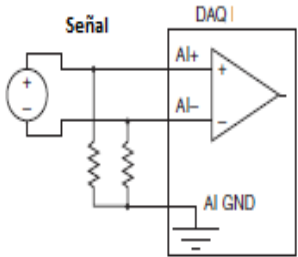
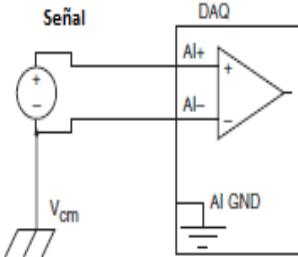
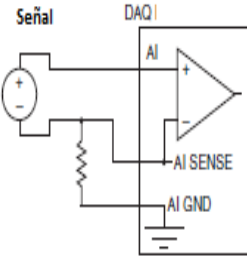
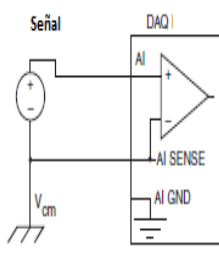
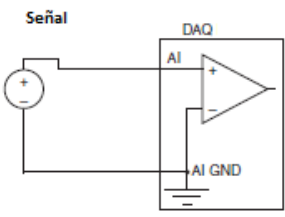
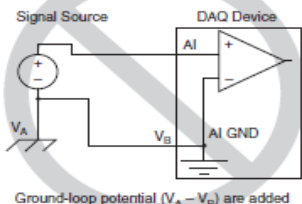
Los bloques principales que surgen en el circuito de entrada USB-6212 analógico, son los siguientes:

2.3.5.1. LOS CONECTORES E/S

En la tarjeta USB-6212, se pueden conectar señales analógicas, pero esto dependerá del tipo de señal que se estudie, ya que cada señal, depende del tipo de referencia y de sus niveles de tensión. Cada uno de los puertos de la USB-6212, cuenta con convertidores analógicos-digitales (ADC), los cuales se encuentran antes de un multiplexor. La referencia para cada una de las configuraciones se encuentra en la tabla 2.1.

⁷³ National Instruments, *Manual de Usuario NI 6912 USB*, p. 37. [consulta: 28 de enero 2013]

Tabla 2.1. Representación conexión de tierras de los equipos.⁷⁴

Referencia a tierra Configuración	Fuentes de señal (no conectado a tierra)	Tierra con referencia a las fuentes de la señal
Diferencial(DIFF)		
Sin referencias (NRSE)		
Referencias a un solo Extremo(RSE)		<p>NOT RECOMMENDED for the USB-6210/6211/6212</p>  <p>Ground-loop potential ($V_A - V_B$) are added to measured signal.</p>

2.3.5.2. NI-PGIA

Este es un amplificador de instrumentación de ganancia, por lo que se puede amplificar o disminuir una señal, de acuerdo a los necesidades, este dispositivo, se encuentra antes del convertidor ADC, ofreciendo una alta precisión, incluso cuando se toman muestras de múltiples canales con pequeños rangos de entrada a altas velocidades, en este caso cada entrada puede ser programada individualmente y cada canal, puede mostrar un rango de diferente precisión.

⁷⁴ National Instruments, Manual de Usuario NI 6912 USB, p. 60.

2.3.5.3. AI FIFO

Este puede realizar ambas conversiones de uno o varios para el caso del tipo Análogo / Digital de un número fijo o infinito de muestras. Con lo que se pueden manejar múltiples entradas analógicas para convertirlas en digitales, sin que existan interrupciones.

2.4. ESTUDIO DE EQUIPOS A IMPLEMENTAR

Dentro de este se debe tomar en cuenta las características técnicas del computador, ya que de este dependerá el procesamiento de los datos, ya que lo que se busca principalmente es la expansión del laboratorio de Alta Tensión, por lo que este debe contar con una placa base Mainboard lo suficientemente recomendable para la expansión.

2.4.1. EQUIPO DE PROCESAMIENTO

La tarjeta madre tendrá que ser una Intel, de la serie media, por los beneficios que esta puede brindar en futuras expansiones, ya que estas pueden tener un expansión grafica de video y permitir tener tarjetas de adquisición y comunicación adicionales; la memoria debe ajustarse de acuerdo a los programas informáticos que se requieran, por lo que cada vez que estos se actualizan o cambian de versión, se vuelven de mayor tamaño para el disco duro y suelen volver lento al computador. Para el centro de control, tendremos una mainboard INTEL® DH67BL, con un procesador Intel® Core™ i7. Este cuenta con conectores DVI-I y HDMI y es compatible con la conexión de pantallas dobles independientes para procesadores con Intel® HD Graphics. Además es compatible con Intel® HD Graphics, con el software de virtualización de GPU Lucidlogix* Virtu* que combina las mejores características de procesamiento de los procesadores Intel® Core™ de 2^{da} generación con el desempeño de las tarjetas adicionales de gráficos. [65]

Este ofrece características como: dos puertos SATA de 6 Gb/s, dos puertos USB 3.0 con velocidad de enlace de 5 Gb/s y la tecnología Intel® de almacenamiento rápido para RAID, que ofrece nuevos niveles de protección, desempeño y capacidad de expansión. Se contará con memorias de 2 slots de memorias de 4GB DDR3, para mantener relación entre la velocidad del procesador y la memoria requerida por el software de National Instruments y

disco duro requerido que será superior al 500 Gb, para tener capacidad de almacenamiento y de expansiones futuras con otros software. [65]

2.4.2. MONITORES O PROYECTORES

La parte de visualización, es importante ya que se requerirá de pantallas de alto rendimiento visual superiores a las estándares, por lo que se necesitará de pantallas superiores a las 32 pulgadas, teniendo como base la comunicación de HDMI, DVI o VGA para la conexión de estas pantallas con el computador. Se debe tomar en cuenta que ciertas mainboards no cuentan con dos salidas de video, y este es un requisito indispensable para la visualización con varios monitores, además esta tarjeta debe soportar los niveles gráficos de las distintas configuraciones de video. Es recomendable el uso de pantallas Lcd, Plasma o Led esto estaría de acuerdo al tamaño del laboratorio y su visualización.

La tarjeta utilizada será la Geforce 210 de 512 MB, ya que con esto se mejorara la calidad de la imagen. Por lo que se puede realizar las presentaciones de un centro de control de una manera nítida.

2.4.3. TARJETAS DE ADQUISICIÓN

Para la adquisición de datos tenemos como base la tarjeta NI 6912 USB la cual cuenta con lo necesario para la adquisición de datos, pero se puede llegar a utilizar nuevas tecnologías de adquisición de datos como lo son NI CompactRIO o NI CompactDAQ, que suelen ser más eficientes en la adquisición de datos, ya que trabajan en ciertos casos con tecnología FPGA, además dependerá del tipo de software que se posea para el control y monitoreo durante la puesta en marcha del centro de control. A continuación se muestra un estado de los puertos que la tarjeta posee dentro de la figura 2.23. Se utilizó este tipo de tarjeta, ya que la Universidad Politécnica Salesiana, cuenta con las licencias y el equipo dentro del laboratorio de Ingeniería Eléctrica, para la realización previa de un sistema SCADA; pero hay que considerar, que esta cuenta con ciertos limitantes como: el nivel de tensión, velocidad de muestreo, aislamiento entre canales y no podrá soportar interferencias electromagnéticas.

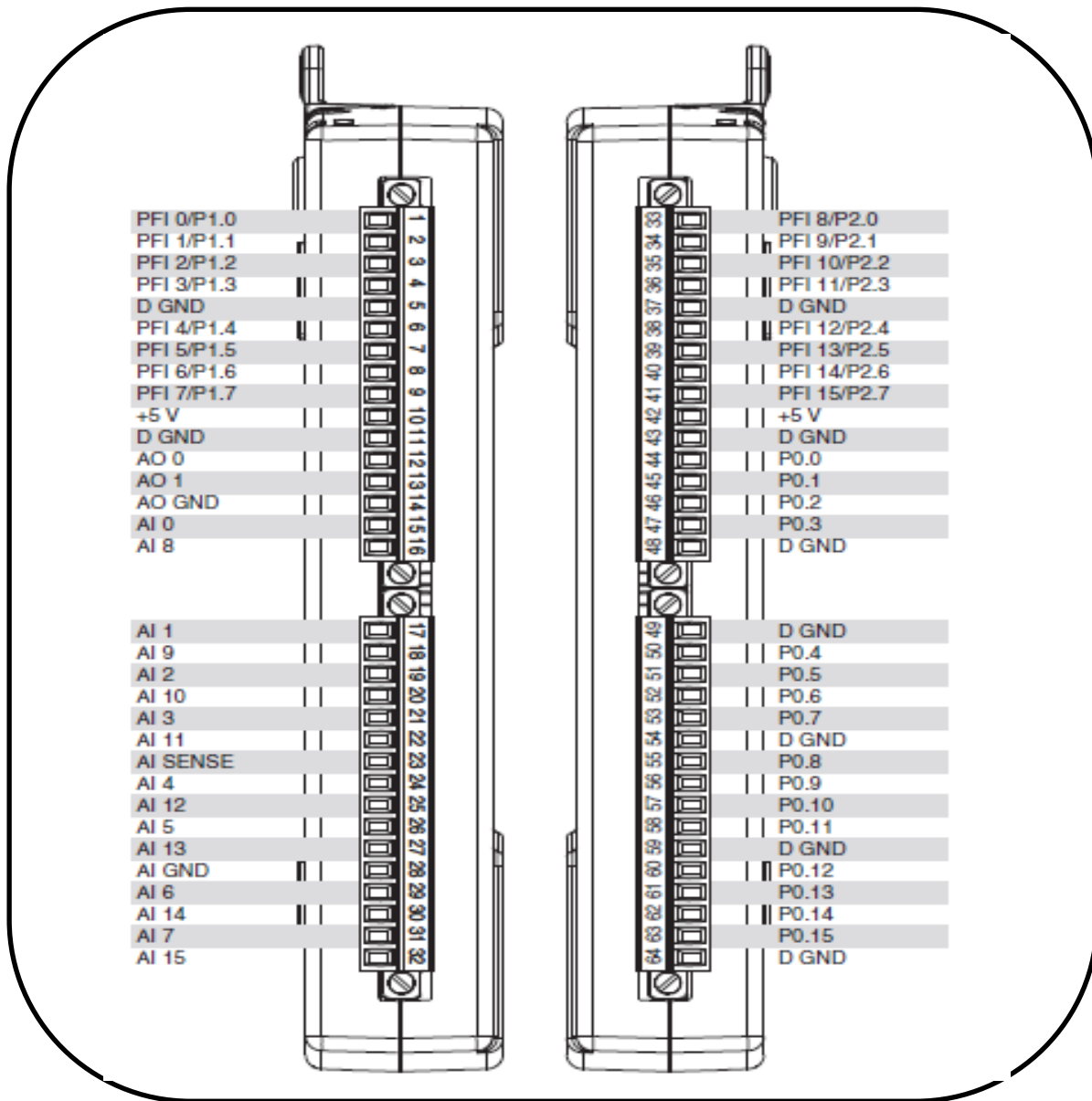


Figura 2.23. Terminales de NI 6212 ⁷⁵

Los acoples para las señales dependerán exclusivamente del nivel de impedancia que estos tengan frente a la señal de entrada de la tarjeta de adquisición de datos. Estas son algunas características que se tomarán en cuenta, para la elección de la tarjeta de adquisición de datos, mostrados en la tabla 2.2.

⁷⁵ Manual de Usuario de NI 6912 USB, p. 151.

Tabla 2.2. Datos técnicos NI 6912 USB. ⁷⁶

General	
Entrada Analógica	
Canales	16, 8
Canales de una sola terminal	16
Canales Diferenciales	8
Resolución	16 bits
Velocidad de Muestreo	400 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V, 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	2.69 mV
Sensibilidad Máxima del Rango de Voltaje	91.6 μ V
Rango de Voltaje Mínimo	-200 mV, 200 mV
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	0.088 mV
Mínima Sensibilidad del Rango de Voltaje	4.8 μ V
Número de Rangos	4
Muestreo Simultáneo	No
Memoria Interna	4095 muestras

Especificaciones Físicas	
Longitud	16.9 cm
Ancho	9.4 cm
Altura	3.1 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
Temporización/Disparo/Sincronización	
Disparo	Digital

⁷⁶ National Instruments, "NI USB-6212 DAQ MIO de la Serie M de 16 bits, 400 kS/s, Energizado por B", <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207096>>

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL CENTRO DE CONTROL

3.1. DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA

Dentro de un sistema SCADA, hay que considerar los distintos tipos de software que existen, ya que de estos dependerá el control y monitoreo del proceso, por lo que estos deben brindar la posibilidad de ampliación, de acuerdo a las necesidades del usuario para poder ofrecer la confiabilidad en la manipulación de datos. Dentro de cada uno de estos programas, se tiene distintas formas para comunicarse con los actuadores o dispositivos en red, por lo que al seleccionar el software, hay que considerar los protocolos que estos pueden manejar, las distintas herramientas para procesar los datos, soporte técnico frente a actualizaciones, la facilidad que tenga al unirse o combinarse con otros programas para brindar reportes, etc. [66]

3.1.1. SOFTWARE

Para el diseño del sistema SCADA, se utilizará el programa Labview, como base para el monitoreo del laboratorio de Alta Tensión, ya que este cuenta con las herramientas que se la utilizarán en las pruebas de control y diseño, mediante una programación del tipo grafica llamada lenguaje G, la que representa acciones básicas o avanzadas de algoritmos.

Los programas creados dentro del Labview, se los conoce como Instrumentos Virtuales o VIs, los mismos que pueden ser utilizados dentro de otra sub-función o rutina, para la llamada de una aplicación en común o generar procesos amplios con la unión de varios Vis, estos poseen entradas y salidas de datos características de cada proceso de acuerdo a la programación que utilice. Estos, pueden ser utilizados simultáneamente en los procesos de medición y control SCADA, sin que existan conflictos en su utilización múltiple. El ambiente de trabajo en Labview, se puede representar como dos paneles: como panel frontal y el panel de programación como se muestra en la figura 3.1, en el primero se diseña la interface del usuario, en la que se tiene los indicadores y controles para el proceso, y en el segundo se programa con los algoritmos o herramientas que proporciona el programa

para realizar el proceso de control o medida. Estos llegan a ser la base principal del software Labview, además, este cuenta con diferentes herramientas necesarias para la generación de reportes, aplicaciones del tipo Web, por medio de la herramienta de Web Published, la posibilidad de que las variables sean puestas en la red de una manera sencilla y sean utilizadas sin que exista problemas gracias a los distintos tipos de protocolos.

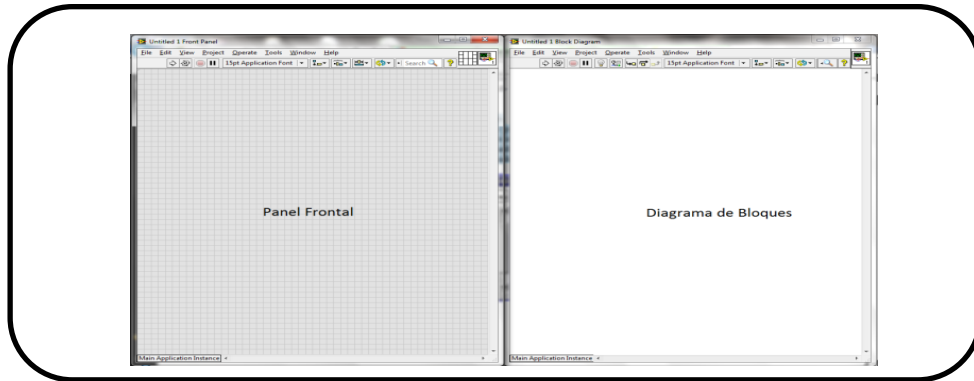


Figura 3.1. Diagrama de bloque y panel frontal.⁷⁷

En la actualidad, el software posee librerías de funciones y subrutinas. Además, posee funciones básicas de todo lenguaje de programación para la adquisición, cuenta con librerías de control e instrumentación, comunicación, análisis de programa y guardado de datos. Este software, proporciona instrumentos que facilitan la depuración de los programas y brinda una interface amigable.

3.1.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la adquisición de datos, se debe seguir los siguientes pasos para la configuración:

Primero se debe tener abierto el programa de Labview y conectada la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6212, esta se instalará de acuerdo a la versión de Labview que se disponga o se necesitara del CD que viene con la tarjeta. Con esto se debe seleccionar un nuevo VI, con el que se trabajará para la adquisición de datos.

Luego, dar clic derecho sobre el Diagrama de Bloques (BlockDiagram), para que aparezca la paleta de herramienta como se muestra en la figura 3.2; luego seleccionar la opción de

⁷⁷ *Figura propia del autor.*

Express en ella encontramos la opción de DAQ Assistant, para abrir el asistente de configuración, se debe dar clic sobre el icono.

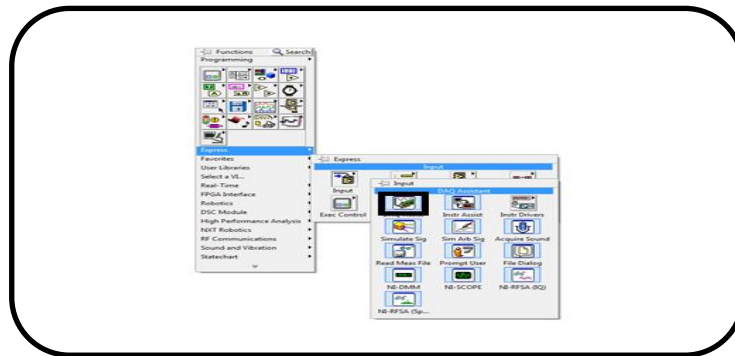


Figura 3.2. Sistema de adquisición⁷⁸

Se configura el tipo de entrada como analógica o tipo de entrada de acuerdo a los requerimientos del tipo de señal a monitorear o controlar, esta cuenta con dos tipos de entradas y salidas, pero dependerá del tipo de tarjeta de adquisición de datos que se disponga.

Para el caso se dispone de una tarjeta **Dev 1 (USB-6912)**, la descripción de la tarjeta con los puertos estarán de acuerdo al tipo de datos que pueda soportar, esta ventana se la presenta en la figura 3.3, ya que estas pueden ser entrada o salida, con la ventana de información de la tarjeta, se puede ver, si se cuenta con la entrada o salida requerida para la control o monitoreo.

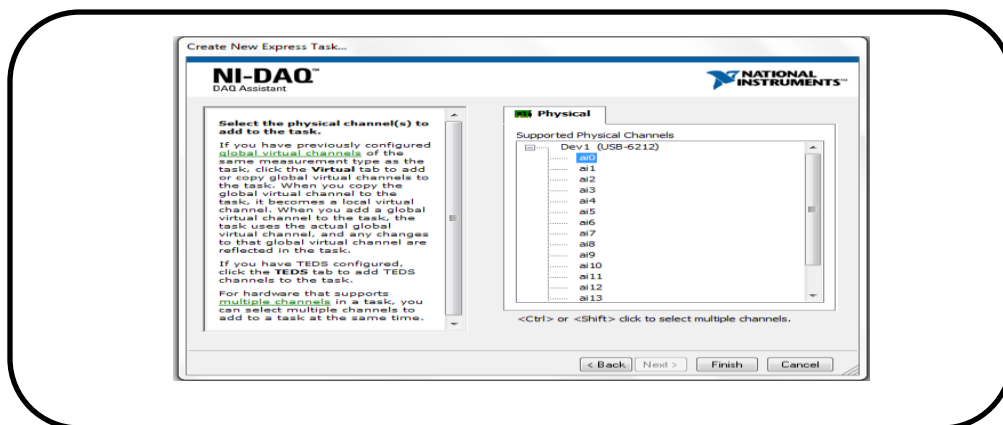


Figura 3.3. Pantalla selección de canal de adquisición⁷⁹

⁷⁸ Figura propia del autor.

⁷⁹ Ídem.

En la figura 3.4 se muestra la pantalla de configuración de los parámetros de operación de la entrada o salidas, para nuestro caso las entradas, son del tipo analógicas.

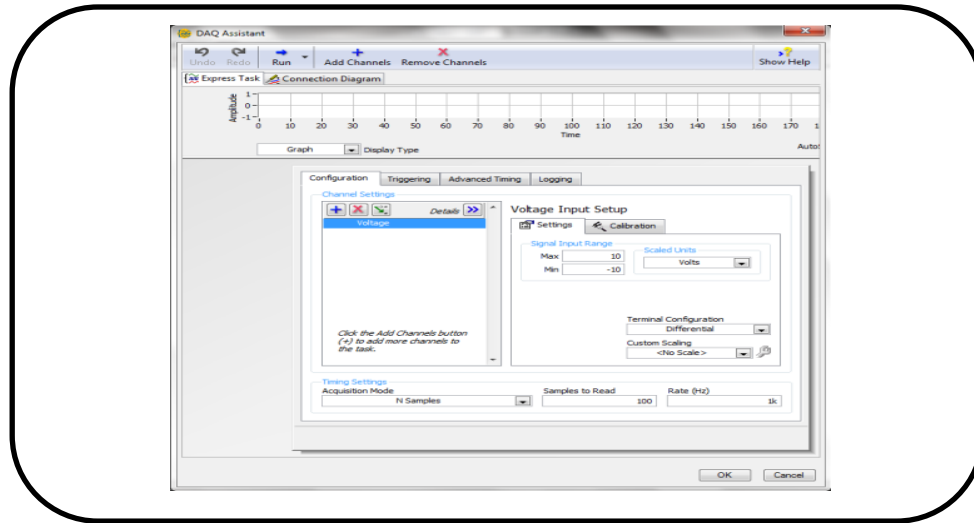


Figura 3.4. Pantalla de configuración canal ⁸⁰

En la ventana tenemos: el rango de entrada con el que trabajará y los límites de la tarjeta de adquisición, en la pestaña Settings, se describe como 10 Volts el máximo y -10 Volts el Mínimo y más abajo en la casilla TaskTiming, se tienen los tipos de adquisición para nuestro caso es del tipo Continuos, como modo de adquisición e ingresa 1000 en la tasa de frecuencia. Una vez, realizados todos los pasos, se deberá tener la señal del proceso a medir por el canal seleccionado con los valores límites establecidos y con la velocidad de muestreo deseado.

Finalmente, seleccionamos la opción de finalizar o aceptar teniendo como resultado un VI de adquisición de datos como se muestra en la figura 3.5.

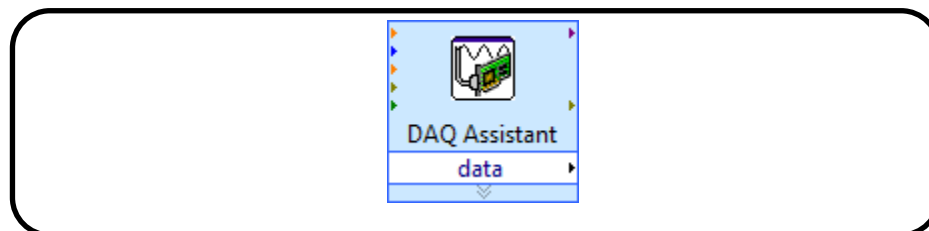


Figura 3.5. Vi de adquisición de datos ⁸¹

⁸⁰ Figura propia del autor.

⁸¹ Ídem.

Cabe mencionar, que este VI puede contener diferentes canales de adquisición, pero estos, solo pueden tener una sola configuración en común.

3.1.3. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE SEÑALES

Dentro de esta, tenemos las herramientas para realizar un análisis de las señales en amplitud, duración, posición, ciclo, etc. Esta se encarga de realizar mediciones de voltaje en una señal producidas por el laboratorio de Alta Tensión, se describirá brevemente las herramientas utilizadas dentro del sistema SCADA.

A estas herramientas, se las puede encontrar en SignalProcessing → WaveformMeasurements; como se muestra en la figura 3.6

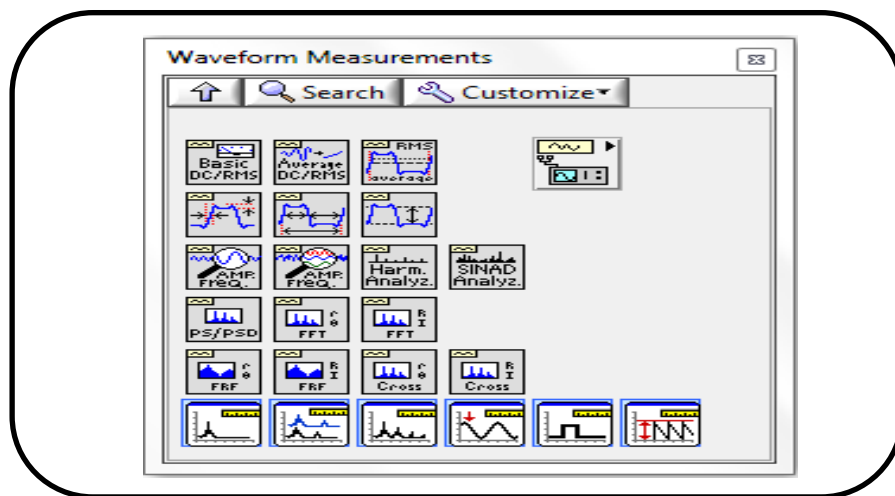


Figura 3.6. Paleta waveform measurements ⁸²

Para cada una de estas, se obtienen diferentes herramientas, las cuales son capaces de mostrar las características más comunes de una forma de onda. Para cada caso de estudio se debe tomar en cuenta, que las señales tienen que ser continuas, ya que las herramientas están diseñadas para dar el resultado del estudio en un tiempo continuo, estas a su vez cuentan con una salida de error; si existiesen problemas en medir la señal. A continuación, se mostrarán algunas herramientas utilizadas para el diseño del sistema SCADA.

Esta herramienta, devuelve los valores de las frecuencias, amplitudes y fases de una forma de onda o un conjunto de formas de onda, con la que se puede obtener información

⁸² Figura propia del autor.

importante del comportamiento del voltaje frente a las señales producidas por las descargas atmosféricas realizadas en el laboratorio; el bloque se lo puede observar en la figura 3.7.

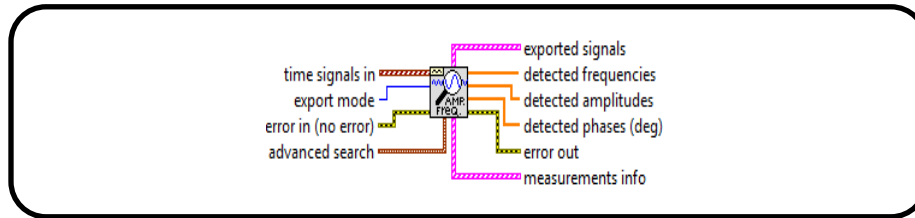


Figura 3.7.Extract single tone information⁸³

Devuelve la amplitud, con los niveles de alto y bajo de una forma de onda o un conjunto de formas de onda. Con esta se obtienen los valores respectivos de voltaje pico, que se pueden encontrarán dentro del laboratorio de Alto Voltaje, el bloque; se lo puede observar en la figura 3.8.

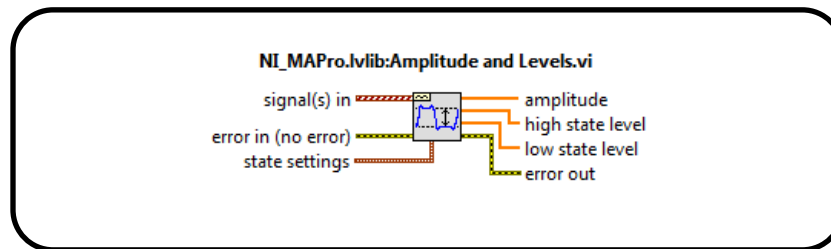


Figura 3.8.Amplitude and levels⁸⁴

Este VI se encarga de realizar un análisis completo de los armónicos, incluyendo la medición de la frecuencia fundamental y los armónicos, con los niveles de amplitud de armónicos, y la distorsión armónica total (THD); El bloque se lo puede observar en la figura 3.9.

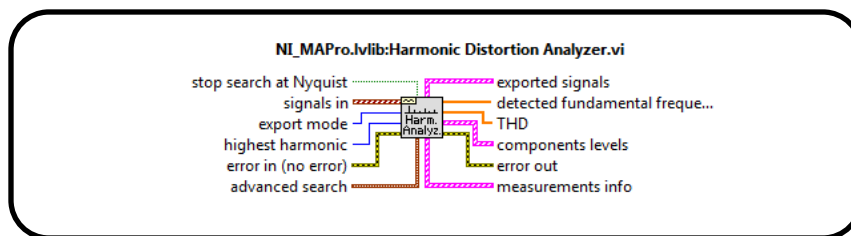


Figura 3.9.Harmonic distortion analyzer VI⁸⁵

⁸³ *Figura propia del autor.*

⁸⁴ *Ídem.*

⁸⁵ *Ídem.*

3.1.4. GENERACIÓN DE REPORTES.

Para la exportación de los datos, se utilizaron las herramientas de generación de reportes, ya que estas permiten exportar los datos hacia un archivo específico, facilitando su almacenamiento para su manejo a futuro, cada VI de la paleta de reportes realiza una función específica; las cuales son: abrir, almacenar, cerrar e incluso la posibilidad de modificar el estado de las propiedades del archivo; el bloque se lo puede observar en la figura 3.10.

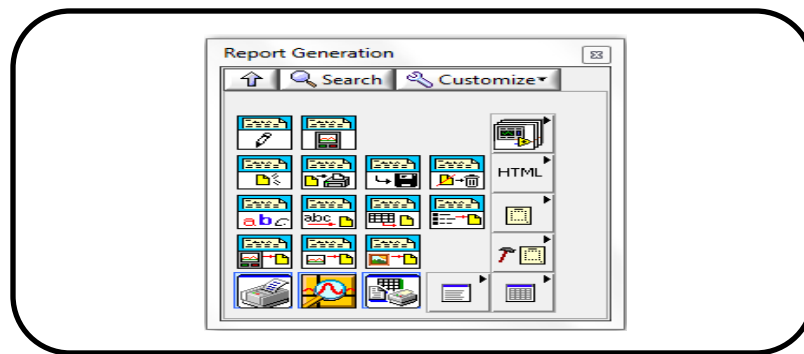


Figura 3.10. Paleta de generación de reportes.⁸⁶

A continuación, se realizará una explicación sencilla de los componentes utilizados, dentro de la elaboración del sistema SCADA.

Esta herramienta permite la creación o apertura de un archivo en Excel o Word, para iniciar un reporte. Además, esta cuenta con características que facilitan la creación de un archivo estándar de Windows, Word, Excel o HTML en los que se pueden personalizar, guardar o imprimir el informe y la opción de establecer el sitio de destino para guardar la información; el bloque se lo puede observar en la figura 3.11.

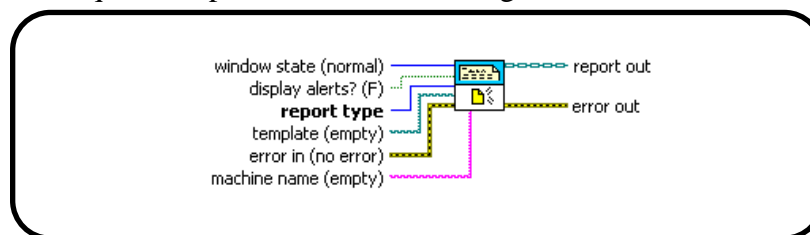


Figura 3.11. New report VI.⁸⁷

⁸⁶ Figura propia del autor.

⁸⁷ Ídem.

Esta herramienta, permite guardar el informe del archivo con el que se trabaja como ruta específica. Además permitir confirmar que todos los datos previamente ordenados se guarden dentro del archivo, con las características que el usuario las haya establecido; el bloque se lo puede observar en la figura 3.12.

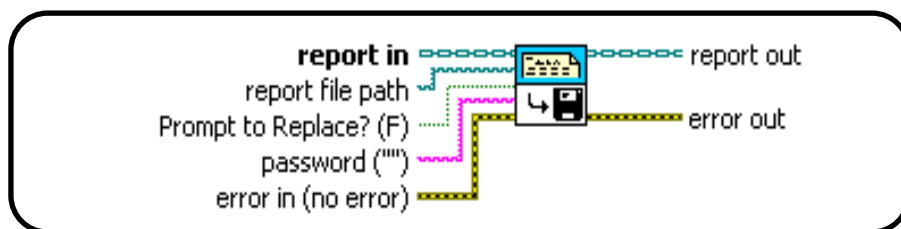


Figura 3.12. Save report to file VI.⁸⁸

Esta herramienta, permite imprimir un informe a una impresora designada o hacia la impresora predeterminada por el usuario; el bloque se lo puede observar en la figura 3.13.

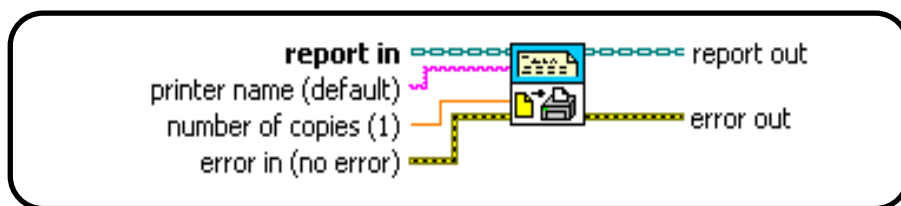


Figura 3.13. Print report VI.⁸⁹

Esta herramienta muestra un informe HTML en el navegador Web, permitiendo la visualización de los datos adquiridos durante el proceso; el bloque se lo puede observar en la figura 3.14.

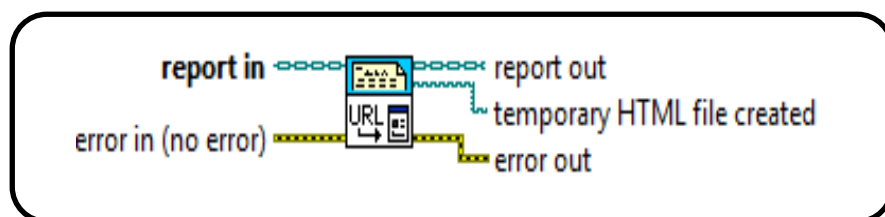


Figura 3.14. Open html report in browser VI.⁹⁰

⁸⁸ *Figura propia del autor.*

⁸⁹ *Ídem.*

⁹⁰ *Ídem.*

Esta herramienta, cierra el informe y libera su interfaz, para ahorrar memoria. Una vez, ejecutado este VI no se pueden realizar otras operaciones sobre el informe; el bloque se lo puede observar en la figura 3.15.

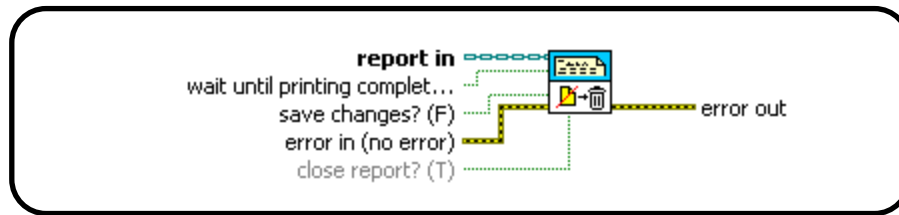


Figura 3.15. Dispose report VI.⁹¹

La utilización ordenada de cada uno de estos, permitirá que los informes sean guardados de una manera ordenada, para que no existan inconvenientes, por pérdidas de información al momento de realizar las prácticas. Pero, cabe mencionar que se complementan con las propiedades que se pueden manipular por VIs que se encuentran en la paleta de reportes, estos son algunos de los VIs utilizados para la creación de reportes.

Dentro de un informe, se debe tomar en cuenta una estructura, para que los datos sean mostrados, se ha previsto tener una primera hoja donde se obtengan todos los valores guardados con las respectivos indicadores de la fecha y hora de la práctica, la segunda hoja contendrá las características o comentarios ingresados por el usuario, y la tercera hoja contendrá todo lo relacionado a las señales guardadas tomando en cuenta que se guardarán de acuerdo a la primera hoja en el orden ya establecido.

Esta herramienta, añade un título a un informe de Microsoft Excel. Este el título aparece en la celda superior izquierda de la hoja de cálculo actual. Por lo que cada hoja contendrá un título de mediciones, señales guardadas; el bloque se lo puede observar en la figura 3.16.

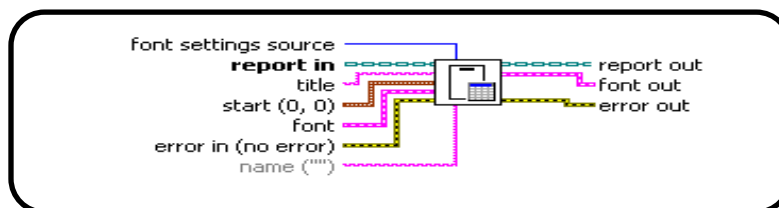


Figura 3.16. Excel easy title VI.⁹²

⁹¹ *Figura propia del autor.*

⁹² *Ídem.*

Esta herramienta, coloca una tabla en un informe de Microsoft Excel. En esta se pueden dar las propiedades de posición, tipo de texto en la tabla, límites en la tabla, asimismo; dentro de ella podemos tener distintos tipos de opciones, para la edición de la tabla de datos generada por cada una de las prácticas; el bloque se lo puede observar en la figura 3.17.

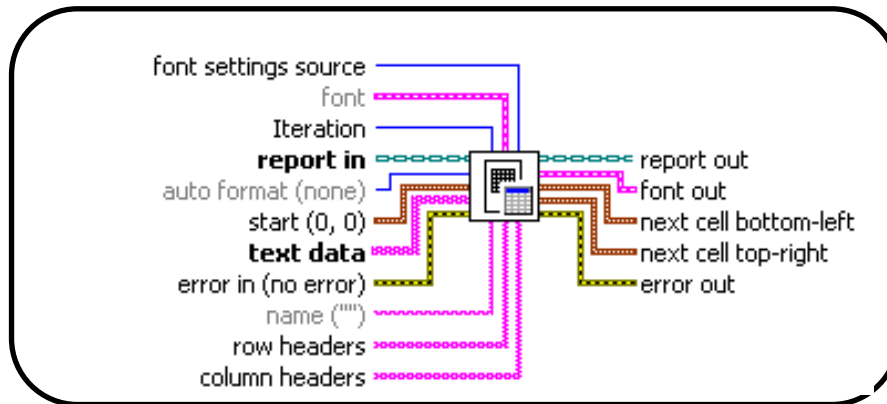


Figura 3.17. Excel easy table VI.⁹³

Esta herramienta, cambia el nombre de la hoja de cálculo actual, permitiendo poner títulos para manejar de mejor manera las hojas generadas dentro del informe; el bloque se lo puede observar en la figura 3.18.

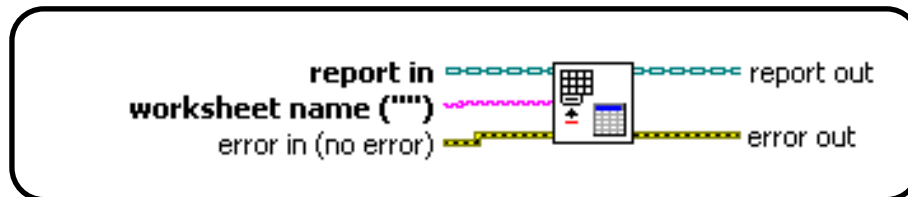


Figura 3.18. Excel rename worksheet VI.⁹⁴

Esta herramienta, convierte una hoja de cálculo específica a la hoja de cálculo actual. Se utiliza la hoja de trabajo de índice o parámetro name para especificar la hoja de trabajo que desea establecer como actual. Una vez definida la hoja, se puede poner los datos de los gráficos de Excel sobre imágenes de los VIs de las señales adquiridas por la tarjeta de adquisición de datos, dentro de la hoja de Excel; el bloque se lo puede observar en la figura 3.19.

⁹³ *Figura propia del autor.*

⁹⁴ *Ídem.*

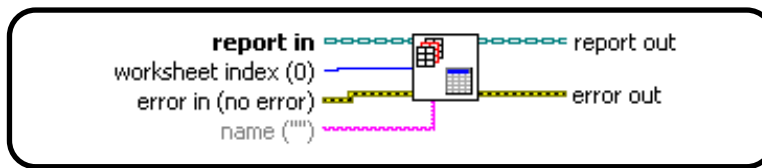


Figura 3.19. Excel get worksheet VI.⁹⁵

Dentro del SCADA, se deberán proporcionar de una manera ordenada la forma de guardar los datos, pero estos solo deben constar de acuerdo a las prácticas realizadas, ya que si se guardan datos continuamente de las señales de AC y DC, se tendrá como un simple monitoreo de la señal a lo largo del tiempo; sin que exista una relevancia al momento de obtener los datos, por lo que se realiza un VI, el cual permitirá que los datos con mayor importancia sean guardados. A continuación, se demostrará el arreglo que se forma para tratar de guardar los datos en el bloque, se lo puede observar en la figura 3.20.

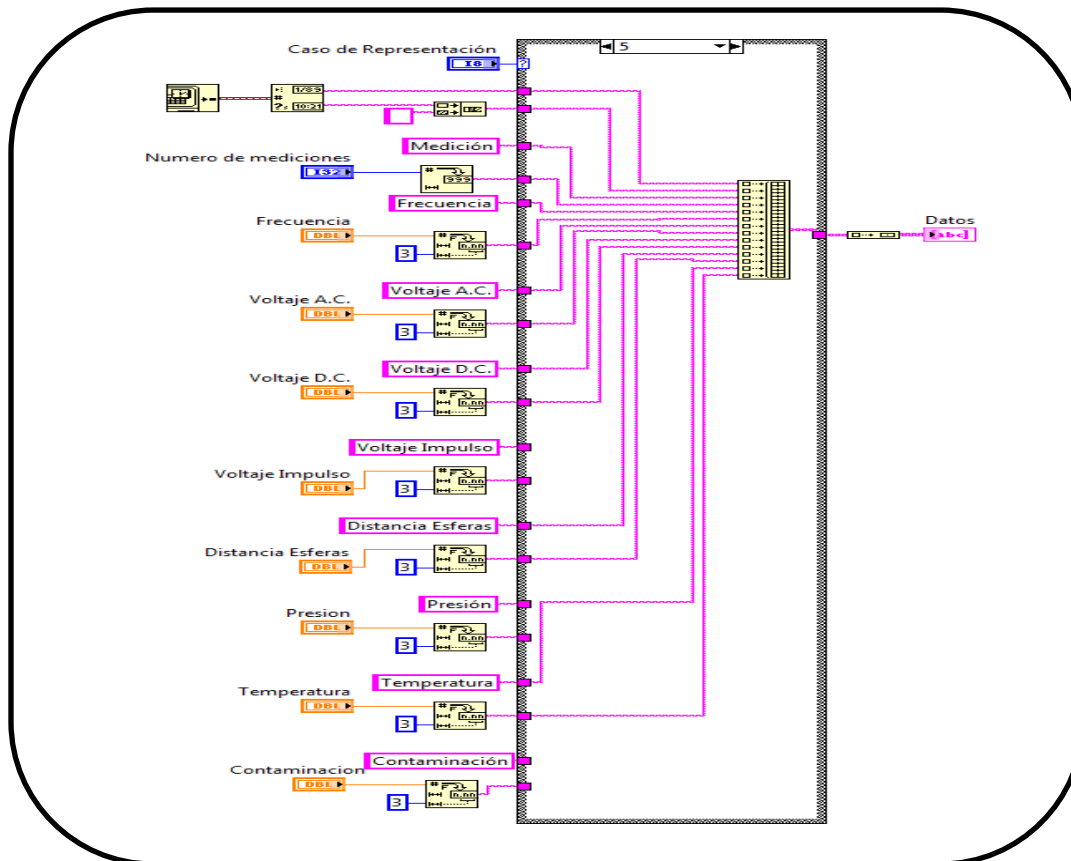


Figura 3.20. Arreglo de variables.⁹⁶

⁹⁵ Figura propia del autor.

⁹⁶ Ídem.

Este tipo de arreglo, nos permite tener de una manera ordenada los valores de voltaje en AC, voltaje DC y el voltaje de impulso, pero además nos permite, tener la frecuencia en ese momento, también se puede incluir los niveles de presión, distancia de las esferas y temperatura al momento de realizar las distintas prácticas, se incluye la fecha actual y hora en que se realizó la práctica, con estos se pueden tener los datos necesarios para realización de una práctica ordenada; cabe mencionar que como en el laboratorio se realizan distintas prácticas, estas pueden estar en función de otras variables, pero solo se tomarán los parámetros más estudiados en el laboratorio. Como cada caso es particular y solo se deberán guardar los datos de acuerdo a las prácticas, se implementó un condicional el cual permite guardar solo los datos necesarios, este se encuentra en el caso de representación, ya que cada caso contiene un arreglo de acuerdo a los parámetros de estudio. A continuación se describirá cuales son:

Caso 0. : Cuenta con los valores de fecha-hora, estado de la medición, frecuencia, voltaje de AC, voltaje DC, voltaje de impulso, presión, distancia de esferas, contaminación y temperatura.

Caso 1. : Cuenta con los valores de fecha-hora, estado de la medición, frecuencia, voltaje de AC.

Caso 2. : Cuenta con los valores de fecha-hora, estado de la medición, frecuencia, voltaje de AC y voltaje de DC.

Caso 3. : Cuenta con los valores de fecha-hora, estado de la medición, frecuencia, voltaje de AC y grado de contaminación.

Caso 4. : Cuenta con los valores de fecha-hora, estado de la medición, frecuencia, voltaje de AC, voltaje DC, voltaje de impulso y distancia de esferas

Caso 5. : Cuenta con los valores de fecha-hora, estado de la medición, frecuencia, voltaje de AC, voltaje DC, voltaje de impulso, presión, distancia de esferas y temperatura.

Caso 6. : Cuenta con los valores de fecha-hora, estado de la medición, frecuencia, voltaje de AC, voltaje DC, presión, distancia de esferas.

Con los distintos tipos de arreglos, se obtienen los diferentes arreglos; para cada caso de estudio que se van a reflejar, dentro del reporte generado en el Excel. Para guardar las señales producidas por el laboratorio de Alta Tensión; se empleó un VI, que permite guardar la pantalla principal de la variable. A continuación, se detallará como se realizó el proceso. Ya que en Labview se establecen los parámetros de cómo se deben cargar los datos, este software comienza a leer de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, por lo que al situar los indicadores dentro del proceso de la creación de informes se tiene problemas, ya que existe un retardo en la escritura, puesto que estos toman los valores en los que el VI se encuentra, mas no los datos que se están monitoreando y se proceden a guardar.

Por lo que se tiene que crear variables del tipo compartida, para poder llevar los datos de una manera de que no exista retardo en la lectura y escritura, se dará clic dentro de un proyecto creado en el cual nos establecemos en My computer, luego clic derecho, para crear una nueva variable, como se muestra en la figura 3.21.

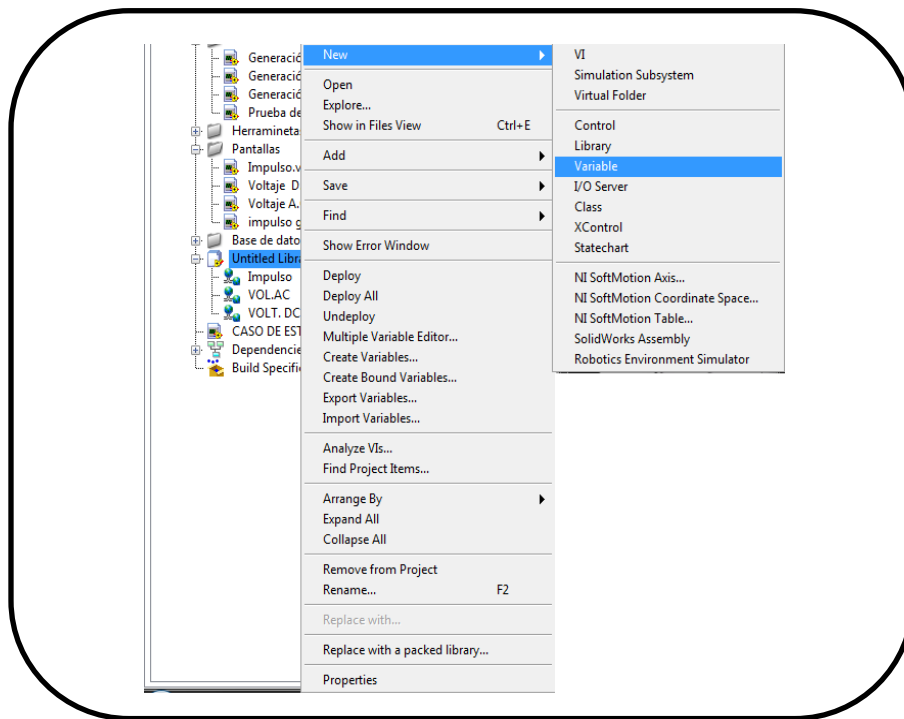


Figura 3.21. Creación de variable. ⁹⁷

⁹⁷ *Figura propia del autor.*

Nos aparecerá, una pantalla con la que tendremos la opción de elegir si la variable que creamos puede ser compartida para el proyecto, en red o del tipo publica cuando se dé inicio al proceso; para nuestro caso será del tipo Network-Published y del tipo double Waveform; para que pueda ser utilizada de una manera adecuada con los datos que son adquiridos por la tarjeta de adquisición, la ventana de configuración se la puede observar en la figura 3.22.

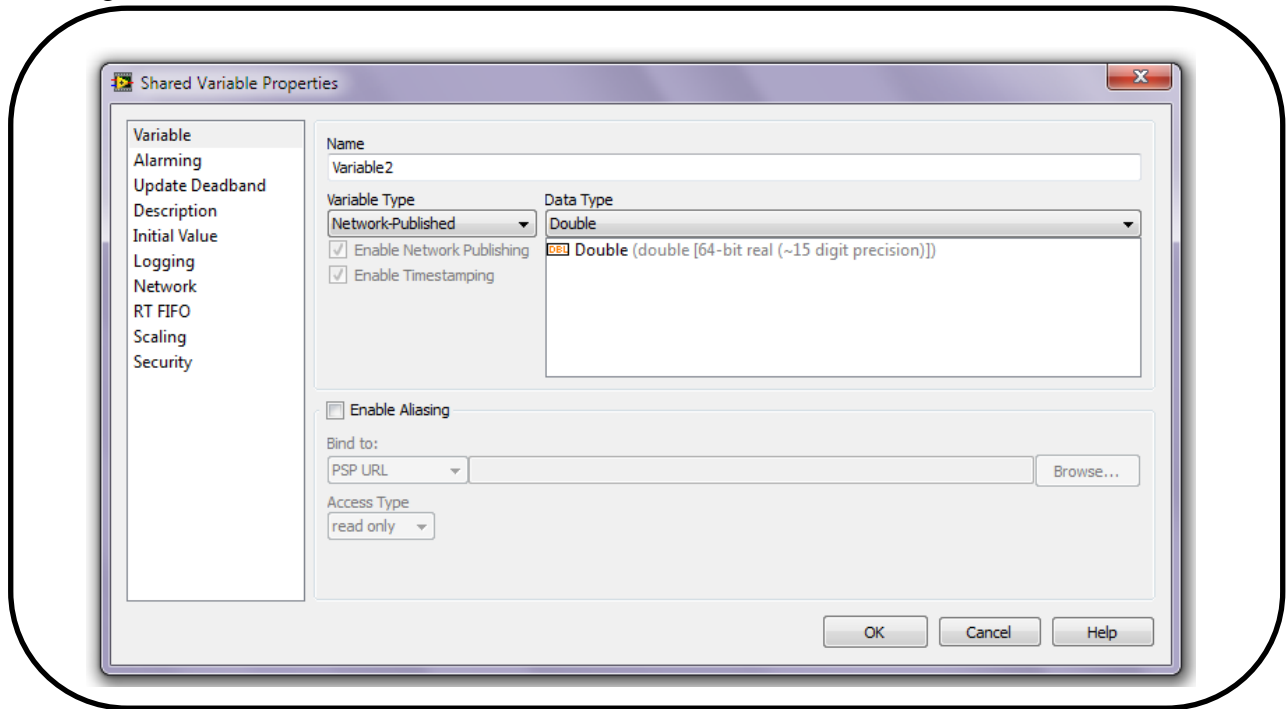


Figura 3.22. Cuadro de configuración de la variable.⁹⁸

Dentro de las propiedades se pueden dar paso a que esta variable se comparta, por medio de la red hacia otras PC o equipos para el control o monitoreo de las mismas. Una vez creada la variable, se procede a crear una nueva variable del tipo global para que los datos sean utilizados por el VI, este tipo de variables se encuentra en la paleta de estructuras, como se observar en la figura 3.23; para este tipo de variables se procederá a abrir un nuevo Vi donde se pueden crear objetos del tipo control o indicadores.

⁹⁸ *Figura propia del autor.*

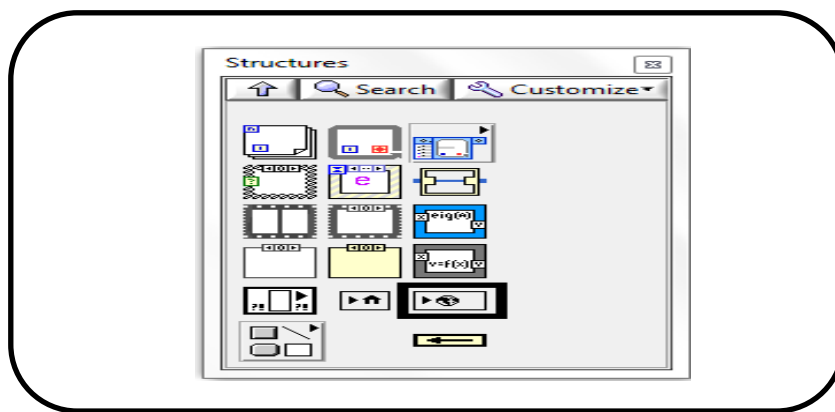


Figura 3.23. Variable global⁹⁹

Este VI, solo debe contener un solo objeto, una vez creado se da paso a guardar con el nombre de la variable que se quiere medir, para que luego sea guardada en el reporte. Para nuestro caso debe ser del tipo Waveform Graph por Voltaje AC, como se muestra en la figura 3.24.

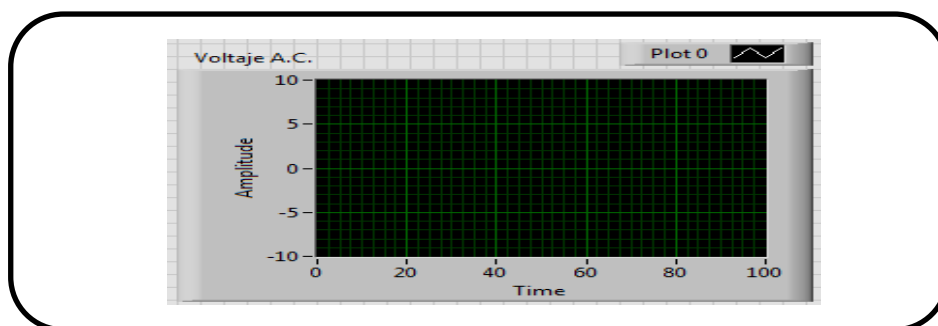


Figura 3.24. Waveform graph desde otro sub VI.¹⁰⁰

Después, se procede a unir las dos variables, como se muestra en la figura 3.25 para que exista comunicación de datos.



Figura 3.25. Comunicación entre la variable global- variable local¹⁰¹

Una vez, realizado la creación de estas variables, se da paso a realizar el guardado de la pantalla, que a su vez, se encuentra con la señal del proceso, por el siguiente VI.

⁹⁹ *Figura propia del autor.*

¹⁰⁰ *Ídem.*

¹⁰¹ *Ídem.*

Con esta herramienta, se puede crear una imagen del VI, al cual se le está dando referencia, este es capaz de capturar la pantalla del panel frontal, como se muestra en la figura 3.26.

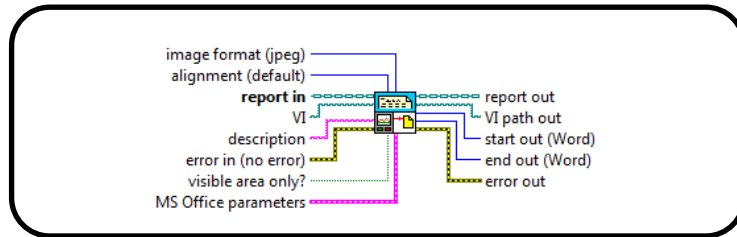


Figura 3.26. Append front panel image to report VI. ¹⁰²

Con esto, se tendrá la opción de guardar los datos de la señal producidas durante las prácticas en el laboratorio de Alta Tensión. Por eso se creó de igual manera un arreglo donde se tenga la posibilidad de seleccionar los casos de acuerdo a los parámetros a estudiar, tomando en cuenta que estas imágenes, deben tener la propiedad de moverse cada vez que se guarden, sin que exista problemas de sobre escritura. A continuación, se muestra en la figura 3.27 el bloque creado con una explicación de cada caso.

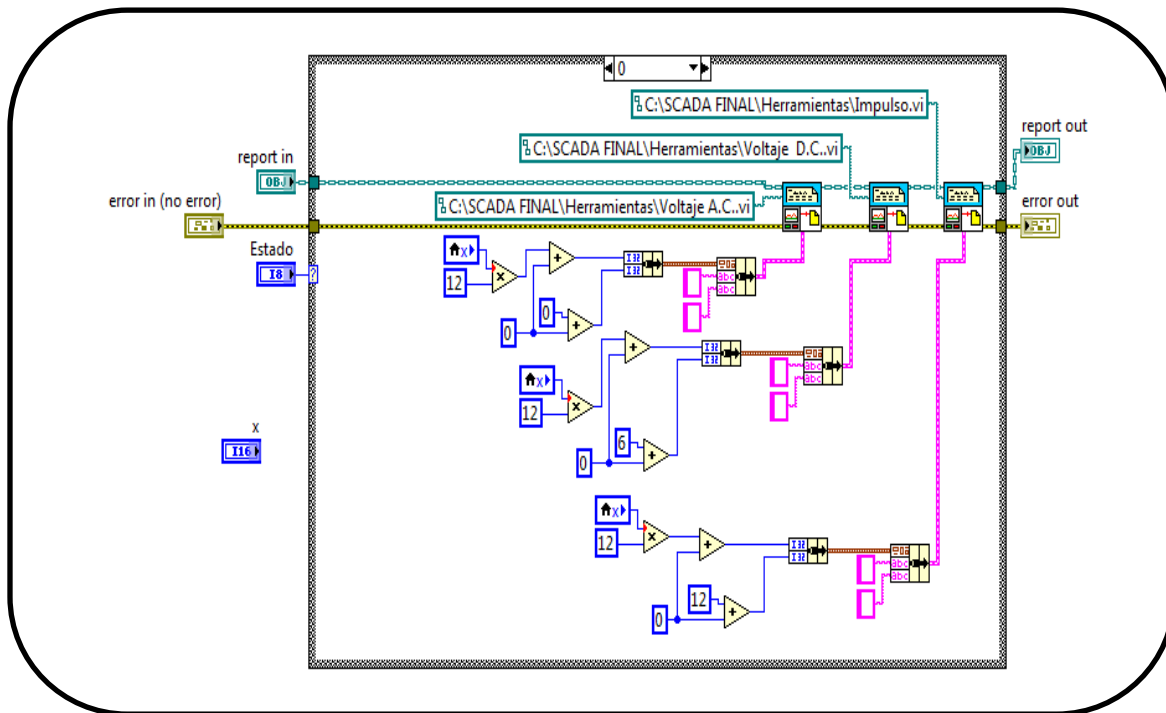


Figura 3.27. Bloque encargado de guardar las señales de AC, DC e impulso ¹⁰³

¹⁰² Figura propia del autor.

¹⁰³ Ídem.

El arreglo para el movimiento de la imagen, se fundamentó en las coordenadas especificadas dentro del bloque VI. Append Front Panel ImagerReport VI propiedad MS office Parameters, este se basa en las coordenadas (x,y), para que cada grafica de cada señal se encuentra en secuencia. Cada caso, tiene referencia solo hacia los vi que se desee guardar, sin que se tenga inconvenientes con datos perdidos o información mal guardada, por lo que cada VI correspondiente al sistema SCADA contendrá los parámetros de estudio de acuerdo al caso.

- Caso 0: Cuenta con los valores de voltaje de AC, voltaje DC, voltaje de Impulso.
- Caso 1: Cuenta con los valores voltaje de AC, voltaje DC.
- Caso 2: Cuenta con los valores de voltaje de AC.

Al tener todas las herramientas necesarias, para comenzar a exportar los datos al archivo que seleccionemos, debemos realizar la estructuración de nuestro reporte. El bloque se le denomino Formato.vi, el que permitirá guardar los datos en un archivo de Excel, cada vez que se realicen las prácticas, este estará en cada uno de los programas. A continuación se muestra en la figura 3.28 el bloque realizado con las diferentes entradas y salidas.

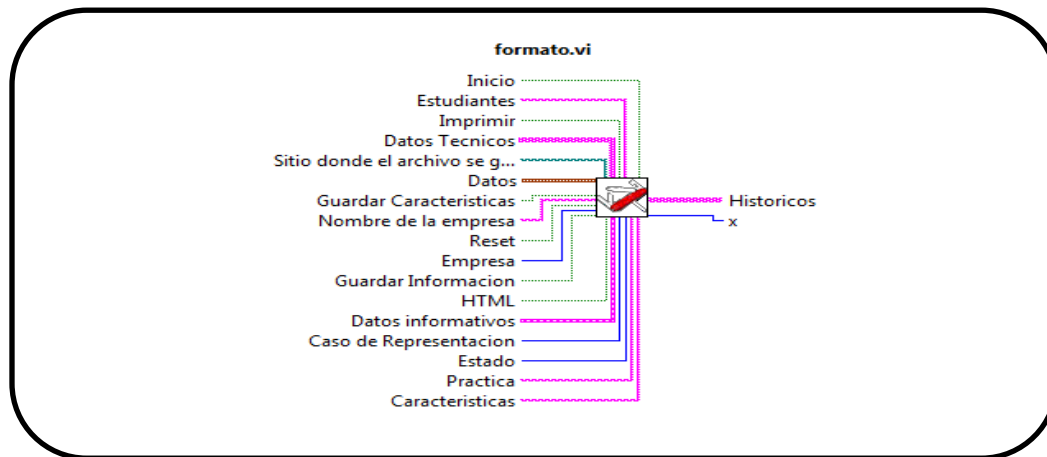


Figura 3.28. Bloque para guardas los datos en el reporte.¹⁰⁴

Este, cuenta con la opción de guardado de características o de detalles si el usuario lo requiere, además, permite la exportación de los datos hacia un archivo HTML, para ver los datos que se van guardando, sin la necesidad de abrir el reporte.

¹⁰⁴ *Figura propia del autor.*

3.1.5. SISTEMA SCADA EN FUNCIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Para que el sistema se pueda implementar, hay que considerar que se tiene diferentes tipos de prácticas, y cada una consta de una configuración en especial, por lo que los valores medidos, son diferentes. A continuación, se describirá lo que se realizó en cada práctica y lo necesario para cada una de estas. Antes de la realización de las mismas, hay que considerar que para la simulación de esta se deberán tomar en cuenta los niveles de tensión, ya que de estos, dependerán los equipos utilizados para la realización del sistema, de acuerdo a los protocolos y tarjetas de adquisición. [67]

Para el caso, se realizaron los divisores de tensión del tipo resistivos, al tener divisores de tensión capacitivos, su costo es elevado y se producen efectos al ser medidos en baja tensión, la señal de impulso al tener una forma de onda no fundamental 60 Hz se ve afectada por los capacitores y se tendría lecturas erróneas, dentro de la adquisición de datos, se debe tomar en cuenta que al momento de producir este tipo de señales se ven afectadas las señales de AC y DC de un transformador, por lo que se implementó del mismo modo que en la señal de impulso divisores de tensiones resistivos.

3.1.5. 1. APLICACIONES DE DIVISORES

3.1.5. 1.1. DIVISOR DE TENSIÓN DE VOLTAJE EN AC

Al tener un divisor de tensión del tipo capacitivo durante las prácticas de alto voltaje, se encontraron los valores indicados en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Cálculos de los voltajes en AC utilizados en el laboratorio de Alta Tensión.

Capacitor 1	1E-09	Faradios
Capacitor 2	6,8E-07	Faradios
Voltaje Entrada	100000	Volts
Voltaje Salida	146,84288	Volts
Relación	681	

Todos estos valores, se los encontró con la fórmula de divisores de tensión capacitivos señalados en la ecuación 2.7 la cual es:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

Ya que la salida del transformador de Alta Tensión tiene como tensión nominal 100kV, la relación sale a partir de los valores de la parte derecha de la ecuación para el voltaje en AC, por lo que tenemos como voltaje de salida 146.8428 VAC, el cual llega al equipo con una entrada máxima de 0-150 Vrms. Con este voltaje se debe hacer otro divisor de tensión, para adecuar este voltaje en función de la tarjeta de adquisición, ya que se está manipulando niveles de tensión elevados para la tarjeta de National Instruments, por lo que se necesitarán de resistencias de un valor de ohmios y potencia elevadas, pero como estas resistencias se encuentran en función de la potencia; y hay que considerar que en el mercado solo podemos encontrar ciertos valores comerciales, se requerirá de un arreglo de resistencias estándares, para obtener los valores adecuados para las entradas de voltaje de la tarjeta de adquisición, al utilizar divisores de tensión resistivo; se tiene la ventaja que no dependerá de la frecuencia y la corriente disminuirá, el arreglo se muestra en la figura 3.29.

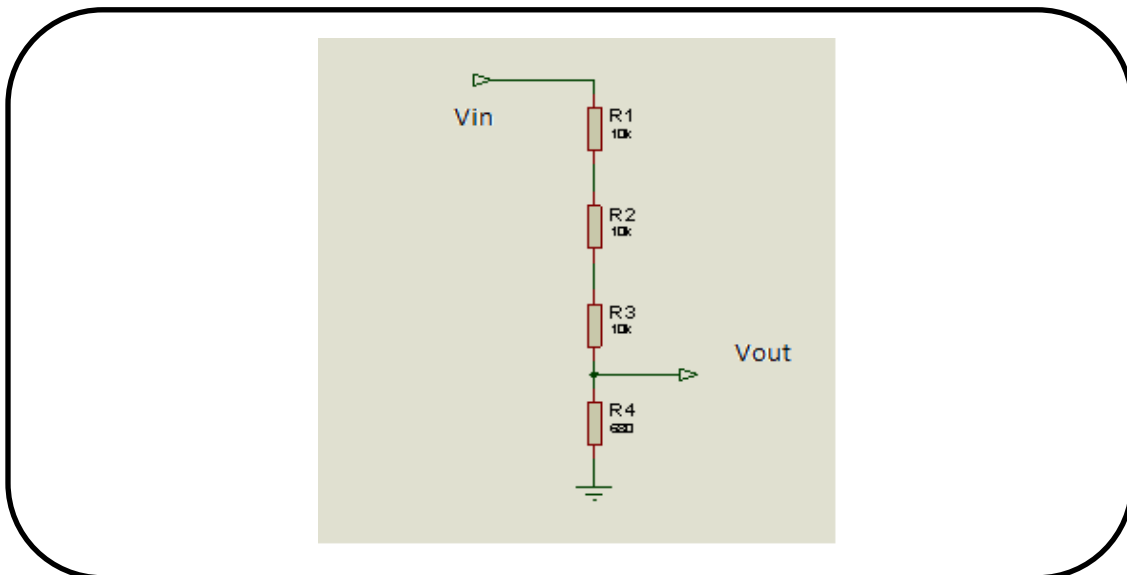


Figura 3.29. Divisor resistivo para 150 V del equipo DMI 551 hacia la DAQ¹⁰⁵

¹⁰⁵ *Figura propia del autor.*

Se demuestra la tabla 3.2 de los valores calculados en función de la caída de tensión que existirá en cada resistencia, además, se muestra la relación obtenida para ser utilizada dentro del programa.

Tabla 3.2. Cálculos del voltaje en AC presente en el equipo DMI 551 del laboratorio de Alta Tensión.

R1=R2=R3	10000	Ohm
R4	680	Ohm
Voltaje Entrada	146,8429	Voltios
Voltaje Salida	3,254666	Voltios
I Total	0,004786	Amperios
Voltaje 1=2=3	47,862737	Voltios
Voltaje 4	3,254666	Voltios
Relación AC	45,117647	

Como se puede apreciar esta configuración, hace que el nivel de tensión que caiga en cada divisor sea de 47.86 Voltios y con una potencia de 0.22 Watios; por lo que se puede trabajar, para la salida tendremos una de 3,2546 Voltios lo que facilitará las pruebas con la tarjeta de adquisición. Con esto se tiene un control del calor producido por la corriente utilizada en el laboratorio de Alta Tensión. La relación que se encuentra a partir de esta es de 45.1176, una vez, con los valores de las relaciones se puede partir para encontrar los datos reales dentro del monitoreo dentro del sistema SCADA.

3.1.5. 1.2. DIVISOR DE TENSIÓN DE VOLTAJE EN DC

Este divisor es del tipo resistivo, ya que el valor que se tiene de la señal de entrada es del tipo rectificadora de media onda, por lo que se le aplica un divisor de tensión resistivo para que esta pueda ser reducida, el nivel de tensión para que pueda ser acoplada con el equipo de medición DMI 551, y de esta manera obtener la medición de tensión en DC, este proceso se lo muestra en la figura 3.30.

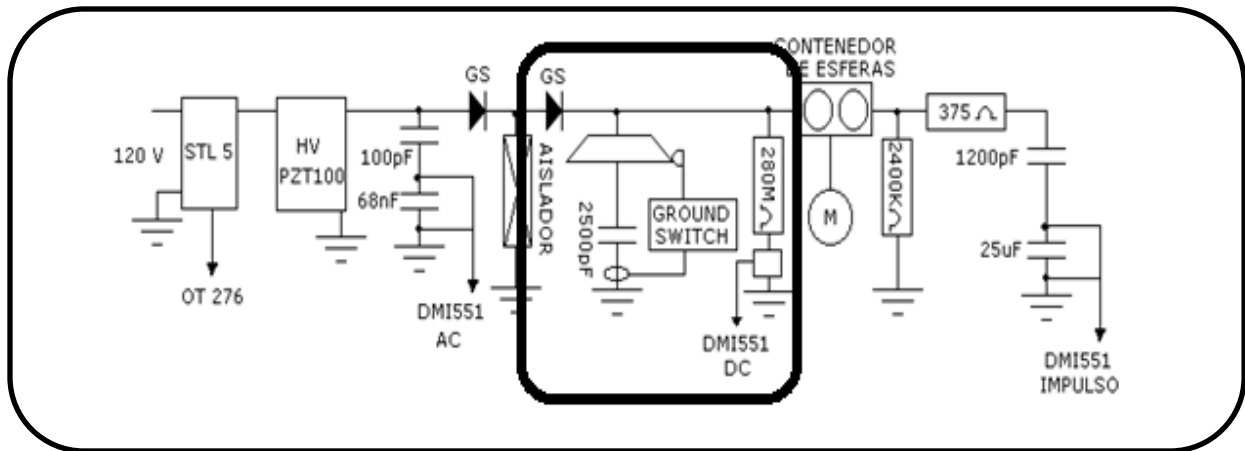


Figura 3.30. Circuito para la medición en DC.¹⁰⁶

Para este caso, se realizará un análisis con ayuda del cálculo integral para demostrar cómo se obtiene el voltaje de DC a partir de la señal del voltaje en AC, esto se lo realizará a partir de la ecuación 2.5.

$$Vo(RMS) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

$$Vo(RMS) = \frac{V_P}{\sqrt{2}}$$

La ecuación descrita anteriormente, nos permite calcular el voltaje de la onda fundamental, una vez obtenida esta función; debemos encontrar una expresión, la cual nos permita relacionar la señal de media onda con respecto a una expresión matemática.

$$Vo(dc) = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$Vo(dc) = \frac{2 * V_p}{2\pi}$$

Obteniendo la ecuación 3.1.

$$Vo(dc) = 0,31831 * V_p \quad (3.1)$$

¹⁰⁶ Figura propia del autor.

Con la ecuación 3.1, se encuentra el nivel de tensión producido por el divisor de tensión, ya que se utiliza el voltaje nominal de 100000 voltios del transformador como voltaje $V_0(\text{rms})$.

$$V_0(\text{dc}) = 0,31831 * V_0(\text{RMS}) * \sqrt{2}$$

Obteniendo por el remplazo el valor de:

$$V_0(\text{dc}) = 45015,8158 \text{ voltios en DC}$$

Este, es el voltaje que se encontrará en la salida del divisor de tensión, cuando el transformador se encuentre trabajado al 100 % del voltaje nominal, se aplica la ecuación 2.6.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

Ya con las ecuaciones planteadas se realiza el cálculo en función de los valores nominales del equipo, obteniendo los siguientes valores representados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Cálculos de los voltajes en DC utilizados en el laboratorio de Alta Tensión.

R1	280000000	Ohm
R2	15000	Ohm
V Entrada	45015,81581	Voltios
V Salida	2,411432377	Voltios
I Total	0,000160762	Amperios
Voltaje 1	45013,40438	Voltios
Voltaje 2	2,411432377	Voltios
Relación	18667,66667	

Ya que el voltaje de salida que se obtiene por los rectificadores, tienen una tensión de 100 kV con media onda, se tiene como resultado a partir de los cálculos una salida filtrada de 45015.8158 voltios, los mismos que están presentes dentro del circuito para la medición de DC, pero al tener el divisor de tensión, este hace que el voltaje se reduzca a niveles de

2,41143277 DC, ya que esta señal se encuentra en los niveles de tensión necesario para la adquisición de datos, soportado por la tarjeta de National Instruments.

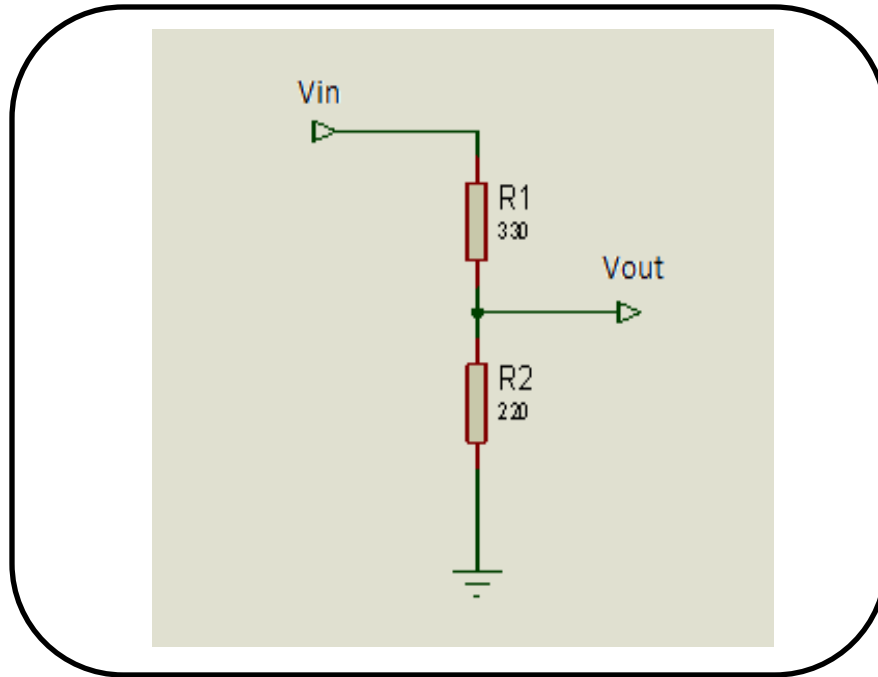


Figura 3.31. Divisor resistivo para 7.5 V del equipo DMI 551.¹⁰⁷

Al definir el divisor, se procede a realizar los cálculos, estos deberán reflejar los valores requeridos en resistencia para los voltajes de DC de los equipos de control que se encuentran en el laboratorio, estos valores calculados se lo reflejan dentro de la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Cálculos de los voltajes en DC para el equipo de medición DMI 551 del laboratorio de Alta Tensión.

R1	330	Ohm
R2	220	Ohm
V Entrada	2,4114324	Voltios
V Salida	0,965	Voltios
I Total	0,0043844	Amperios
Voltaje 1	1,4468594	Voltios
Voltaje 2	0,964573	Voltios
Relación DC	2,5	

¹⁰⁷ *Figura propia del autor.*

Al tener los valores, se procederá a la multiplicación de los valores de las relaciones obtenidas durante los procesos de medición en el equipo de Alta Tensión y la relación que se da en los divisores para la tarjeta de adquisición de datos.

3.1.5.1.3. DIVISOR DE TENSIÓN DE VOLTAJE EN IMPULSO

Ya que dentro del laboratorio tenemos una señal; la cual se produce por la ruptura del dieléctrico del aire, sea esta espontánea o manipulada, por lo que dentro de cada divisor empleado se lo utiliza de una manera que la señal no se pierda, la señal que va dar paso al estudio de la señal de impulso. Se puede apreciar un divisor de tensión del tipo resistivo dentro de la figura 3.32, el mismo que al producirse la disrupción, se encarga de disminuir el nivel de tensión.

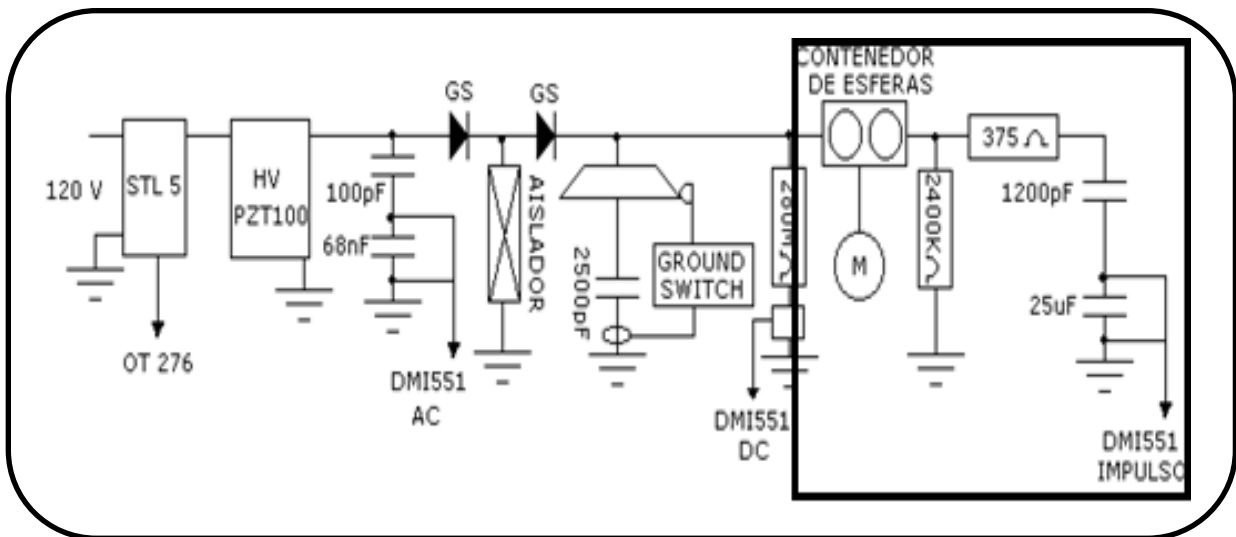


Figura 3.32. Circuito para la medición del impulso¹⁰⁸

Ya que el divisor de tensión, se encuentra configurado de manera inversa, es decir que tiene al voltaje de entrada como salida y el de salida como entrada, se puede invertir la ecuación del divisor de tensión para encontrar el voltaje que pasa hacia el divisor de tensión en AC. Por lo que se aplica la ecuación 2.6 teniendo como despeje el voltaje de entrada.

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{R_2 + R_1}{R_2}$$

¹⁰⁸ Figura propia del autor.

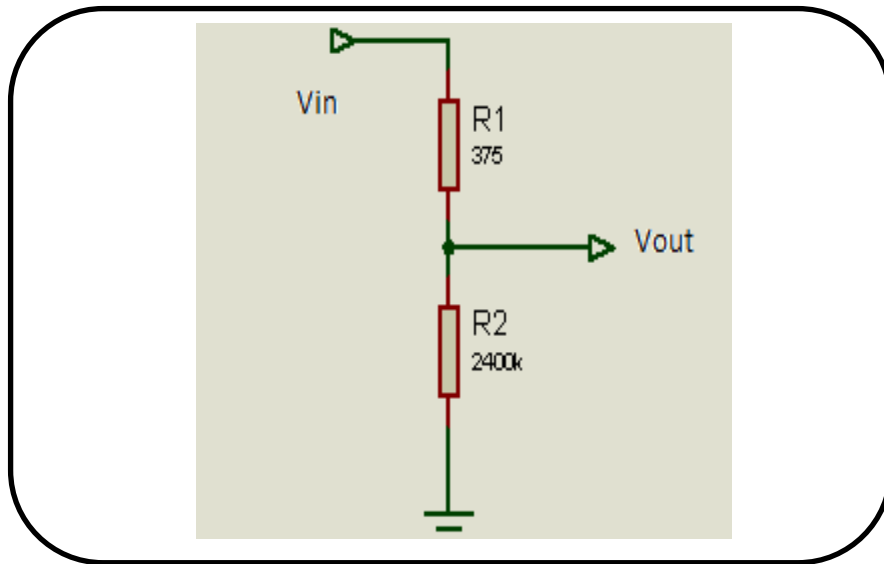


Figura 3.33. Circuito para la medición del impulso¹⁰⁹

Teniendo como resultado el valor del voltaje de impulso en la tabla 3.5:

Tabla 3.5. Cálculos de los voltajes del impulso del laboratorio de Alta Tensión.

R1	375	Ohm
R2	2400000	Ohm
V Entrada	45020,43772	Voltios
V Salida	45013,40438	Voltios

Ya con el voltaje de entrada, se puede calcular el voltaje la salida del divisor de tensión, hay que tomar en cuenta que esta señal contendrá, un sinnúmero de armónicos y será superior al voltaje de DC del equipo de Alta Tensión, al tener el voltaje de entrada del divisor de tensión, se tendrá que aplicar el divisor de tensión capacitivo para el estudio de la señal de impulso generado por el equipo de Alta Tensión, para el caso la ecuación 2.7.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{C1}{C2 + C1}$$

Pero a su vez, el equipo de medición de la señal de impulso es del tipo reactivo y este se puede ajustarse a niveles de tensión de 140 kV, 280 kV y 420 kV. Este no muestra un valor

¹⁰⁹ Figura propia del autor.

de referencia, para utilizar la ecuación de divisor de tensión, se partió en función de la relación obtenida por el equipo DMI 551, la cual nos muestra que el divisor de tensión de impulso=395,2 ya con este se procede a realizar un cálculo de la aproximación del capacitor, para tener como base el nivel de tensión, que se tendrá dentro del divisor de tensión de la tarjeta de adquisición de datos.

A partir de la fórmula del divisor de tensión del tipo capacitivo, se encuentra la relación base para cada una de las ganancias, por lo que en este caso, se lo realiza de manera inversa teniendo la ganancia como base, para luego encontrar el valor del capacitor. Por lo que la ecuación de despeje del capacitor queda de la siguiente manera:

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{C1 + C2}{C1}$$

Teniendo como relación la función de: $\frac{V_{in}}{V_{out}}$

$$395,2 = \frac{C1 + C2}{C1}$$

$$C1 * 395,2 = C1 + C2$$

Ya que se tiene el valor del capacitor C1 el cual es de 1200 pico faradios

$$C2 = C1 * 395,2 - C1$$

$$C2 = 473nF$$

Al reemplazar ya dentro del divisor de tensión capacitivo, se puede observar los siguientes resultados reflejados en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Cálculo de los voltajes del impulso para el equipo DMI 551

Voltaje Impulso	
C1	1,20E-09
C2	4,73E-07
Voltaje Entrada(voltios)	150000
Voltaje Salida(voltios)	379,5546559

El valor que da referencia como entrada el equipo es de 0 a 400 voltios en AC y este se encuentra en los rangos obtenidos a partir de la relación calculada en función del voltaje soportado por el capacitor de 1200 pf que es de 150 kV, por lo que se debe acondicionar la entrada de voltaje de la tarjeta de adquisición de datos a niveles de tensión inferiores a los 10 voltios.

Para el caso se realizó un divisor de tensión resistivo, el cual permitirá disminuir el nivel de tensión si en cierto caso se presentase valores altos de voltaje de acuerdo a cada práctica, por lo que se puede observar el arreglo realizado dentro de la figura 3.34.

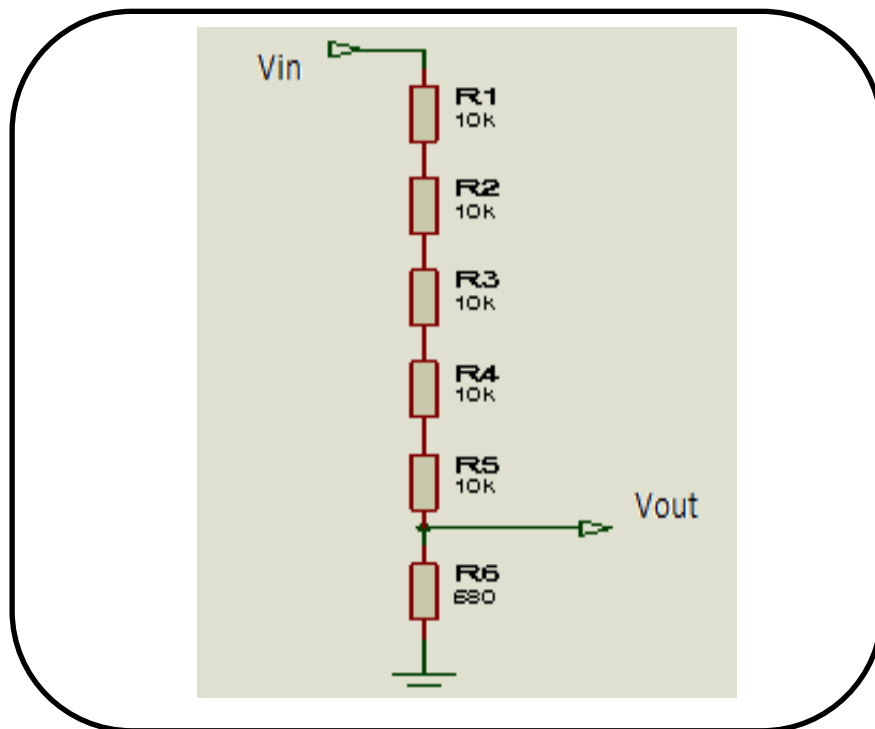


Figura 3.34. Divisor resistivo para 400 V del equipo DMI 551 hacia la DAQ.¹¹⁰

Al tener la distribución de las resistencias, obtenemos los siguientes valores expresados en la tabla 3.7.

¹¹⁰ *Figura propia del autor.*

Tabla 3.7. Cálculo de los voltajes de impulso para la tarjeta de adquisición.

R1= R2= R3= R4= R5	10000	Ohm
R6	680	Ohm
V Entrada	400	Voltios
V Salida	5,367	Voltios
I Total	0,007893	Amperios
Voltaje 1=2=3=4=5	78,93	Voltios
Voltaje 6	5,37	Voltios
Potencia 1=2=3=4=5	0,6229408	Wattios
Potencia 6	0,04236	Wattios
Relación	74,529412	

Este tipo de divisor, está diseñado para soportar los niveles de tensión de 400 voltios si este se presenta, ya que brinda la seguridad de que el divisor no se recaliente por las prácticas a realizarse, aunque los ensayos de impulso o descargas atmosféricas sean de poca duración, pero brinda seguridad en los niveles de tensión que la tarjeta de adquisición de datos soporta, ya que esta tiene un nivel de tensión de 5 voltios DC y 250 mA del puerto de comunicaciones del USB; Cabe mencionar, que los valores de relaciones o ganancias obtenidos para la tarjeta de adquisición y equipo de Alta Tensión pueden variar de acuerdo a la distancia que se tengan por los conductores que van desde el equipo de Alta Tensión hasta los equipos de monitoreo.

3.1.5.2. APLICACIÓN DE LOS DIVISORES DE TENSIÓN

Los valores de los divisores de tensión, deberán constar dentro de un VI; ya que estos marcan la relación de dependencia de los divisores, con respecto a la tarjeta o equipo que se pueda implementar, al existir diferentes configuraciones dentro del laboratorio se puede llegar a tener diferentes niveles de tensión. Este nuevo VI tiene la opción de cambiar las ganancias, si se lo requiere. A partir de este caso se crean variables del tipo compartida, para que se puedan exportar hacia otros VIs, este sub-proceso no se lo creo como otro sub-VI por el tiempo de respuesta que existiría. A continuación, se muestra la programación

realizada dentro de la figura 3.35.

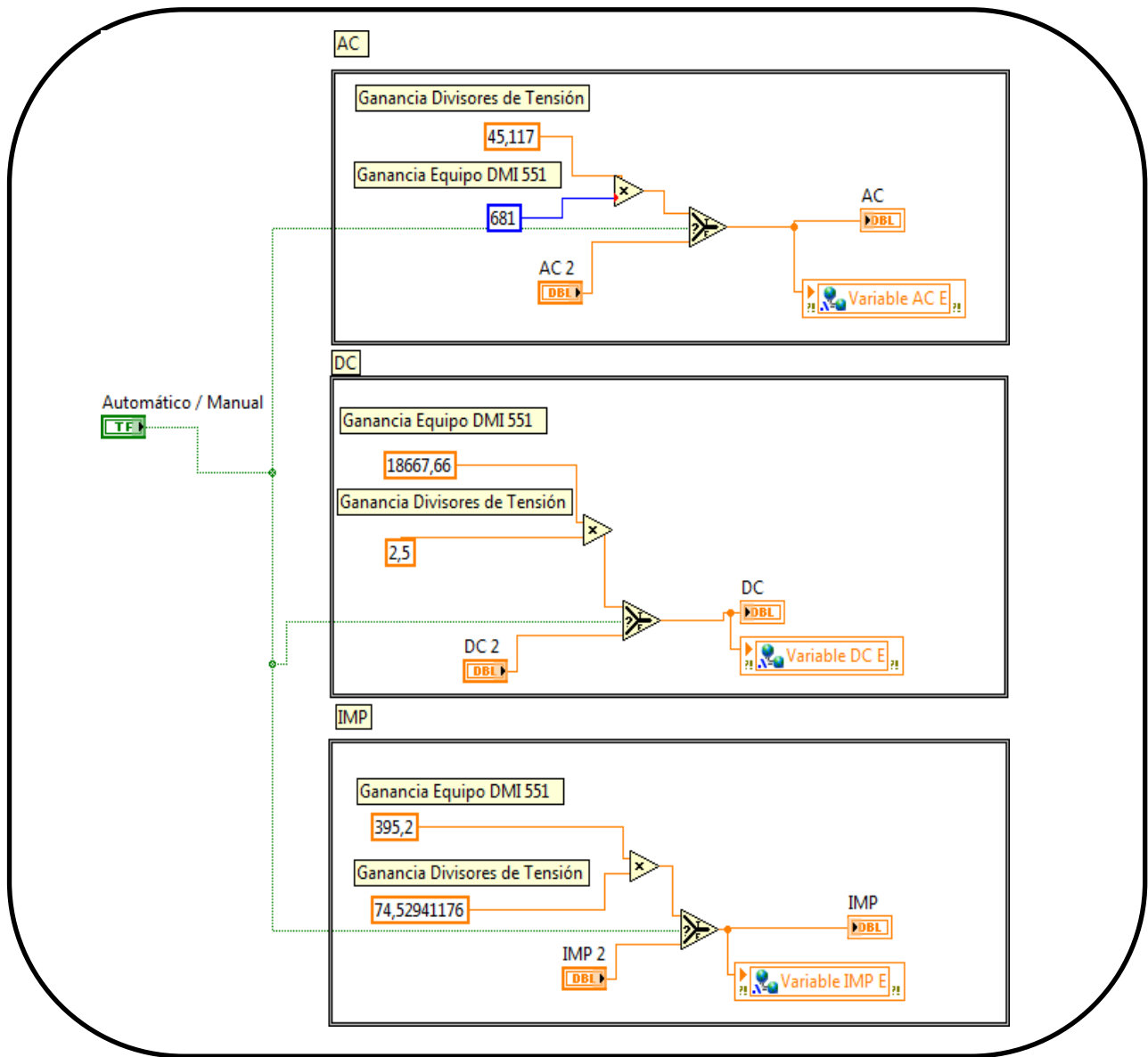


Figura 3.35. Programación para los divisores de tensión.¹¹¹

Cabe mencionar que al ser tan simple, el bloque solo se lo utilizará para cambiar las constantes, por lo que se le tomará en cuenta como un Sub VI dentro de los programas, las constantes se deberán mantener; solo si se ocupan la tarjeta de National Instruments actual se utilizarán, los valores correspondientes al cálculo, si se requiere utilizar otra tarjeta se deben modificar los valores obtenidos por los divisores de tensión, en función del nivel de voltaje en la entrada de adquisición del equipo.

¹¹¹ Figura propia del autor

3.1.6. PRÁCTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO

3.1.6.1. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC 100KV

Para este tipo de práctica, se debe obtener la medición de los niveles de voltaje, frecuencia, y la detección de los armónicos, además, se necesita mostrar la señal de AC dentro del sistema de monitoreo. A continuación se muestra la programación en la figura 3.36.

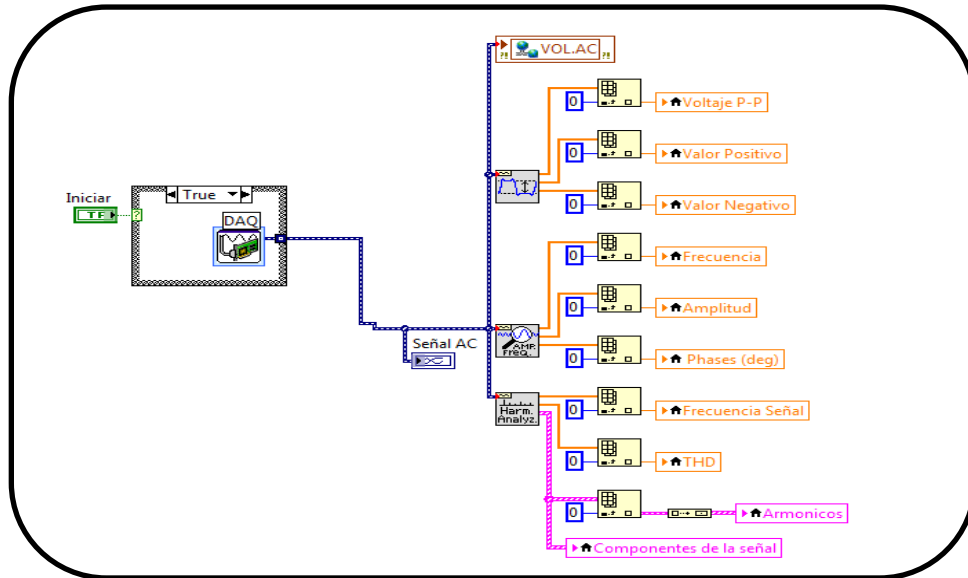


Figura 3.36. Programación para análisis de la medición en AC.¹¹²

En este VI, se observa que se hace referencia únicamente al voltaje en AC, el que se está midiendo con un rango de 0 a 10 Voltios, este puede ser cambiado, a través, de la fórmula del divisor de tensión, por lo que se implementó un divisor del tipo resistivo, ya que es el más óptimo para este caso.

El valor de la relación del divisor de tensión para el equipo interno del laboratorio de Alta Tensión es de 680, y el valor de 2.5 que es valor de la relación del divisor de tensión para la tarjeta de adquisición de datos, estos dos valores, deben ser multiplicados con el voltaje que ingrese a la tarjeta para tener el voltaje real que se está midiendo en el laboratorio. En la ecuación 3.2 se presenta las ganancias o relaciones obtenidas en cada divisor de tensión.

$$V_{HV} = V_{DAQ} * C_{DAQ} * C_{HV} \quad (3.2)$$

¹¹² Figura propia del autor.

Dónde:

V_{HV} : es el voltaje obtenido por el sistema de monitoreo, además del voltaje presente en el laboratorio de Alta Tensión.

V_{DAQ} : es el valor del voltaje de la DAQ.

C_{DAQ} : es el valor de la constante de ganancia del divisor de la DAQ.

C_{HV} : es el valor de la constante de ganancia del divisor del equipo de Alta Tensión.

Despejando los valores obtenidos para el divisor de tensión en AC, se tiene la siguiente expresión:

$$V_{HV} = V_{DAQ} * 45,11764 * 681$$

El valor obtenido esta representado por una variable global, que se encuentra dentro del Vi de divisores de tensión, por lo que se procede a la mutiplicación de este valor con el voltaje obtenido por la tarjeta de adquisición, el bloque final de la pogramacion se muestra en la figura 3.37.

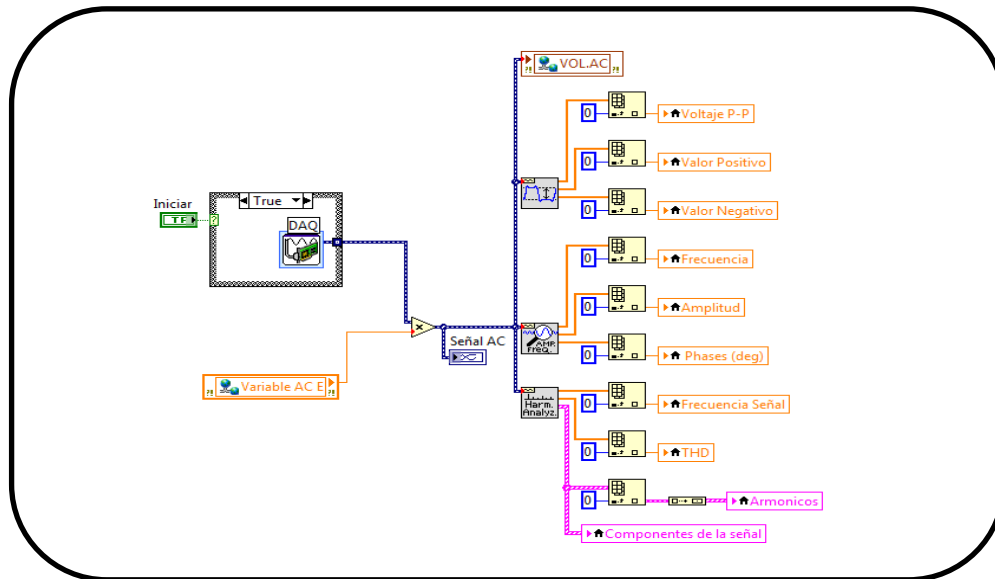


Figura 3.37. Programación de los divisores de tensión en AC¹¹³

Para guardar los datos dentro del reporte, se utilizó la herramienta creada con el nombre de formato.vi. El mismo que nos permitirá guardar los datos que deseemos, además, se

¹¹³ Figura propia del autor.

muestra la configuración que se dio para el caso de la medición de voltaje en AC, todo esto se representa en la figura 3.38

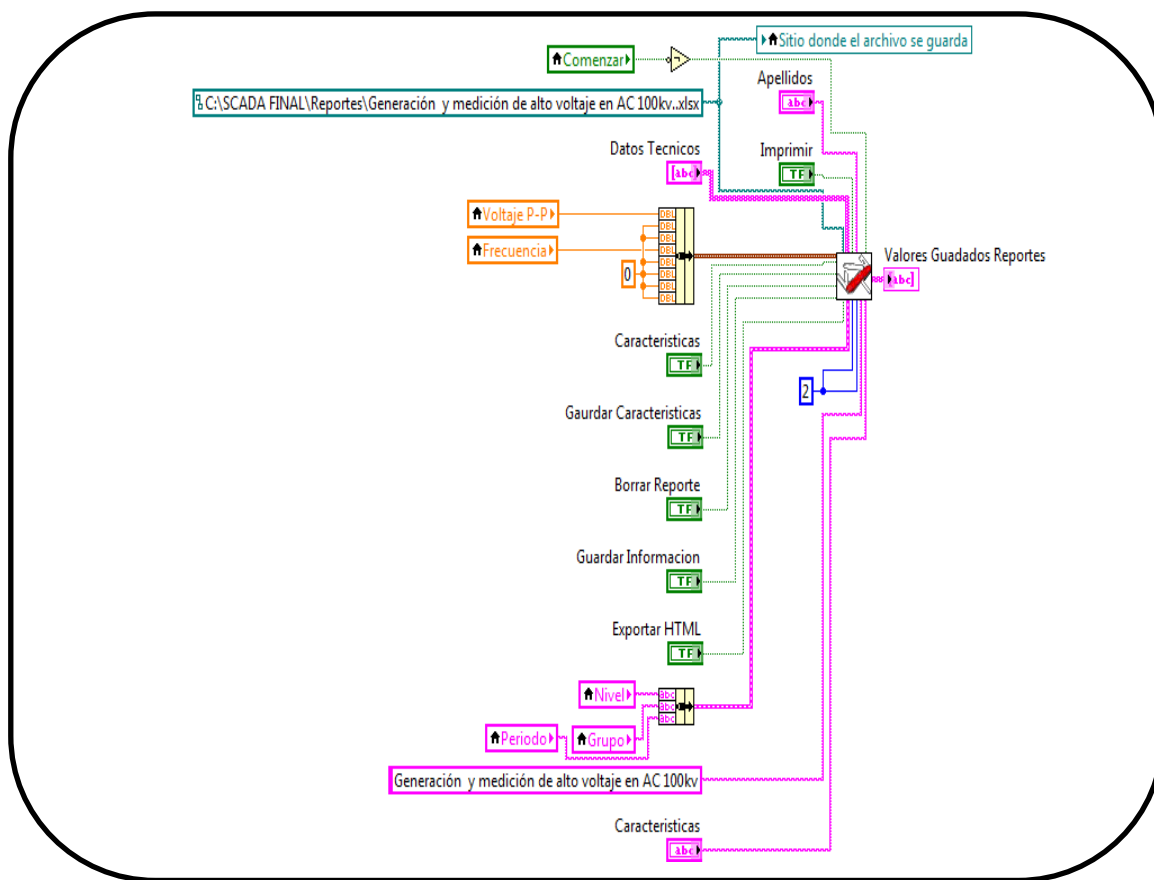


Figura 3.38. Programación para guardar los datos reporte¹¹⁴

3.1.6.2. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC Y DC

Para la práctica, lo que se realizó es la adquisición de las señales por dos canales con los niveles de voltaje, medición de frecuencia, la detección de los armónicos en función de los voltajes de AC y DC. Se le dio prioridad a la señal de AC y DC para la visualización dentro del sistema de monitoreo. A continuación, se presenta la programación se representa en la figura 3.39.

¹¹⁴ Figura propia del autor.

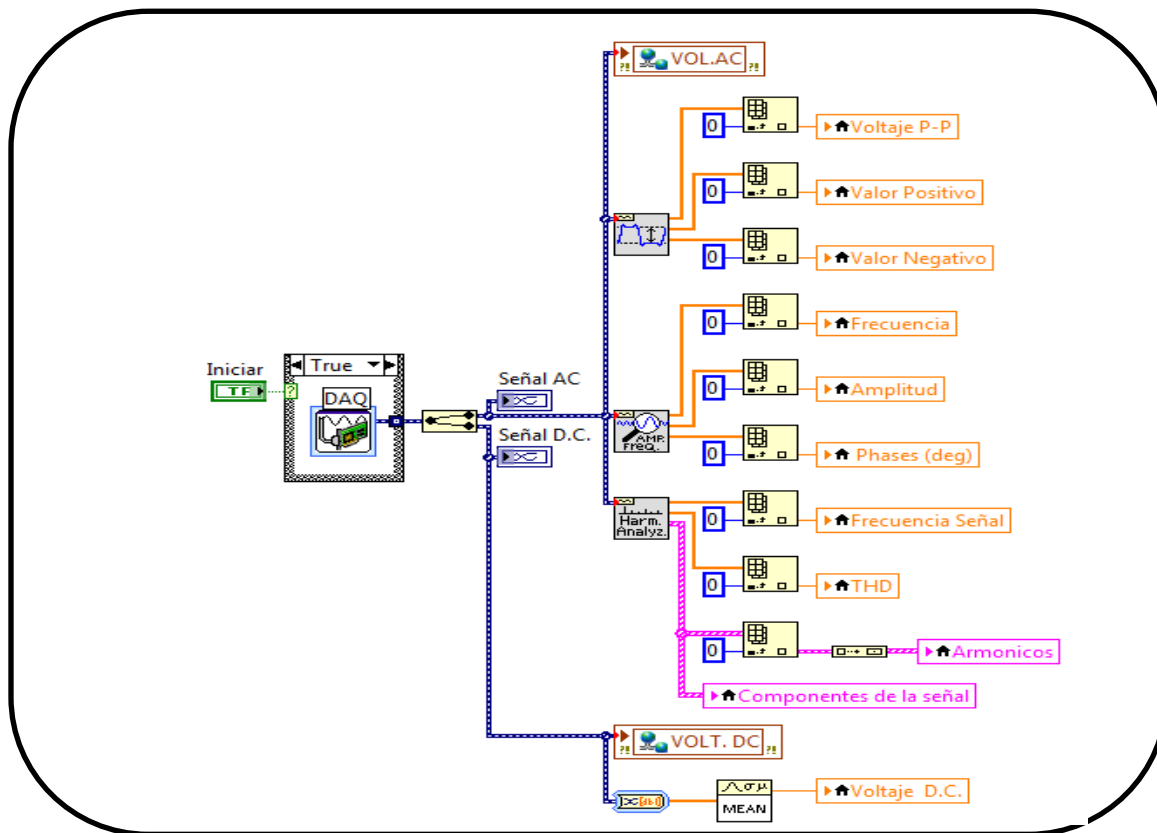


Figura 3.39. Programación para análisis medición en AC y DC¹¹⁵

Como la señal del Voltaje AC, se la describió en el numeral anterior; el análisis se enfatizará en la señal del voltaje en DC, ya que la señal es obtenida por la tarjeta de adquisición con un nivel de voltaje de 0-10 voltios, por lo que se realizó un divisor de tensión, para el caso de estudio se lo hizo del tipo resistivo.

El valor del divisor de tensión es de 18667,66667 en DC del equipo interno del laboratorio de Alta Tensión, pero como este tiene otro divisor, se le debe multiplicar por 2,5 para tener el voltaje real en DC que se está midiendo en el laboratorio, este proceso es similar al realizado dentro del numeral anterior, ya que se utiliza la ecuación 3.2 para encontrar el valor máximo obtenido durante la prácticas. A continuación se presenta la programación realizada en la figura 3.40.

¹¹⁵ *Figura propia del autor.*

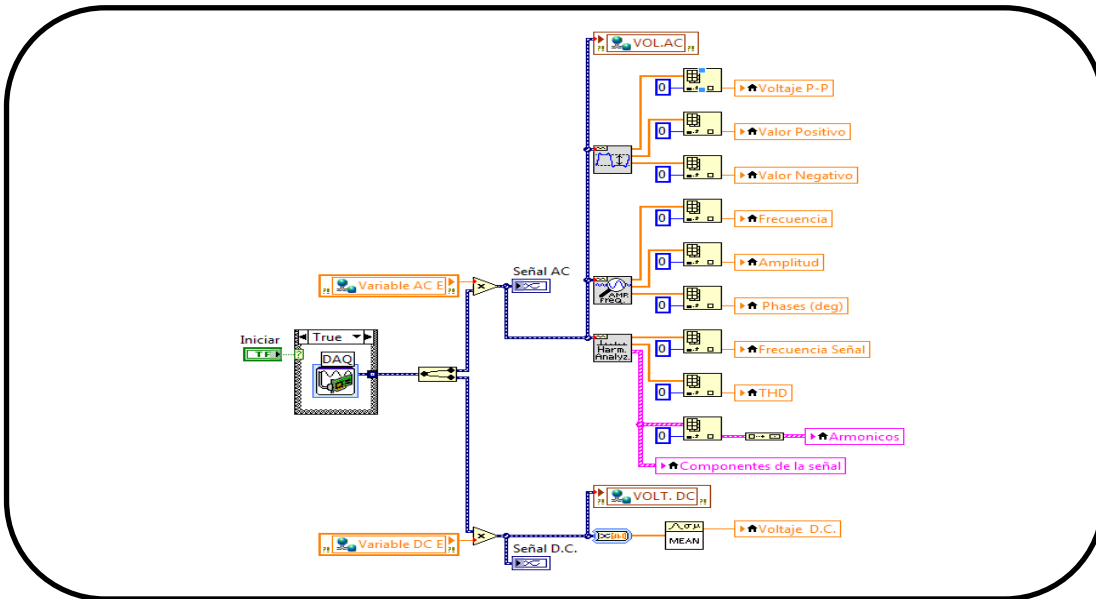


Figura 3.40. Programación de los divisores de tensión en AC y DC¹¹⁶

En el Vi de formato, se le estableció un nuevo destino para guardar los datos, pero con la nueva variable del voltaje de DC, además se estableció un nuevo arreglo para adjuntar los valores de DC junto con los valores obtenidos en la práctica 1. A continuación, se muestra la programación realizada en la figura 3.41.

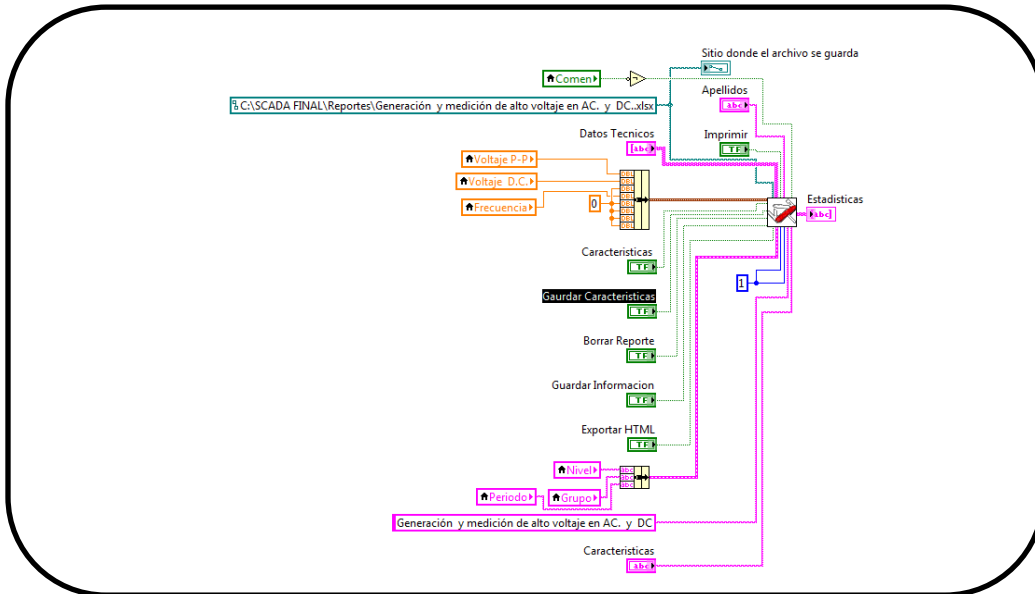


Figura 3.41. Programación para guardar datos dentro del reporte¹¹⁷

¹¹⁶ Figura propia del autor.

¹¹⁷ Ídem.

3.1.6.3. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE DE IMPULSO

Para esta práctica, se tiene que obtener tres señales por tres canales, además de realizar las mediciones de los niveles de voltaje, medición de frecuencia, la detección de los armónicos, y análisis de la señal de impulso. Para este caso hay que considerar que al producirse la señal del impulso, el sistema de monitoreo debe guardar automáticamente los valores registrados sin importar la velocidad en la que ocurre el evento, la programación se describe en la figura 3.42.

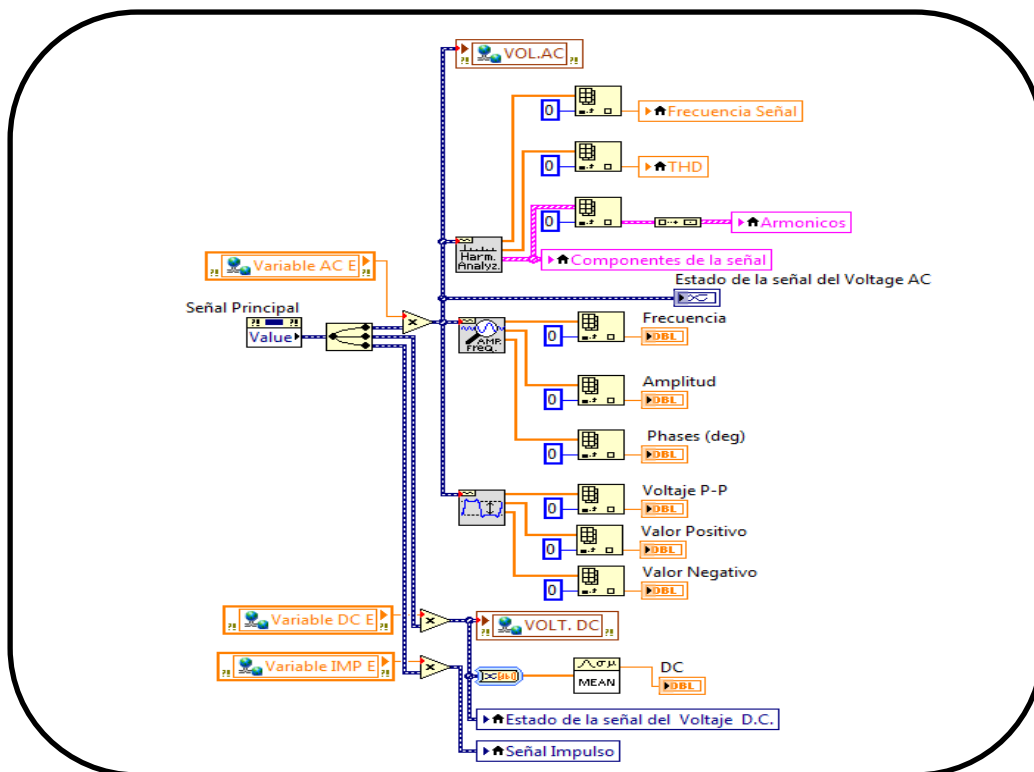


Figura 3.42. Programación para análisis medición en AC, DC e impulso.¹¹⁸

El proceso es similar pero en este caso, tenemos una señal de impulso, por lo que se debe volver a utilizar las relaciones obtenidas por los divisores de tensión, tomando en cuenta que las relaciones deben ajustarse al nivel de tensión utilizadas dentro del laboratorio, estas relaciones corresponde al circuito descrito en la figura 3.43.

¹¹⁸ Figura propia del autor.

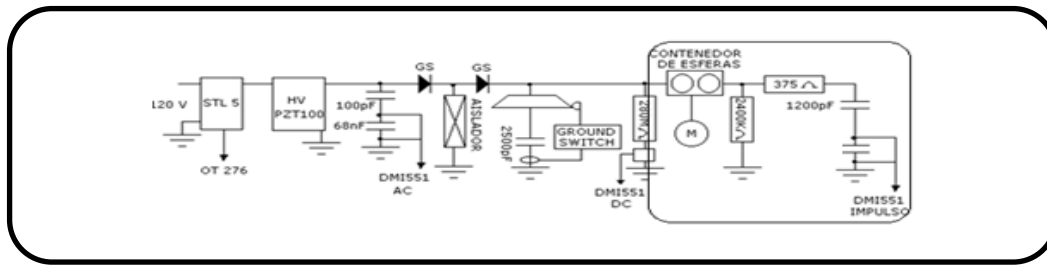


Figura 3.43. Circuito para la medición en impulso¹¹⁹

Ya con el bloque para la adquisición de la señal de voltaje AC, DC e Impulso se le adiciona las contantes obtenidas para cada caso, haciendo que los valores medidos por la tarjeta sean similares a los medidos por el equipo DMI 551. La programación se representa en la figura 3.44.

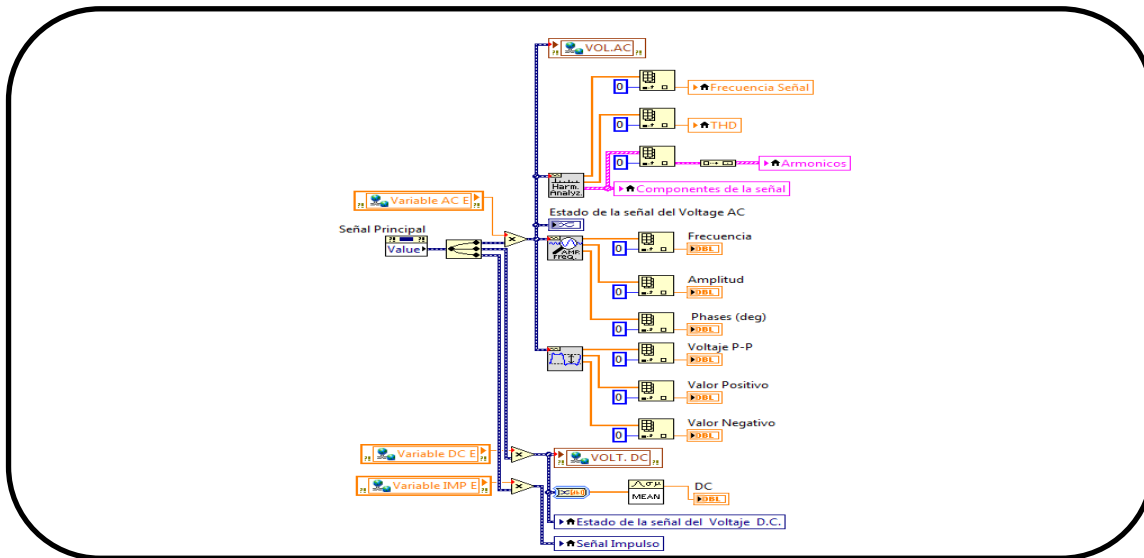


Figura 3.44. Programación de los divisores de tensión del impulso¹²⁰

Para este, se debe tomar en cuenta que debemos medir la distancia de las esferas, ya que de estas dependerá la disrupción que se pueda generar en el equipo encargado de realizar y medir el impulso atmosférico. Con esto se presenta un nuevo tipo de programación para poder analizar y guardar la información, por lo que a continuación se muestra la representación del evento a medir dentro de la figura 3.45.

¹¹⁹ Figura propia del autor.

¹²⁰ Ídem.

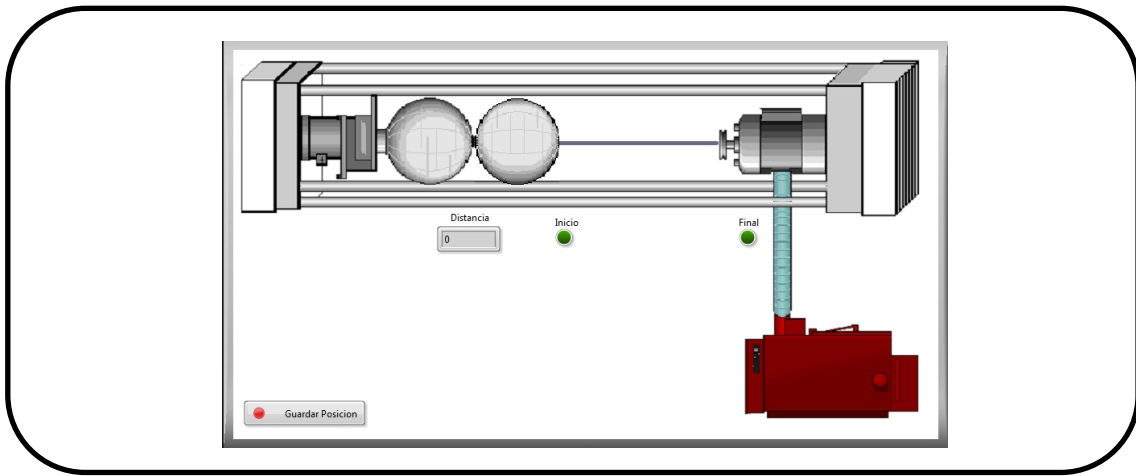


Figura 3.45. Representación del estado de las esferas durante la práctica.¹²¹

Dentro de la figura 3.45. se muestra la representación del proceso que se da en el laboratorio de Alta Tensión, este tipo de ensayo se lo realiza a través de la distancia entre las esferas, el sistema de monitoreo debe contar con indicadores de posición, estos a su vez representan los dos micro-switchs, con este proceso se tiene referencia de la posición de inicio en la que comienza, hay que mencionar que la distancia medida dependerá de un sensor encargado de medir el número de pulsos, que se generan por el movimiento del motor, el cual permite que las esferas se alejen o se acerquen. El número de vueltas dependerá del número de ranuras que posea el encoder. El microswitchs deberá estar ubicado en el extremo inicial y final para tener una referencia de inicio o final, con esto poder determinar de una manera precisa la distancia de las esferas.

Hay que considerar que las revoluciones, dependerán de un número de ranuras que posea el encoder, ya que al cumplirse el número total de pulso, se puede determinar como una revolución. Por lo que se puede llegar a determinar la ecuación 3.3. en la que se establece una relación simple de distancia en función de la revolución que se produce dentro del equipo.

$$Distancia\ Esferas = 1mm * \frac{numero\ de\ pulsos}{ranuras\ encoder} \quad (3.3)$$

Todo este proceso, se lo realiza automáticamente por el Labview, ya que este tiene incorporado la función de adquisición de datos, para determinar la posición. Este proceso es

¹²¹ *Figura propia del autor.*

similar a la adquisición de una señal analógica, pero este para el caso es del tipo contador, y dependerá del tipo de tarjeta de adquisición de datos que se utilice, para el caso; se disponen de dos tipos de medida; los cuales son la lineal y angular estas dependerán de la aplicación y del tipo de sensor. A continuación se muestra en la figura 3.46, la pantalla de configuración del puerto en estado de contador.

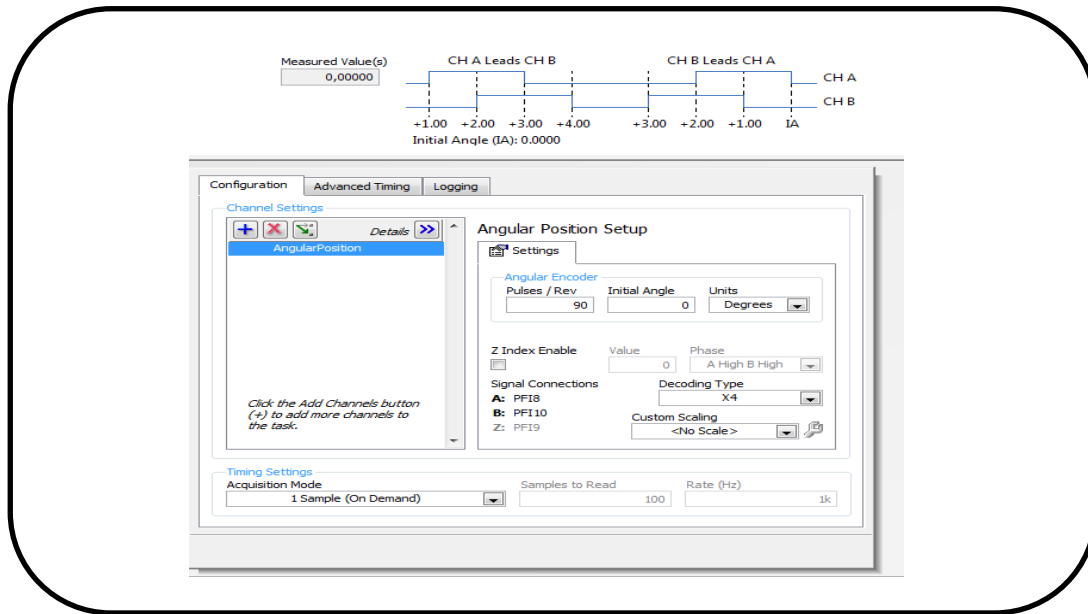


Figura 3.46. Configuración de la entrada digital para medir posición.¹²²

Luego se selecciona los puertos y parámetros de acuerdo a los sensores que se dispongan, para el caso el número de revoluciones será de 90 pulsos y es equivalente a 1 revolución, al tener definidos los parámetros, se procede a aceptar y guardar, se debe tener en cuenta que deben existir dos sensores; los mismos que deben estar ubicados en los extremos para resetear la distancia si se lo requiere, además, se dispone de una memoria interna para guardar la posición en la que se encuentre las esferas.

Ya que la señal de impulso, es demasiado grande y rápida para mostrarla dentro de un indicador gráfico, se debe realizar una programación que permite guardar la señal desde el principio de la señal hasta el fin de la misma, por lo que el sistema de base de datos se lo realizará, a través, de archivos de interface TDMS en Labview, ya que este permite tener de una manera organizada los datos, mejorando la eficiencia.

¹²² *Figura propia del autor.*

La característica principal de este tipo de formato es que se basa en una estructura; con tres niveles de jerarquía, ya que el archivo contiene: el archivo con características, un grupo y canal respectivo.

Labview nos permite realizar una gestión de datos, a través, de varias herramientas; por lo que tenemos tres elementos básicos para la gestión de estos archivos:

- El primero NI TDMS, el cual se encarga de la gestión interna de los datos de almacenamiento con las propiedades de almacenamiento, esta se encuentra en la paleta de programación de los reportes.
- El Data Finder NI, para localizar rápidamente los datos previamente almacenados y realizar un estudio del mismo.
- El NI DIAdem o el Toolkit de LabVIEW Data Finder, para el procesamiento de datos y creación de informes.

A continuación, se presentarán los vi encargados de guardar la información, por medio de los archivos tdms, para estos se utilizó las herramientas que se encuentran dentro de la paleta de Storage/data plugins.

3.1.6.3.1. HERRAMIENTAS PARA GUARDAR LAS SEÑALES DE IMPULSO.

Este VI, permite crear un nuevo archivo, remplazar un archivo existente o abre archivos de datos de almacenamiento del tipo TDMS, TDM entre otros. Este bloque se lo representa en la figura 3.47.



Figura 3.47. Open Data Storage.¹²³

El VI agrega un grupo de canales o canal a un archivo que se especifique, el canal es seleccionado dentro del cuadro de diálogo de la configuración, además, puede crear un

¹²³ *Figura propia del autor.*

bloque de señal de entrada que le permite añadir una señal a un canal existente. Este bloque se lo representa en la figura 3.48.



Figura 3.48. Write Data.¹²⁴

Devuelve una matriz de referencia que representará a los grupos de canales; se selecciona Channel, como el tipo de objeto para leer en el cuadro de diálogo de configuración, este VI Express, puede devolver los datos del canal con formato de datos dinámicos o matrices de datos específicos. También puede utilizar esta VI Express para ver los grupos de canales que cumplan las condiciones de consulta que especifique. Este bloque se lo representa en la figura 3.49.

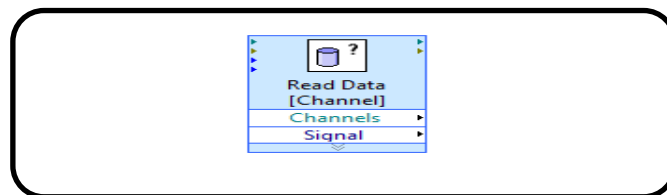


Figura 3.49. Write Data.¹²⁵

Esta herramienta permite cerrar un archivo de datos y debe utilizarse este VI Express para cerrar un archivo de datos después de que termine de leer o escribir en el archivo, con esto se evita la pérdida de memoria que puede ocurrir si no cierra el archivo de datos. Este bloque se lo representa en la figura 3.50.

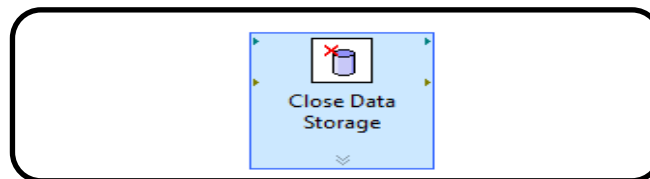


Figura 3.50. Close data¹²⁶

¹²⁴ *Figura propia del autor.*

¹²⁵ *Ídem.*

¹²⁶ *Ídem.*

Se define las propiedades del archivo existente para un grupo, canal o canales. Este se configura antes de conectar a la referencia del almacenamiento, la configuración puede cambiar dependiendo del tipo de propiedades. Por lo que no se pueden dar referencias de unos a varios ya que deben contar con las mismas características o propiedades. Este bloque se lo representa en la figura 3.51.

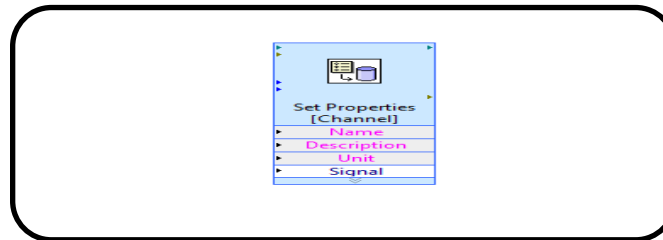


Figura 3.51. Vi Express Set Properties Data¹²⁷

Este VI permite realizar un análisis de los datos guardados dentro del archivo permitiendo clasificarlos por las señales que se desee estudiar. Este bloque se lo representa en la figura 3.52.

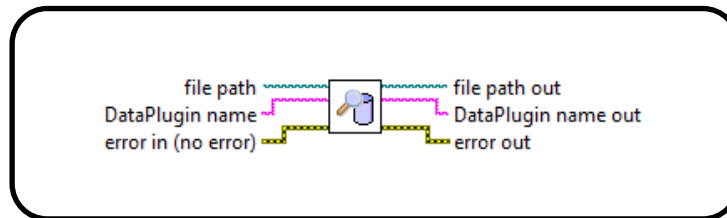


Figura 3.52. Data File Viewer¹²⁸

Una vez descrito las herramientas básicas utilizadas para la creación de una base de datos, se puede dar explicación a la configuración del sistema para el almacenamiento de las señales de impulso producidas, este se lo realiza de tal manera que se pueda almacenar señales continuas, sin que exista restricción en el tamaño de las señales.

3.1.6.3.2. PROGRAMACIÓN BASE DE DATOS PARA LA SEÑAL DE IMPULSO.

Al tener como base un archivo .tdms lo que se debe crear, es una ruta donde se pueda guardar los datos, luego generar una condición, la cual nos permita realizar una comparación. Ya que la señal de impulso cuenta con una señal AC y DC, de la que se desconoce de su respuesta, por lo que cada una de ellas tendrá diferentes condiciones de

¹²⁷ *Figura propia del autor.*

¹²⁸ *Ídem.*

producirse. [68] Los impulsos que se utilizan dentro del laboratorio tienen un frente con aumento lineal, o transitorio de forma oscilatoria o aproximadamente rectangular, como se muestra en la figura 3.53. A los impulsos con una duración de frente de hasta 20 us, se los considera como impulsos atmosféricos, y aquellos con una duración mayor son impulsos de maniobra.

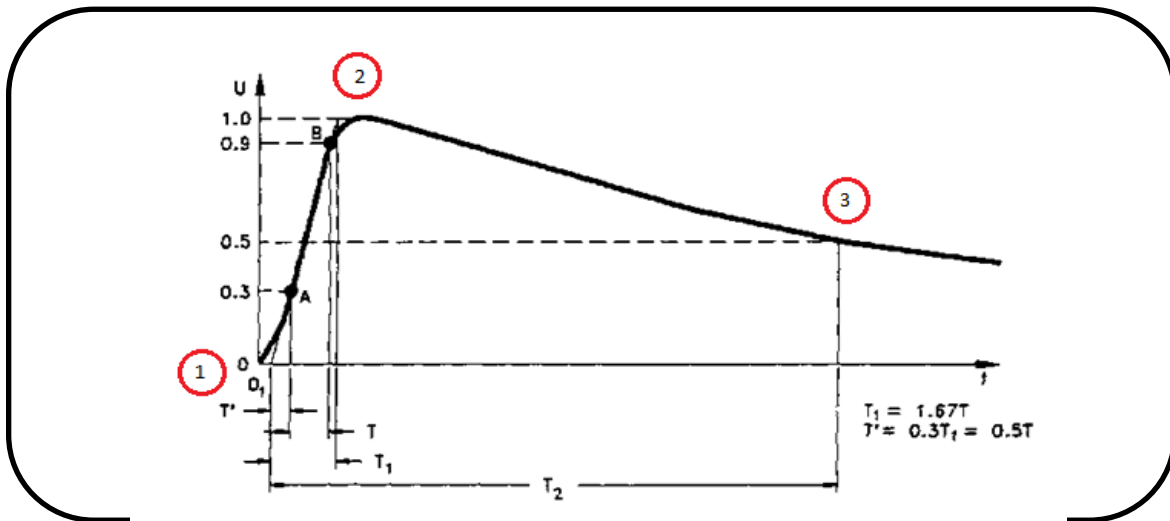


Figura 3.53. Puntos críticos de la señal de impulso¹²⁹

La programación debe ser capaz de guardar a partir del punto 1 hasta el punto 3, como se muestra en la figura 3.53, como la señal de impulso que se genera de una forma controlada o se produce por una disrupción son tan rápidas, hay que considerar el guardar exclusivamente la variación de esta señal, mas no guardar continuamente datos que no se utilicen. Se puede observar cómo se crea la onda con un tiempo T_1 . A este se lo conoce como frente de la señal y el tiempo T_2 , que es la duración de la cola. Dentro de las normas IEEE Std 4-1995 IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing, se encuentran los valores definidos para una tensión de impulso atmosférico normalizado, ya que este es un impulso pleno con una duración de frente de 1,2 us y una duración de 50 us, por lo que se puede expresar como un impulso 1,2/50.[69]

¹²⁹ IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing, IEEE Std 4-1995, p. 20. (modificada por el autor.)

Las tolerancias normalizadas de la tensión de impulso se detallan en la norma IEEE Std 4-1995. Las características para esta prueba se describen en el anexo 5.

- Valor de cresta $\pm 3\%$
- Duración del frente $\pm 30\%$
- Duración del hemivalor $\pm 20\%$

Al tener una onda tan rápida, se deben crear límites del tipo positivo y negativo, para tratar de guardar todos cambios que se producen durante una señal de la onda viajera, por lo que dentro del programa Labview, se tiene una herramienta apta de evaluar los límites y sacar los puntos que se encuentren dentro de los límites. La herramienta se encuentra dentro de Express \rightarrow Signal analysis \rightarrow Mask and Limit Testing Express VI.

Esta herramienta, permite definir los valores de límite inferior y superior, con lo que se puede conectar una señal de entrada para compararla con los límites. El Vi encargado de la comparación se muestra en la figura 3.54.

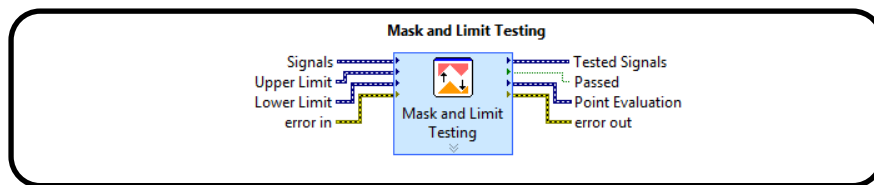


Figura 3.54. Mask and Limit Testing Express.¹³⁰

Con esta configuración se podrá indicar si los límites se ha superado, y se podrá tener una respuesta de guardado hacia la base de datos y del reporte. La estructura se presenta en la figura 3.55.

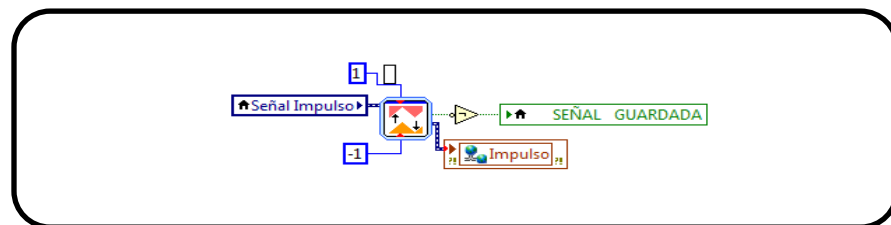


Figura 3.55. Programación para detectar los límites de la señal.¹³¹

¹³⁰ Figura propia del autor.

¹³¹ Ídem.

La programación deberá leer los datos guardados el archivo .tdms y deberá mostrarlos en un waveform char, además, deberá sacar los valores máximos de amplitud y localización de la señal. La estructura de la programación se presenta en la figura 3.56.

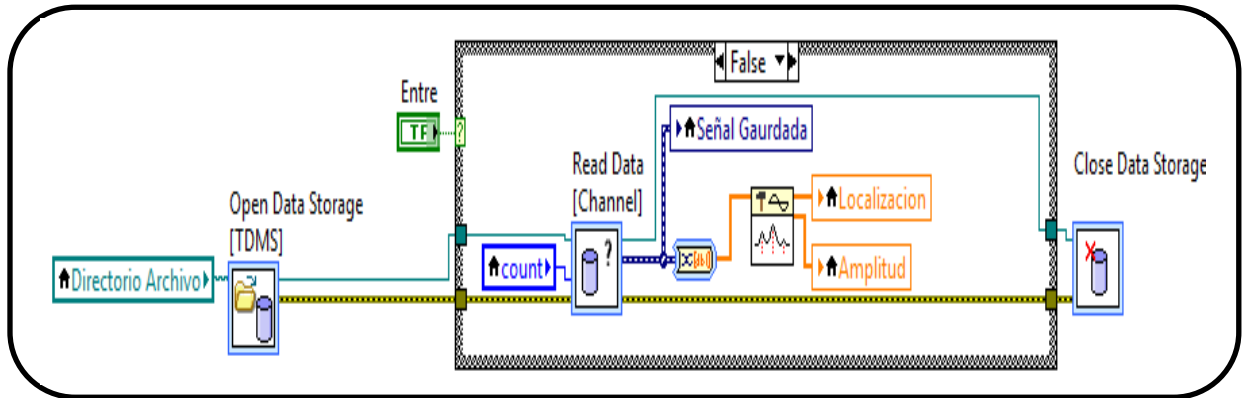


Figura 3.56. Lectura de datos de la señal de impulso generada¹³²

La siguiente programación, tendrá que escribir los datos de la señal de impulso producida, creará canales de señales independientes al momento de guardar, sin que exista pérdidas de la señal por sobre escritura. Todos estos pertenecerán a un solo grupo de canales del archivo TDMS. La estructura de la programación se presenta en la figura 3.57.

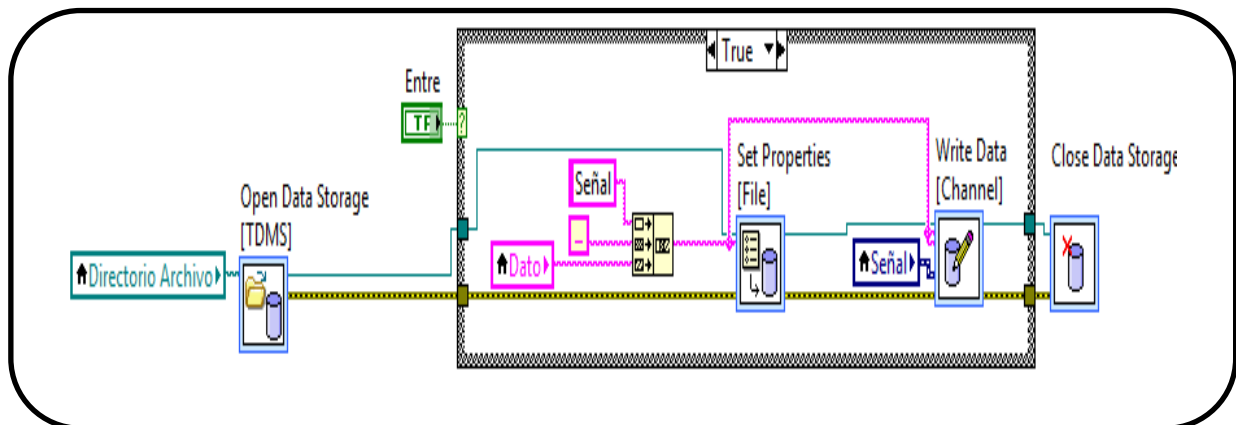


Figura 3.57. Lectura de datos de la señal de impulso generada¹³³

Al tener esta herramienta construida, se tiene como base para poder ver la señal completa del impulso atmosférico, además, se complementa con un registro, el cual guarda de una manera ordenada los datos, pero hay que tomar en cuenta que los datos son guardados

¹³² Figura propia del autor.

¹³³ Ídem.

automáticamente, cada vez que se produce el evento eléctrico, ya que es muy rápido para que el usuario lo pueda guardar normalmente. Por lo que en la figura 3.58 se describe el estado del programa para guardar la señal de impulso.

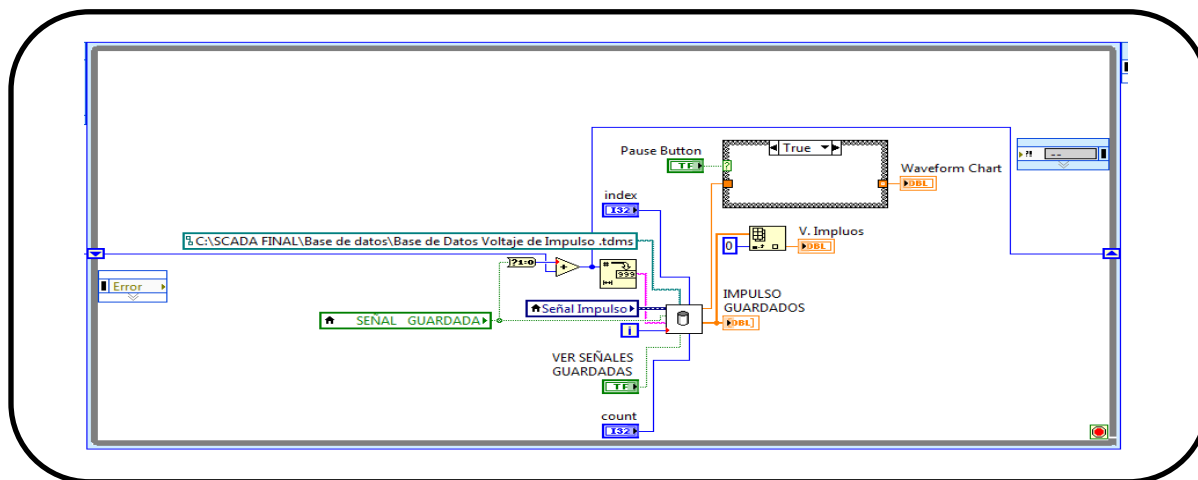


Figura 3.58. Programación para guardar señal de impulso. ¹³⁴

Para este tipo de señales, se procedió a realizar una simulación donde se pueda dar a conocer los valores comunes para este tipo de señal de impulso, frente a lo obtenido en el laboratorio de Alta Tensión. En la figura 3.59 se muestra la pantalla de simulación.

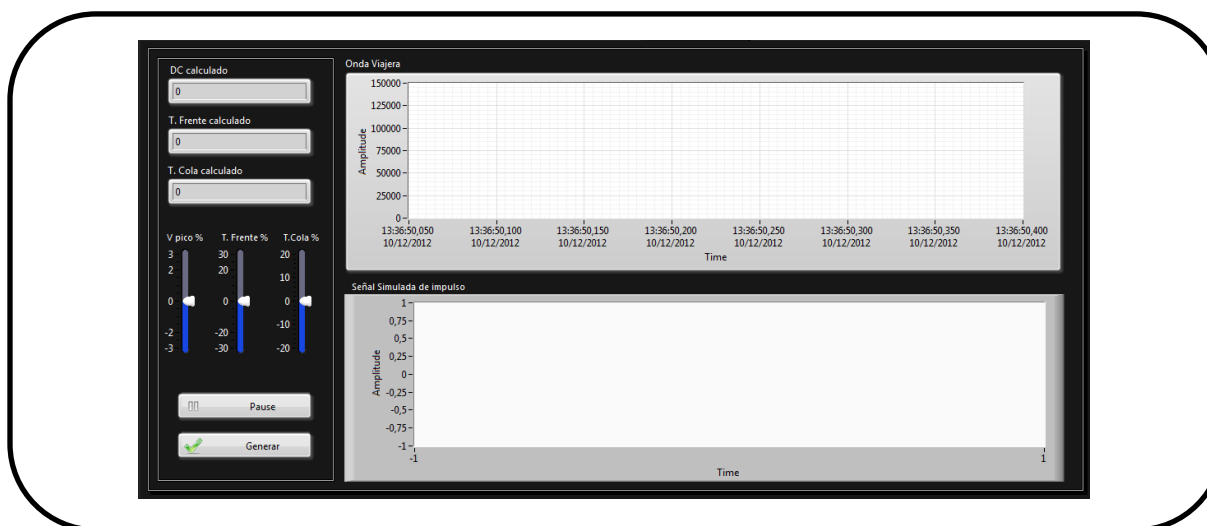


Figura 3.59. Programación para guardar señal de impulso. ¹³⁵

¹³⁴ Figura propia del autor.

¹³⁵ Ídem.

Esta simulación, se basó en la ecuación 3.4, propuesta dentro de la norma IEEE Std 4-1995. [70]

$$V_{in}(t) = V_o(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (3.4)$$

Dónde:

$V_{in}(t)$: es la señal resultante (Señal de impulso).

V_o : es el voltaje pico de la señal.

α : es el valor de tiempo de frente de la señal de impulso (1,2 us $\pm 30\%$).

β : es el valor de tiempo de cola de la señal de impulso (50 us $\pm 20\%$).

t : es el tiempo en el que se produce el evento.

3.1.6.4. PRUEBA DESTRUCTIVA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE

En esta prueba lo que se debe monitorear, son las señales de voltaje en AC, DC e Impulso, además, también el monitoreo de las señales del encoder el cual marcara la distancia de separación de las esferas. El programa es similar a la generación y medición de alto voltaje de impulso, pero en este se prueba la rigidez dieléctrica del aire, por lo que citaremos una ecuación, la que permitiría la demostración de este fenómeno. La Ley de Paschen, se fundamenta en el estudio de la tensión disruptiva en las láminas paralelas envueltas de gas, ya que estas se encuentran a una presión y distancia característica de cada ensayo, por lo que la ecuación 3.6 representa esta ley. [71][72]

$$V_{bmin} = 2.718 * \frac{B}{A} \ln \left(1 + \frac{1}{v} \right) \quad (3.5)$$

Donde, para el caso del aire se tiene que los valores:

V_{bmin} : es el voltaje de disrupción mínimo.

$A = 12$

$B = 365$

$v = 0,02$

Los valores de algunos gases requieren de mediciones, a continuación, se presenta los valores de algunos de los gases se dan en la tabla 3.8. [71]

Tabla 3.8. Chispas mínima para diferentes gases.

Gas	(pd)min	Vb _{min} volts
Aire	0,55	352
Nitrógeno	0,65	240
Hidrogeno	1,05	230
SF ₆	0,26	507
CO ₂	0,57	420
O ₂	0,7	450
Neón	4	245
Helio	4	155

Pero hay que considerar que A y B son mediciones donde intervienen la presión y distancia haciendo la dependientes de estas, además, de la ionización por lo que se llega a la ecuación 3.7 en función del criterio de Townsend para campos uniformes. [71]

$$V_b = 6.72 * \sqrt{p * d} + 24.36(p * d)kV \quad (3.6)$$

Donde

V_b: es el voltaje de disrupción.

p: es la presión en atmosferas.

d: es la separación o distancia en centímetros.

Con esta fórmula, lo que obtendremos son los valores para sacar los niveles de disrupción, para tener relación con la práctica, ya que este da referencia a los componentes básicos los cuales son:

- La forma de los electrodos.
- La distancia entre ellos.
- La presión del aire.
- Temperatura y humedad.

Ya con la ecuación 3.7, se procede a utilizarla dentro del programa descrito en la figura 3.60, a través, de una herramienta con la que puede ingresar la ecuación de manera sencilla para solo obtener el resultado.

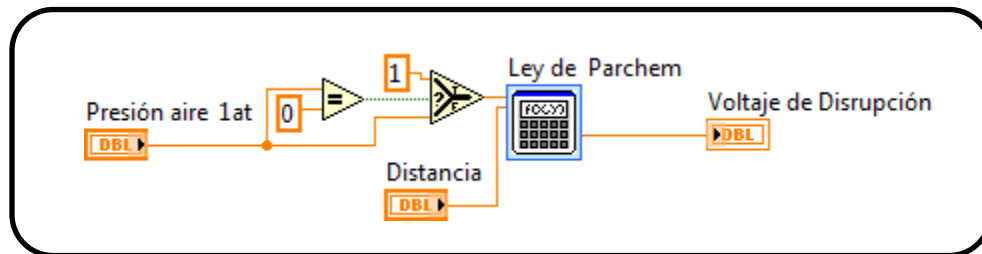


Figura 3.60. Bloque de aplicación de la fórmula de Parchem.¹³⁶

Como de esta solo va a depender una entrada para medir la distancia y más una de la presión. La presión se la puede considerar como 1 Atmosfera o se puede utilizar un sensor de presión para tener un mejor resultado. Al tener todos estos, se aplica lo de la práctica medición de alto voltaje de impulso, ya que esta generará, un impulso atmosférico recortado por la descarga a tierra.

3.1.6.5. PRUEBAS DE AISLAMIENTOS DE UN TRANSFORMADOR DE 13.8 KV

Para las pruebas en los aislamientos de un transformador, se deben tomar en cuenta pruebas como:

- Prueba al aceite del transformador. (referido a la práctica 6)
- Medición de la resistencia de aislamiento de los devanados.
- Medición de la resistencia óhmica de los devanados.
- Determinación de las características del aislamiento.

¹³⁶ Figura propia del autor.

3.1.6.5.1. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS DEVANADOS.

Este tipo de prueba se lo realiza, a través, de un instrumento de medición Megger, ya que consiste en medir la resistencia de aislamiento de un transformador, las especificaciones para realizar este tipo de pruebas, se las puede encontrar en la norma IEEE C57.12.90, en esta se puede tomar algunas características importantes. Ya que esta prueba se la realiza cuando el transformador recién está construido, a continuación se describen ciertas características que el transformador debe de tener antes de energizarlo como lo son:

- La temperatura de los devanados y del líquido aislante deben encontrarse a 20° C.
- Todos los devanados del transformador deben estar sumergidos en el mismo líquido aislante.
- Todos los devanados deben de estar cortocircuitados y las boquillas del transformador deben estar en su lugar.
- Todas las terminales que no se consideran en la prueba así como la carcasa y el tanque deberán conectarse a tierra mientras se aplique el voltaje de prueba.

"La resistencia de aislamiento se define como el valor de la resistencia en megaohms que ofrece un aislamiento al aplicar un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado y medido a partir de la aplicación del mismo."¹³⁷

Para el caso del laboratorio de Alta Tensión, se lo realiza por medio de la práctica de generación de la señal de impulso como se observa en la figura 3.61. Por lo que este tipo de prueba mide la capacidad que tiene un transformador para soportar una sobre tensión, producida por una descarga atmosférica. A esta se la representa con las siglas en ingles BIL, que significan basic impulse insulation level, y en español nivel básico de aislamiento de impulso; los valores de este tipo de prueba se los puede encontrar en la norma Std C57.12.00-2000, IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution,

¹³⁷ G. E. Harper, "El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos", LIMUSA, 2000, p. 114.

Power, and Regulating Transformers, en la que se describen los valores permisibles para cada tipo de transformador y características para realizar las pruebas.

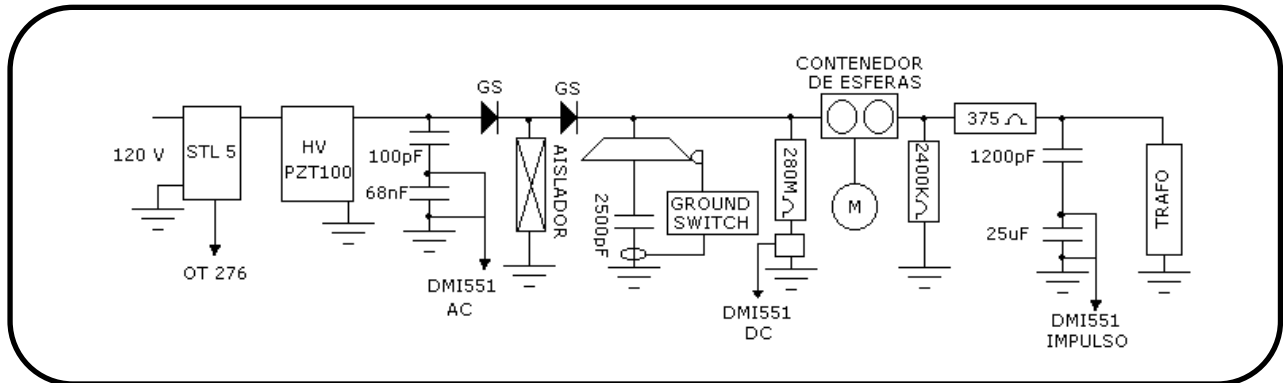


Figura 3.61. Configuración para medir aislamiento en el transformador¹³⁸

Las pruebas de resistencia de aislamiento deberán realizarse con los circuitos de igual ó diferente nivel de tensión conectados entre sí y realizar las configuraciones de los circuitos de diferente nivel de tensión de la siguiente manera: [73]

- Alta tensión vs. Baja tensión
- Alta tensión vs. Tierra
- Baja tensión vs. Tierra

CIRCUITO A: La configuración es en Alta – Baja – Tierra, conectamos el Primario a Alta Tensión, Secundario a Baja y luego a Tierra.

CIRCUITO B: La configuración es en Alta – Baja – Tanque - Tierra, conectamos el Primario a Alta Tensión, Secundario a Baja, la conexión del Tanque a Baja y luego a Tierra.

CIRCUITO C: La configuración es en Baja – Alta –Tanque - Tierra, conectamos el Primario a Baja Tensión, Secundario a Alta, la conexión del Tanque a Baja y luego a Tierra.

Dentro del laboratorio de Alta Tensión, se cuenta con un transformador para realizar las pruebas descritas previamente, este tiene un voltaje de entrada de 13,8 kV en el lado del

¹³⁸ *Figura propia del autor.*

primario y un voltaje de salida de 220/210 Voltios en el lado del secundario. Dicho transformador se muestra en la figura 3.62.



Figura 3.62. Transformado utilizado en el laboratorio ¹³⁹

La programación para el sistema SCADA es similar al descrito en la generación de impulso, ya que se guardarán los parámetros de voltaje en AC, DC, Impulso, frecuencia, distancia de las esferas, además, el usuario deberá describir dentro de las opciones de características adicionales, como se muestra en la figura 3.63.

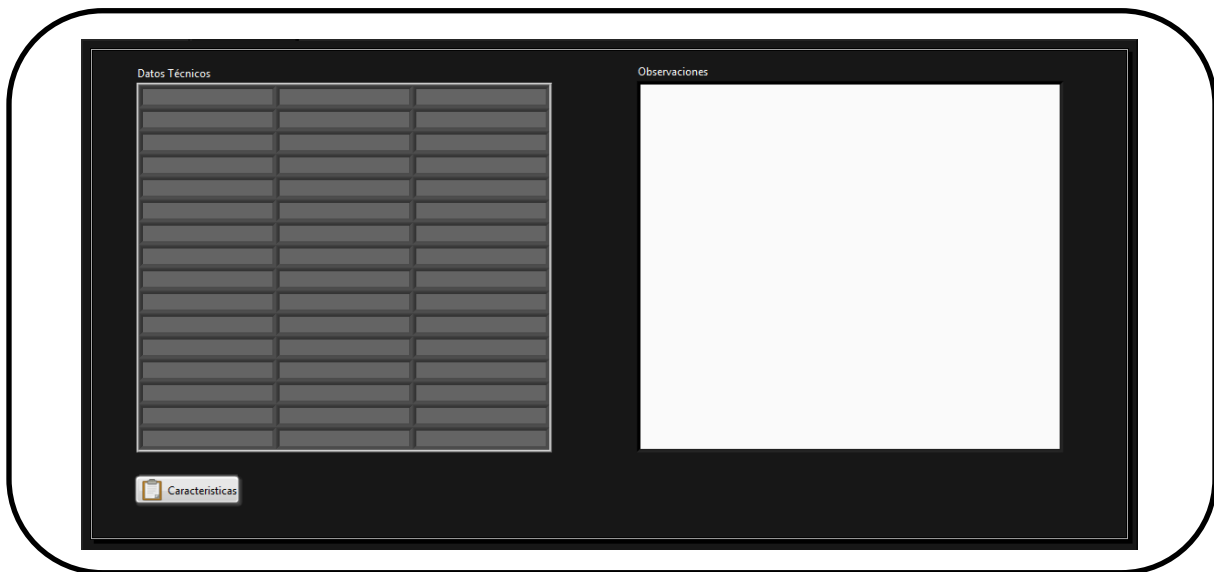


Figura 3.63. Pantalla de características presente en el SCADA ¹⁴⁰

Todos los procesos realizados durante la práctica, deberán constar dentro de las características adicionales, para que se guarden dentro de un reporte.

¹³⁹ *Figura propia del autor.*

¹⁴⁰ *Ídem.*

3.1.6.6. PRUEBAS DE ACEITE DE UN TRANSFORMADOR

El programa debe estar en función de una práctica, como se describe en la figura 3.64, donde esta depende de la temperatura del aceite, ya que en este produce una disrupción eléctrica por la ruptura del aislamiento, dentro de esta prueba se da conocer si existen agentes contaminantes como: agua, polvo, partículas conductoras en el aceite. Ya que estos pueden causar que se presenten valores bajos en niveles del aislamiento. Cuando un aceite está muy contaminado, desarrolla valores bajos de rigidez, los cuales disminuyen el aislamiento del transformador.

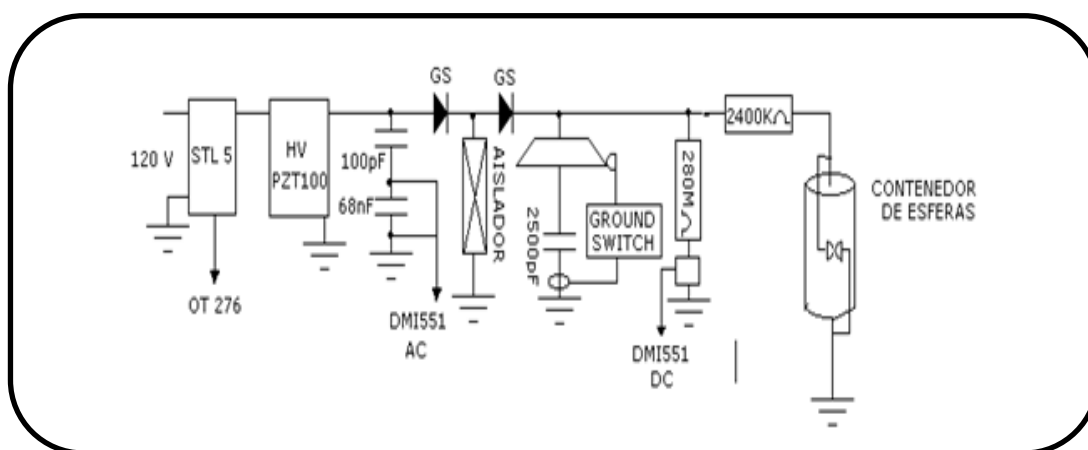


Figura 3.64. Configuración para la prueba del aceite ¹⁴¹

La prueba se fundamentó en la norma ASTM, ya que en esta se describe que se debe aplicar un voltaje entre dos electrodos sumergidos en aceite con una distancia de acuerdo a las normas a utilizadas, dentro del laboratorio se tiene los equipos necesarios para realizar esta prueba. Ya para la práctica, el aceite debe estar dentro de un contenedor, para evitar que se riegue el aceite dentro del laboratorio y como sujeción del equipo provisto para la práctica; a continuación se presenta el equipo utilizado para la práctica en la figura 3.65.

¹⁴¹ Figura propia del autor.



Figura 3.65. Equipo DKU para la prueba de rigidez dieléctrica del aceite ¹⁴²

Dentro de este tipo de pruebas, se tiene dos normas en las que se describen el procedimiento para medir el un aceite nuevo y en un aceite viejo o utilizado. [75][76]

- **ASTMD D1816:** Prueba de voltaje de ruptura dieléctrico de origen petrolero usando electrodos tipo hongo, con una distancia de separación de electrodos de 0.04 pulg.
- **ASTMD D877:** Prueba de voltaje de ruptura para líquidos aislantes usando electrodos tipo disco, ya que este ensayo es de un aceite nuevo y sin procesar, con una distancia de separación de electrodos de 0.01 pulg.

Básicamente, el programa debe contar con una entrada para un sensor de temperatura para que este pueda medir el proceso en tiempo real en la que se produce la disrupción eléctrica, pero al ser un contenedor donde no se puede colocar un sensor directamente y tener el aceite sobre otro recipiente y este no se encuentra en contacto con contenedor principal, es casi imposible para un sensor de contacto medir la temperatura, por lo que se lo tomará de forma manual; por medio de un sensor de temperatura infrarrojo. Este valor, deberá ser ingresado de manera manual cuando el usuario de la señal de guardado dentro del sistema de monitoreo, además, según la norma se realizarán distintas tomas de muestra

¹⁴² *Figura propia del autor.*

aproximadamente 5 muestras indicando si estas se encuentran dentro de los parámetros de una desviación estándar. La pantalla de visualización para esta prueba se la muestra en la figura 3.66.

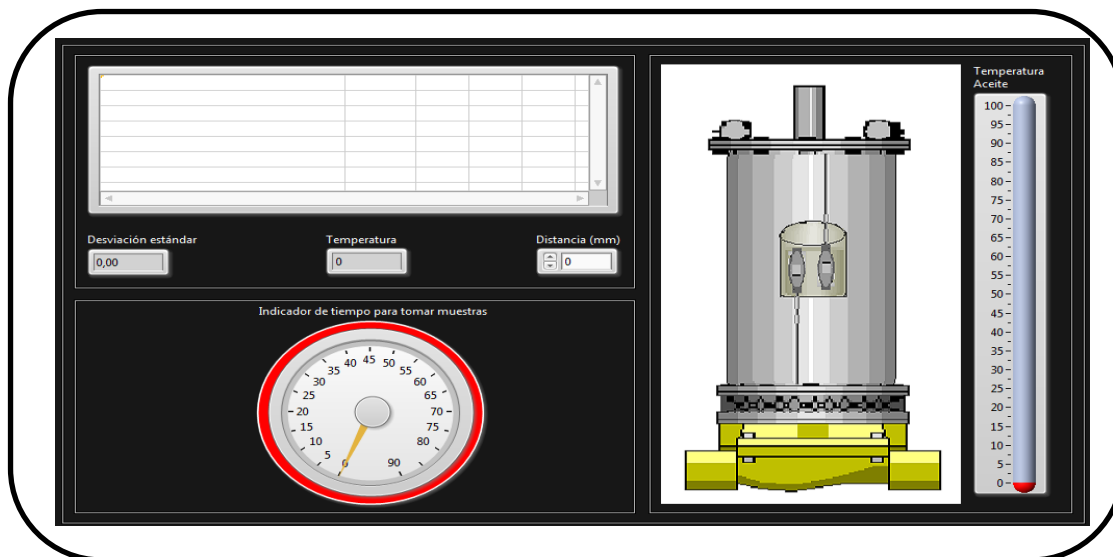


Figura 3.66. Representación de la prueba del aceite en el sistema de monitoreo.¹⁴³

Para cada grado de contaminación existe un límite de ruptura del dieléctrico del aceite, como se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Rigidez dieléctrica en distintos tipos de aceite¹⁴⁴

Aceites degradados y contaminados	De 10 a 28 KV
Aceites carbonizados no degradados	De 28 a 33 KV
Aceite nuevo sin desgasificar	De 33 a 40 KV
Aceite nuevo desgasificado	De 40 a 50 KV
Aceite regenerado	De 50 a 60 KV

El sistema de monitoreo debe indicar cuáles son los grados de contaminación de los aceites, para que las prácticas, se las pueda realizar de una manera ordenada y se logre reconocer el grado de contaminación del aceite.

¹⁴³ *Figura propia del autor.*

¹⁴⁴ *El ABC de las máquinas. Gilberto Henríquez Harper. Editorial Limusa, año 2004, p. 274.*

3.1.6.7. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DIELECTRICAS DEL AIRE

Esta se basa en función de las distancias de las esferas, para realizar esta práctica, se da como base el principio de la Ley de Parchen, el cual utiliza el estudio de la tensión disruptiva; para nuestro caso la práctica se la realiza en condiciones ambientales con aire y la presión constante. La fórmula a utilizar se encuentra descrita en la ecuación 3.6.

$$V_b = 6.72 * \sqrt{p * d} + 24.36(p * d)kV$$

La programación, debe ser capaz de mostrar la presión actual en la que se realiza el ensayo y el usuario podrá consultar los valores de la presión actuales, por medio de internet, para comprar las muestras obtenidas, y poder verificar si los valores obtenidos durante la práctica, son los mismos; a su vez, el programa está destinado para guardar los valores de disrupción, con las características de la presión en la que se encuentra realizándose el ensayo, el sensor de presión debe tener un canal exclusivo para su adquisición dentro del sistema de monitoreo.

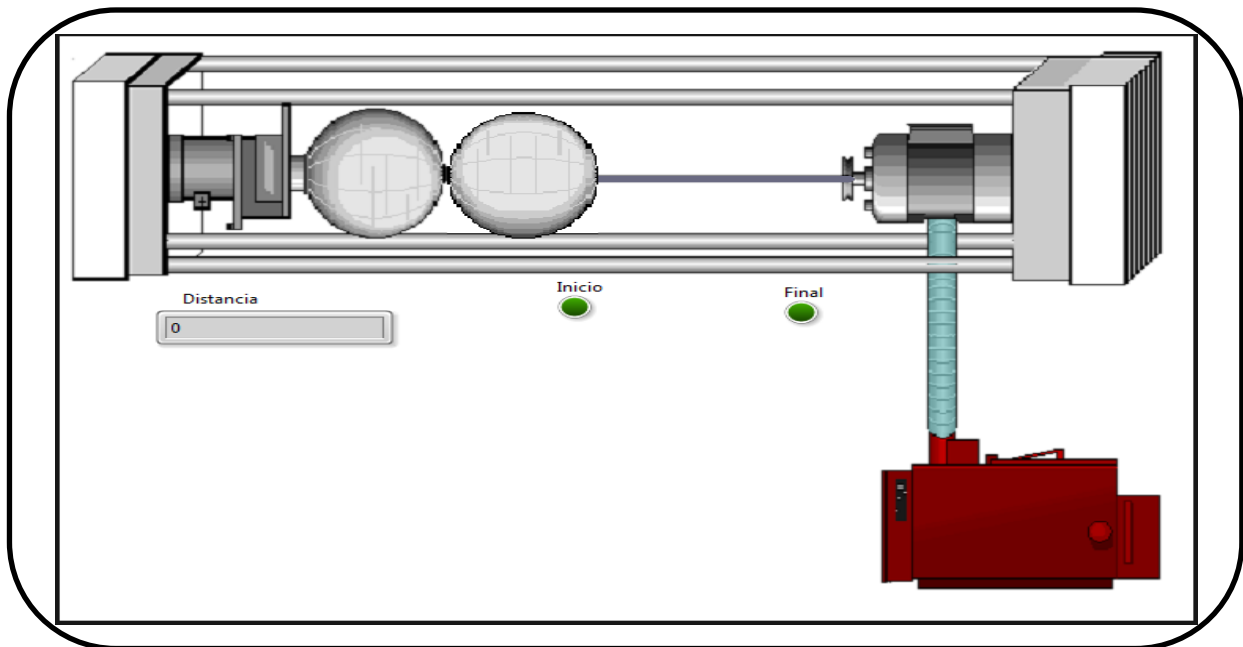


Figura 3.67. Representación del estado de las esferas durante la práctica.¹⁴⁵

¹⁴⁵ Figura propia del autor.

En los numerales anteriores se consideraba a la presión como constante, para este tipo de prueba se mantendrá la presión de una atmosfera y solo se medirá la variación de la distancia de las esferas, cabe mencionar que a mayor distancia se necesita de un mayor voltaje para que ocurra la disrupción y a menor distancia se requiere de un menor voltaje para la disrupción eléctrica.

Dentro de la norma IEEE Std 4-1995 "IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing" se encuentran la forma de sacar la influencia de la temperatura y la presión ambiental, frente a la disrupción eléctrica en función de la ecuación 3.8 [77]

$$d = \frac{p}{760} * \frac{273+20}{273+T} \quad (3.7)$$

Dónde:

d: es la densidad relativa del aire

T: es la temperatura (°C)

p: es la presión atmosférica (mmHg)

Por lo que el factor de corrección, para el voltaje de disrupción, está dado por la ecuación 3.6, teniendo como base el factor de densidad del aire y la corrección por la humedad descrita en la ecuación 3.7. [77]

$$V = V_o * K \quad (3.8)$$

$$K = k1 * k2 \quad (3.9)$$

Siendo:

k1 es la densidad del aire factor

k2 es el factor de corrección de humedad

Vo es el voltaje atmosférico de referencia estándar

Para el caso de la humedad es prácticamente nula si no excede el 90% pero esto dependerá de las condiciones ambientales donde se realice la prueba teniendo los valores de corrección en la tabla 3.10 y llegando a una expresión final presentada en la ecuación 3.11:

$$V = V_0 * k_1 \quad (3.10)$$

Tabla 3.10. Corrección de densidad del aire

Densidad relativa aire	Factor de Corrección
0,7	0,72
0,75	0,77
0,8	0,82
0,85	0,86
0,9	0,91
0,95	0,95
1	1
1,05	1,05
1,1	1,09
1,15	1,13

3.1.6.8. RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE A DIFERENTES PRESIONES.

La Ley de Pachen se basa en la distancia y presión, pero en este caso la distancia entre las esferas es constante lo que varía es la presión, ya el aire tiene una rigidez dieléctrica de aproximadamente de 32 kV/cm, si se lo expresa en función de la ecuación 3.5 teniendo una presión aproximada de 1 atmósferas y distancia de 1 cm, por lo que se puede expresar un valor aproximado para la ciudad de Quito que es de 30 kV/cm. Básicamente, se utiliza la ecuacion3.6. para describir la disrupción eléctrica.

Lo que se realiza en el laboratorio es una variación en la presión, lo que hace que los factores de la rigidez dieléctrica de aire se vean afectados por el cambio de la humedad del

aire; produciendo un bajo índice de rigidez dieléctrica del aire y causando una disrupción, en la figura 3.68 se observa la variación que tiene el voltaje en función de la presión y distancia. Este se lo realiza por medio de los equipos de variación de presión DKU (contenedor de esferas) y el juego de piezas DKU ZUB, los que brindan todo lo necesario para realizar las pruebas bajo diferentes presiones.[77]

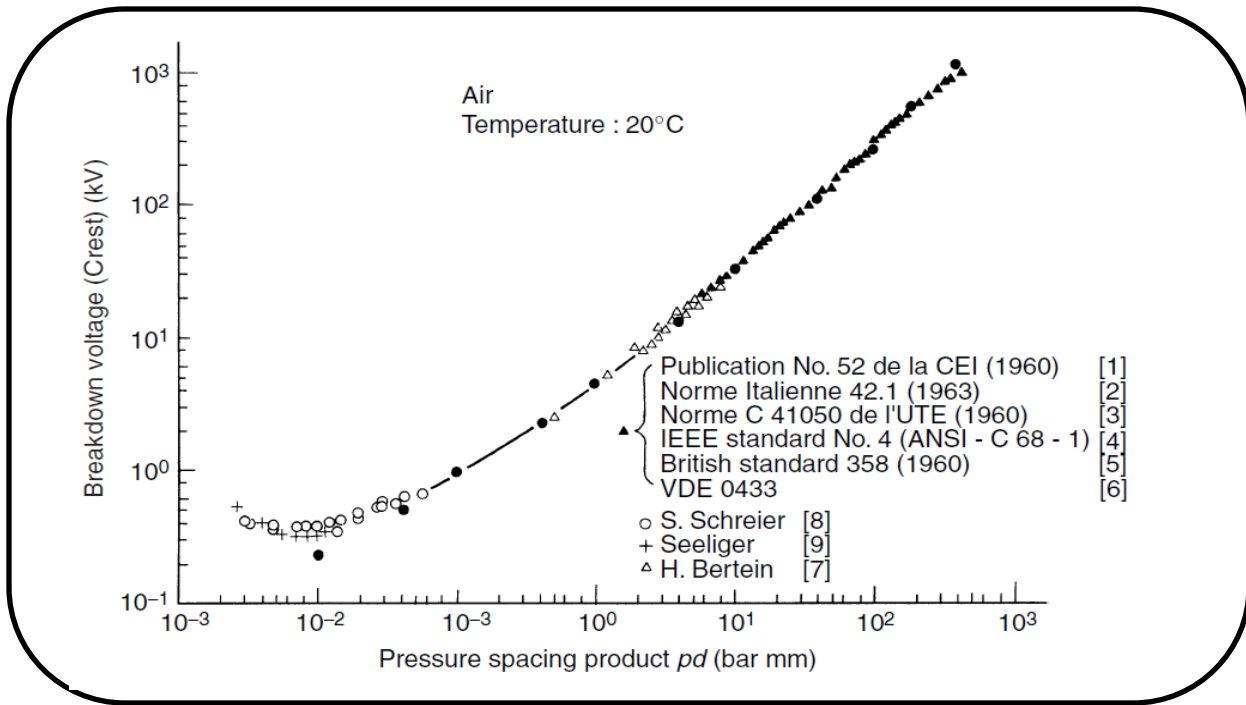


Figura 3.68. Dependencia del espaciado-presión de la rigidez dieléctrica de los gases curva de parchen.¹⁴⁶

De acuerdo al tipo de sensor que se utilice, se necesitará de la calibración y ajuste para utilizarlo dentro del sistema de monitoreo, por lo que se deja abierto el tipo de sensor a utilizar, a continuación se muestra la pantalla correspondiente al sistema de monitoreo para rigidez dieléctrica del aire a diferentes presiones en la figura 3.69.

¹⁴⁶ E. Kuffel, W.S. Zaengl and J. Kuffel, "High Voltage Engineering Fundamentals", Second Edition, Butterworth-Heinemann, 2000, p. 338.

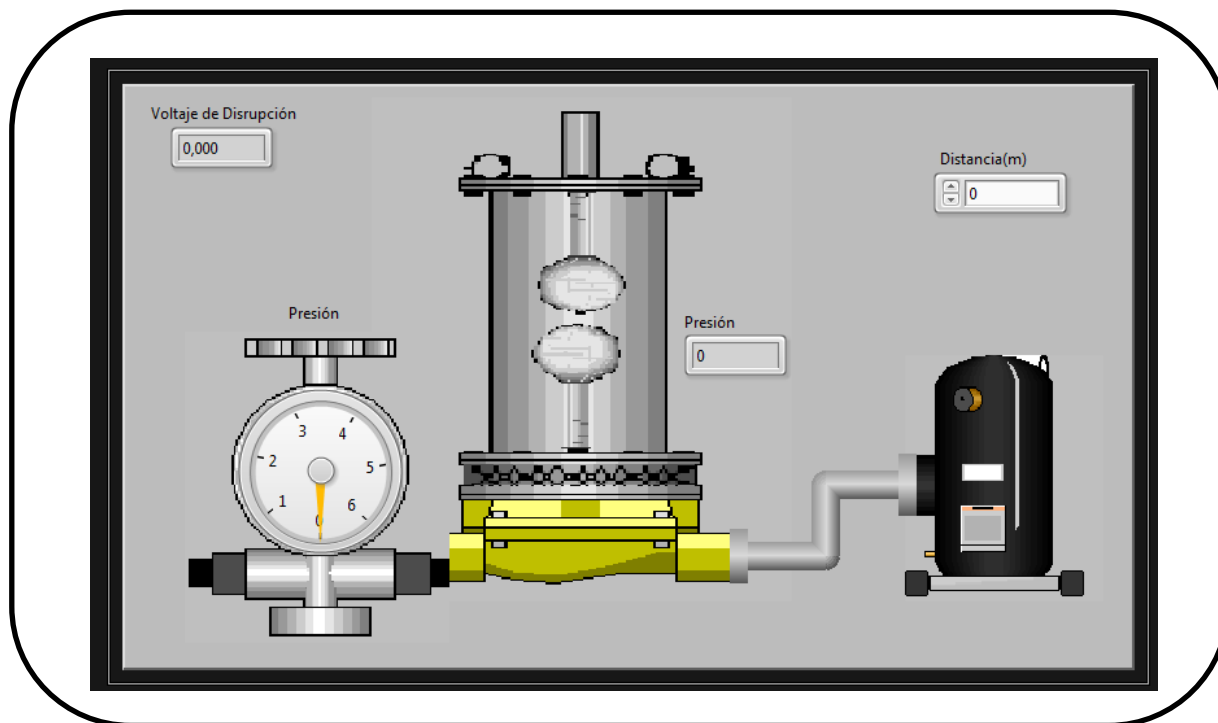


Figura 3.69. Representación prueba de rigidez dieléctrica del aire a diferentes presiones.¹⁴⁷

3.1.6.9. PRUEBA DE AISLADORES

Para la prueba de los aisladores hay que considerar que existen diferentes tipos de materiales como: porcelana, vidrio y compuestos, los cuales se los utiliza para construir un aislador y de acuerdo a estos el aislamiento del nivel de tensión varía.

Para las pruebas en un aislador en porcelana se realizar las siguientes pruebas con la norma ANSI C29.1-1998. [78]

- Prueba de tensión de flameo en seco a baja frecuencia.
- Prueba de tensión de flameo bajo lluvia a baja frecuencia.
- Prueba de tensión crítica de flameo al impulso positivo e impulso negativo.
- Prueba de tensión crítica de radiofrecuencia.
- Prueba de cambio brusco de temperatura.

Además, para realizar este tipo de pruebas se debe considerar la norma ANSI C29.3-1986, en la que se detalla cómo debe encontrarse la superficie del aislador en condiciones nominales como: limpio, seco y la aplicación de un nivel de tensión, con una frecuencia

¹⁴⁷ *Figura propia del autor.*

estándar para observar la tensión de contorneamiento en la prueba de voltaje aplicado, entre otras.

Dentro de las normas mencionadas, se puede encontrar procedimientos para la realización de este tipo de pruebas como: la aplicación de voltaje lo más rápido posible hasta alcanzar el 75% del valor de voltaje nominal indicado por el fabricante del aislador. Este incremento de voltaje debe estar en el rango de 5 segundos y máximo 30 segundos, después del 75% del valor de flameo alcanzado.

Según la norma ANSI, se debe tener presente las condiciones de: presión barométrica, presión de vapor, temperatura, humedad, densidad del aire.

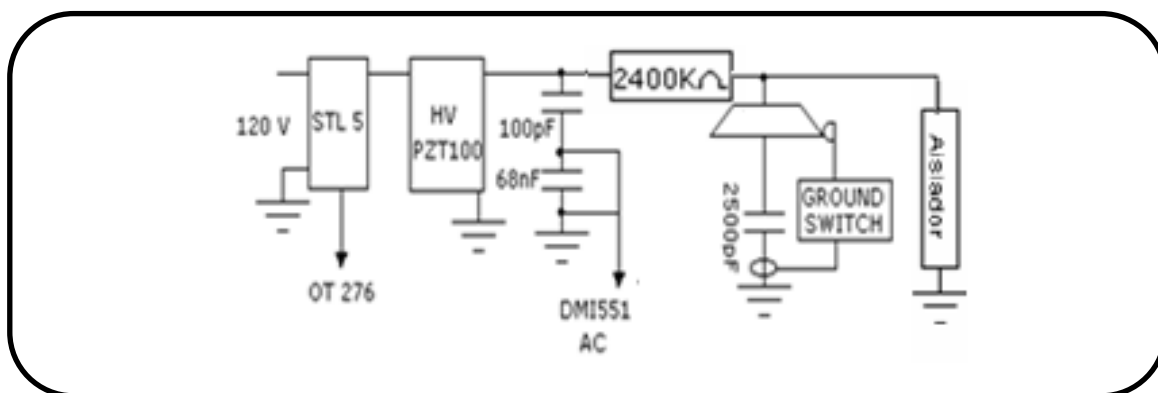


Figura 3.70. Configuración para la prueba de un aislador.¹⁴⁸

En este ensayo se debe tener en cuenta las normas de seguridad personal y del equipo a utilizar, ya que se debe realizar la prueba de acuerdo a las normas establecidas para este tipo de ensayos, el aislador debe estar físicamente en buen estado y limpio. El sistema de monitoreo medirá los valores de voltaje en AC. Esta es representada en la figura 3.71, además, el programa cuenta con una base de datos de un catálogo tomado de la página del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en el siguiente link: www.unidadesdepropiedad.com/, donde muestra un reposito digital de los materiales normados para el uso de distribución de energía eléctrica.

¹⁴⁸ *Figura propia del autor.*

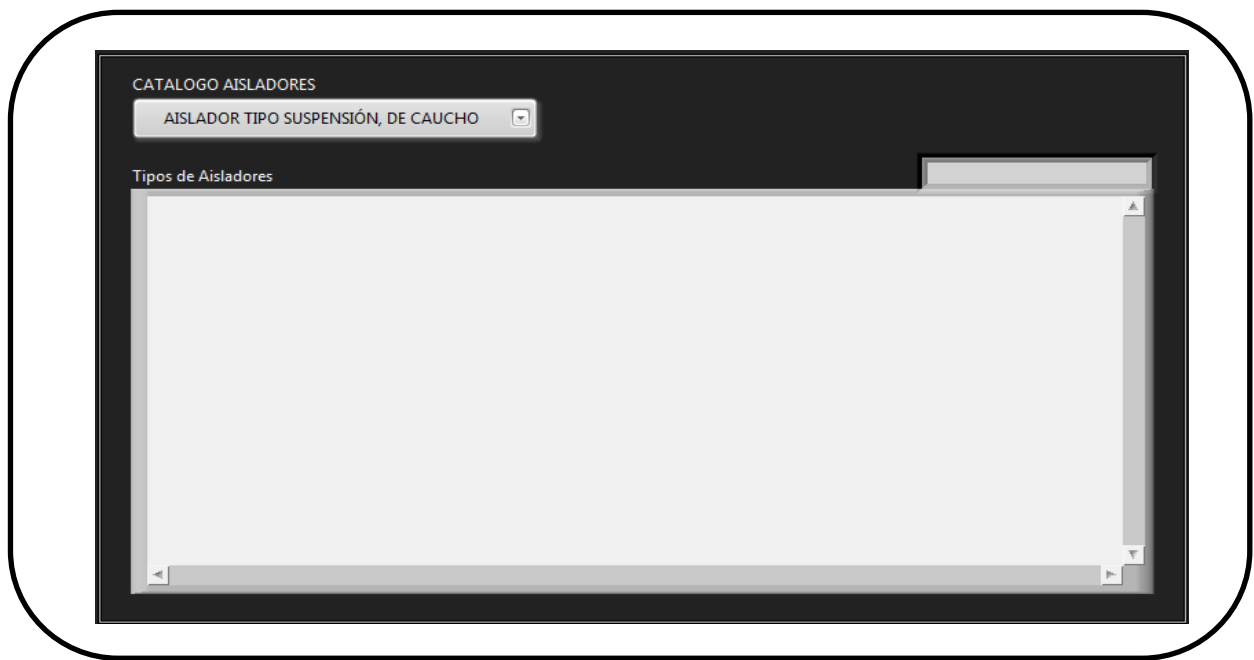


Figura 3.71. Menú de selección del tipo de aislador.¹⁴⁹

Toda esta información es guardada dentro del reporte en el Excel o cuando se lo genera del tipo HTML, además, si no se localiza dentro de la base de datos el tipo de aislador a utilizar, el usuario podrá colocar las características del aislador utilizado durante la práctica.

3.1.6.10. PRUEBA DE AISLADORES EN CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN

Para este tipo de prueba se considera el grado de contaminación que el aislador debe tener para la práctica, ya que, al tener un mayor grado de contaminación, el aislador es más propenso a sufrir ruptura dieléctrica, haciéndolo conductor y poniendo en falla al sistema eléctrico de potencia.

Básicamente, el programa se basa en guardar de los valores nominales en los que los aisladores pierden la característica de aisladores, pero en este caso también, debe guardar el valor del grado de contaminación en la que se encuentre el aislador en el momento de ruptura. La configuración es similar a un prueba de aisladores pero en esta el equipo de prueba se encuentra con contaminación directa, para llegar a tener contaminación sobre el aislador se tienen dos formas, la primera es colocando agentes contaminantes que creen contaminación directamente sobre el aislador o de forma automática, con algún equipo que

¹⁴⁹ *Figura propia del autor*

se encargue de colocar continuamente agentes contaminantes. Por lo que se tomó como recomendaciones para distancias de fuga en aisladores para ambientes contaminados, la norma IEC 815, la cual se encuentra descrita en el anexo A4.

Al existir diferentes tipos de contaminación se creó un estándar como se puede observar en la figura 3.72, para especificar los valores más comunes y poder utilizarlos dentro del sistema de monitoreo, al tener una referencia de los niveles de contaminación se puede poner estos valores dentro del sistema de monitoreo para que se guarden dentro del reporte y puedan ser utilizados por el usuario.

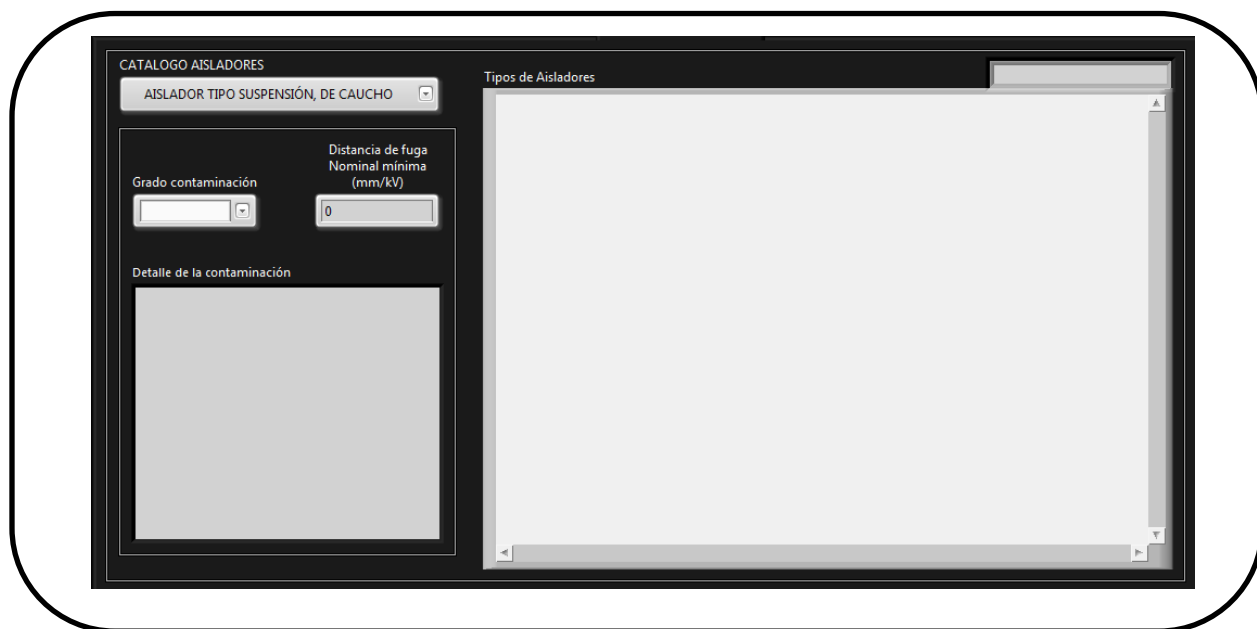


Figura 3.72. Pantalla de características para la prueba de aisladores en contaminación.¹⁵⁰

3.1.6.11. PRUEBA DEL PARARRAYOS

Para este tipo de prueba, se debe realizarla con corriente continua sobre el pararrayos, por lo que implica el uso de un equipo de alto voltaje en una configuración de generación de impulso para la medición de resistencia de aislamiento, midiendo la corriente de fuga que circula por el pararrayos y el estado de las válvulas de óxido de zinc. Esta prueba es similar a la de aisladores pero tomando en cuenta que el nivel de tensión es elevado en un tiempo muy corto, la configuración se describe en la figura 3.73. [79]

¹⁵⁰ *Figura propia del autor.*

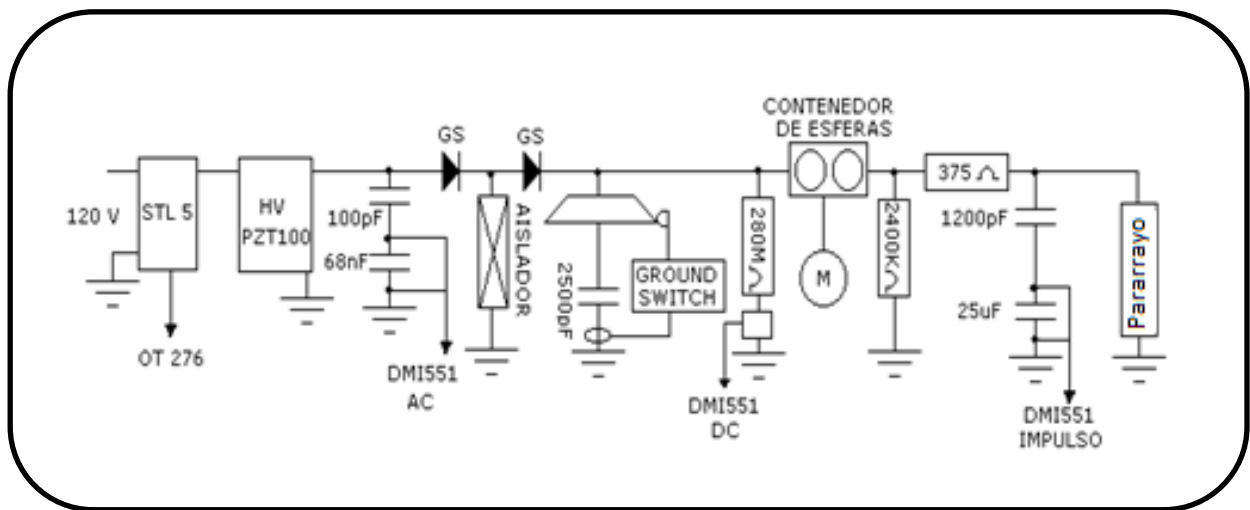


Figura 3.73. Configuración para la prueba de un aislador.¹⁵¹

Dentro de este tipo de pruebas, tenemos algunas características esenciales, que se deben tomar en cuenta para ser analizados y que estos sean guardados dentro del sistema de monitoreo. [80]

A continuación, se describe algunos parámetros de estudio para la prueba de un pararrayos como:

- La resistencia frente al impulso de corriente de larga duración se le aplican 18 impulsos, cada uno de estos con una duración de 2000 useg y con una energía equivalente de 3 kJouls.
- El Tiempo de operación de trabajo que se aplican es de 20 impulsos de amplitud equivalente a la corriente nominal de descarga con una onda de 8/20 useg; inmediatamente se aplican 2 impulsos de 100 kA con onda de 4/10 useg.
- El pararrayo pasa las pruebas si es capaz de mantener la estabilidad térmica, la medida del voltaje residual antes y después de la prueba y esta no puede variar en más del 5%.

El sistema contará con los mismos parámetros de almacenamiento de datos que en los aisladores, pero tomando en cuenta que este deberá registrar parámetros de una señal de impulso, a continuación en la figura 3.74 se indica la base de datos creada y la representación de la prueba a realizar

¹⁵¹ *Figura propia del autor.*

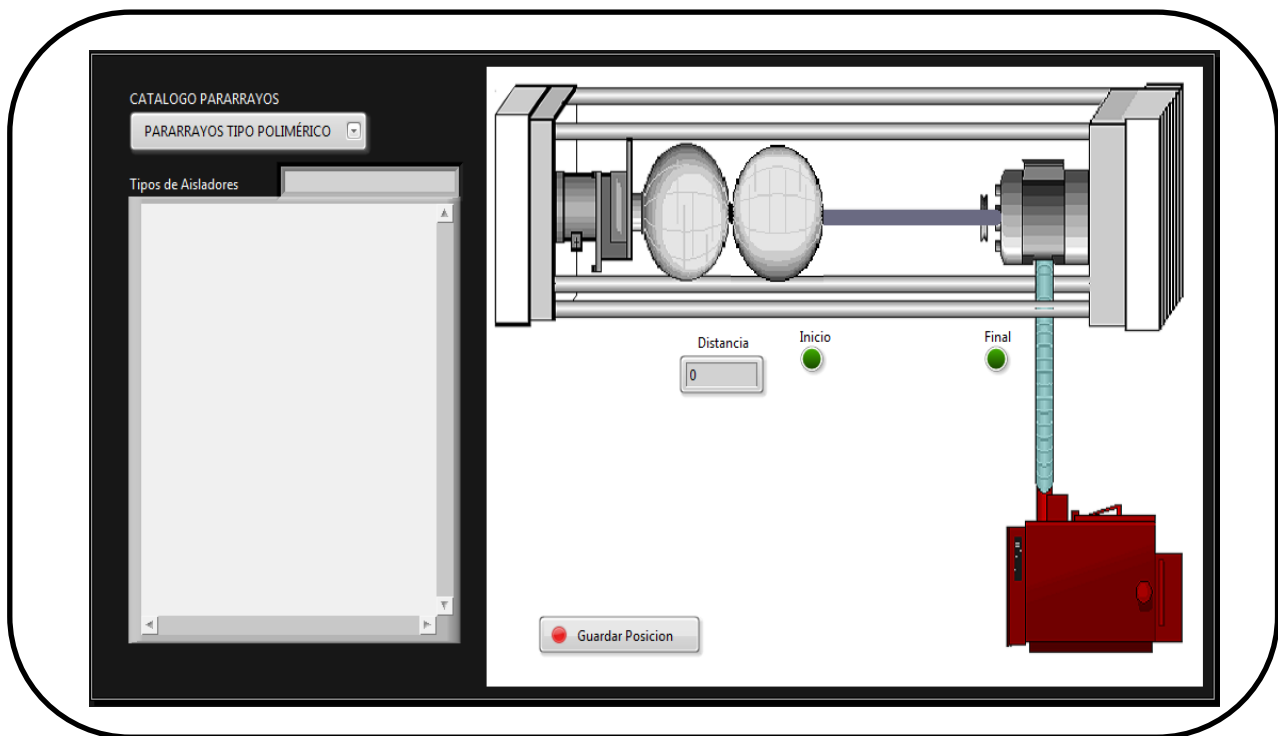


Figura 3.74. Representación de la práctica de pararrayos.¹⁵²

3.2. DIMENSIONAMIENTO DEL CENTRO DE CONTROL.

Para el dimensionamiento hay que considerar el espacio físico actual ya que se encuentra compartido con el laboratorio de protecciones, por este motivo dependerá de la orden específico de los equipos y pantallas, las cuales permitirán la visualización de los valores adquiridos durante cada ensayo.

Los equipos de control OT 276 y monitoreo DMI 551 actual se encuentra en frente de la jaula de Faraday, esto se da para poder visualizar los eventos producidos por equipos de Alta Tensión. Estos equipos deben mantenerse en dicho sitio, ya que por medio de estos se controla el voltaje del transformador primario y características específicas; para montar un sistema de visualizaciones para el SCADA, se deben utilizar dos paneles, para que los usuarios puedan ver los procesos sin que existan riesgos.

Se debe contar con una pantalla amplia en la que se pueda ver claramente los valores adquiridos durante cada práctica y otra donde el operario pueda manejar de acuerdo a las necesidades de los usuarios.

¹⁵² *Figura propia del autor.*

Por ese motivo, se dio la necesidad de realizarla con una pantalla de 42 pulgadas que se encuentre a la izquierda del equipo de control y monitoreo donde los usuarios puedan ver los resultados de las prácticas sin que exista una aglomeración de una pantalla pequeña de 21 pulgadas, y la otra pantalla, debe ser expuesta por un infocus, este se enfocaría directamente hacia la jaula de Faraday o pizarrón con esto el operador puede ver el proceso y controlarlo, a su vez, permitir que los usuarios puedan observar la ocurrencia de los procesos, ya que la proyección se verá afectada por la estructura metálica, la pantalla LCD, plasma o LED permitirán apreciar de mejor manera los datos obtenidos, ya que al ubicar las pantallas a un lado de los equipos de control existiría problemas de visualización para todos los usuarios.

Lo indicado anteriormente se lo realizara, a través, de la tarjeta gráfica, ya que con esta se podrán repartir las señales a los diferentes elementos de visualización.

La CPU, tarjeta de adquisición de datos y tarjeta de divisores de tensión; se deben localizar a un lado o por debajo de los equipos de control actuales, ya que el CPU tiene conexiones directamente con la tarjeta de adquisición, además, como esta deberá estar acoplada con los divisores de tensión o directamente a las señales de los divisores de tensión del equipo actual del laboratorio de Alta Tensión.

Los puntos de red deben estar ubicados en la parte izquierda, junto a la pared, con esto se evita tener señales con ruido producidas por la cercanía a un laboratorio de Alta Tensión, además, no podrán mezclarse los cables de comunicación de la red de datos con los cables existentes de adquisición de datos para evitar problemas, los cables de datos deberán ubicarse sobre el piso, con una canaleta especial y con una distancia de separación de 30 cm desde la jaula de Faraday, para evitar cualquier interferencia electromagnéticas, producto de las prácticas realizadas en el laboratorio. El tipo de cable, que se sugiere para las conexiones de la red hasta el computador del tipo FTP, ya brindará seguridad a los datos que se envían por este canal. En el anexo 3 se demuestra como deberá ser la distribución del centro de control en función de los equipos nuevos. En la figura 3.75 se demuestra la distribución del centro de control en función de los equipos.

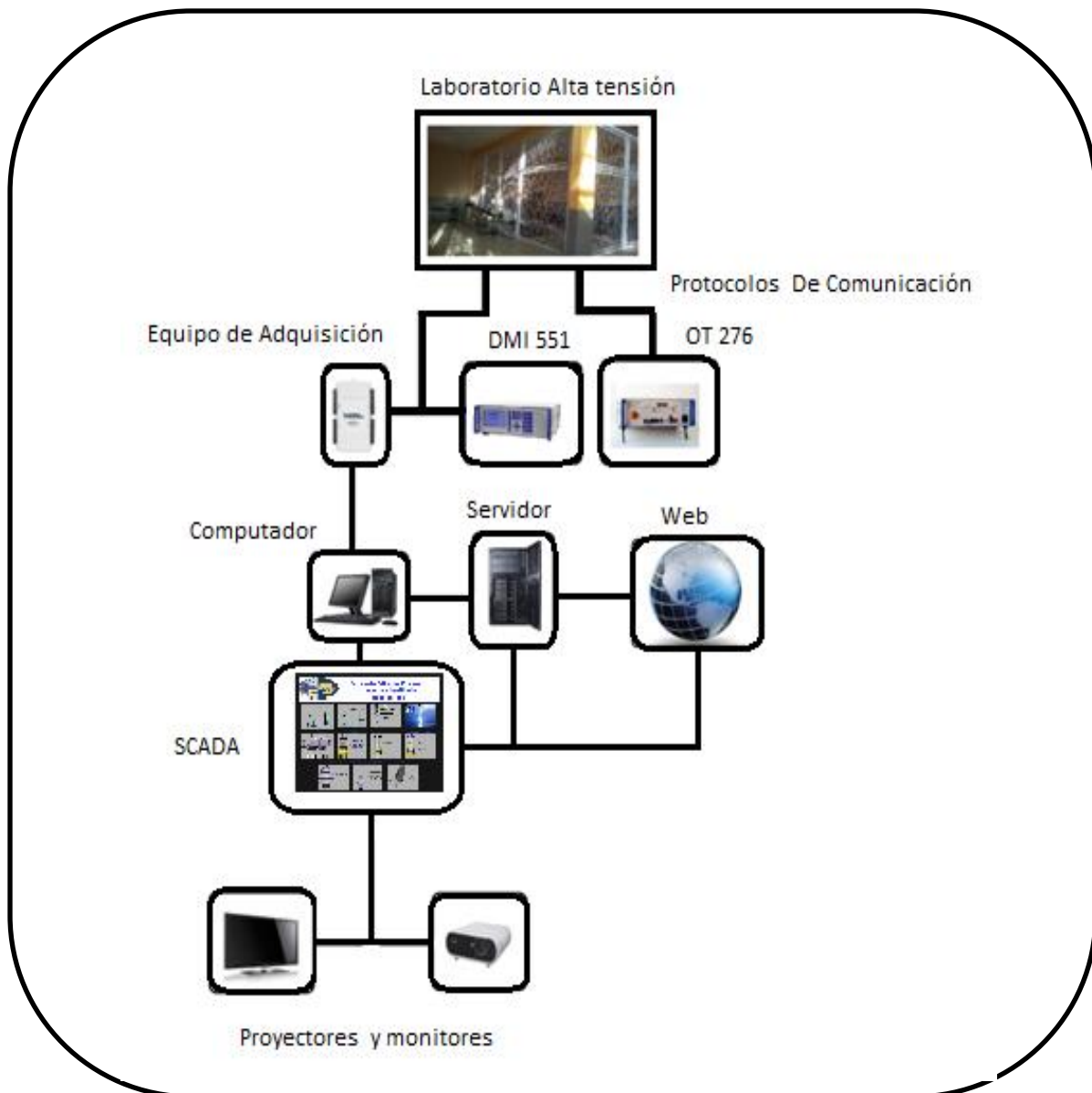


Figura 3.75. Representación de la estructura del centro de control. ¹⁵³

3.3. DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO DE CONEXIONES Y PROTOCOLOS.

Dentro de las conexiones eléctricas y protocolos de comunicación, se deben tomar en cuenta niveles de tensión, protección contra interferencias eléctricas, tipo de señal, tipo de conexión que se debe realizar y los tipos de protocolos que se pueden utilizar dentro de un laboratorio de Alta Tensión, ya que se deben de cumplir requerimientos de acuerdo al nivel de tensión entre equipos, sean estos de control o monitoreo.

¹⁵³ Figura propia del autor.

3.3.1. DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO DE CONEXIONES

En el dimensionamiento, se requerirá de nuevas conexiones eléctricas y de comunicaciones; para las conexiones desde los equipos actuales hacia los equipos de monitoreo, a través, de una conexión del tipo BNC para facilitar la adquisición de datos, en la figura 3.76 se pueden observar las conexiones actuales en el equipo DMI 551.

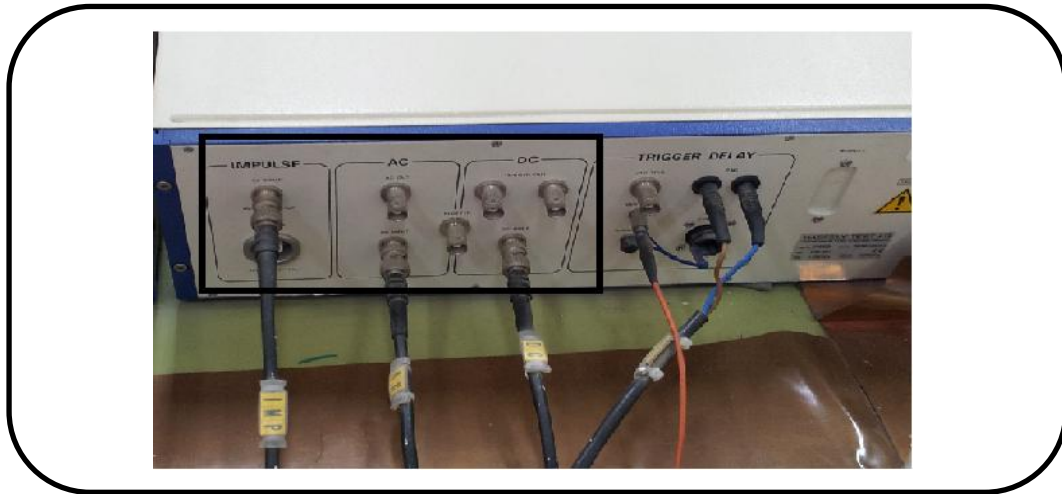


Figura 3.76. Parte posterior del equipo DMI 551 con las entradas de BNC.¹⁵⁴

Al tener los conectores de entrada del tipo BNC, se pueden utilizar los acoples en T del tipo BNC como se muestra en la figura 3.77, para separar la señal entre el equipo actual de monitoreo y el sistema de monitoreo creado.

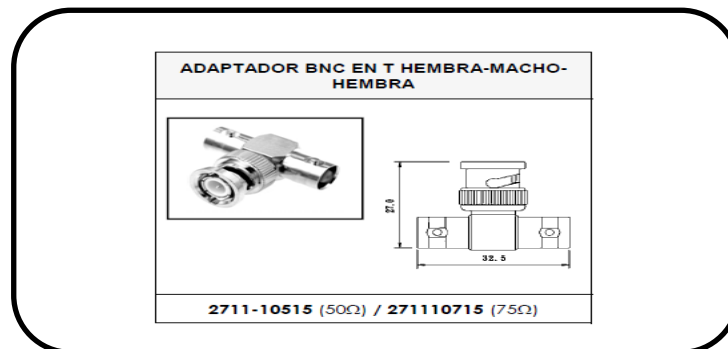


Figura 3.77. Adaptador BNC en T, hembra-macho-hembra¹⁵⁵

¹⁵⁴ Figura propia del autor.

¹⁵⁵ Conexcon, CONECTORES COAXIALES BNC, LY, <<http://www.cenval.es/conectores/conexcon%20PDF%20bis/2711.pdf>>, p. 1. [consulta: 28 de enero 2013]

Para los divisores de tensión, se deberán utilizar los conectores del tipo fijación para montarlos sobre una placa o estructura, por lo que en la figura 3.78 se presenta un conector de montaje del tipo BNC.

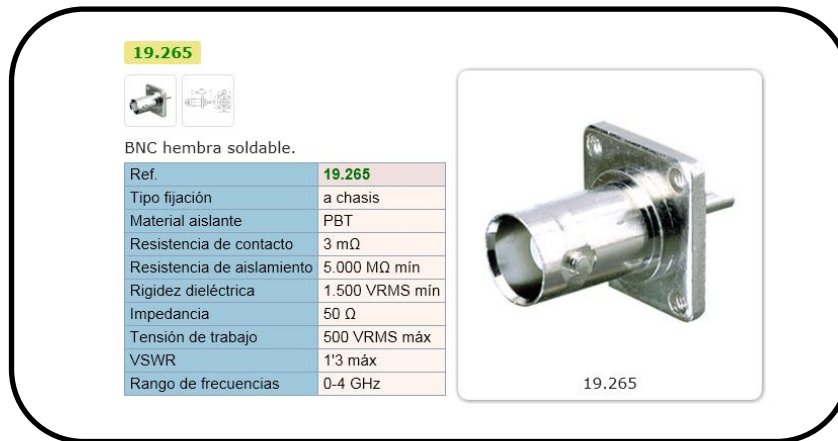


Figura 3.78. Conector BNC Hembra fijación¹⁵⁶

Al tener bajas impedancias de los conectores las señales de voltaje en AC, DC e impulso no se verán afectados. El cable a utilizar, debe estar dentro de los parámetros de un nivel bajo de impedancia por metro, por lo que se utilizará con un cable coaxial, por requerimientos de equipos y protección frente a interferencias electromagnéticas, para un cable del tipo coaxial, se tienen porcentajes de índice de propagación de la señal, para nuestro caso, la señal de propagación es de 83% la velocidad de la luz, el cálculo de la velocidad de propagación es descrito en la tabla 3.11, cada tipo de cable tiene diferentes velocidades de propagación. [81]

Tabla 3.11. Características de la velocidad de un cable coaxial.

Velocidad	Porcentaje
300.000.000	100%
249.000.000	83%

¹⁵⁶ ELECTRO DH S.A., Conectores BNC, " BNC hembra soldable" < <http://www2.electrodh.com:8080/st/cat/verItem.action?id=17904&d=1> >, [consulta: 28 de enero 2013

El tiempo de transmisión de la señal con dos metros de cable desde el equipo de medición DMI 551 hasta la tarjeta de adquisición, será expresada en la ecuación 3.12:[81]

$$t = \frac{d}{v} = \frac{2\text{m}}{249.000.000\text{m/s}} = 8,0321 \text{ ns} \quad (3.11)$$

Con esta velocidad de transmisión los datos de la señal de Voltaje en AC,DC e impulso no tendrán retardo dentro del sistema de monitoreo; el cable es el tipo coaxial RG 59 con las siguientes características descritas en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Características eléctricas del cable coaxial

Resistencia de onda	75 Ohm
Frecuencia de test	hasta 1 GHz
Tensión máxima tolerada	2300 V

Con estas características se tendrá un buen funcionamiento del sistema de monitoreo. Las conexiones que se deberán tomar en cuenta dentro de la tarjeta de adquisición de datos, deberán ser del tipo digital y analógico para el caso se considerarán:

Digital

- Sensor de posición inicial (Final de carrera).
- Sensor de posición final (Final de carrera)..
- Encoder.

Analógico

- Entrada de voltaje en AC.
- Entrada de voltaje en DC.
- Entrada de voltaje en Impulso.
- Entrada de presión.
- Entrada de Temperatura.

También, para tener un mejor monitoreo de la señal, se deberá tener nuevos sensores dentro del laboratorio, estos deberán estar en parte interna registrando los valores temperatura, presión, giro del motor para la realización de los ensayos de impulso. A continuación, se

describirá; cuáles son los sensores requeridos por la carrera para este laboratorio, para poder ser implementados conjuntamente con los equipos actuales y dar paso a la adquisición para unirlos con el sistema de monitoreo.

3.3.1.1. PRESIÓN

Dentro del laboratorio se realizan prácticas que requieren el uso de un compresor para determinar la rigidez dieléctrica del aire a diferentes presiones, esta va a depender de la presión atmosférica actual y de un compresor que al extraer el aire contenido por el equipo DKU(contenedor de esferas) que puede generar vacío como se muestra en la figura 3.79, con esto se necesitará de un sensor capaz de medir la presión interna del contenedor, por lo que este se debe conectar en la parte externa de las boquillas para poder medir la presión, a continuación se muestra donde debería ir el sensor, además, se necesita de un canal en el equipo de monitoreo para tener acceso a la presión actual.

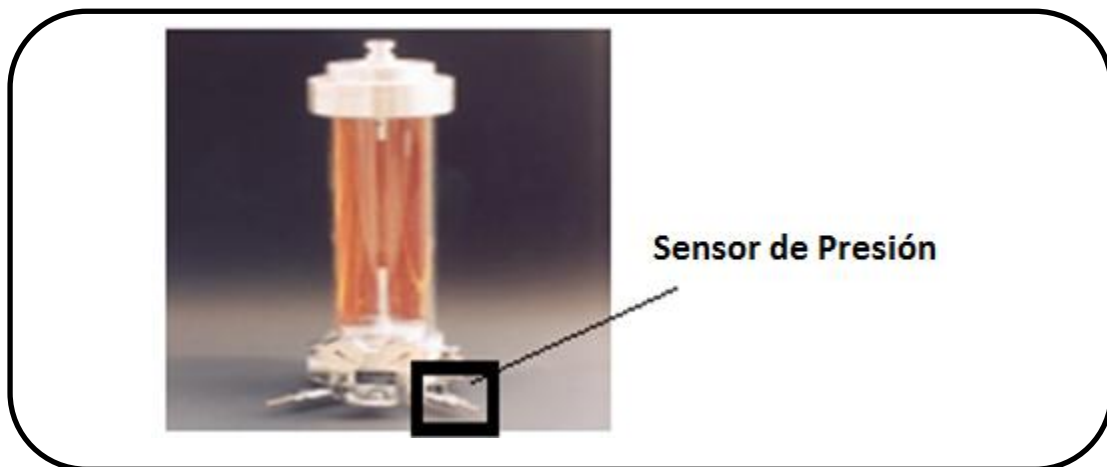


Figura 3.79. Posición del sensor de presión en el equipo DKU ¹⁵⁷

El sensor de presión, deberá tener como salida un nivel de tensión de 0 a 10 Vdc para utilizarlo dentro de un sistema SCADA, ya que se realizó en función de la tarjeta de adquisición de datos Ni USB 6212, pero considerando que se pueda utilizar otro tipo de tarjeta, además, se creó un VI en función del tipo respuesta que se tenga por parte del sensor.

¹⁵⁷ *Figura propia del autor.*

3.3.1.2. MOVIMIENTO

Dentro de las prácticas que se realizan en el laboratorio, tenemos algunos elementos llamados equipo KF(Figura 3.80 a) que se usan para la configuración de la tensión de impulso, el equipo AKF((Figura 3.80 b)) que se lo utiliza para controlar de forma remota o por brecha, la esfera KF(Figura 3.80 a), este equipo se encarga de controlar las distancias entre las esferas para la realización de las pruebas de generación y medición de alto voltaje de impulso, prueba destructiva de la rigidez dieléctrica del aire y determinación de las características dieléctricas del aire, todas estas prácticas se complementan con EZK(Figura 3.80 c), que es un disparador electrónico tipo esfera que se utiliza para generar impulsos provocados en las configuraciones de tensión de impulso junto con el equipo KF(Figura 3.80 a).

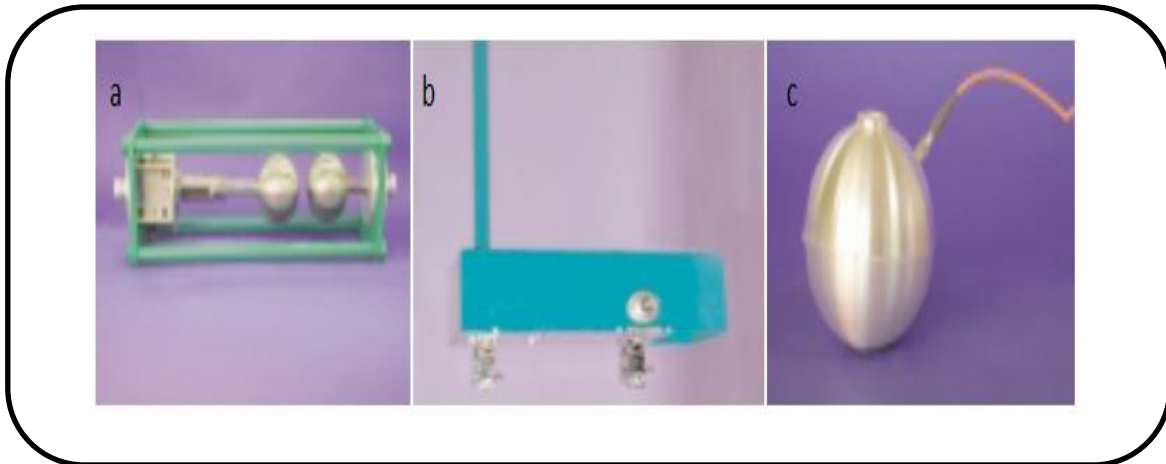


Figura 3.80. a) Equipo contenedor de para esferas b) controlador de distancias de esfera c) disparador electrónico para generar impulsos.¹⁵⁸

Por lo que se recomienda la utilización de un encoder, el cual se encargará de medir las revoluciones a través de los pulsos como se indica en la figura 3.81; y así, tener la distancia entre las esferas, para que se puedan utilizar las fórmulas para las descargas disruptivas y tener como probar lo práctico con lo teórico, cabe mencionar, que el equipo actual cuenta con elementos calibradores para la realización de cada práctica.

¹⁵⁸ *HAEFELY, High Voltage Construction Kit*, <http://www.haefely.com/pdf/LL_KIT.pdf>, p. 22-24. [consulta: 28 de enero 2013]

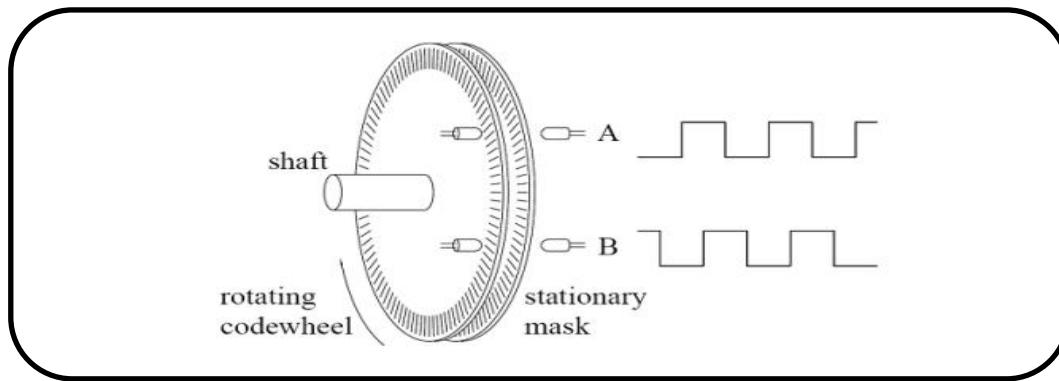


Figura 3.81. Funcionamiento del encoder al recibir datos por movimiento¹⁵⁹

Actualmente en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica campus Kennedy, cuenta con encoders de la marca VEX del tipo kit de eje óptico. Los que son utilizados en la Robótica, pero podrían ser utilizados dentro del laboratorio con los acoples necesarios ya que tienen dos salidas para detectar el sentido de giro. Pero al tener niveles de tensión elevados, se necesitan de encoders industriales pues estos cuentan con las normas de seguridad y de trabajo necesarias para ser implementados dentro de un laboratorio de Alta Tensión. A continuación se mencionarán algunos encoders del tipo industrial.

3.3.1.2.1. ENCODER INCREMENTAL

Se basa en determinar la posición, contando el número de pulsos que se van generando por el movimiento, cuando un rayo de luz pasa por orificios colocados sobre una superficie de disco.[82]

3.3.1.2.2. ENCODER ABSOLUTO

El encoder absoluto, retiene una posición dada y es capaz de entregar la información de los pulsos por revoluciones que se ha girado, y el sentido de giro; este tipo de encoder tiene su propio código, ya que las ranuras por donde pasa la luz no son simétricas y cada una es distinta a la otra, como se muestra en la figura 3.82.[82]

¹⁵⁹ Benjamin Stephens, *Mechanical Engineering*, "Encoder_diagram.png", http://hades.mech.northwestern.edu/images/2/22/Encoder_diagram.png [consulta: 28 de enero 2013]

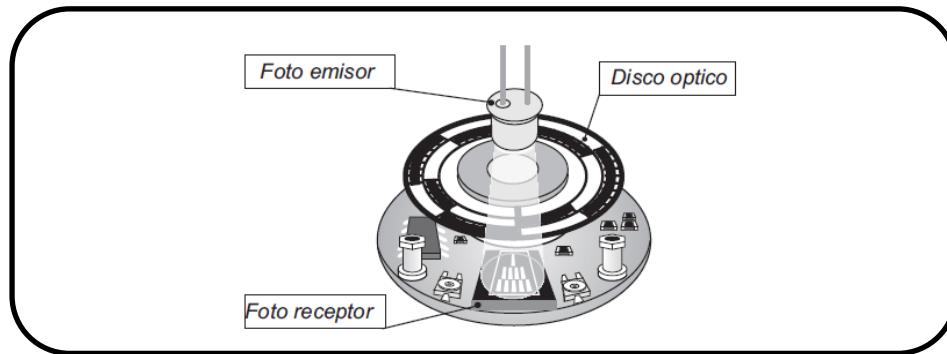


Figura 3.82. Encoder absoluto.¹⁶⁰

Para el laboratorio de Alta Tensión se deberá plantear la mejor opción para implementar, ya que con el encodé incremental se deberá tener una posición inicial o final para resetear la distancia, pero con el sensor absoluto se tendrá la capacidad de recordar la distancia en la que se deja el equipo, para luego utilizarla o despreciarla si la práctica cambia, todos estos parámetros deben ser estudiados para realizar un bloque capaz de obtener los datos enviados por el sensor de posición.

3.3.1.3. TEMPERATURA

El sensor de temperatura que se utilizará para medir; será uno en el cual no se necesite de contacto y a su vez tenga la función de que la señal medida sea enviada hacia la tarjeta de adquisición de datos, este sensor deberá contar con una salida de corriente o voltaje; ya que los ensayos son realizados por el equipo DKU (Contenedor de esferas) este se utiliza principalmente para determinar la tensión de descarga disruptiva en las pruebas de aceite de un transformador, porque este deberá ser usado para medir la tensión de descarga disruptiva en aceite aislante.

3.4. SISTEMA DE MONITOREO CON BASE DE DATOS DINÁMICA Y REPORTE WEB.

Al tener un centro de control, se debe tener una base de datos dinámica de todos los datos histórico de los ensayos realizados para contar con respaldos, si en ciertos casos se

¹⁶⁰ Eltra, “ENCODER ABSOLUTO DESCRIPCIÓN GENERAL”, <control-gray.googlecode.com/files/Encoder%20Absoluto.pdf> [consulta: 28 de enero 2013]

requiriera, además, se necesitan que estos datos sean enviados por medio de reportes de una manera sencilla, a través, de los reportes Web.

3.4.1. SISTEMA DE BASE DE DATOS DINÁMICA

Los sistemas de bases de datos dinámicos son aquellos que pueden ser actualizados periódicamente, además, se los puede modificar, borrar o añadir información de acuerdo a las necesidades del sistema. El sistema de base de datos, se debe realizar de manera que los datos puedan ser guardados de una manera ordenada y rápida por lo que se utilizó SQL de Microsoft como el motor de bases de datos, donde se puede almacenar los datos obtenidos en cada práctica de una manera fácil y ordenada. [83] Esto se lo realizó generando una conexión de datos universal, por medio de un archivo .udl. A este se lo configura de tal manera que es capaz de conectarse con la base de datos interna del computador, la misma que almacena todos los datos de las prácticas.

3.4.1.1. CREACIÓN DE ARCHIVO .UDL

Para la creación de un archivo .udl, se lo realiza mediante Create Data Link, como se observa en la figura 3.83., se encuentra en la barra de herramientas de Labview, este permitirá crear la conexión base para guardar los datos.

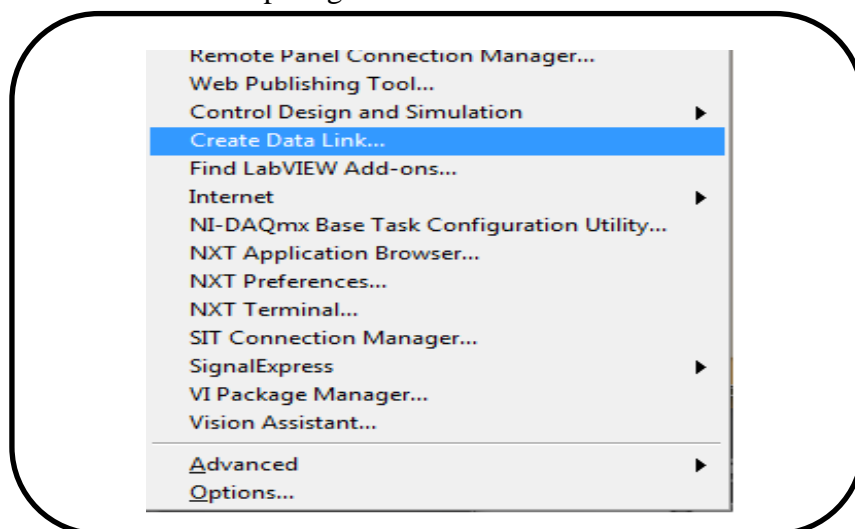


Figura 3.83. Herramientas para creación de enlaces.¹⁶¹

¹⁶¹ Figura propia del autor.

Una vez desplegado el cuadro de herramientas, tenemos los tipos de comunicación existentes para diferentes programas de enlace, pero en nuestro caso debemos realizar una comunicación con Microsoft OLE DB Provider for Sql Server como se muestra en la figura 3.84, ya seleccionado la interface, damos clic en siguiente.

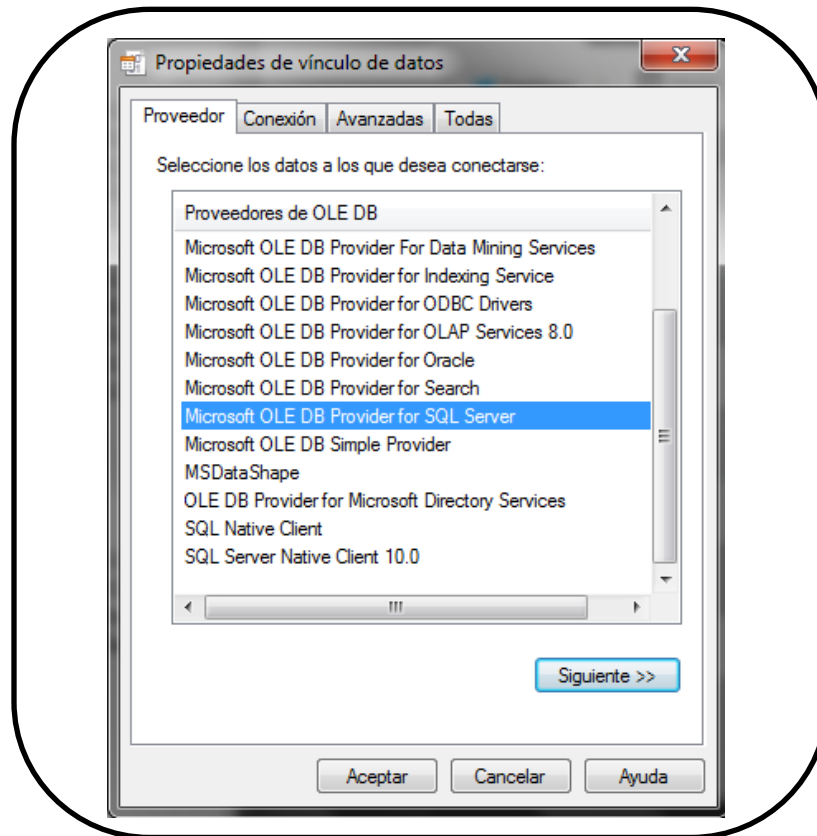


Figura 3.84. Tipos de vínculos de datos¹⁶²

Se selecciona el servidor con el que se va conectar para guardar la información, con su respectiva base de datos, para nuestro caso tenemos que dar referencia a la base de datos con el nombre SCADA_Alta_Tensión como se muestra en la figura 3.85, en esta se guardará la información de cada una de las prácticas, con un nombre específico y ciertas características; para que el usuario pueda encontrar los datos de una manera sencilla.

¹⁶² *Figura propia del autor.*

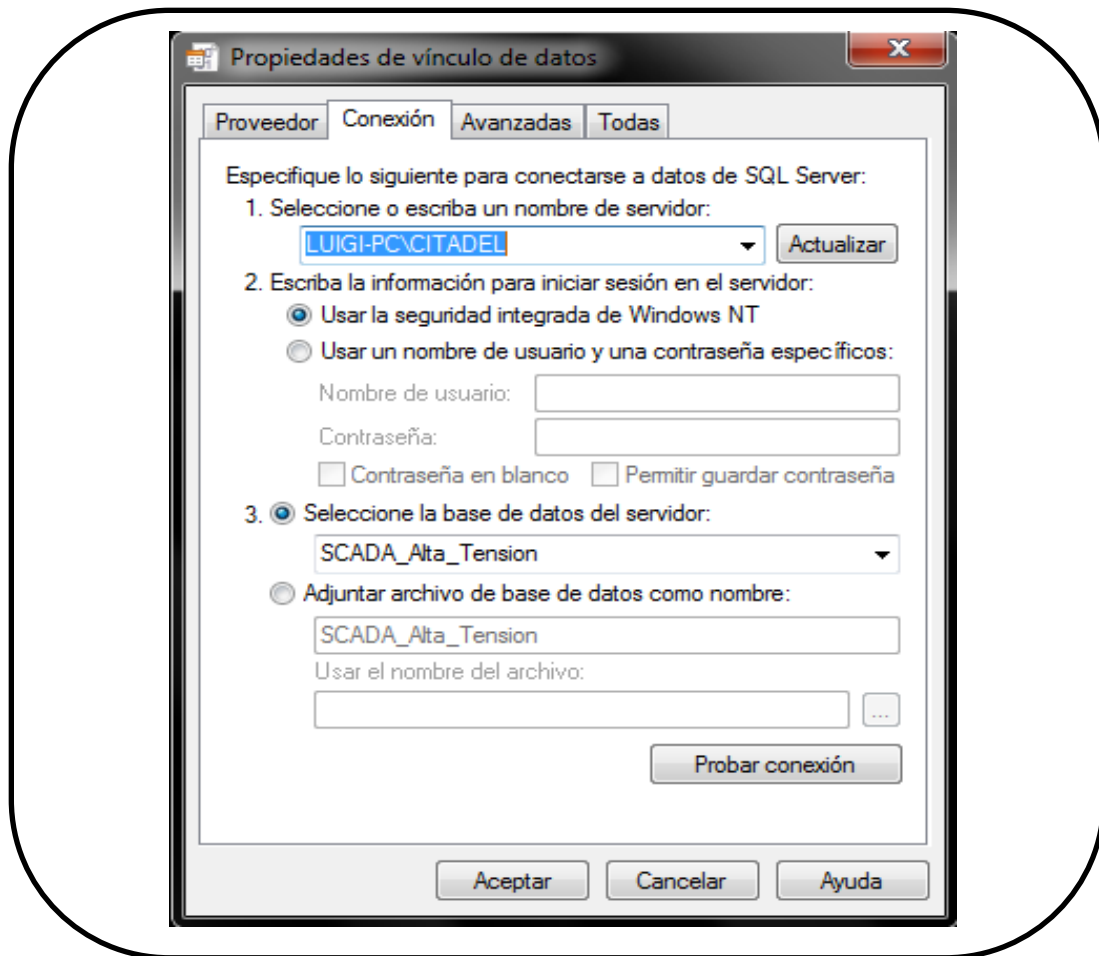


Figura 3.85. Características de la base de datos en SQL¹⁶³

Ya con todos estos parámetros seleccionados damos clic, para probar la conexión y aceptar para que nos permita guardar un archivo con la extensión .udl. Estos archivos, deberán tener el nombre de cada una de las prácticas.

3.4.1.2. BLOQUE PARA GUARDAR LOS DATOS

Para esta programación, se la realizó a través, de las herramientas presentes dentro de la paleta de Labview, específicamente en las opciones de Connectivity → Database como se muestra en la figura 3.86, en esta paleta tenemos las herramientas necesarias para la comunicación de la base de datos con el sistema de monitoreo.

¹⁶³ Figura propia del autor.

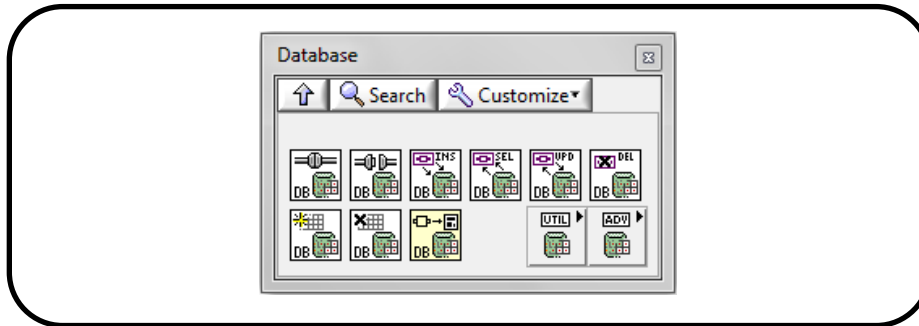


Figura 3.86. Herramientas de SQL¹⁶⁴

Las herramientas que se utilizarán, son similares a las anteriores, ya que estas deben abrir, leer o escribir y cerrar la comunicación, pero tomando en cuenta que cada bloque se caracteriza de una manera específica como se muestra a continuación:

La herramienta abre una conexión de la base de datos utilizando la ruta de conexión y devuelve una referencia de conexión, se describe en la figura 3.87.

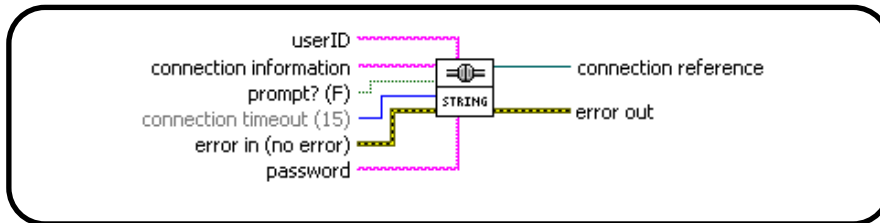


Figura 3.87. Db Tools Open Connection VI¹⁶⁵

La herramienta inserta una nueva fila en la tabla en la base de datos, esta debe contar con la misma matriz de referencia antes de que los datos sean insertados, se describe en la figura 3.88.

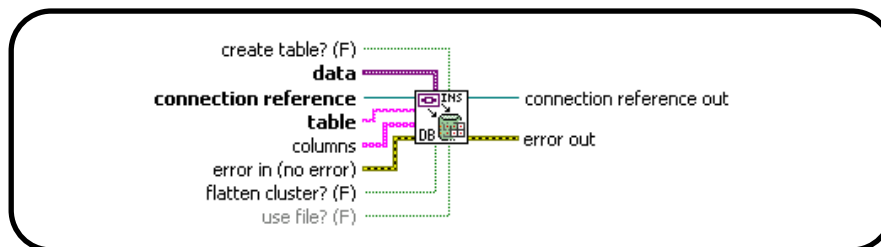


Figura 3.88. Db Tools Insert Data VI¹⁶⁶

¹⁶⁴ *Figura propia del autor.*

¹⁶⁵ *Ídem.*

¹⁶⁶ *Ídem.*

Permite seleccionar datos de la tabla de la base de datos que es identificada por referencia de conexión; utilizando las columnas suministradas en la matriz de la misma, el bloque se describe en la figura 3.89.

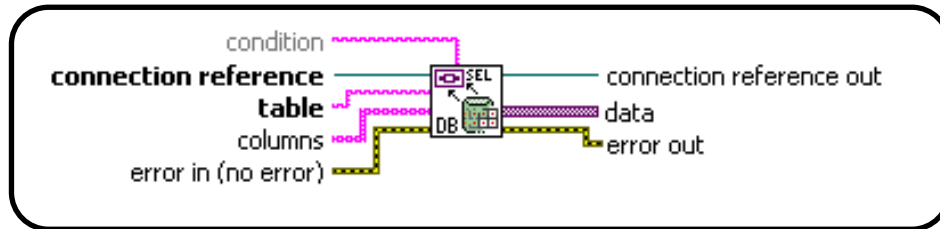


Figura 3.89. Db Tools Select Data VI¹⁶⁷

Con la herramienta se cierra una conexión de la base de datos, mediante la destrucción de su conexión de referencia, el bloque se describe en la figura 3.90.

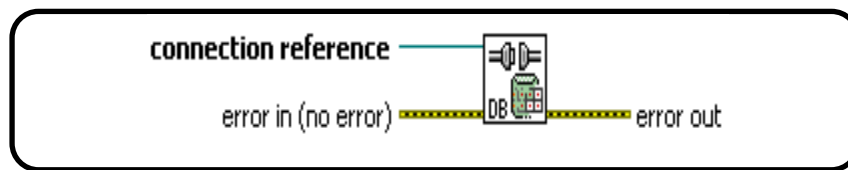


Figura 3.90. Db Tools Close Connection VI¹⁶⁸

Al tener estas herramientas, se procede a crear un arreglo para guardar los datos, ya que al ser las prácticas diferentes no se deberá guardar ciertas variables y solo deberán contener el caso de estudio, a su vez, como los datos dependen de un arreglo para la escritura y otro que da referencia a los tipos de datos, se procede a crear un arreglo del tipo clúster y un arreglo correspondiente a cada tipo de datos de cada práctica, ya que al mandar los valores a la base de datos esta requiere que se la matriz del mismo orden, y si esta no llega a ser del mismo orden, se ven conflictos dentro de la base de datos. El arreglo se detalla en la figura 3.91.

¹⁶⁷ *Figura propia del autor.*

¹⁶⁸ *Ídem.*

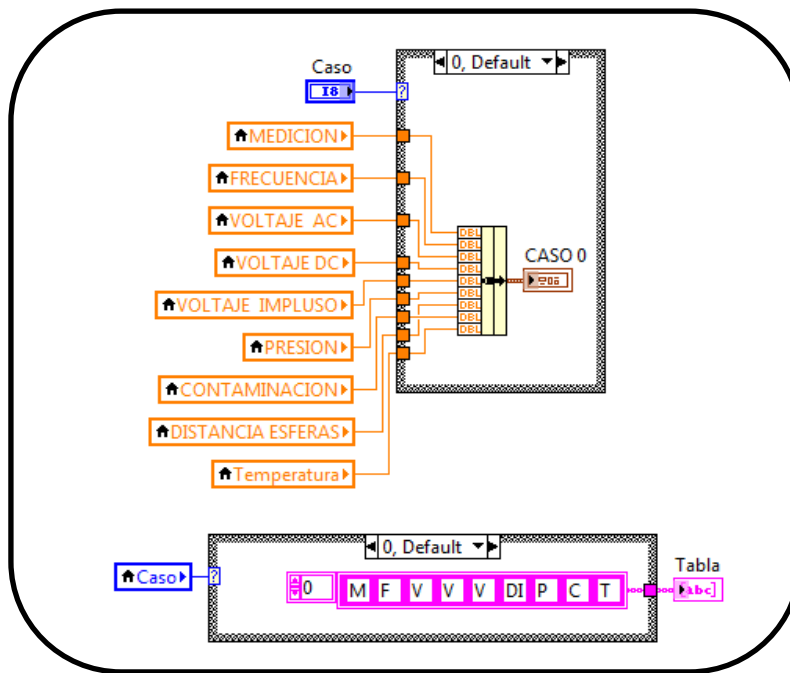


Figura 3.91. Estructura de arreglo para la base de datos.¹⁶⁹

Una vez creado los arreglos, se crean casos para que cada uno tenga un arreglo diferente para guardar dentro de la base de datos, teniendo como bloque la estructura detalla en la figura 3.92.

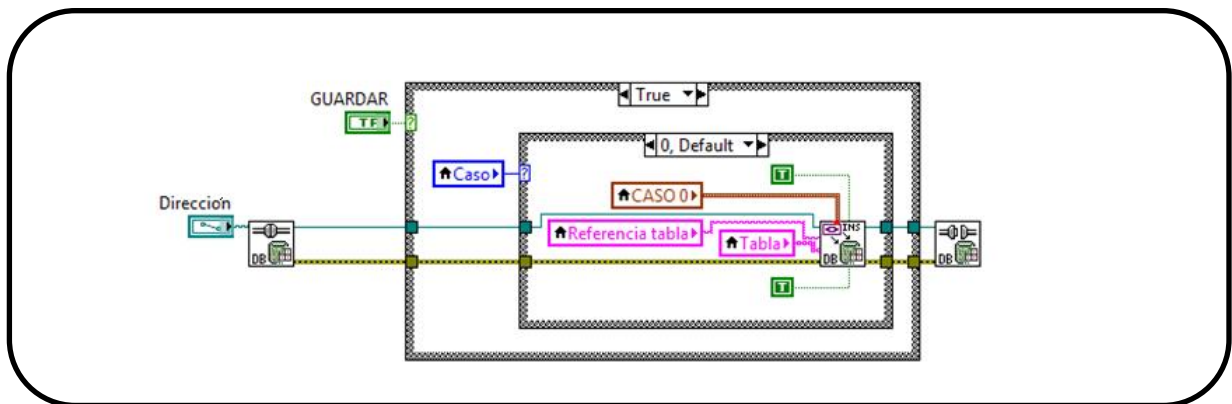


Figura 3.92. Selección de los casos para la base de datos en SQL.¹⁷⁰

Con esto, se facilita de alguna manera el tamaño de cada tabla creada, ya que se omiten datos no utilizados.

¹⁶⁹ Figura propia del autor.

¹⁷⁰ Ídem.

Cabe mencionar que la tabla, deberá contener un nombre con el que se pueda identificar cuando el usuario requiera tener acceso a los datos guardados, por lo que se creó un arreglo de tal manera de que los datos que el usuario proporciona; sean los que se guarden en referencia a la tabla creada como se muestra en la figura 3.93

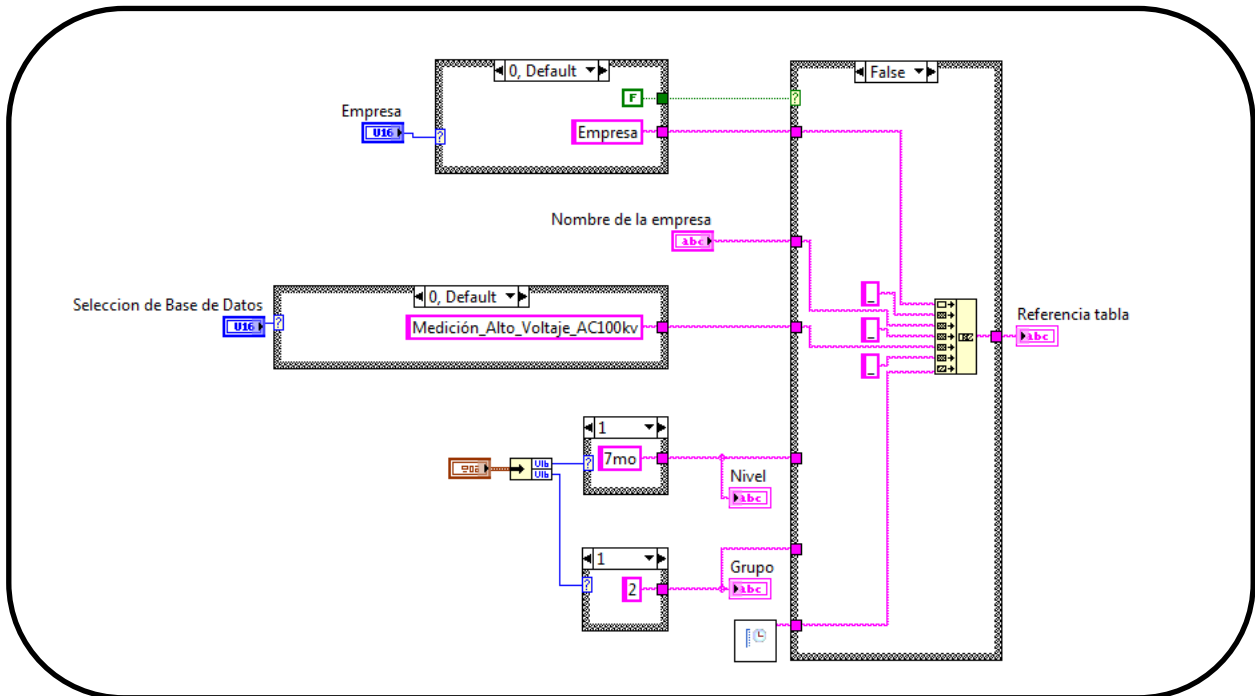


Figura 3.93. Arreglo para guardar con un nombre específico en la base de datos.¹⁷¹

3.4.2. REPORTES WEB.

Al tener un sistema basado en prácticas y que solo se posee un tiempo corto para realizarlas, el monitoreo de las prácticas no es muy factible desde otro computador, por lo que se realizó un sistema capaz de enviar los datos de la práctica realizadas por correo electrónico, facilitando el archivo generado en la Web en formato de Excel; para su manipulación si es usuario lo requiere.

Dentro de Labview, se tiene la posibilidad de obtener diferentes opciones de mandar los archivos a la red, pero para el caso se requirió de un protocolo de comunicaciones capaz de enviar un correo electrónico, ya con esto se utilizó el protocolo SMTP (Protocolo para la transferencia simple de correo electrónico), es un protocolo de la capa de aplicación del

¹⁷¹ Figura propia del autor

modelo OSI. Este protocolo de red se fundamenta en el intercambio de mensajes de correo electrónico entre computadoras u otros dispositivos.

Se requirió de un servidor capaz de enviar los correos de acuerdo a la necesidad del usuario y sea compatible con el software Labview, por lo que se utilizó el servicio de Webmail, para tener la posibilidad de enviar correos a otros y tener respaldos de la información en un correo propio del laboratorio. El bloque de programación se muestra en la figura 3.94.

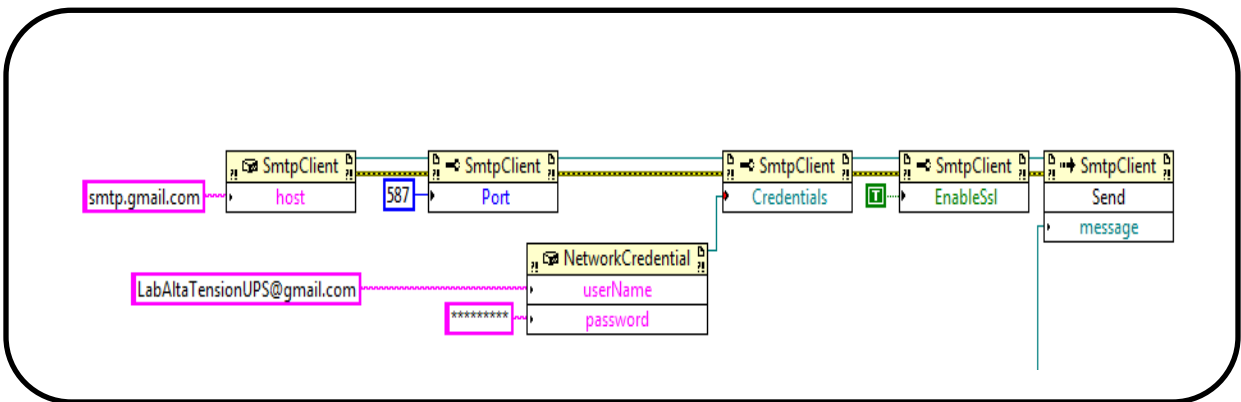


Figura 3.94. Apertura del bloque de comunicaciones al servidor de E-mail¹⁷²

¹⁷² *Figura propia del autor*

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRUEBAS

4.1. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

Al tener un centro de control dentro del laboratorio, se tendrá un mejor conocimiento de todos los eventos producidos por el mismo; facilitando el manejo de datos de una forma ordenada, para que los datos obtenidos puedan ser utilizados dentro de las asignatura de Alta Tensión, Protecciones, SEP y diseño. El sistema de monitoreo diseñado, permitirá monitorear los procesos que ocurren dentro del laboratorio, por lo que hay que tomar en cuenta que estos deberán contener solo las características de cada tipo de ensayo a realizar; sin que exista datos ajenos a la práctica.

Por lo que el software que se utilice para crear el sistema SCADA, debe permitir una mejor forma de trabajar y análisis de los eventos eléctricos, ya que este se debe acoplar a las necesidades del usuario, y que cada práctica puede ser reestructurada de acuerdo a los equipos existentes o de futuras expansiones. La viabilidad del centro de control dependerá de los sensores y acoples requeridos para su medición de las señales producidas. Además, de brindar las facilidades tanto la profesor, estudiante o visitante, para comprender cada uno de los eventos producidos por la Alta Tensión y facilitando la información a través de reportes en formato de Excel y graficas de las señales de impulso en tiempo real, ya que el sistema deberá estar diseñado para guardar los datos dentro de los archivos del laboratorio en un formato compatible, para que el usuario pueda manejar la información; pero esta a su vez, debe ser guardada dentro de un base de datos propia para el manejo del profesor o respaldos para futuras investigaciones por parte de los alumnos o profesores de la materia.

4.2. ESTUDIO COSTO-BENEFICIO.

El estado del costo beneficio; se da a partir de la situación actual en la que se encuentra el laboratorio de Alta Tensión, ya que este cuenta con las conexiones fundamentales entre los equipos internos del laboratorio y los que se encuentran afuera de este, ya que solo se debe realizar los acoples básicos para poder adaptar las señales a un equipo de control y de medida. Las conexiones existentes deben acoplarse a conectores en T; y estos a su vez

deben contar con un conductor que permita tener una conexión entre el equipo de actual - Divisores de tensión-tarjeta de adquisición, o equipo de actual-tarjeta de adquisición. Los valores pueden variar de acuerdo al sitio y tiempo, esto es un aproximado del costo descrito en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Costo de conexión entre tarjeta de adquisición y el DMI 551

Descripción	Precio	Cantidad	Total
Conector BNC MACHO A DOS BNC HEMBRA	\$ 1,25	3	\$ 3,75
Conector BNC MACHO	\$ 3,00	6	\$ 18,00
Conector BNC para placa	\$ 1,50	3	\$ 4,50
Cable coaxial (Metros)	\$ 2,00	6	\$ 12,00
Caja metálica o aislada	\$ 5,00	1	\$ 5,00
Fusibles	\$ 0,30	3	\$ 0,90
Material Electrónico (Resistencias Potencia)	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Otros			\$ 60,00
Total			\$ 124,15

Los costos dependerán del tipo de tarjeta de adquisición de datos, ya que en ciertos casos los valores de tensión limitan su uso y se requiere de la reducción de voltaje, haciendo que los costos del sistema se vea afectado. Además, hay que considerar que dentro del centro de control se deberá tener las señales respectivas de los sensores encargados de monitorear los procesos eléctricos y físicos producidos por el laboratorio de Alta Tensión, por lo que a continuación se describen los costos en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Costo de sensores y cables para tarjeta de adquisición.

Descripción	Precio	Cantidad	Total
Termómetro Digital Infrarrojo Apuntamiento Láser	\$ 90,00	1,00	\$ 90,00
Encoder industrial	\$ 90,00	1,00	\$ 90,00
Sensor final de carrera	\$ 20,00	2,00	\$ 80,00
Sensor de presión	\$ 100,00	1,00	\$ 100,00
Cables blindados conexión (Metros)	\$ 800,00	1,00	\$ 800,00
Otros(Adaptadores o acoples)	\$ 500,00	1,00	\$ 500,00
Total			\$ 1.660,00

Al tener un centro de control, se podrán efectuar distintas prácticas sobre los elementos básicos del Alta Tensión como los son: pruebas a transformadores, aisladores, pararrayos, entre otros elementos relacionados a la Alta Tensión; además, se tendrá un proceso de investigación y desarrollo tecnológico dentro de la Universidad Politécnica Salesiana, ya que se poseerá de una manera ordenada los datos para su utilización dentro de las materias de Alta Tensión o para una empresa que requiera un informe de las pruebas realizadas.

Todos los resultados se verán manifestados en la optimización y aprendizaje cooperativo de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica, pero a su vez, este puede llegar a ayudar a las demás carreras afines como lo son: la carrera de Mecánica, Electrónica y de Telecomunicaciones, ya que dentro de estos se pueden observar a distintos fenómenos relacionados a cada carrera como lo son: resistencia de materiales, campo electromagnético, entre otros efectos que se producen dentro de la Alta Tensión.

Por lo que se debe realizar la compra de equipos de visualización y monitoreo para el centro de control, estos costos se los presenta en la tabla 4.3:

Tabla 4.3. Costo de equipo de visualización centro de control

Descripción	Precio	Cantidad	Total
Computadora	\$ 800,00	1	\$ 800,00
Impresora	\$ 250,00	1	\$ 250,00
Cámara Web	\$ 30,00	1	\$ 30,00
Televisión Lcd Sony 40"	\$ 629,00	2	\$ 1.258,00
Conectores de Video (HDMI o RCA)	\$ 20,00	2	\$ 40,00
Total			\$ 2.378,00

Para cada una de las acoples se deberá tomar en cuenta un presupuesto para los profesionales que pueden adaptar dichos sensores dentro de este laboratorio, ya que se requerirá en algunos casos de soldaduras o equipo especial, por lo que se deja un estimado del valor de las horas requeridas por profesionales para adaptar dichos sensores en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Costo de las horas profesionales.

Descripción	Precio	Cantidad (Horas)	Total
Horas técnicas	100	4	\$ 400,00
Total			\$ 400,00

Los costos de horas profesionales, pueden ser reducidos por parte de los docentes de tiempo completo que actualmente se encuentran en el área de investigación de la Universidad Penitencia Salesiana, Campus Kennedy; como parte de una investigación. El equipo de adquisición de datos puede estar en función de las necesidades del laboratorio, por lo que se sugieren los siguientes equipos descritos en la tabla 4.5 estos equipos son de la marca National Instruments.

Tabla 4.5. Costo de equipos de adquisición.

Descripción	Precio	Cantidad	Total
cRIO-9025, Real-Time PowerPC Controller for cRIO, 800 MHz	4.950,00	1	4.950,00
NI 9225 3-Ch +/-300V Analog Input	1.700,00	2	3.400,00
NI 9229 4-Ch ± 60 V, 50 kS/s/Ch, 24-Bit, Ch-/-Ch Isolated AI Module	1.470,00	1	1.470,00
NI 9227 4 ch current input, 5Amp, ISO, 50k, 24bit	1.130,00	1	1.130,00
NI 9435 4-Ch ± 5 -250 VDC, 10-250 VAC, 3 ms, Univ. DI	185,00	2	370,00
NI 9481 4-Ch 30 V, 60 V, 250 VAC EM Form A SPST Relay	185,00	2	370,00
cRIO-9116, 8-slot Virtex-5 LX 85 Reconfigurable Chassis for cRIO	3.630,00	1	3.630,00
NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input	285,00	1	285,00
RS232 Null-Modem Cable, DB-9 Female to DB-9 Female, 2m	35,00	1	35,00
E1 Ethernet Cable, Twisted-pair, 5 m	25,00	1	25,00
NI Standard System Assurance Program for CompactRIO	1.090,00	1	1.090,00
NI 1778 Smart Camera (1.6GHz Atom Processor, 5MP)	7.425,00	1	7.425,00
Total			24.180,00

El costo de un centro de control para la Universidad Penitencia Salesiana, estará en función a los requerimientos de las prácticas o ensayos, por lo que no es posible llegar a medir o comparar el costo económico que representara para la Universidad con respecto a centros de control actuales, ya que cada uno cuenta con diferentes tipos de exigencias, pruebas a distintos voltaje y equipos especiales de acuerdo a sus necesidades dentro del centro de control.

Dicho análisis parte en función de la capacidad instalada vs. el número de prácticas que el estudiante o empresa necesiten realizar, ya que si se puede duplicar el número de prácticas en relación a las que se realizan actualmente, se puede llegar a tener una sustentabilidad del proyecto. Las variables fueron tomadas a partir de un estimado de 11-12 prácticas realizadas durante el semestre tomando como base la instancia de tener 2 grupos de 10 estudiantes cada uno para la materia de Alta Tensión I, y del mismo caso para la materia de Alta Tensión II. Con estos parámetros, se estima la recuperación, en función de tener instalado en un solo laboratorio dos equipos de Alta Tensión, ya que al tener un laboratorio con un centro de control y monitoreo se puede llegar a tener un 50% más de prácticas, permitiendo brindar mayor eficiencia en seguridad, reducción del tiempo requerido para tomar datos, procesarlos y visualizarlos.

Dentro de este se consideran egresos comunes para un centro de control para el caso de la Universidad se consideran costos de mantenimiento o limpieza, gastos de servicios básicos y materiales de oficina si fuere el caso de presentar reportes impresos. Asumiendo como egresos para la parte administrativa los valores de la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Costo de gastos administrativos.

GASTOS ADMINISTRATIVOS	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Luz	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Teléfono	20,00	21,15	22,37	23,66	25,02	26,46
Internet	20,00	21,15	22,37	23,66	25,02	26,46
Limpieza	5,00	5,29	5,59	5,91	6,26	6,62
Suministros de Oficina	10,00	10,58	11,19	11,83	12,51	13,23
Anuales	780,00	818,02	858,22	900,74	945,71	993,28

Para el caso de los ingresos se tomó como referencia el 50% del costo de un laboratorio de Alta Tensión, ya que con la implementación de un centro de control se puede mejorar el tiempo de realización de las prácticas y aumentar el número de prácticas que se realizan, teniendo como premisa que este valor deberá ser amortizado a 10 años y el valor anual de 18375.4 dólares que equivalen a una décima parte de un nuevo laboratorio de Alta Tensión, este rubro sería el ingreso que la Universidad tendría, si se implementara un centro de control. En la tabla se especifican los egresos e ingresos para el proyecto.

Tabla 4.7. Costos generales del proyecto

CONCEPTO	Inversión Inicial	Año 1 2013	Año 2 2014	Año 3 2015	Año 4 2016	Año 5 2017
INVERSIÓN	28942,15					
Total Ingresos(laboratorio)		18375,40	18375,40	18375,40	18375,40	18375,40
TOTAL INGRESOS	28942,15	18375,40	18375,40	18375,40	18375,40	18375,40
TOTAL EGRESOS		4209,08	4254,01	4301,53	4351,78	975,84
SALDO FINAL	-28942,15	14166,32	14121,39	14073,87	14023,62	17399,56

La rentabilidad del proyecto, se la mide a través del Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR) que tendría la Universidad al implementar dicho proyecto presenta en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Indicadores Económicos

VALOR ACTUAL NETO	25.128
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C)	86,82%
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	40,79%

Llegando a la conclusión que este proyecto tiene una índice de recuperación de 5 años y si es viable, si las variables económicas se mantienen. Además, la Universidad Politécnica Salesiana, cuenta con recursos anualmente para cubrir proyectos o reparaciones/actualizaciones de proyectos que ya se encuentran implementados y los ingresos para cumplir dicho proyecto dentro de la recuperación puede ser en un menor tiempo al requerido.

4.3. FACTIBILIDAD TÉCNICA.

Dentro de la factibilidad técnica hay que tomar en cuenta ciertos aspectos, los cuales proporcionarán la información necesaria para la realización de un proyecto como lo son: la personal, equipos y de software.

4.3.1. PERSONAL

Para esto se requerirá de una ejecución del tipo técnica realizada por un Ingeniero o un Estudiante que realice tesis de grado de la carrera de Ingeniería Eléctrica, ya que debe tener conocimientos básicos de electrónica de potencia y de Alta Tensión, puesto que dentro de este laboratorio, se tienen las conexiones eléctricas desde los equipos de Alta Tensión hasta el equipo de control; y se debe tener conocimiento sobre adaptabilidad de equipos de cierto nivel de tensión con otros, además, se debe aislar correctamente los cables para no tener inconvenientes. Ya que se deben realizarse nuevas adaptaciones eléctricas.

4.3.2. HARDWARE

Se debe contar con tarjetas de divisores de tensión para reducir los voltajes, para que estos puedan ser acoplados a las tarjetas DAQ, ya sean estas tarjetas de adquisición NI USB 6212 u otras tarjetas.

Para la parte de procesamiento de datos, la Universidad cuenta con computadoras actualizadas de acuerdo a cada laboratorio, pero estas deben contener lo requerido para la utilización del software como: Labview, Microsoft Office y Microsoft SQL Server Management Studio. Se da como requerimiento lo siguiente:

- Intel core i7 3.4 Ghz.
- Main board Intel® dh67bl.
- Memoria 8 Gb ddr3 pc-1333.
- Disco duro 1 Tera Samsung / seagate.
- Procesador Intel Core i7 3.4 GHz lga -1155.
- Dvddrw Lg / Samsung.
- Case, teclado, mouse, parlantes.

- Lector de memorias.
- Regulador de voltaje.
- Tarjeta de video Geforce 210 de 512 MB o superior, con puertos de salida Hdmi.
- Infocus.
- Televisión Led, plasma o LCD 40".

4.3.3. SOFTWARE

El software que se utilizará es Labview para la parte de programación del centro de control, Microsoft Office, el cual nos permitirá el abrir los archivos generados dentro del sistema de monitoreo y Microsoft SQL Server Management Studio, este nos permitirá manejar y administrar las bases de datos, si en cierto caso se requiere crear nuevos parámetros para el almacenamiento de estos. Además, se requerirá de un antivirus para que nos proteja de virus cuando se precise guardar información por parte del usuario en dispositivos extraíbles.

4.4. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN.

Se debe tener un diseño y planificación de todos los elementos que conforman el centro de control, ya que de estos dependerá la obtención de los datos para que el sistema los guarde y los muestre de acuerdo a las necesidades del usuario. Dentro de este se debe de contar con la experiencia de colocar sensores de final de carrera de forma permanente dentro del equipo KF encargado de acercar y alejar las esferas, el poner el sensor de presión en el equipo de DKU el mismo que contiene las esferas cuando se realiza las prácticas de disrupción a distintas presiones. Además, realizar los acoples necesarios para conectar los sensores con los equipos de medida.

4.5. VERIFICACIÓN DE DATOS.

Los valores obtenidos durante la simulación, se los realizó de tal manera que estos valores sean similares a los obtenidos durante una práctica en Alta Tensión, por lo que se demostrará de una manera sencilla de acuerdo a cada caso.

4.5.1. VOLTAJE ALTERNO O VOLTAJE AC.

Para el caso de la prueba de medición de voltaje alterno; se lo realizó de tal manera que se pudo obtener un valor referencial, para luego darle un ganancia con las relaciones obtenidas durante la realización de un sistema de monitoreo. Ya que una de estas se mantiene constante por los valores referenciales de los equipos de Alta Tensión esta es de 681, luego esta va a depender de la relación obtenida de los divisores de tensión para el acople con la tarjeta de adquisición, en la cual se obtuvo un valor de 45.1176 con un valor máximo de entrada de 3.2547 voltios, por lo que el valor de la ganancia total será de 30725.1176, ya con estos valores, se pueden dar referencias de los valores obtenidos por la tarjeta de adquisición de datos hacia el sistema de monitoreo. En la tabla 4.9 se muestran los valores aproximados que el sistema de monitoreo representará de acuerdo a la entrada de la señal.

Tabla 4.9. Valores de voltaje alterno dentro del sistema de monitoreo

AC	
Ganancia TOTAL	30725,118
Ganancia DMI 551	681
Ganancia DAQ	45,1176
Voltaje máximo	3,2547
Voltaje Entrada DAQ (Volts)	Voltaje obtenido Equipo (Volts)
0	0
0,40625	12482,079
0,8125	24964,158
1,21875	37446,237
1,625	49928,316
2,03125	62410,395
2,4375	74892,474
2,84375	87374,553
3,25	99856,632
3,2547	100001,04

El último valor representa el valor máximo que el sistema podrá representar dentro de los límites del equipo de Alta Tensión, por lo que de este dependerá de los 150 voltios de la entrada del equipo DMI 551. La prueba se lo realizó mediante otra tarjeta de adquisición de datos midiendo el valor de entrada de la tarjeta de adquisición de datos teniendo un valor de 1.214 voltios como se muestra en la figura 4.1.

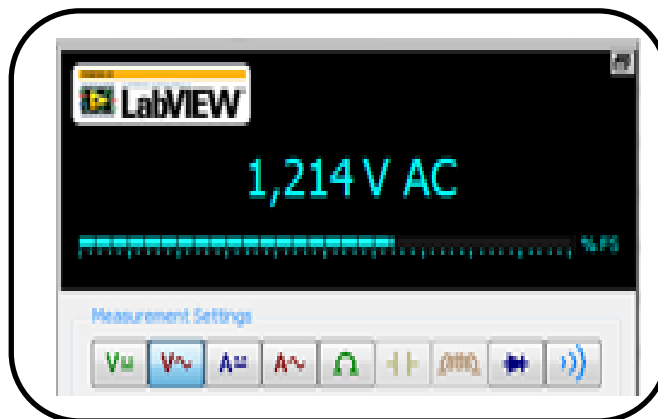


Figura 4.1. Valor obtenido de la medición del voltaje alterno¹⁷³

Al tener el valor medido se multiplica con respecto a las ganancias encontradas durante el proceso obteniendo los valores de la tabla 4.9, los cuales pueden mostrar un margen de error durante la medición, ya que no se consideran algunas impedancias como son las de los conductores y de conectores.

Tabla 4.10. Rangos de voltajes

Voltaje Entrada DAQ (Volts)	Voltaje obtenido Equipo (Volts)
1,21	37177,392
1,214	37300,293
1,216	37361,743

Se puede observar el valor obtenido del voltaje en AC durante la adquisición de datos en la figura 4.2, este varía ya que el proceso se lo realiza de forma dinámica y se tiene variaciones durante cada toma de muestras.

¹⁷³ *Figura propia del autor.*

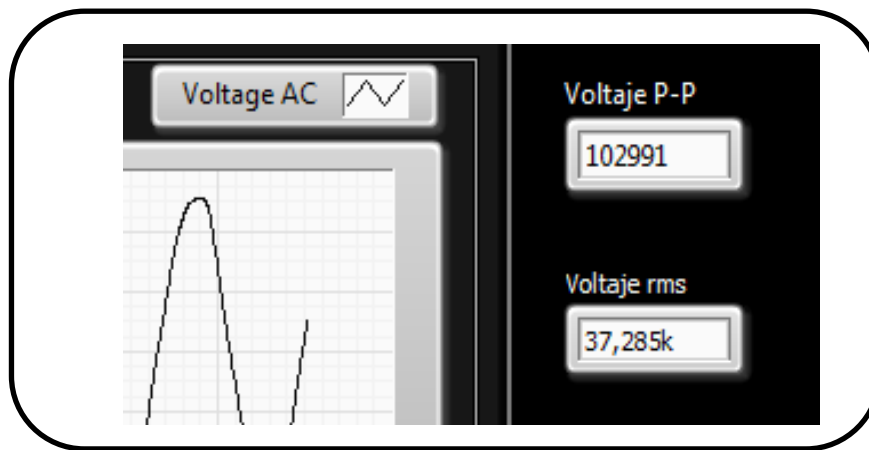


Figura 4.2. Valor de AC mostrado por el sistema de monitoreo¹⁷⁴

4.5.2. VOLTAJE CONTINUO O VOLTAJE DC.

Para el caso de la prueba de medición de voltaje continuo, se lo realizó de forma similar al voltaje de AC. Ya que el sistema de monitoreo requiere de valores de referencia en ganancias para poder sacar los valores reales, el equipo de Alta Tensión en el divisor de tensión resistivo se obtiene un ganancia de 18667,6667, además se obtiene la relación obtenida de los divisores de tensión para el acople con la tarjeta de adquisición en la cual se obtuvo un valor de 2,5 con un valor máximo de entrada hacia la tarjeta de adquisición de 3 voltios y con un valor total de ganancia de 46669,16 y máximo valor de entrada de 3 voltios.

Ya con estos valores se pueden dar referencias de los valores obtenidos por la tarjeta de adquisición de datos hacia el sistema de monitoreo.

Se muestra en la tabla 4.11 los valores calculados que el sistema de monitoreo representara de acuerdo a la entrada de la señal.

¹⁷⁴ *Figura propia del autor.*

Tabla 4.11. Valores de voltaje continuo dentro del sistema de monitoreo.

DC	
Ganancia	46669,167
Ganancia DMI 551	18667,667
Ganancia DAQ	2,5
Voltaje máximo	0,6820561
Voltaje Entrada DAQ (Volts)	Voltaje calculado del Equipo (Volts)
0,075784008	5001,7093
0,151568017	10003,419
0,227352025	15005,128
0,303136033	20006,837
0,378920041	25008,547
0,45470405	30010,256
0,530488058	35011,965
0,606272066	40013,675
0,682056075	45015,384

El último valor representa el valor máximo que el sistema podrá representar dentro de los límites del equipo de Alta Tensión, porque este dependerá de los 7,5 voltios de la entrada del equipo DMI 551. La prueba se lo realizó mediante otra tarjeta de adquisición de datos midiendo el valor de entrada de la tarjeta de adquisición de datos teniendo un valor de 1,394 voltios en AC, por lo que aplica el mismo criterio para encontrar un voltaje en DC, para el caso del instrumento de medida aplicado da el valor de la tensión en voltaje pico como se muestra en la figura 4.3.

$$V_o(dc) = 0.318309886 * V_0(RMS) * \sqrt{2}$$

$$V_o(dc) = 0.318309886 * 1.394 * \sqrt{2}$$

$$V_o(dc) = 0,62752047 \text{ voltios en DC}$$

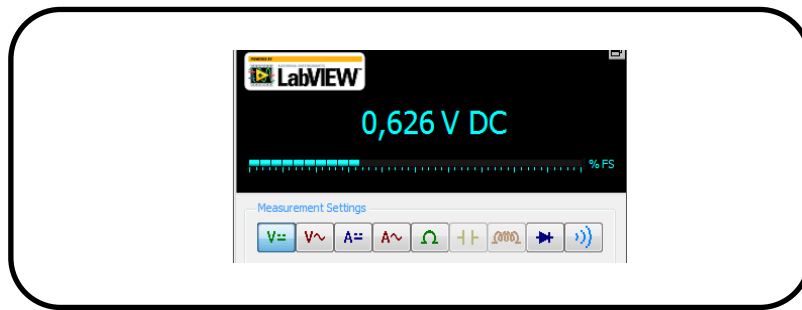


Figura 4.3. Valor obtenido de la medición del voltaje continuo¹⁷⁵

Al tener el valor medido, se multiplica con respecto a las ganancias encontradas durante el proceso obteniendo los valores de la tabla 4.3, los cuales pueden mostrar un margen de error durante la medición, ya que no se consideran algunas impedancias como son las de los conductores y de conectores. Los rangos obtenidos durante el cálculo se muestran en la tabla 4.12

Tabla 4.12. Rangos de voltajes.

DC	
Voltaje Entrada DAQ (Volts)	Voltaje calculado del Equipo (Volts)
0,57752047	26952,399
0,62752047	29285,857
0,67752047	31619,316

Se puede observar el valor obtenido del voltaje en AC durante la adquisición de datos en la figura 4.4, este varía ya que el proceso se lo realiza de forma dinámica y se tiene variaciones durante cada toma de muestras.



Figura 4.4. Valor de DC mostrado por el sistema de monitoreo.¹⁷⁶

¹⁷⁵ Figura propia del autor.

Los valores pueden cambiar de acuerdo a la alimentación que el transformador tenga en el primario, por lo que los valores registrados por el sistema de monitoreo se los realiza en el secundario del transformador de Alta Tensión. Dentro de la simulación se lo realizó a través de una maqueta, la cual tiene sus limitantes como lo es el nivel de tensión en AC de ± 12 voltios, además de esto se realiza un divisor de tensión para el canal de voltaje en AC, para luego tener una señal en DC por medio de una rectificación de media onda con filtro similar a lo que ocurre dentro del laboratorio de Alta Tensión, pero dentro de la maqueta ocurre que el nivel de DC que es diferente del calculado a partir del nivel de tensión en AC.

4.5.3. VOLTAJE DE IMPULSO.

Para el caso de la prueba de medición del voltaje de impulso, se lo realizó de tal que se pudo obtener un valor referencial para luego darle un ganancia con las relaciones obtenidas durante la realización de un sistema de monitoreo. Ya que una de estas se mantiene constante por los valores referenciales de los equipos de Alta Tensión se basara en función de la relación obtenida por el equipo DMI 551, ya que el elemento NTZ que es el secundario del CB, el cual es encargado de medir la tensión de impulso, es del tipo reactivo y sus características describen que puede ajustar a niveles de tensión de 140 kV, 280 kV y 420 kV.

Esta señal es un difícil de simular y de representarla dentro de una maqueta ya que solo puede darse por efectos del uso de la Alta Tensión a niveles de altos de voltaje, ya que se producen una forma de onda controlada de acuerdo a variables fijas como lo son: distancias de las esferas, tiempos estándares de frente de onda o de duración, niveles de voltaje entre otros factores; por lo que el sistema guarda de diferentes maneras las tensiones de impulso que se puedan medir por el canal de medición de la señal de impulso, las formas que se diseñaron hacen que se puedan guardar manual o automáticamente de acuerdo a la situación en la que se presenten. Se tienen atrasos de guardado de la señal ya que el que procesa los datos es el computador la tarjeta de adquisición, sirve solo como medio de adquisición de los datos; y el computador soporta toda la programación de guardado, procesamiento y análisis de las señales, haciendo la dependiente de la memoria, procesador

¹⁷⁶ *Figura propia del autor.*

y de las aplicaciones que se estén usando al momento de realizar operaciones básicas de Windows 7.

4.6. REPORTES

Los reportes del sistema de monitoreo deben mostrar todos los parámetros de estudio. Por lo que se presentará un esquema de los informes de acuerdo a cada práctica, al tener diferentes prácticas dentro del laboratorio, y en ciertos casos se asumió que los parámetros eran similares, hubo que dar relevancia a ciertos parámetros y características que el usuario pueda necesitar dentro de un informe, en los que se presentan valores de medición en función de una simulación del laboratorio, asumiendo en ciertos casos valores no correspondientes a pruebas realizadas dentro de un laboratorio de Alta Tensión.

4.6.1. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC 100kV

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia y voltaje en AC. Además, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

4.6.2. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE EN AC. Y DC.

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia, voltajes en AC y DC. Además, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC y DC. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

Este tipo de ensayo es solo una demostración de las mediciones que se pueden realizar dentro de un laboratorio de Alta Tensión.

4.6.3. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ALTO VOLTAJE DE IMPULSO

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia, voltajes en AC, DC, impulso y distancia de las esferas. Además, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC, DC e impulso, ya que la señal de impulso tendrá la posibilidad de mostrarse dentro de un informe general y la creación de señales independientes en reportes en .pdf. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

La señal obtenida durante la práctica se guardará en un orden determinado, dentro de una carpeta con la fecha, hora de inicio de la práctica y el curso, como se describe a continuación: 8vo_04_12_2012_Hora_15_09_16.

4.6.4. PRUEBA DESTRUCTIVA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia, voltajes en AC, DC, impulso, la distancia de las esferas y las condiciones de presión actual. También se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC, DC e impulso. Y la forma de onda de la señal de la rigidez dieléctrica del aire. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

La señal obtenida durante la práctica se guardará en un orden determinado, dentro de una carpeta con la fecha, hora de inicio de la práctica y el curso, como se describe a continuación 8vo_04_12_2012_Hora_15_09_16.

4.6.5. PRUEBAS DE AISLAMIENTOS DE UN TRANSFORMADOR

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia, voltajes en AC, DC, impulso y la distancia de las esferas. Asimismo, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC, DC e impulso. Este tipo de reportes se basa en la norma ANSI / IEEE C57.98-1986 "IEEE Guide for transformer Impulse Tests" a que se miden los voltajes aplicados, frecuencias, tiempo de la onda de impulso aplicada (duración de frente, cola y cresta). Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

En este se podrá apreciar el BIL aplicado al transformador, mejorando el conocimiento del tipo de onda que se le aplica al transformador para verificar el aislamiento. Estos parámetros se describen dentro de la norma.

4.6.6. PRUEBAS DE ACEITE DE UN TRANSFORMADOR

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia, voltajes en AC, DC, impulso, la distancia de las esferas y temperatura. Además, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC y DC con su respectiva desviación

estándar para establecer si el aceite pasa o no por la prueba. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

Dentro del capítulo 3 se establece como base la norma ASTM D-1816 y ASTM D-877, para cuyo caso se procede a sacar una desviación estándar y un promedio para dar paso a la aprobación de la prueba o negarla para volver a tomar datos, estos valores de desviación y promedio son ubicados dentro del reporte.

4.6.7. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DIELECTRICAS DEL AIRE

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia, voltajes en AC, DC, impulso, la distancia de las esferas y presión actual. Además, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC, DC e impulso Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

4.6.8. RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE A DIFERENTES PRESIONES

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia, voltajes en AC, DC, impulso, la distancia de las esferas, presión actual. Asimismo, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC, DC e impulso. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

Básicamente, este reporte indicará los momentos en los que se produjo la descarga disruptiva con respecto a la presión, esta prueba es netamente de demostrativa respecto a la influencia de la presión frente a el nivel de tensión.

4.6.9. PRUEBA DE AISLADORES

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia y voltaje en AC. También, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC y del tipo de aislador utilizado dentro de la práctica, ya qué se cuenta con una base de datos. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

El tipo de reporte que se creó con la facilidad de describir características adicionales que se pueden dar durante la práctica según la norma de aisladores ANSI C29.1 en la cual se

explica los procesos y describe el tipo de prueba a realizar con sus características, además en las normas ANSI C29.7 y ANSI C29.5 describen las características básicas de niveles de tensión de los aisladores de bajo, medio y alto voltaje.

4.6.10. PRUEBA DE AISLADORES EN CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición de frecuencia, voltaje en AC y grado de contaminación. Igualmente se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC, y del tipo de aislador utilizado dentro de la práctica. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

Además se cuenta con una base de datos de los tipos de aisladores utilizados en el mercado ecuatoriano, este tipo de prueba es similar a la anterior pero esta dependerá de un grado de contaminación que se le aplique al aislador por lo que se necesitará tener referencia de la norma recomendaciones para distancia de fuga en aisladores para ambientes contaminados, norma IEC 815.

4.6.11. PRUEBA DE PARARRAYOS

En este se va a encontrar los valores relacionados con la medición, frecuencia y voltaje en AC, DC, impulso, la distancia de las esferas, presión actual. También, se cuenta con la representación gráfica de la señal de voltaje en AC, DC, impulso, tipo de pararrayos y características adicionales dentro del reporte, ya que se cuenta con una base de datos básica. Se detalla el estado del reporte en el anexo 6.

Todos los reportes son enviados por medio de email, para que el usuario pueda llevar la información después de haber realizado cada ensayo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Con el equipo actual y las condiciones del laboratorio, se tendrían problemas en implementar el sistema de monitoreo ya que se requerirá de nuevos tipos de tecnología para el control y monitoreo del laboratorio.
- El sistema de monitoreo, deberá brindar de una manera ordenada los datos obtenidos por cada práctica o ensayo realizado, ya que la programación que se realice debe tener la posibilidad de ampliación o de administración a futuro para llegar a tener nuevas prácticas sin que perjudicar a las actuales.
- El campo magnético producido dentro de un laboratorio de Alta Tensión, puede causar fallas a los equipos de monitoreo y mostrar señales parasitas dentro del sistema, haciendo que la confiabilidad no sea la adecuada o provocando el daño a los mismos.
- Los resultados del estudio de un centro de control y monitoreo muestran que se deben buscar tecnologías acorde a las prácticas o ensayos que se realicen dentro de un laboratorio de Alta Tensión, ya que la velocidad de muestreo y el procesamiento de datos debe ser la más rápida posible.
- Dentro del sistema Windows 7 se presentan inconvenientes al momento de ejecutar el programa realizados por la incompatibilidad de Labview de 32 bits a un Windows de 64 bits, además, la incompatibilidad del sistema de Labview 2012 con el office 2010, para la creación de reportes.
- La velocidad de procesamiento de las señales producidas por el laboratorio de Alta Tensión estará en función del equipo que se disponga, ya sea un equipo que se encargue de analizar todas las señales y se lo pueda monitorear o un equipo que solo

se encargue de adquirir la señal y sea el computador el que se encargue de procesarla.

- El sistema monitoreo y control debe estar abierto a modificaciones, ya que este tendrá que actualizarse de acuerdo nuevos parámetros o casos de estudio; y debe mostrar un fácil manejo.
- El sistema de control debe estar en función a normas internas de los equipos OT 276 y DMI 551, ya que estos brindan una seguridad frente a problemas de mal funcionamiento de los equipos de Alta Tensión; por errores dentro de la construcción de los circuitos de cada práctica o ensayo.
- El sistema de monitoreo debe ser capaz mostrar las desviaciones que se produce por el clima, ya que los valores de presión y humedad son fundamentales para las pruebas de disrupción dieléctrica en el aire y las señales de impulso no controladas.
- En el centro de control hay que considerar todas las normas eléctricas utilizadas para cada uno de los ensayos, ya que de estas dependerán la confiabilidad en un correcto manejo del laboratorio y de su correcto uso.
- Para un centro es fundamental contar con los requerimientos básicos descritos anteriormente de hardware y software, para tener un correcto funcionamiento del sistema.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la marca National Instruments; ya esta cuenta con un tipo de programación simple y confiable para la realización de un sistema de monitoreo, permitiendo programar de acuerdo a los parámetros de estudio y teniendo la opción de ampliación a futuro. También, se puede encontrar tarjetas de adquisición en función de los niveles de voltajes, velocidades de muestreo, canales de adquisición aislados y requerimientos industriales, facilitando su interface con dichos dispositivos.

- Se debe mejorar el estado de la jaula de Faraday, ya que los campos magnéticos producidos durante una simulación afectaron al equipo de medición, por eso la importancia de tener una jaula de Faraday que rodee toda el área donde se realizan las prácticas de Alta Tensión, para evitar daños a equipos o personas.
- La ubicación de cada uno de los elementos básicos de un centro de control, deben estar en función de la movilidad, seguridad de los equipos y principalmente de las personas que se encuentren en el laboratorio.
- El uso de tecnologías de adquisición en tiempo real, podrá mejorar el proceso de adquisición de datos, optimizando la confiabilidad del sistema de monitoreo, porque estos equipos no dependerán de un subsistema de procesamiento de datos (PC-DAQ), ya que se manejarían de forma independiente.
- Se sugiere tener acceso a puertos de comunicación SMTP dentro de la Universidad Politécnica Salesiana de los diferentes tipos de correo como lo son: Hotmail para el puerto 587, yahoo para el puerto 465, Gmail para el puerto 587 y el de Universidad Politécnica Salesiana, por lo que el sistema de monitoreo requiere el uso de un puerto de comunicaciones para él envío del reporte hacia el email del estudiante o persona que lo requiera.
- Buscar la participación de profesionales capacitados para la implementación de sensores, ya que estos deben ser puestos de forma fija y brindando la seguridad de movilidad de los equipos para cada ensayo.
- Los conectores y cables sean estos de comunicaciones o de conductores de las señales producidas por los equipos de Alta Tensión o de monitoreo, deben estar provistos de un recubrimiento o malla para evitar pérdidas o filtraciones de señales parasitas dentro del sistema de monitoreo, ya que se podrían tener fallas en la

medición o daño a los equipos y personal, que se encuentre en el centro de monitoreo.

- Se pueden utilizar sensores de corriente para medir el efecto de la corriente sobre los elementos que conforman cada circuito de la Alta Tensión, ya que estos son esenciales dentro de cada práctica y el equipo adquisición de datos debe con entrada de corriente o tener un elemento que obtenga la relación de corriente con respecto a voltaje.
- Se pueden utilizar sensores pirométricos y de temperatura ambiente para la detección de la temperatura en las prácticas de las pruebas en aceite del transformador, aisladores y de pararrayos, ya que la temperatura es fundamental dentro del estudio de los elementos de la Alta Tensión.
- Se sugiere utilizar el tipo de computadora descrita dentro del estudio, pero esta a su vez no debe contener aplicaciones adicionales a las del centro de control, ya que consumen los recursos del procesador y memoria haciendo que el sistema sea inestable.

ANEXOS

ANEXO 1

CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DMI 551

AC Measurement

Measurement modes	peak, peak/ $\sqrt{2}$, rms
Voltage range	0 ... 150 V rms
Frequency range	16 % ... 40 Hz ¹ 40 ... 400 Hz ²
Accuracy	¹ $\pm 1.0\%$ rdg, ± 3 counts ² $\pm 0.5\%$ rdg, ± 3 counts

DC Measurement

Measurement modes	mean value, ripple
Voltage range	0 ... 7.5 V
Ripple range	0 ... 0.5 V, 50 ... 1000 Hz
Accuracy	$\pm 0.5\%$ rdg, ± 3 counts

Impulse Measurement

Measurement modes	peak value
Voltage range	0 ... 400 V (BNC jack) 0 ... 1600 V (LEMO 4250)
Accuracy	$\pm 1\%$ rdg, ± 3 counts

Power Supply

Line voltage	85 ... 264 V AC
Line frequency	50/60 Hz
Power consumption	30 W

Triggering

Generator gap	manual or automatic
Chopping gap	0 ... 2000 μ s
Oscilloscope	-20 ... 2000 μ s
Phase synchronisation	0 ... 360°

Interfaces

Remote control	IEEE 488 or RS 232
X-Y recorder	BNC 2 k Ω , 0 – 10 V DC
AC out	BNC 2 k Ω , 0 – 10 V AC

System Configuration

Processor	386 SX, 25 MHz
Monitor	5.2" LCD, 240 x 128 pixels
Keyboard	membrane type, 31 keys

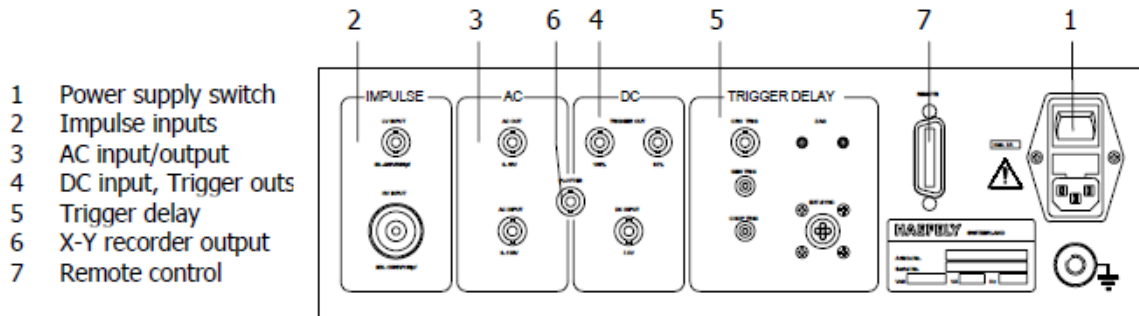
Environmental Conditions

Operating temperature	10 ... 40° C
Humidity range	35 ... 80 % r.h., n.c.

Weight and Dimension

Weight	6.6 kg
W x H x D	450 x 135 x 350 mm

Sus conexiones son:



ANEXO 2
CUIDADOS PERSONALES

El ser humano con sólo 20 mA que pasen al corazón, pueden producir la muerte de una persona. Las descargas producidas por Alta tensión; emiten ruido electromagnético que pueden alterar el funcionamiento de marcapasos, produciendo el mal funcionamiento de este y provocando la muerte.

Dentro de este laboratorio se dispone de un cable desnudo de cobre o bien se interconectan todos los equipos de control, medida y de las estructuras metálicas, para que este llegue lo más pronto a la malla a tierra para despegar la falla. Ya que si se produce una falla en la aislación del conductor correspondiente a fase, éste se pondrá en contacto con la tierra y quemará los fusibles del Laboratorio y si estos no actúan, la falla llegaría a los equipos de control y monitoreo dañándoles.

En el Laboratorio, se suelen usar adaptadores para enchufes. Hay que tener en cuenta que cuando se usan deben conectarse a la tierra del equipo.

En el caso particular de trabajos con Alta Tensión, hay algunas recomendaciones especiales:

NUNCA:

- Realizar los trabajos dentro del laboratorio de Alta Tensión si se encuentra solo, ya que obligatoriamente se dependerá de un grupo de personas para proteger la integridad física de alguno de los estudiantes o personal que se encuentren dentro del laboratorio.
- Tocar un cable de Alta Tensión, jaula de Faraday o cualquier cosa que haya sido conectada a una fuente de Alta Tensión; sin primero haber sido cortocircuitado a tierra al menos dos veces dicho elemento. El laboratorio debe tener una barra de aislación (pértiga) para ser usada como descargador de los elementos que se encuentren con potencial, antes de entrar al laboratorio de Alta Tensión.

SIEMPRE:

- Suponer que los condensadores están cargados. La fuente de Alta Tensión puede tener condensadores que permanezcan cargados; aun si la fuente ha sido apagada.
- Utilizar la barra de tierra (pértiga) antes de entrar a realizar o modificar cualquier circuito dentro de la jaula de Faraday.
- Recordar que el laboratorio posee luces indicadoras para cuando el equipo es utilizado; rojo para cuando se encuentra desenergizado y verde para cuando esta energizado.
- Asegurarse que el piso y la mesa donde se encuentre el equipo de control y monitoreo estén secos.
- Asegurarse que los equipos de medida y control se encuentren conectados correctamente a los circuitos armados dentro del laboratorio para evitar fallos que pueden causar daño a equipos o personas
- Controlar la calidad de la conexión a tierra del circuito antes de conectarlo.

MANEJO DE ALTA TENSIÓN

- La tensión de línea también es potencialmente peligrosa, ya que con más de 80 V el cuerpo humano admite una corriente capaz de producir paro cardíaco.
- Por norma de seguridad todos los equipos tienen su correspondiente conexión, no conecte erróneamente los equipos.
- En el laboratorio es muy frecuente utilizar adaptadores de enchufes. siempre hay que tener en cuenta que estos pueden desconectarse.

Pasos a seguir para realizar Descargas Eléctricas en el Laboratorio

- Hay dos personas encargadas de operar la fuente y equipo de control.
- Quien opera la fuente no debe ser molestado ni distraído. Esta persona debe controlar y es la única que debe estar controlando los equipos para evitar errores en el uso adecuado de los equipos.
- La persona que opere la fuente es responsable por la vida de los demás.

- Debe ir declarando en voz alta las tensiones que va tomando el transformador en el secundario (1 kV... 2 kV... etc).
- Debe decir: “Descargo” cuando se procede a desenergizar el equipo.
- La persona que carga del equipo de control es el responsable de ponerlo a tierra inmediatamente después de finalizar cada maniobra.
- Es inadmisibile que una persona “ayude” a otra descargar el equipo.

RECORDAR SIEMPRE QUE:

- El transformador u otros equipos dentro del laboratorio de Alta Tensión pueden conservar una cantidad de carga letal durante varias horas, aunque estos estuviesen desconectados de la fuente.
- Para descargar eficientemente un capacitor es necesario cortocircuitarlo tres veces.
- Un capacitor puede cargarse “solo” (por gradiente de campo eléctrico).
- Algunos materiales considerados buenos aislantes a baja tensión pueden llegar a ser buenos conductores a alta tensión.
- Es importante mantener prudente distancia de objetos metálicos como: armazones, estanterías, tuberías, que se extiendan hacia la zona de Alta Tensión, o cuya extensión sea desconocida.
- Cuando se trabaja con tensión vale la regla de “una mano en el bolsillo”
- Apagar una fuente de alta tensión, no implica que los equipos se descarguen automáticamente, es necesario descargarlos siempre con un mecanismo de puesta a tierra y una pértiga

ANEXO 3
PLANO LABORATORIO ALTA TENSIÓN

ANEXO 4
NORMA 60815

TABLA NORMA 60815 ¹⁷⁷

Nivel de Contaminación	Descripción del Ambiente	Distancia de fuga Nominal mínima (mm/kVφ-φ)
Ligero Nivel I	<p>Áreas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con calefacción.</p> <p>Áreas con baja densidad de industrias o casas pero sujetas a frecuentes vientos o lluvia.</p> <p>Todas las áreas situadas de 10 km a 20 km del mar y no expuestas a vientos directos provenientes del mar.</p> <p>Áreas agrícolas o Áreas montañosas</p>	16
Medio Nivel II	<p>Áreas con industrias que no producen humo contaminante y/o con densidad moderada de casas equipadas con calefacción.</p> <p>Áreas con alta densidad de casas pero sujetas a frecuentes vientos y/o lluvia.</p> <p>Áreas expuestas a vientos del mar pero no cercanas a la costa</p>	20
Alto Nivel III	<p>Áreas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de casas con calefacción que generen contaminación.</p> <p>Áreas cercanas al mar o expuestas a vientos relativamente fuertes procedentes del mar.</p>	25

¹⁷⁷ Norma IEC 815, pp. 11-12.

<p>Muy Alto Nivel IV</p>	<p>Áreas generalmente de extensión moderada, sujetas a contaminantes conductiva, y humo industrial, que produzca depósitos espesos de contaminantes.</p> <p>Áreas de extensión moderada, muy cercana a la costa y expuesta a rocío del mar, o a vientos muy fuertes con contaminación procedentes del mar.</p> <p>Áreas desérticas, caracterizadas por falta de lluvia durante largos períodos, expuesta a fuertes vientos que transporten arena y sal, y sujetas a condensación con regularidad.</p>	<p>31</p>
------------------------------	---	-----------

ANEXO 5

**IEEE STD 4-1995 STANDARD TECHNIQUES FOR HIGH-VOLTAGE
TESTING**

ANEXO 6
REPORTES

Generación y medición de alto voltaje en AC 100kV.

Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Campus Kennedy

Nivel

Grupo

Práctica Generación y medición de alto voltaje en AC 100kv

Periodo 2012

Apellidos

Luis Garcia

Marco Arias

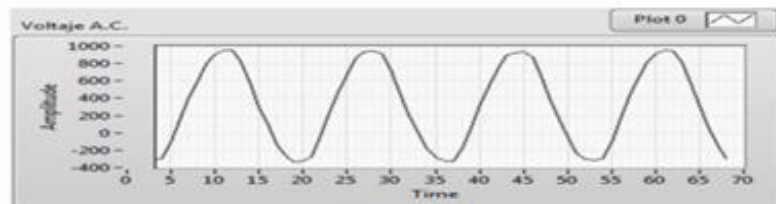
Pedro Maldonado

Lucia Salazar

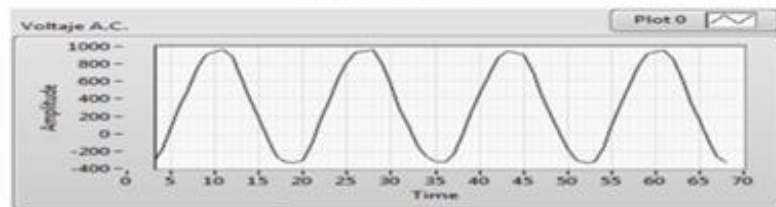
11/12/2012	9:37	Medición 1	Frecuencia	60.038	Voltaje A.C.	563.273
11/12/2012	9:37	Medición 2	Frecuencia	60.034	Voltaje A.C.	563.105
11/12/2012	9:37	Medición 3	Frecuencia	60.022	Voltaje A.C.	559.218
11/12/2012	9:37	Medición 4	Frecuencia	60.014	Voltaje A.C.	562.107
11/12/2012	9:37	Medición 5	Frecuencia	59.993	Voltaje A.C.	562.892
11/12/2012	9:37	Medición 6	Frecuencia	59.990	Voltaje A.C.	562.156

Señales | Especificaciones | Datos Guardados

Medición0



Medición1



Señales | Especificaciones | Datos Guardados

Generación y medición de alto voltaje en AC y DC.

Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Campus Kennedy

Nivel 7mo

Grupo 1

Práctica Generación y medición de alto voltaje en AC. y DC

Periodo 2012

Apellidos

Luis Paez

Pedro Maldonado

Jorge Ruales

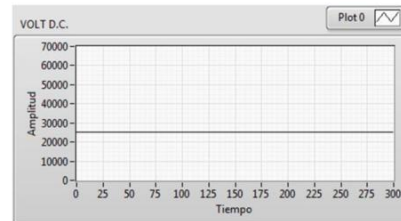
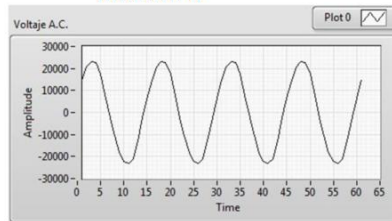
28/11/2012 18:22 Medición 1 Frecuencia 60.007 Voltaje A.C. 16.706.180 Voltaje D.C. 25.192.851

28/11/2012 18:22 Medición 2 Frecuencia 60.008 Voltaje A.C. 24.108.528 Voltaje D.C. 39.509.980

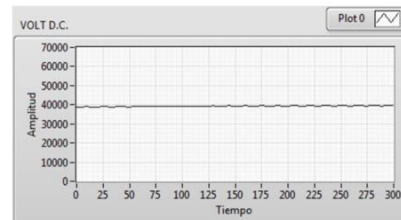
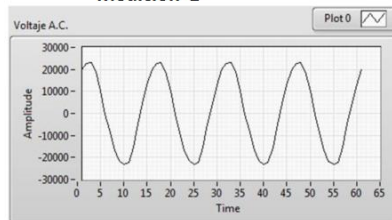
28/11/2012 18:22 Medición 3 Frecuencia 59.997 Voltaje A.C. 34.290.857 Voltaje D.C. 59.919.245

Señales Especificaciones Datos Guardados

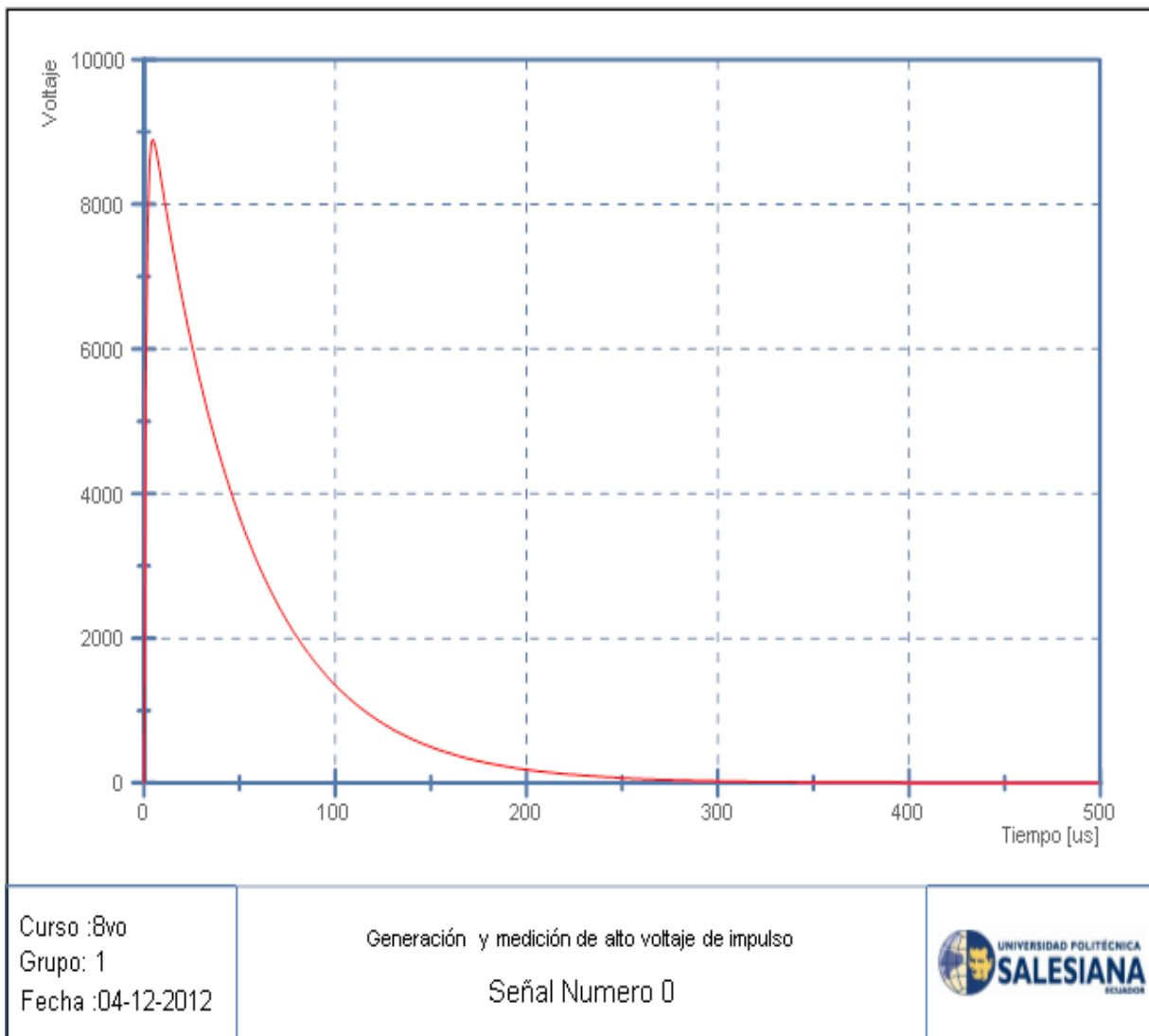
Medición 0



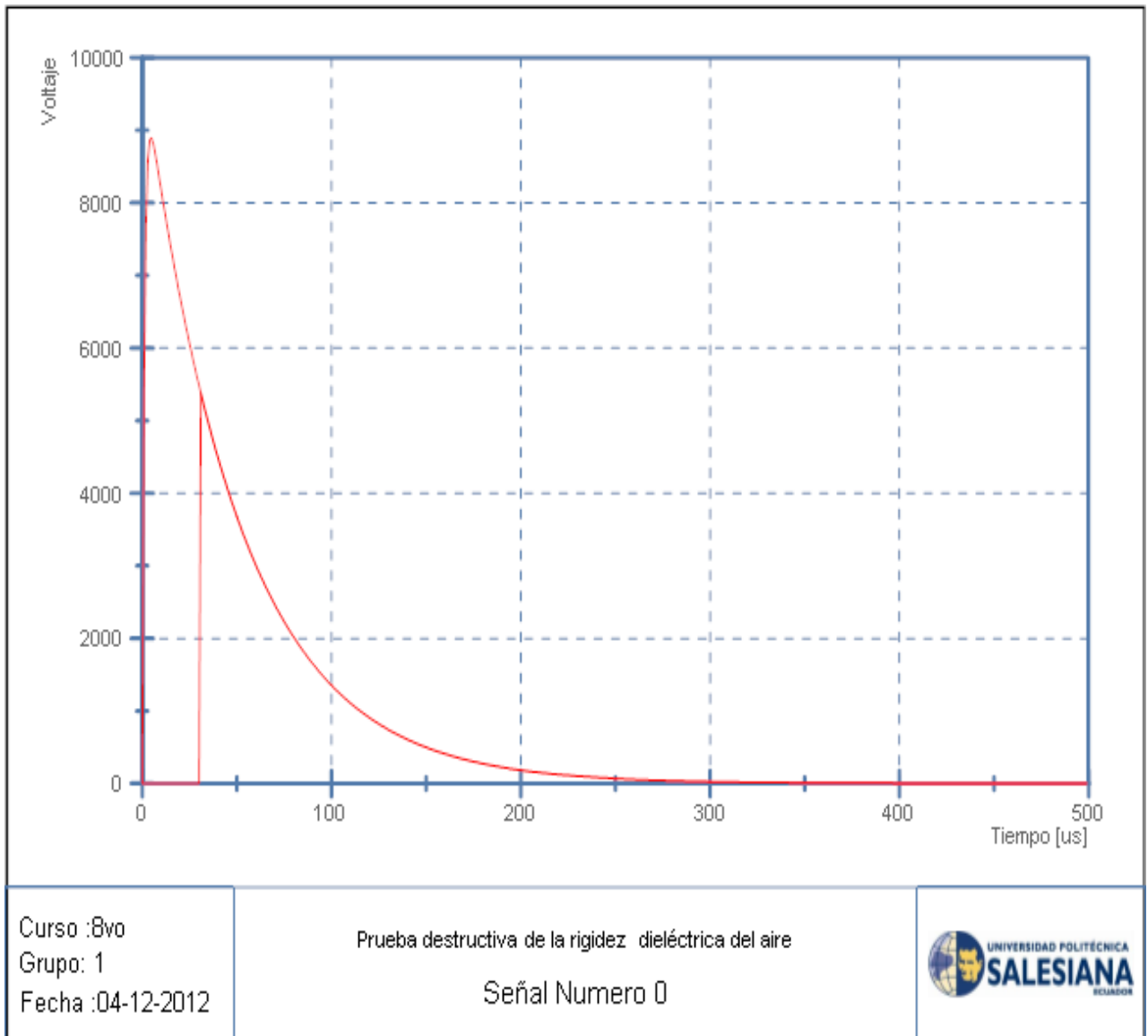
Medición 1



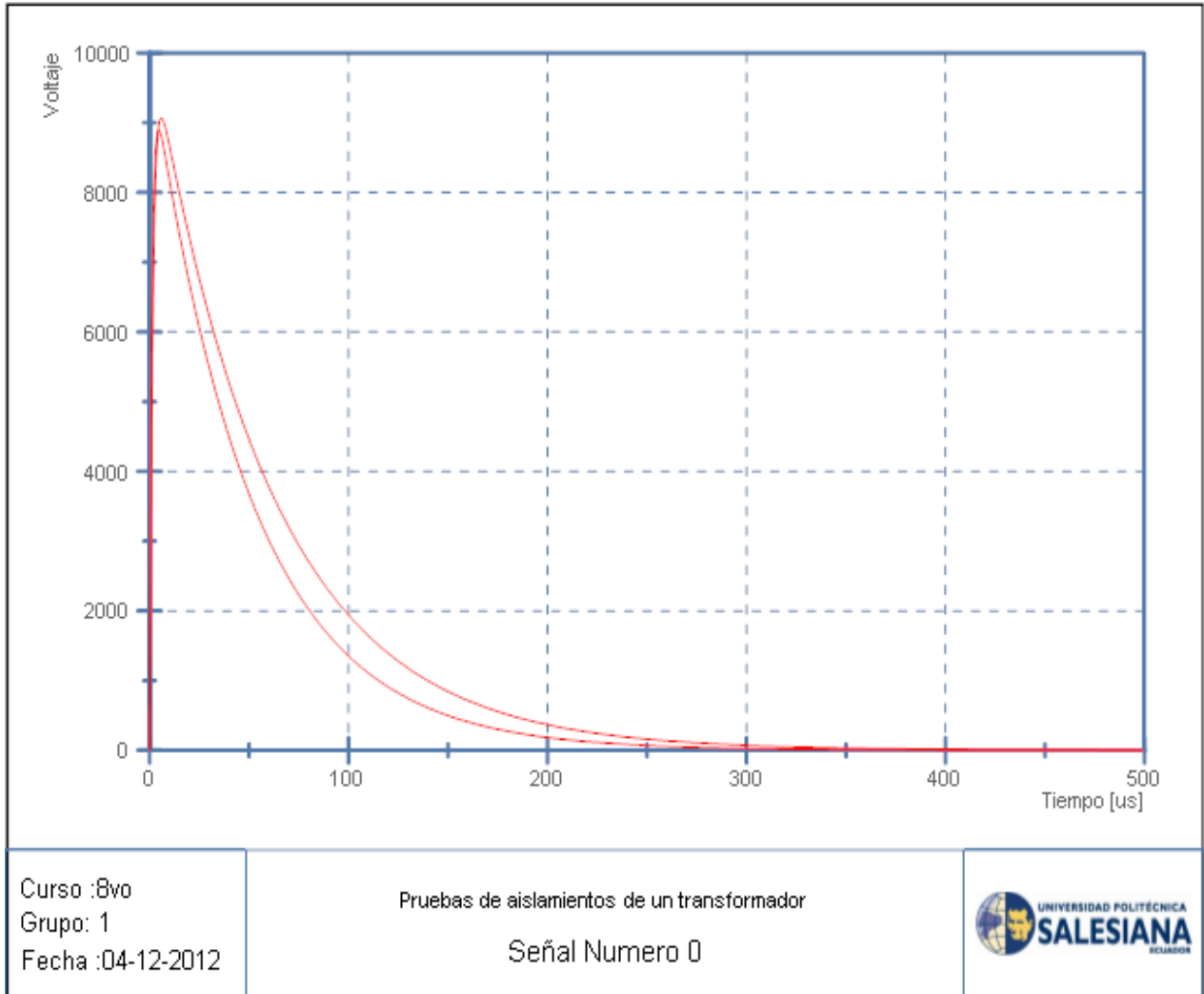
Generación y medición de alto voltaje de impulso



Prueba destructiva de la rigidez dieléctrica del aire



Pruebas de aislamientos de un transformador



Pruebas de aceite de un transformador

Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Campus Kennedy

Nivel 8vo

Grupo 1

Práctica Pruebas de aceite de un transformador con Desviación estándar de 43,391727 y un promedio de 20326,889250

Periodo 2012

Apellidos

Luis Fonseca

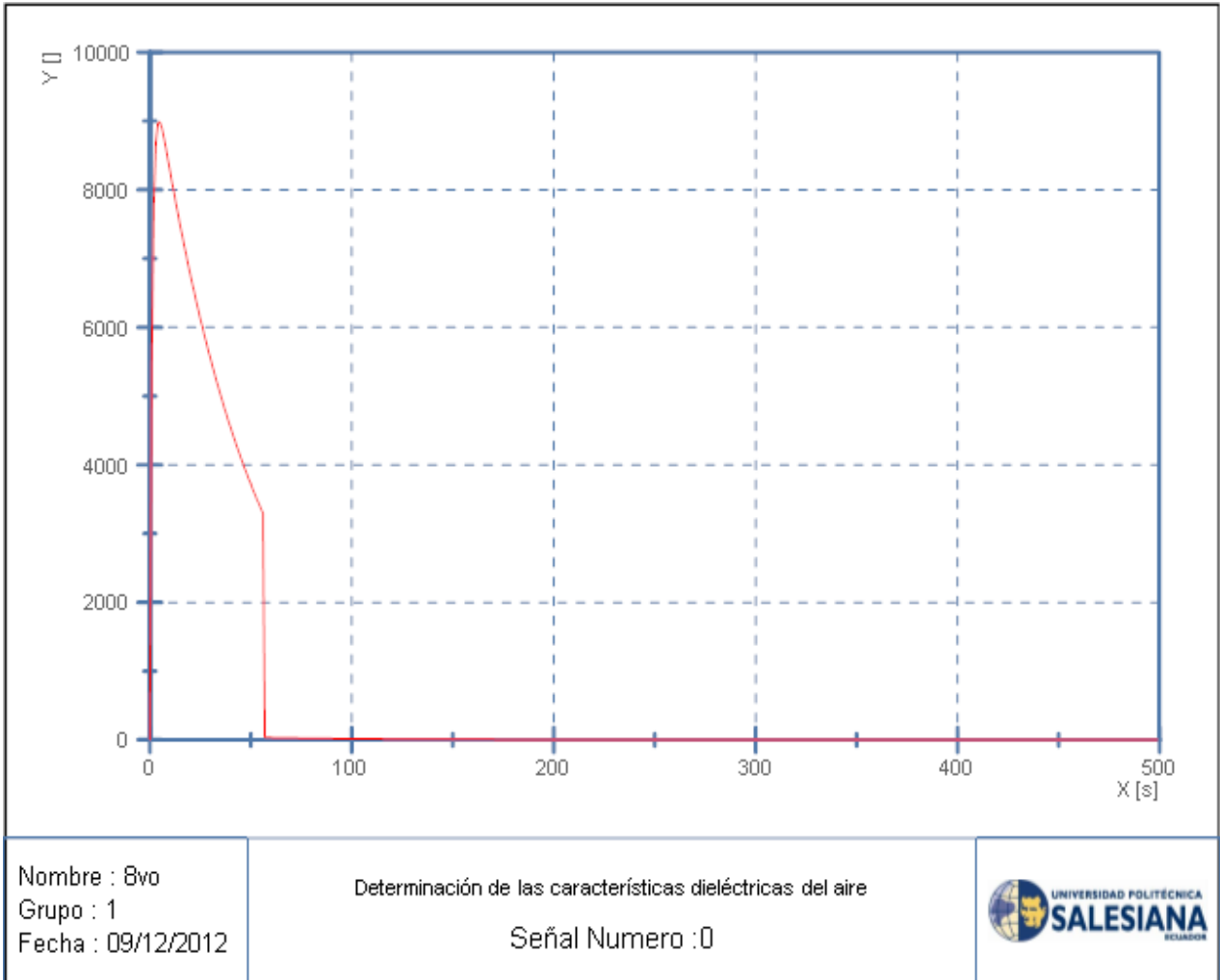
Natalia Flores

Jorge Paul Maldonado

17/12/2012	3:18	Medición 1	Frecuencia	60.023	Voltaje A.C.	20.376.872	Voltaje D.C.	22.007.641	Distancia Esferas	2.000	Temperatura	70.000
17/12/2012	3:19	Medición 2	Frecuencia	60.016	Voltaje A.C.	20.346.555	Voltaje D.C.	21.928.410	Distancia Esferas	2.000	Temperatura	75.000
17/12/2012	3:19	Medición 3	Frecuencia	59.993	Voltaje A.C.	20.279.064	Voltaje D.C.	21.798.556	Distancia Esferas	2.000	Temperatura	73.000
17/12/2012	3:20	Medición 4	Frecuencia	60.007	Voltaje A.C.	20.305.066	Voltaje D.C.	21.868.412	Distancia Esferas	2.000	Temperatura	76.000
17/12/2012	3:20	Medición 5	Frecuencia	59.960	Voltaje A.C.	20.284.084	Voltaje D.C.	21.804.704	Distancia Esferas	2.000	Temperatura	73.000

Señales | Especificaciones | Datos Guardados

Determinación de las características dieléctricas del aire



Rigidez dieléctrica del aire a diferentes presiones

Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Campus Kennedy

Nivel 8vo

Grupo 1

Práctica Rigidez dieléctrica del aire a diferentes presiones

Periodo 2012

Apellidos

Luis Morales

Pedro Salgado

Francisco Garcia

17/12/2012 4:27	Medición 1	Frecuencia	59.994	Voltaje A.C.	29.860.432	Voltaje D.C.	37.851.982	Distancia Esferas	0,001	Presión	0,438
17/12/2012 4:27	Medición 2	Frecuencia	60.051	Voltaje A.C.	35.381.782	Voltaje D.C.	46.938.420	Distancia Esferas	0,001	Presión	0,587
17/12/2012 4:29	Medición 3	Frecuencia	60.035	Voltaje A.C.	45.275.407	Voltaje D.C.	63.278.586	Distancia Esferas	0,001	Presión	0,833
17/12/2012 4:29	Medición 4	Frecuencia	60.077	Voltaje A.C.	68.724.523	Voltaje D.C.	101.042.901	Distancia Esferas	0,001	Presión	1.476

Señales | Especificaciones | Datos Guardados

Prueba de aisladores

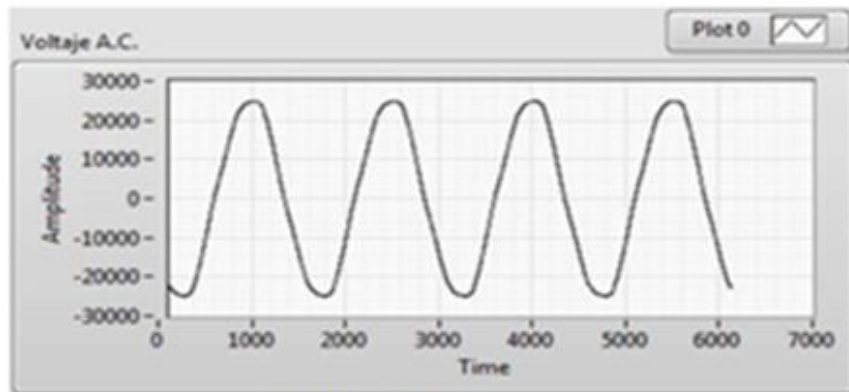
Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Campus Kennedy

Nivel 8vo
Grupo 1
Practica Prueba de aisladores
Periodo 2012
Apellidos

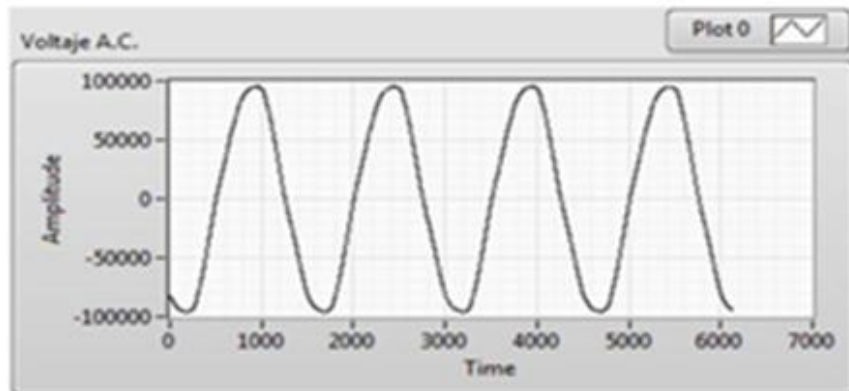
Luis Perez
Marco Arias
Jorge Maldonado

13/12/2012 13:48 Medición 1 Frecuencia 60.023 Voltaje A.C. 18.083.825 Contaminación 0,000
13/12/2012 13:49 Medicion 2 Frecuencia 59.982 Voltaje A.C. 69.065.898 Contaminación 0,000

Medición 1



Medición 2



Características /Especificaciones

AISLADOR TIPO ESIPIGA (PIN), DE PORCELANA, CLASE ANSI 56-1, 25 kV		
ITEM	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
1	MATERIAL	Porcelana procesada en humedo
1.1	Norma de fabricación	ANSI C29.6- 1996
1.2	Clase	ANSI 56-1
1.3	Norma del esmaltado	ANSI 70
2	DISTANCIAS CRÍTICAS	
2.1	Distancia de arco.	178
2.3	Distancia de fuga	330
2.4	Altura mínima del espigo.	152
3	VALORES MECÁNICOS	
3.1	Resistencia electromecánica	11.1 kN
4	VALORES ELECTRICOS	
4.1	Tensión máxima de operación	25 kV
4.2	Tensión de flameo de baja frecuencia en seco.	95 kV
4.3	Tensión de flameo de baja frecuencia en húmedo.	60 kV
4.4	Tensión de flameo crítico al impulso positivo	150 kV
4.5	Tensión de flameo crítico al impulso negativo	190 kV
4.6	Tensión de perforación a baja frecuencia	130 kV
7	RADIO INFLUENCIA	
7.1	Esmalte anti-radióinterferencia RF.	SI
7.2	Tensión de prueba RMS a tierra.	15 kV
7.3	RIV máximo AT a 1000 KHz μ V.	100
8	DETALLES CONSTRUCTIVOS	NOTA 1
9	ACABADO	
9.1	Color del esmalte	café
10	ROSCA DEL AISLADOR	
10.1	Diámetro	35 mm

Señales | Especificaciones | Datos Guardados

Prueba de aisladores en condiciones de contaminación

Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Campus Kennedy

Nivel 8vo

Grupo 1

Práctica Prueba de aisladores en condiciones de contaminación

Periodo 2012

Apellidos

Luis Garcia

Diego Vaca

Luis Montenegro

13/12/2012 14:34 Medicion 1 Frecuencia 60.007 Voltaje A.C. 17.559.656 Contaminación 16.000
13/12/2012 14:36 Medicion 2 Frecuencia 59.986 Voltaje A.C. 47.910.040 Contaminación 16.000

Características /Especificaciones

AISLADOR DE SUSPENSION, DE PORCELANA, CLASE ANSI 52-1		
ITEM	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
1	MATERIAL	Porcelana procesada en humedo
1.1	Porcelana	
1.1.1	Norma de fabricación	ANSI C29 2- 1992
1.1.2	Clase	ANSI 52-1
1.1.3	Norma del esmaltado	ANSI 70
1.2	Hierro forjado	
1.2.1	Tipo de acoplamiento	devis
	Norma de galvanizado	ASTM A-153
2	DISTANCIAS CRÍTICAS	
2.1	Distancia de arco.	114 mm
2.3	Distancia de fuga.	180 mm
3	VALORES MECÁNICOS	
3.1	Resistencia electromecánica.	44 kN
3.2	Resistencia al impacto.	5 N.m
3.3	Prueba de carga de rutina.	22 kN
3.4	Prueba de carga sostenida.	27 kN
5	VALORES ELÉCTRICOS	
5.1	Tensión de flameo de baja frecuencia en seco.	80 kV
5.2	Tensión de flameo de baja frecuencia en húmedo.	30 kV
5.3	Tensión de flameo crítico al impulso positivo.	100 kV
5.4	Tensión de flameo crítico al impulso negativo.	100 kV
5.5	Tensión de perforación a baja frecuencia	80 kV
6	RADIO INFLUENCIA	
6.1	Voltaje de prueba RMS a tierra, KV.	7.5 kV
6.2	RIV máximo AT a 1000 KHz, μ V.	50
7	DETALLES CONSTRUCTIVOS	NOTA 1
8	ACABADO	
8.1	Galvanizado	en caliente
8.2	Norma de galvanizado	ASTM A -153
8.3	Espesor de galvanizado mínimo promedio en la pieza	85 micras
8.4	Color del esmalte	café

Prueba de pararrayos

Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Eléctrica
Campus Kennedy

Nivel 8vo

Grupo 1

Práctica Prueba del pararrayos

Periodo 2012

Apellidos

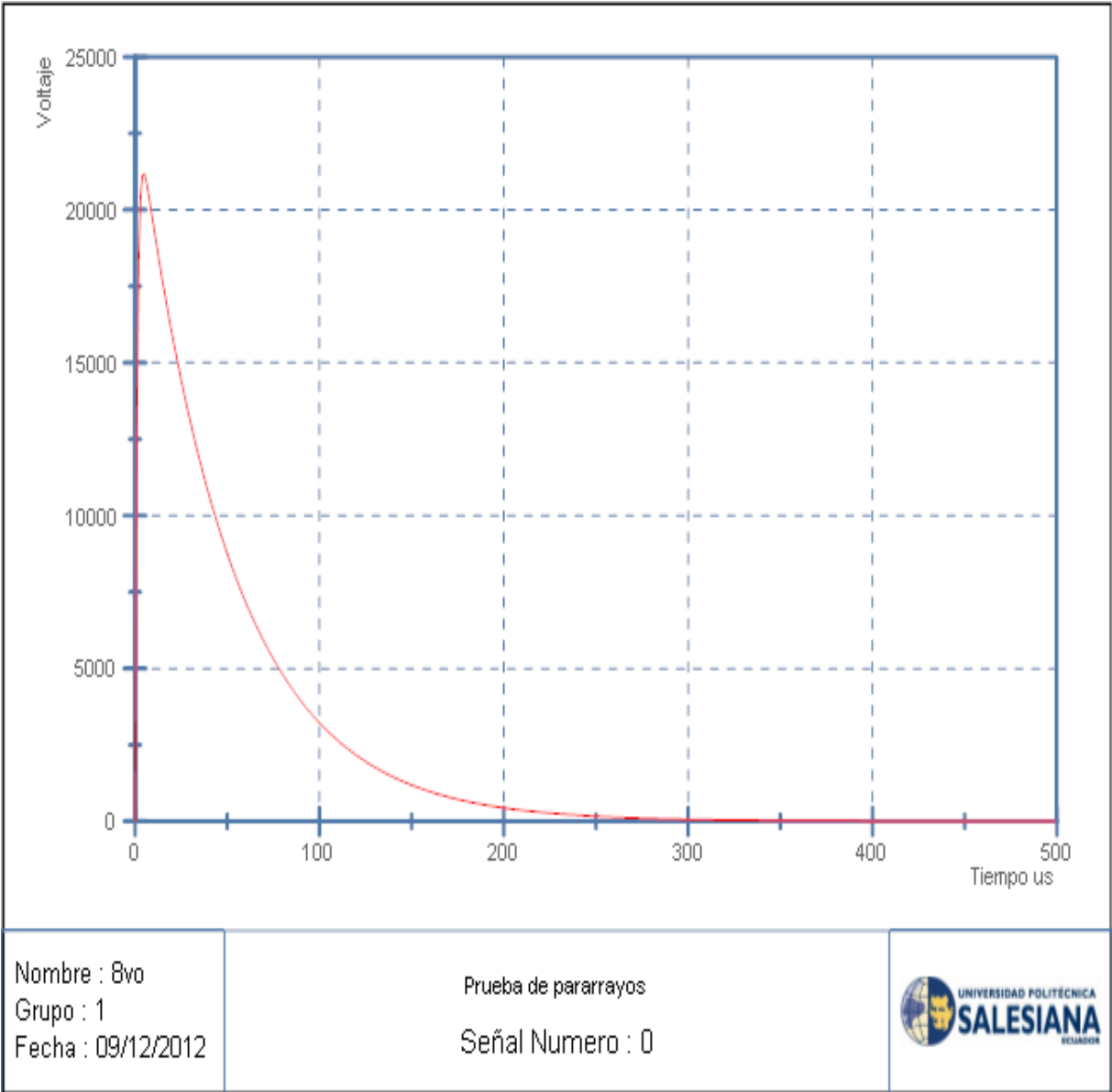
Luis Morales

Pedro Arias

Jorge Sotalin

20/12/2012 15:54	Medición 1	Frecuencia	60.009	Voltaje A.C.	54.518.145	Voltaje D.C.	77.740.015	Voltaje Impulso	23.812.797	Distancia Esferas	285.000
20/12/2012 15:54	Medición 2	Frecuencia	59.996	Voltaje A.C.	51.723.926	Voltaje D.C.	73.284.860	Voltaje Impulso	33.832.211	Distancia Esferas	227.000
20/12/2012 15:54	Medición 3	Frecuencia	59.996	Voltaje A.C.	41.884.330	Voltaje D.C.	57.320.317	Voltaje Impulso	12.089.897	Distancia Esferas	211.000
20/12/2012 15:54	Medición 4	Frecuencia	59.989	Voltaje A.C.	32.051.190	Voltaje D.C.	41.239.487	Voltaje Impulso	65.499.162	Distancia Esferas	227.000

ITEM	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
1	CONDICIONES DEL SERVICIO	
1.1	Características ambientales del entorno	
1.1.1	Altura sobre nivel de mar [msnm]	hasta 3000 m
1.1.2	Temperatura ambiente promedio [°C]	30
1.1.3	Instalación	Intemperie
1.1.4	Humedad relativa del medio ambiente	> 70%
1.2	Características eléctricas	
1.2.1	Voltaje del sistema	22 a 24 KV
1.2.2	Conexión del sistema	Estrella 4 cables con neutro múltiple
1.2.3	Nivel del pararrayos (Ur)	18 kV
1.2.2	Frecuencia	60 Hz
1.2.3	Clase	Distribución
1.2.4	Método de fijación	Estructura de soporte en cruceta
1.2.5	Alivio de presión	Nivel B (20 kA rms simétricos)
1.2.6	Máxima potencia, onda cuadrada (repetible 1 m)	1.83 kJ/kV, tensión continua
1.2.7	Alta corriente de corta duración	(65 kA) 3.17 kJ/kV, tensión continua
2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
2.1	Norma de diseño y construcción	ANSI C- 62.1.2/IEC 60099-4
2.2	Dimensiones	Especificar
2.3	Peso	Especificar
2.4	Material de varistor	Oxido metálico
2.5	material de la envolvente	polímero o caucho siliconado
2.6	MCOV	15.3 kV ± 5%
2.7	Nivel de aislamiento (BIL)	150 kV
2.8	Tensión nominal de descarga	58,8 kV
2.9	Corriente de descarga nominal	10 kA
2.10	Distancia mínima de fuga	640 mm
2.11	Módulo de desconexión	NOTA 1
2.12	Resistencia a la alta corriente	65 kA
3	CONECTORES	
3.1	Conector para cable ACSR calibre	4-4/0 AWG
3.2	Conector para cable del sistema de tierra	2 AWG
4	ACCESORIOS	
4.1	Para fijación	Para estructura de soporte en cruceta



Nombre : 8vo
Grupo : 1
Fecha : 09/12/2012

Prueba de pararrayos
Señal Numero : 0



REFERENCIAS

- [1]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007, pp. 19-26.
- [2]. C. Strauss, "Practical Electrical Network Automation and Communication Systems" Editorial Butterworth-heinemann, 2003, pp. 108 -118.
- [3]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical SCADA for Industry", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 1-10.
- [4]. A.Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007, pp. 255-256.
- [5]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Fiber Optics", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 46-47.
- [6]. F. G. Gutiérrez, "Sistemas de Aeronaves de Turbina IV", Volumen 4, pp 223-224.
- [7]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 116-123.
- [8]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Fiber Optics", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 54-66.
- [9]. J. R. Vacca, "OPTICAL NETWORKING BEST PRACTICES HANDBOOK", Wiley-Interscience, 2006, p 98.
- [10]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007, p 258.
- [11]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical SCADA for Industry", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 182-188.
- [12]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 40-44.
- [13]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007, p. 259.
- [14]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical SCADA for Industry", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 188-189.
- [15]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 59-61.

- [16]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007. p. 259.
- [17]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical SCADA for Industry", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, p 190.
- [18]. W. Tomasi, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 4ª ed", Prentice Hall México, 2003, p 10.
- [19]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical SCADA for Industry", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, p 179.
- [20]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007, p 262.
- [21]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical SCADA for Industry", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, p 178.
- [22]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007. p. 263.
- [23]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007. pp. 316-326.
- [24]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 255-264.
- [25]. AS-Interface, "Introducción y Nociones fundamentales", Manual, Siemens, pp. 9-20.
- [26]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 274-280.
- [27]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007, pp. 327-332.
- [28]. P. Zhang, Industrial Control Technology A Handbook for Engineers and Researchers, Elsevier, 2008, pp. 289-291.
- [29]. PROFIBUS, PROFIBUS system description, 2012, <http://www.profibus.com/nc/downloads/downloads/profibus-technology-and-application-system-description/display/>
- [30]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, p. 299.

- [31]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Fiber Optics", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 204-208.
- [32]. D. Bailey, E. Wrigt, "Practical Data Communications for Instrumentation and Control", Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, pp. 302-304.
- [33]. E. Herrera, "Tecnologías y redes de transmisión de datos", Limusa 2003, pp. 127-129.
- [34]. P. Rob, C. Coronel, "Sistemas de bases de datos: diseño, implementación y administración", (5ª ed.), Ediciones Paraninfo, S.A., 2004, p. 806.
- [35]. P. Gil Vázquez, J. Pomares Baeza, Francisco Candelas Herias, "Redes y transmisión de datos", Universidad de Alicante. Servicio de publicaciones, 2010, p 81.
- [36]. J. A. Gómez, "Servicios en Red", Editorial Editex, 2010, pp. 212-213.
- [37]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007, p. 265.
- [38]. A. Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA", Marcombo, S.A, 2ª ed., 1ª imp. 2007, pp. 265-268.
- [39]. P. Rob, C. Coronel, "Sistemas de bases de datos: diseño, implementación y administración", (5ª ed.), Ediciones Paraninfo, S.A., 2004, pp. 804-806.
- [40]. W. Saslow, "Electricity, Magnetism, and Light", 1st Edition, Academic Press, 2002, p. 172.
- [41]. R. A. Serway, J. S. Faughn, "Física Para Bachillerato General", Volumen 2, Cengage Learning Editores, 2006, p. 97.
- [42]. A. Martínez Jiménez, "Dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas", Ediciones paraninfo, S.A., 2012, pp. 104-105.
- [43]. A. Martínez Jiménez, "Dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas", Ediciones paraninfo, S.A., 2012, pp. 105-106.
- [44]. O. García Márquez, "La puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el rat", MARCOMBO, S.A., 1990, p. 8-10.
- [45]. IEEE guide for safety in AC substation grounding, IEEE Std 80-2000, Edición 2000, pp. 30-32.

- [46]. PROCOBRE," Mallas de tierra", Primera Edición 1999,http://www.procobre.org/archivos/pdf/download_biblioteca/MANUALES/Mallas_de_Tierra.pdf
- [47]. R. Boylestad, "Introducción al análisis de circuitos", Prentice Hall México, 2004, pp. 528 – 536.
- [48]. S. Segui Chillet, "Fundamentos básicos de la electrónica de potencia ", Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicación, 2002, pp. 17-20.
- [49]. M. H. Rashid, "ELECTRÓNICA DE POTENCIA: CIRCUITOS, DISPOSITIVOS Y APLICACIONES " 3ª edición, PRENTICE HALL México, 2005, pp. 68-119.
- [50]. IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing, IEEE Std 4-1995, pp. 19-22.
- [51]. IEEE Standard for SCADA and Automation Systems, IEEE Std C37.1™-2007.
- [52]. P. Gil Vázquez, J. Pomares Baeza, F. Candelas Herias, "Redes y transmisión de datos", Universidad de Alicante. Servicio de publicaciones, 2010, pp. 85-86.
- [53]. P. Gil Vázquez, J. Pomares Baeza, F. Candelas Herias, "Redes y transmisión de datos", Universidad de Alicante. Servicio de publicaciones, 2010, pp 82-84.
- [54]. J. M. Huidobro Moya, "SISTEMAS TELEMÁTICOS, ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN E INFORMÁTICOS", 3ª Edición, Ediciones PARANINFO, S.A., 2005, pp. 188-189.
- [55]. J. C. Martín Castillo, "INFRAESTRUCTURAS COMUNES DE TELECOMUNICACIÓN EN VIVIENDAS Y EDIFICIOS", EDITEX, S.A., 2010, p. 54.
- [56]. J. M. Huidobro Moya, "REDES DE ÁREA LOCAL", Ediciones PARANINFO, S.A., 2006, pp. 117-123.
- [57]. J. M. Huidobro Moya, "REDES DE ÁREA LOCAL", Ediciones PARANINFO, S.A., 2006, pp. 127-128.
- [58]. J. M. Huidobro Moya, "REDES DE ÁREA LOCAL", Ediciones PARANINFO, S.A., 2006, p 124.
- [59]. J. R. Lajara Vizcaíno, J. Pelegri Sebastia, "LabVIEW: Entorno Grafico de Programación", 2ª Edición, MARCOMBO, S.A., 2011, pp. 189-195.
- [60]. J. M. Molina Martínez, M. Jiménez Buendía, "PROGRAMACIÓN GRAFICA PARA INGENIEROS", MARCOMBO, S.A., 2010, pp. 110-113.

- [61]. A. Senner, "Principios de Electrotecnia", REVERTE, 1978, pp. 43-44.
- [62]. J. Hyde, J. Reque, A. Cuspinera, "CONTROL ELECTRO NEUMÁTICO Y ELECTRÓNICO", MARCOMBO, S.A., 1997, pp. 51-52.
- [63]. O. Limann, "FUNDAMENTOS DE RADIO", MARCOMBO, S.A., 1989, p. 25.
- [64]. J. M. Molina Martínez, M. Jiménez Buendía, "PROGRAMACIÓN GRAFICA PARA INGENIEROS", MARCOMBO, S.A., 2010, pp. 117-126.
- [65]. INTEL CORPORATION, Placa Intel® DH67BL para equipos de sobremesa, link: <http://www.intel.es/content/www/es/es/motherboards/desktop-motherboards/desktop-board-dh67bl.html> [consulta: 28 de enero 2013]
- [66]. J. M. Molina Martínez, M. Jiménez Buendía, "PROGRAMACIÓN GRAFICA PARA INGENIEROS", MARCOMBO, S.A., 2010, pp. 195-200.
- [67]. N. K. Roy, "India Corner Activities at High Voltage Laboratory, National Institute of Technology, Durgapur-India", Dept. of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Durgapur-India.
- [68]. Shigemitsu Okabe, Toshihiro Tsuboi, Genyou Ueta, Jun Takami and Hideo Hirose, "Basic Study of Fitting Method for Base Curve Extraction in Lightning Impulse Test Techniques", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 17, No. 1, February 2010.
- [69]. IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing, IEEE Std 4-1995, p. 19-21.
- [70]. IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing, IEEE Std 4-1995, p. 58.
- [71]. E. Kuffel, W.S. Zaengl and J. Kuffel, "High Voltage Engineering Fundamentals", Second Edition, Butterworth-Heinemann, 2000, pp. 333-338.
- [72]. E. Sili, J. Pascal Cambronne, "A New Empirical Expression of the Breakdown Voltage for Combined Variations of Temperature and Pressure", World Academy of Science, Engineering and Technology 63 2012.
- [73]. G. Enríquez Harper, "EL ABC DE LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS 1", LIMUSA, México, 1989, pp. 279-284.
- [74]. Guide for transformer impulse tests, IEEE C 57.98-2011.
- [75]. Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Oils of Petroleum Origin Using VDE Electrodes, ASTM D1816.

- [76]. Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Liquids Using Disk Electrodes, ASTM D877.
- [77]. IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing, IEEE Std 4-1995, pp. 92-94.
- [78]. Test Methods for Electrical Power Insulators, ANSI C29.1, pp. 8-9.
- [79]. R. Díaz, F. Fernández, J. Silva, "Simulation and tests on surge arresters in high-voltage laboratory", High-Voltage Laboratory, National University of Tucuman, 4000 Argentina.
- [80]. Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (> 1 kV), IEEE Std C62.11TM-2005.
- [81]. L. A. Siegert C. "ALTA TENSIÓN Y SISTEMAS DE TRANSMISIÓN", LIMUSA, México, p. 230.
- [82]. C. F. Tedesco, "Ascensores electrónicos y variadores de velocidad", 1^{ra} edición, buenos aires, librería y editorial Alsina; Tecnibook Ediciones 2011, pp. 159-162.
- [83]. P. Rob, C. Coronel, "Sistemas de bases de datos: diseño, implementación y administración", 5^a ED., Ediciones Paraninfo, S.A., 2004, p. 210.