

**LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UIS: ESTADO ACTUAL DE LOS
SISTEMAS DE MEDICIÓN**

**DIEGO ARMANDO BELTRÁN BAUTISTA
JOSÉ AURELIANO PINEDA CAMACHO
PEDRO MANUEL RUEDA PEÑA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2013

**LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UIS: ESTADO ACTUAL DE LOS
SISTEMAS DE MEDICIÓN**

**DIEGO ARMANDO BELTRÁN BAUTISTA
JOSÉ AURELIANO PINEDA CAMACHO
PEDRO MANUEL RUEDA PEÑA**

**TESIS DE GRADO EN LA MODALIDAD INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS**

Director:

JULIO CÉSAR CHACÓN VELASCO

Ingeniero Electricista – Magíster en potencia eléctrica

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios quien ha sido mi fuerza en momentos de dificultad, por darme sabiduría y entendimiento para la consecución de esta meta.

A mis padres, que con sus consejos, su sabiduría, su amor y su apoyo hicieron parte crucial de la culminación de este proyecto.

A mi familia, que en diferentes momentos de mi vida me han prestado un apoyo, especialmente a mis tíos Julio Cesar, Pablo Sexto y mi prima Elizabeth.

A mis amigos y compañeros de toda una vida, que me han acompañado y apoyado en este largo camino entre ellos Juan Guillermo, Marzan, Luis Cortes Oscar Rueda, Nelson Beltrán y Milton Oros.

A las personas que hicieron posible la realización de este proyecto como lo fueron: Néstor Rivera, Mario Martínez, Javier Acevedo, quienes desde la industria nos dieron su apoyo incondicional.

Y finalmente a mi novia que ha representado un apoyo incondicional, y una voz de aliento en aquellos momentos en los que más la necesitaba, gracias Jessica.

Diego Beltrán

A Dios todo poderoso por darme la sabiduría, entendimiento y fortaleza para lograr este triunfo maravilloso para mi vida.

A mis padres que desde el cielo fueron mi motor, mi guía y el apoyo constante para no desvanecer ante las dificultades que se me presentaron en el transcurso de este ciclo universitario.

A esta familia tan espectacular por ser un ejemplo de unidad, además del granito de arena que cada quien aportó para que este sueño fuese una realidad.

A mis amigos de proyecto, que creyeron en el potencial que les podía aportar para culminar esta investigación de la mejor manera.

A todos aquellas personas externas que en el transcurso de mi existencia creyeron en mis cualidades y forma de ser, especialmente a mi novia la cual ha sido incondicional sin importar el estado emocional en el que me encuentre.

PEDRO MANUEL

En primer lugar a Dios porque ha estado siempre conmigo, dándome la fuerza, la fortaleza para continuar y por permitirme hacer este sueño realidad.

A mis padres Aura Alicia Camacho Medina y Aureliano Pineda Abaunza; que son el pilar más importante en mi vida; quienes con su esfuerzo y apoyo incondicional me dieron la oportunidad de tener un mejor futuro y por ser ejemplos de humildad y perseverancia.

Al profesor Julio César Chacón Velasco, director de proyecto, por su asesoría y guía en la elaboración de esta investigación así como por toda su colaboración.

A mis profesores, gracias por su tiempo, porque a lo largo de mi carrera profesional me brindaron sus conocimientos y fueron mi guía en momentos difíciles.

A mis compañeros de proyecto, ante todo por su valiosa amistad y por acompañarme durante este arduo camino y compartir conmigo alegrías y tristezas pero que se ven compensadas al terminar esta etapa profesional.

Por último familiares y amigos que de alguna manera han contribuido en el logro de este importante objetivo.

JOSÉ AURELIANO PINEDA CAMACHO

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Julio César Chacón Velasco por su excelente dirección, asesoría y colaboración durante todo el desarrollo de nuestra investigación.

A los profesores Dr. Gabriel Ordoñez Plata y Dr. Gerardo Latorre, por su asesoría y gestión para el desarrollo de la Tesis.

A los Ingenieros Néstor Rivera, Mario Martínez, Javier Acevedo por la gran colaboración para la culminación del proyecto.

A los docentes de la Universidad Industrial que durante el transcurso de este ciclo universitario impartieron todos sus conocimientos y experiencias con total agrado y compromiso.

A la Universidad Industrial de Santander, por permitirnos hacer parte de esta solemne Institución.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	25
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	28
1.1 OBJETIVOS	28
1.1.1 Objetivo general	28
1.1.2 Objetivos específicos	28
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO	28
1.3 JUSTIFICACIÓN	29
1.4 ALCANCE	30
1.5 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	30
2. MEDICIÓN EN ALTA TENSIÓN	32
2.1 MEDICIÓN DIRECTA	33
2.2 MEDICIÓN INDIRECTA	36
2.3 MEDICIÓN DE ALTA TENSIÓN DC	37
2.3.1 Resistencias de alta tensión y divisores de tensión resistivos	39
2.3.2 Voltmetros electrostáticos	42
2.3.3 Espinterómetro o explosor a esferas	43
2.4 MEDICIÓN DE ALTA TENSIÓN AC	44
2.4.1 Requisitos para la prueba en AC	45
2.4.2 Sistema para la medición de la amplitud de las tensiones de alterna	45
2.4.3 Divisor de tensión	45
2.4.3.1 Divisor capacitivo amortiguado	46
2.4.3.2 Divisor resistivo	47
2.4.3.3 Divisor capacitivo	48

2.5 MEDICIÓN DE TENSIONES IMPULSO	49
2.5.1 Fase de carga.	51
2.5.2 Fase de descarga	51
2.6 MEDICIÓN DE ALTA TENSIÓN EN LA UIS	53
3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS	57
3.1 EQUIPOS DISPONIBLES	58
4. ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE MEDIDA	69
4.1 GENERADOR DE IMPULSOS DE TENSIÓN (GIT)	69
4.2 DIVISOR CAPACITIVO AMORTIGUADO	74
4.3 TRANSFORMADOR ELEVADOR DE TENSIÓN TIPO TANQUE	76
4.4 ESPINTERÓMETRO TIPO VERTICAL	79
4.5 CHISPÓMETRO	81
5. ESTUDIO DE LAS RELACIONES DE TRANSFORMACIÓN DE LOS DIVISORES DE TENSIÓN	82
5.1 DIVISOR CAPACITIVO AMORTIGUADO	82
5.2 DIVISOR RESISTIVO	92
5.2.1 Evaluación de la incertidumbre en regresión lineal	98
6. DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD DEL LAT	100
6.1 MALLA DE PUESTA A TIERRA	100
6.1.1 Incertidumbre en la medición de la resistencia puesta a tierra	111
6.1.2 Equipotencialización de la malla de puesta a tierra del LAT	121
6.2 SISTEMA DE TRANCA PUERTA	124
6.3 APANTALLAMIENTO, JAULA DE FARADAY	124
6.4 OTRAS DISPOSICIONES	125
7. SOLUCIÓN A ALGUNOS PROBLEMAS DE SEGURIDAD DEL LAT	128

7.1 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	129
7.2 PUNTOS DE REFERENCIA DESCONECTADOS	141
7.3 SEÑALIZACIÓN	142
7.3.1 Código de colores de los conductores	147
7.4 OBSTÁCULOS, TERMINALES, BARRAJES, AISLAMIENTO DETERIORADO	147
7.4.1 Barraje equipotencial	148
7.4.2 Canaleta porta cable	149
7.4.3 Diagrama unifilar	149
8. CONCLUSIONES	150
9. RECOMENDACIONES	152
BIBLIOGRAFÍA	153
ANEXOS	156

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Medición general indirecta para AT.	37
Figura 2. Resistencia serie	39
Figura 3. Divisor de tensión resistivo	41
Figura 4. Tipos de voltmetros electrostáticos	42
Figura 5. Separaciones físicas de las esferas	44
Figura 6. Divisor capacitivo amortiguado	47
Figura 7. Divisor resistivo	48
Figura 8. Divisor capacitivo	49
Figura 9. Diagrama de funcionamiento del generador de varias etapas.	50
Figura 10 Circuito que representa la fase de carga.	51
Figura 11. Circuito que representa la fase de descarga.	52
Figura 12. Circuito equivalente del generador de impulsos de tensión.	52
Figura 13. Esquema de medición UIS.	55
Figura 14. Circuito para impulso atmosférico. Onda completa y recortada.	55
Figura 15. Circuito para impulso maniobra. Onda completa.	56
Figura 16. Generador de impulso de tensión.	59
Figura 17. Unidad de carga del GIT.	61
Figura 18. Consola de mando del GIT.	62
Figura 19. Divisor capacitivo amortiguado.	62
Figura 20. Espinterómetro.	63
Figura 21. Consola de mando del espinterómetro.	64
Figura 22. Transformador elevador de tensión.	65
Figura 23. Consola del transformador elevador de tensión.	66
Figura 24. Chispómetro	66
Figura 25. Osciloscopio.	67

Figura 26. Terminal defectuosa GIT.	70
Figura 27. Punto de anclaje del SPT.	70
Figura 28. Conector fisurado J.X 1.	71
Figura 29. Dispositivo de accionamiento.	72
Figura 30. Punto de conexión del equipo de medición.	73
Figura 31. Punto de conexión del equipo de medición.	73
Figura 32. Bornera de conexión superior.	74
Figura 33. Punto de anclaje con varias conexiones.	75
Figura 34. Terminal tipo pinza.	75
Figura 35. Conexión entre instrumento de prueba y resistencia Shunt.	76
Figura 36. Terminal tipo mariposa	77
Figura 37. Conductor consola de mando para pruebas en AC	77
Figura 38. Consola de mando tensión alterna	78
Figura 39. Consola parte posterior.	79
Figura 40. Vista general del espinterómetro	80
Figura 41. Esferas de cobre defectuosa y corregida.	80
Figura 42. Chispómetro.	81
Figura 43. Unidad M4100	83
Figura 44. Módulo M4151	84
Figura 45. Celda de aislamiento líquido	85
Figura 46. Resultado del auto calibración	86
Figura 47. Diseño de medición capacitivo del lado de AT	87
Figura 48. Montaje de la medición con el equipo M4100	87
Figura 49. Esquema de medición capacitivo de BT	88
Figura 50. Esquema de medición de los módulos capacitivos de AT	89
Figura 51. Resultados de la medición divisor capacitivo amortiguado	90
Figura 52. Circuito para realizar la prueba de la RTDR	92
Figura 53. Relación de transformación divisor óhmico	97
Figura 54. Características del telurómetro	101
Figura 55. Conexión del telurómetro para medir la resistencia del terreno	102

Figura 56. Resistencia de la puesta a tierra del LAT medida hacia el edificio Beltrán Pinzón	106
Figura 57. Resistencia de la puesta a tierra del LAT medida hacia el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica	110
Figura 58. Datos característicos del equipo de medida	113
Figura 59 Esquema de verificación de equipotencialización de la malla de puesta a tierra del LAT	123
Figura 60. Barraje equipotencial	125
Figura 61. Puente equipotencial	126
Figura 62. Conexión del telurómetro para medir la resistividad del terreno	130
Figura 63. Diseño de la malla del sistema de puesta a tierra	139
Figura 64. Detalles del SPT	140
Figura 65. Trenza equipotencial	148
Figura 66. Conexión errónea en el LAT	148
Figura 67. Conexión con barraje equipotencial y terminales metálicas	149

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Partes del circuito equivalente del generador de impulso	53
Tabla 2. Características del generador de impulsos	59
Tabla 3. Hoja de vida del generador de impulsos de tensión	60
Tabla 4. Características de la unidad de carga	61
Tabla 5. Características divisor de tensión capacitivo amortiguado	63
Tabla 6. Características espinterómetro	64
Tabla 7. Características transformador de tensión	65
Tabla 8. Características chispómetro	67
Tabla 9. Características osciloscopio digital	68
Tabla 10. Resultados del mensurando de la RTDR	93
Tabla 11. Valores medidos de la resistencia del LAT de la UIS hacia el edificio Beltrán Pinzón	102
Tabla 12. Valores promedio de la resistencia del LAT de la UIS hacia el edificio Beltrán Pinzón	105
Tabla 13. Valores medidos de la resistencia del LAT de la UIS hacia el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica	107
Tabla 14. Valores promedio de la resistencia del LAT de la UIS hacia el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica	109
Tabla 15. Primer mensurando de RPT	112
Tabla 16. Incertidumbre primera medición de RPT (Ed. Beltrán Pinzón)	115
Tabla 17. Incertidumbre segunda medición de RPT (Ed. Eléctrica)	118
Tabla 18. Mediciones de equipotencialización	122
Tabla 19. Medición de resistividad LAT UIS	129
Tabla 20. Parámetros de diseño de la PAT del LAT	130
Tabla 21. Diseño final de la malla de SPT	138

Tabla 22. Presupuesto para el SPT del LAT	141
Tabla 23. Significado general de los colores de seguridad	142
Tabla 24. Colores de contraste	143
Tabla 25. Forma geométrica y significado	143
Tabla 26 Señalizaciones sugeridas por el laboratorio de Alta Tensión	144
Tabla 27. Código de colores para los conductores	147
Tabla 28. Parámetros del diseño	189
Tabla 29. Costo de la malla de puesta a tierra	200

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Características de los equipos usados en las mediciones	156
Anexo B Hoja de vida e inventario de equipos del LAT	176
Anexo C Diseño opcional para el sistema de puesta a tierra (SPT)	189

ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS

UIS	Universidad Industrial de Santander
LAT	Laboratorio de alta tensión
AT	Alta tensión
BT	Baja tensión
EAT	Extra alta tensión
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
IA	Impulso atmosférico
IM	Impulso de maniobra
SPT	Sistema de puesta a tierra
GIT	Generador de impulsos de tensión
RPT	Resistencia de puesta a tierra
RTDR	Relación de transformación del divisor resistivo

RESUMEN

TÍTULO: LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UIS: ESTADO ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN*

AUTORES: DIEGO ARMANDO BELTRÁN BAUTISTA
JOSÉ AURELIANO PINEDA CAMACHO
PEDRO MANUEL RUEDA PEÑA**

PALABRAS CLAVES: Alta Tensión, equipos de medición, sistemas de puesta a tierra

CONTENIDO

En este documento se presenta el estado actual de los equipos de medición que hacen parte del Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander. En este documento se presenta el estado actual de los equipos de medición que hacen parte del Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander, con el objetivo de identificar las acciones a implementar para alcanzar la acreditación del Laboratorio. Se realizó un diagnóstico actual de las desviaciones que se evidencian en los equipos de medición y ensayo. Mediante procesos de mensurando se obtuvo los datos de las calibraciones de los divisores de tensión que se encuentran en la Sala de Ensayos y se verificaron los sistemas de seguridad que hacen parte integral del Laboratorio.

Por último se proponen recomendaciones específicas de sistemas de puesta a tierra, apantallamiento, señalizaciones de seguridad industrial, canaletas porta cables, barrajes equipotenciales, puentes equipotenciales y demás que se encuentran normalizados. Se realizó un diagnóstico actual de las desviaciones que se evidencian en los equipos de medición y ensayo. Mediante procesos de mensurando se obtuvo los datos de las calibraciones de los divisores de tensión que se encuentran en la Sala de Ensayos y se verificaron los sistemas de seguridad que hacen parte integral del Laboratorio.

* Proyecto de grado

** Facultad de Físico Mecánicas. Escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones. Director: Doc. *Johann Farith Petit Suarez*

ABSTRACT

TITLE: HIGH VOLTAGE LABORATORY UIS: CURRENT STATE MEASUREMENT SYSTEMS *

AUTHORS: DIEGO ARMANDO BELTRÁN BAUTISTA
JOSÉ AURELIANO PINEDA CAMACHO
PEDRO MANUEL RUEDA PEÑA **

KEY WORDS: High Voltage, Measuring Equipment, Grounding systems

DESCRIPTION:

This paper presents the current status of measuring equipment that are part of the High Voltage Laboratory of Industrial University of Santander, in order to identify actions to be implemented to achieve laboratory Accreditation. It was made a current diagnosis of the deviations that are evident in the test and measurement equipments. By processes measurands was obtained calibration datas of the voltage dividers that are in the testing room and it was checked the security systems that are an integral part of the Laboratory. Finally, it propose specific recommendations to grounding systems, shielding, industrial safety signs, gutters carry cables, busbars equipotential equipotential bridges and other that are standardized.

This paper presents the current status of measuring equipment that are part of the High Voltage Laboratory of Industrial University of Santander, in order to identify actions to be implemented to achieve laboratory Accreditation. It was made a current diagnosis of the deviations that are evident in the test and measurement equipments. By processes measurands was obtained calibration datas of the voltage dividers that are in the testing room and it was checked the security systems that are an integral part of the Laboratory. Finally, it propose specific recommendations to grounding systems, shielding, industrial safety signs, gutters carry cables, busbars equipotential equipotential bridges and other that are standardized.

* Degree project

** Faculty of physical - mechanical. Electric, electronics and telecommunications Engineering School. Director: Doc. Johann Farith Petit Suarez

INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander en su Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones, en el área de la alta tensión cuenta con un laboratorio el cual a lo largo de su existencia ha funcionado cubriendo los tres pilares fundamentales de la Universidad: la docencia, la investigación y la extensión, y puesto que lleva un tiempo considerable en servicio, se desea conocer si con el paso del tiempo, los equipos de medición del laboratorio han alterado su normal funcionamiento. De ser así se plantea proponer algunas estrategias de solución que sean diferentes al cambio del equipo, a no ser que sea necesario.

Para poder llevar a cabo este trabajo, es indispensable hacer un inventario de los equipos existentes en el Laboratorio de Alta Tensión de la UIS, su revisión y su estado actual, donde se tendrán en cuenta varios criterios, tales como:

- Tiempo de servicio
- Estado actual
- Plan de mantenimiento
- Registro de hojas de vida

Con los anteriores criterios se hará el diagnóstico previo, lo que a su vez conducirá a tomar acciones pertinentes, sean estas de carácter correctivo o preventivo.

Parte importante del LAT de la UIS, son los instrumentos que constituyen los sistemas de medición, los cuales en muchos casos llevan en servicio el mismo tiempo de funcionamiento del laboratorio. Como este laboratorio es pionero en la materia, es indispensable para la Universidad buscar los mecanismos necesarios

para que sea acreditado por los entes competentes del país, apuntando a satisfacer los tres pilares fundamentales de la Universidad antes mencionados.

Como apoyo a las políticas institucionales de la UIS dentro del marco de la acreditación de sus laboratorios, se revisa el estado actual de los sistemas de medición, donde se verifica si el tiempo en servicio de los instrumentos utilizados afectan las medidas que se realizan en el LAT. Los equipos de medición de los laboratorios se encuentran referenciados en la NORMA TÉCNICA NTC-ISO/IEC COLOMBIANA 17025-2005 “REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACION” en el literal 5.5 y 5.6 (EQUIPOS Y TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES).

En el primer capítulo a manera general se describen las diferentes mediciones que se realizan en AT, ya sea de manera directa o indirecta, y seleccionar los equipos de medida de acuerdo a los niveles de tensión que se estén implementando en la prueba.

Para el segundo capítulo se realizó un sondeo de los equipos de medición que se encuentran en funcionamiento, y que se encuentran disponibles para las diferentes pruebas que se efectúan en el laboratorio de alta tensión de la UIS, además de los elementos que hacen parte de dichos equipos.

En el tercer capítulo a los equipos mencionados en el párrafo anterior, se les hizo un chequeo en donde se muestran las conexiones entre ellos, y con el sistema de puesta a tierra, los terminales de los conductores, entre otros factores.

El capítulo cuarto, presenta las mediciones desarrolladas para encontrar los valores correspondientes a la relación de transformación de cada uno de los divisores de tensión. Con estos valores se realizó una comparación con las relaciones actualmente utilizadas en el laboratorio.

Para el quinto capítulo se efectuó el diagnóstico de los sistemas de seguridad del LAT, que se encuentran en la parte interna del laboratorio en el momento de realizar las pruebas.

Con las fallencias encontradas en el diagnóstico de los sistemas de seguridad, en el sexto capítulo se sugiere el rediseño de la malla de puesta a tierra, canaletas porta cables, de los terminales de conductores normalizados, de los barrajes equipotenciales, etc. Así como la implementación de un blindaje para campos electromagnéticos (jaula de Faraday).

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general Evaluar el estado actual de los sistemas de medición del Laboratorio de Alta Tensión de la UIS y proponer algunas soluciones.

1.1.2 Objetivos específicos El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Describir los elementos a tener en cuenta al realizar mediciones en el Laboratorio de Alta Tensión de la UIS.
- Realizar el diagnóstico del estado actual de los sistemas de medición en el laboratorio de alta tensión de la UIS.
- Verificar la relación de medición de los divisores de tensión existentes en el laboratorio de alta tensión de la UIS.
- Analizar los elementos de seguridad del laboratorio de alta tensión teniendo en cuenta que forman parte integral de los sistemas de medición del LAT y proponer algunas soluciones.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO

El laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander en busca de iniciar un proceso de acreditación, desea hacer el diagnóstico de los diferentes

equipos de medida que se encuentran disponibles, para las pruebas o ensayos que se realizan en éste.

Con el fin de hacer la evaluación de la precisión y exactitud de los datos obtenidos por los equipos de medida actuales del Laboratorio, se procederá a compararlos con los resultados hallados de forma analítica, con el objetivo de conocer si las medidas obtenidas son aceptables, y establecer el rango de incertidumbre de las mediciones basados en las Normas para mediciones eléctricas.

Igualmente se realizará el diagnóstico del sistema de puesta a tierra del laboratorio y los sistemas de seguridad, teniendo en cuenta que éstos son parte fundamental de los procesos de medición.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Dentro de las políticas institucionales de la Universidad Industrial de Santander se encuentra la acreditación de los diferentes laboratorios adscritos a las unidades académicas, ya que el laboratorio de alta tensión de la UIS fue el pionero en el país en el desarrollo de esta disciplina, se plantea la necesidad de acreditarlo.

Dentro de las diversas actividades que se deben realizar para alcanzar la acreditación aparece la necesidad de revisar el estado de los sistemas de medición.

Por estas anteriores razones aparece la realización de este trabajo, más concretamente debido a que las mediciones realizadas actualmente en el laboratorio de alta tensión de la UIS no se encuentran respaldadas por

certificaciones de calibración de los equipos utilizados en la ejecución de las diferentes pruebas o ensayos.

Además se debe tener en cuenta que los instrumentos utilizados para las medidas, llevan un tiempo considerable en servicio y se desea saber si su continua operación afecta la calidad e idoneidad de las medidas que se realizan.

1.4 ALCANCE

Este trabajo de grado pretende documentar un estudio del estado de las mediciones del Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander, incluyendo la calibración de equipos de medida que allí se manejan, con el fin de generar un diagnóstico del estado actual del laboratorio. Con estos resultados plantear y ejecutar las correspondientes acciones correctivas para lograr que los resultados se enmarquen entre los límites tolerables, para que de esta manera en un futuro proceso de acreditación este aspecto se vea como una fortaleza del laboratorio de alta tensión.

1.5 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

Basados en la modalidad de investigación, la metodología a emplear estará principalmente relacionada con la recopilación de información, con base en el material bibliográfico, información virtual referente al tema de interés, estudios realizados y proyectos desarrollados, en el laboratorio de alta tensión de la UIS, así como la información, documentación de las características de los equipos y las maniobras realizadas con los mismos.

Para lograr los objetivos propuestos se seguirán las siguientes estrategias:

- I. Se realizará un análisis bibliográfico en donde se describan los elementos de un sistema de medición en un LAT.
- II. Se hará un diagnóstico de los equipos para ensayos disponibles en el laboratorio de alta tensión de la UIS, así como su estado actual.
- III. Se elaborará un inventario de los equipos de medida disponibles en el laboratorio de alta tensión de la UIS, realizando un informe del estado actual de estos, incluyendo, cables, bornes de conexión, baterías de los equipos, entre otros aspectos físicos externos del equipo que no comprometan su normal funcionamiento. Para ello se realizará un informe en el cual se clasificarán los equipos que estén aptos para tomar medidas confiables.
- IV. Se realizará un proceso de verificación de los divisores de tensión (Óhmico y Capacitivo) disponibles en el laboratorio, tomando como referencia elementos teóricos y equipos de medida con certificados de calibración expedido por fabricantes.
- V. Se analizarán los sistemas de seguridad del LAT de la UIS (puesta a tierra, jaula de Faraday, sistema de trancapuerta etc.) para observar los posibles impactos que estos tengan sobre los sistemas de medición y se propondrán algunas soluciones que minimicen los efectos.

2. MEDICIÓN EN ALTA TENSIÓN

El RETIE define para el sector eléctrico los siguientes niveles estándar de tensión para sistemas de corriente alterna, los cuales se adoptan de la NTC 1340:

- a. Extra alta tensión (EAT): Corresponde a tensiones superiores a 230 kV.
- b. Alta tensión (AT): Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV.
- c. Media tensión (MT): Los de tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV.
- d. Baja tensión (BT): Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.
- e. Muy baja tensión (MBT): Tensiones menores de 25 V.¹

Para todos estos niveles de tensión se hace necesario el uso de equipos que permitan la generación y transmisión del flujo eléctrico por un sistema interconectado, entre los que se encuentran: transformadores, disyuntores, seccionadores y conductores entre otros. A dichos aparatos se les efectúa una serie de ensayos antes de su puesta en operación y durante el tiempo que permanecen en servicio. De los análisis realizados a cada uno de los dispositivos se obtiene un conjunto de datos que permite tomar decisiones acerca de mantenerlos en funcionamiento o someterlos a algún tipo de mantenimiento.

Antes de medir las variables de interés –que por lo general son: tensión, corriente, frecuencia, potencia–, se debe tener en cuenta una serie de condiciones, directamente ligadas con el nivel de tensión que se está manejando, que generan diferencias en su metodología de medición. Cuando el nivel de tensión va en

¹ RETIE resolución número 9 0708 del 30 de agosto de 2013 página 54

aumento, la infraestructura se hace más compleja, lo que dificulta la toma de medidas. También se debe contemplar el valor de tensión y de corriente máxima que manejan los equipos; algunos dispositivos están diseñados para recopilar información de manera directa y otros lo hacen a través de métodos indirectos. La medición en AT no siempre se puede ejecutar de manera directa sobre el equipo, por las razones anteriormente nombradas (dimensión de las estructuras y nivel de tensión), además de que pone en riesgo la seguridad del operario que realiza la maniobra.

2.1 MEDICIÓN DIRECTA

La medición directa es la más habitual a nivel de baja tensión. Consiste en tomar una lectura directa del parámetro sobre el que se desea obtener un valor numérico o su forma gráfica. Por ejemplo, al verificar la continuidad de corriente en un transformador trifásico de baja tensión, debido a que las puntas de los cables del instrumento de medida se conectan directamente sobre los contactos propios del transformador, se obtiene como evidencia de la continuidad un sonido emitido por el equipo de medida y un valor de la impedancia entre los terminales.

Para el caso de las altas tensiones, es posible realizar mediciones directas si se cuenta con instrumentos de medida diseñados para soportar los niveles de las variables de AT; por ejemplo, tensión, corriente, potencia, etc. Entre los equipos de medida que cumplen con las exigencias de la AT están los voltímetros electrostáticos, los cuales se basan en la Ley de Coulomb que define el campo eléctrico como un campo de fuerzas, y ya que los campos eléctricos pueden ser producidos por tensiones, la medición de tensión puede estar relacionada con una medida de fuerza. Si un campo E , cuyo gradiente sea el mismo en toda la zona y perpendicular a la superficie, es producido por la tensión V entre un par de electrodos paralelos de discos planos, se puede calcular la fuerza F sobre un área

A del electrodo a partir de la derivada de la energía eléctrica almacenada W_{el} tomada en la dirección del campo (x). Dado que cada elemento de volumen $A dx$ contiene la misma energía almacenada $dW_{el} = \epsilon E^2 A dx$, la fuerza de atracción $F = -dW_{el} / dx$ se convierte en

$$F = \frac{\epsilon A}{2S^2} V^2 \quad (1.1)$$

Donde ϵ = permitividad del medio aislante y S = longitud de separación entre los electrodos planos paralelos.

La fuerza de atracción es siempre positiva independiente de la polaridad de la tensión. Si la tensión no es constante, la fuerza es también dependiente del tiempo. Entonces el valor medio de la fuerza se utiliza para medir la tensión, por lo tanto

$$\frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt = \frac{\epsilon A}{2S^2} \frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt = \frac{\epsilon A}{2S^2} (V_{r.m.s})^2 \quad (1.2)$$

Donde T es el tiempo adecuado de integración. En consecuencia, los voltímetros electrostáticos son instrumentos que indican valores r.m.s.

La mayoría de los instrumentos están diseñados de tal manera que uno de los electrodos, o una parte de ellos, puede moverse; este movimiento cambia ligeramente el campo eléctrico, cambio que, por lo general, se puede omitir. Además de las diferencias en la disposición de los electrodos, los diversos voltímetros difieren en el modo de recuperar las fuerzas requeridas para equilibrar la atracción electrostática; el método puede ser una suspensión del electrodo en movimiento en un brazo de una balanza, su suspensión sobre un resorte o el uso de una suspensión pendular o de torsión. Si se impide o se reduce al mínimo el movimiento del electrodo, y se calcula la distribución de campo, el dispositivo de

medición electrostática se puede utilizar para mediciones absolutas de tensión, ya que la calibración se efectúa en función de las magnitudes fundamentales de longitud y fuerza.

Entre las ventajas del voltímetro electrostático está el extremadamente bajo efecto de carga, porque solamente se deben construir los campos eléctricos. Por otra parte, este tipo de medidor proporciona una resistividad muy alta al aire atmosférico, el gas a alta presión o incluso a las altas presiones de vacío entre los electrodos; por ello, se minimizan las pérdidas de potencia activa producidas por la resistencia de los materiales aislantes utilizados en otras partes del equipo. En cuanto a su funcionamiento, el principio de medición no muestra un límite superior de frecuencia. Sin embargo, la inductancia de carga y la capacitancia del sistema de electrodos forman un circuito resonante en serie, lo que limita el rango de frecuencias. Para los pequeños voltímetros la frecuencia superior es generalmente del orden de algunos MHz. Finalmente, el atributo principal de los voltímetros electrostáticos de alta precisión es que han sido construidos para niveles de alta tensión hasta por encima de 1000 kV.

No obstante, a pesar de las ventajas inherentes de este tipo de instrumento, su aplicación para propósitos de prueba en AT es muy limitada en la actualidad. En primer lugar, para las mediciones de tensión DC, los voltímetros electrostáticos compiten con el divisor de tensión resistivo o medidores resistivos, ya que no es necesario el uso de impedancias muy altas a la entrada. En segundo lugar, para las mediciones de tensión AC, se puede utilizar un divisor de tensión capacitivo junto con instrumentos electrónicos r.m.s de baja tensión, que proporcionan bajas incertidumbres, debido a que el valor r.m.s. es también de menor importancia para la prueba dieléctrica. Por lo tanto, el uso real de los voltímetros electrostáticos está restringido y el número de fabricantes es extremadamente limitado.²

² Kuffel E, Zaengl W. S. "HIGH – VOLTAGE ENGINEERING FUNDAMENTALS". Second edition 2000, published by Butterworth-Heinemann, page 95-96

2.2 MEDICIÓN INDIRECTA

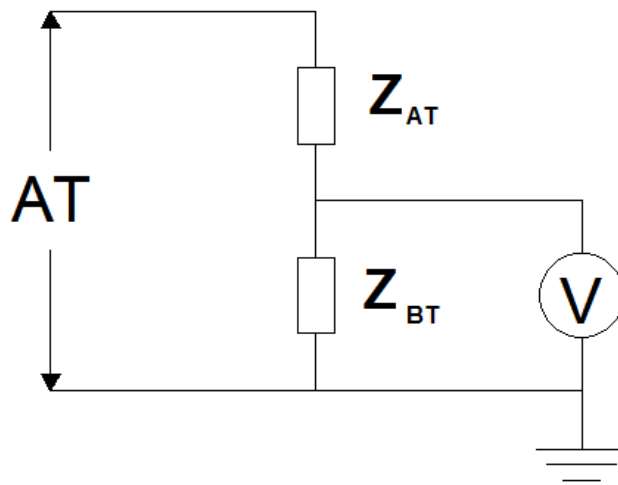
La medición indirecta es la más común o la más usada en los ensayos que se realizan a altas tensiones. Estas metodologías de medición, a diferencia de la directa que obtiene los datos inmediatamente sobre el parámetro que se está censando (corriente, tensión, potencia, frecuencia, etc.), obtienen el resultado buscado a partir de los valores obtenidos de forma indirecta, mediante el uso de una fórmula o ley física que relacione las cantidades medidas con el parámetro que se desea obtener. Un ejemplo muy claro de medición indirecta se presenta cuando se necesita conocer la tensión de llegada a una bahía de una subestación eléctrica; en este caso, se mide directamente la tensión en el lado de BT del transformador de potencial monopolar y se multiplica la medida obtenida por la relación de transformación del equipo.

Las mediciones de altas tensiones, como corriente continua, corriente alterna o tensiones de impulso, implican problemas inusuales que no siempre se pueden manejar con las técnicas especializadas en medición eléctrica. Estos problemas aumentan con la magnitud de la tensión; aunque pueden ser fáciles de resolver para mediciones de tensiones aproximadas a los 10 kV, no lo son para tensiones de cientos de kilo volts o incluso de mega volts. Las dificultades están relacionadas principalmente con las grandes estructuras necesarias para el control de los campos eléctricos, con el fin de evitar la descarga disruptiva y, a veces, para controlar la disipación de calor dentro de los circuitos³.

Con el fin de proteger los equipos de medida de las grandes tensiones y de las corrientes y temperaturas elevadas que se puedan generar en el ensayo de alta tensión, se opta por la medición indirecta, la cual se muestra en la Figura 1.


³ Kuffel E, Zaengl W. S. "HIGH – VOLTAGE ENGINEERING FUNDAMENTALS". Second edition 2000, published by Butterworth-Heinemann, page 77

Figura 1. Medición general indirecta para AT.



Fuente: Autores.

En la Figura 1, se observa una representación general de un sistema de medición indirecta que se usa en los laboratorios de alta tensión, mediante un divisor bien sea óhmico o capacitivo amortiguado. Por lo tanto:

- | | |
|---|---|
| AT | Alimentación en el lado de alta tensión |
|  | Equipo de medida de tensión (voltmetro) |
| Z_{AT} | Impedancia lado de alta tensión |
| Z_{BT} | Impedancia lado de baja tensión |

2.3 MEDICIÓN DE ALTA TENSIÓN DC

Para la generación de la tensión DC, los métodos más comunes de medición, en la parte experimental, son los de rectificación y transformación, aunque existen otros como: generadores electrostáticos, condensadores, etc. Estos métodos son enfatizados en el área de Electrónica de Potencia y no serán abordados en este trabajo. Dentro de los equipos de medida más utilizados en mediciones DC para

senzar las variables físicas en niveles de alta tensión, y tomar los diferentes valores aritméticos necesarios al realizar las pruebas en los LAT, se encuentran los siguientes:

- Resistencias de alta tensión y divisores de tensión resistivos
- Voltmetros electrostáticos
- Espinterómetros

La medición de alta tensión en DC, como en mediciones de baja tensión, se logra generalmente por la extensión del rango de medida con una resistencia serie de alto valor. Como la expresión de la corriente está dada por $i = V/R$, la corriente en el medidor se suele limitar de uno a diez microamperes μA para la deflexión máxima. Para tensiones muy altas (1000 kV o más) surgen problemas debido a la gran disipación de potencia, a las corrientes de fuga, al cambio en la resistencia debido a variaciones de temperatura, etc. Por lo tanto, en ocasiones es mejor utilizar un divisor de tensión resistivo junto con un voltmetro electrostático cuando se requiere alta precisión.

Pero los divisores de tensión también son afectados por los problemas mencionados en el párrafo anterior, causados porque tanto los medidores de resistencia serie, como los divisores de tensión consumen corriente de la fuente. Para solucionar este inconveniente se recurre a *generating voltmeters*⁴ que son dispositivos de alta impedancia y no cargan la fuente. Ellos proporcionan un aislamiento completo de la tensión de fuente (alta tensión), ya que no están conectados directamente a la terminal de alta y por lo tanto son más seguros. Otro equipo que se emplea en estos sistemas de medición, es el espinterómetro de separación de esferas, un dispositivo de descarga de gas que provee una medida de la tensión de pico; es muy sencillo y no requiere ningún tipo de construcción especializada. Sin embargo, la medición se ve alterada por las condiciones atmosféricas, tales como la temperatura, la humedad, etc., y por la proximidad de

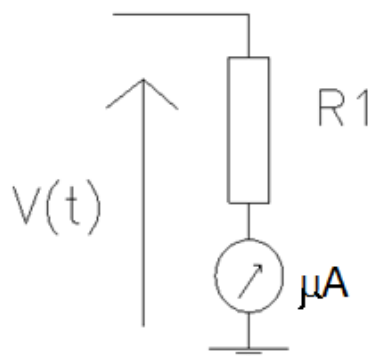
⁴ <http://sbfel3.ucsb.edu/beam/gvm.html>

los objetos puestos a tierra, ya que estos influyen en el campo eléctrico en la separación entre esferas. A pesar de lo anterior, las medidas de tensión del espinterómetro son independientes de la forma y frecuencia de la onda.⁵

A continuación se describirá el funcionamiento de algunos de estos dispositivos, según la importancia dentro del proceso de las mediciones en DC para los laboratorios.

2.3.1 Resistencias de alta tensión y divisores de tensión resistivos El principio básico de las resistencias de alta tensión consiste en colocar una alta resistencia (algunos cientos de Megaohms) en serie con un microampermetro y luego conectarlos a una fuente de DC. El valor de tensión se obtiene a través de la expresión $V = i * R$; la medición de la corriente que fluye por la gran resistencia (R1) se lee por medio del microampermetro de bobina móvil (μA), como se muestra en la Figura 2. La caída de tensión en el medidor es despreciable, porque la impedancia del medidor es de unos pocos ohmios en comparación con los cientos de megaohmios de la resistencia en serie R1.

Figura 2. Resistencia serie



Fuente: A Thesis Submitted In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Applied Science. Armand Gregoire Halim.

⁵ M S Naidu, V Kamaraju. High Voltage Engineering, Second Edition, Page 157.

Se conecta un dispositivo de protección, como un tubo de luz de neón o un diodo Zener, con una resistencia en serie adecuada a través del medidor, como protección contra altas tensiones en caso de que la resistencia en serie R_1 falle. El valor óhmico de la resistencia en serie R_1 se elige de tal manera que una corriente de uno a diez microampers permita la deflexión máxima del equipo. Al escoger la resistencia, se deben tener en cuenta las siguientes limitaciones:

- Potencia disipada y carga de la fuente.
- Los efectos de temperatura y la estabilidad a largo plazo.
- Dependencia de tensión de los elementos resistivos.
- Sensibilidad a los esfuerzos mecánicos.⁶

El divisor de tensión resistivo está constituido por resistencias de alta tensión R_1 y R_2 (ver Figura 3). El voltmetro se conecta en los extremos de la resistencia de BT (R_2) y se toma el dato del valor pico de la tensión DC en (V_m). Con esta configuración se puede hallar el coeficiente de amplificación de la siguiente manera:

Se define una resistencia equivalente:

$$R_{equi} = \frac{R_2 * R_m}{R_2 + R_m} \quad (1.3)$$

Donde R_m es la resistencia del voltímetro y, como la corriente que circula por R_1 y R_{equi} es la misma, entonces:

$$V_1 = I * R_1 \quad Y \quad V_m = I * \frac{R_2 * R_m}{R_2 + R_m} \quad (1.4)$$

Por lo tanto

$$\frac{V_1}{V_m} = \frac{R_1 * (R_2 + R_m)}{R_2 * R_m} \quad (1.5)$$

⁶ M S Naidu, V Kamaraju. High Voltage Engineering, Second Edition, Page 159.

La tensión a medir será:

$$V(t) = V_1 + V_m = V_m * \frac{R_1 * R_2 + R_m}{R_2 * R_m} + V_m = V_m * \left(1 + \frac{R_1 * R_2 + R_m}{R_2 * R_m}\right) \quad (1.6)$$

$$V(t) = K * V_m \quad (1.7)$$

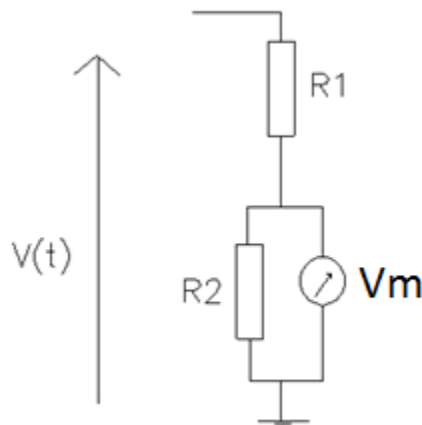
Donde $K = 1 + \frac{R_1 * (R_2 + R_m)}{R_2 * R_m}$ es el poder multiplicador del divisor de tensión resistivo.

Este coeficiente siempre es mayor que uno:

$$K = 1 + \frac{R_1}{R_m} + \frac{R_1}{R_2} \cong 1 + \frac{R_1}{R_2} > 1 \quad (1.8)$$

on esta conexión se pueden medir tensiones continuas o alternas y además se puede utilizar con instrumentos que consuman energía, tales como los de bobina móvil, de hierro móvil, etc., si $R_m \rightarrow \infty$, como es el caso de los voltímetros electrostáticos, o si $R_m \gg R_2$.⁷

Figura 3. Divisor de tensión resistivo



Fuente: A Thesis Submitted In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Applied Science. Armand Gregoire Halim.

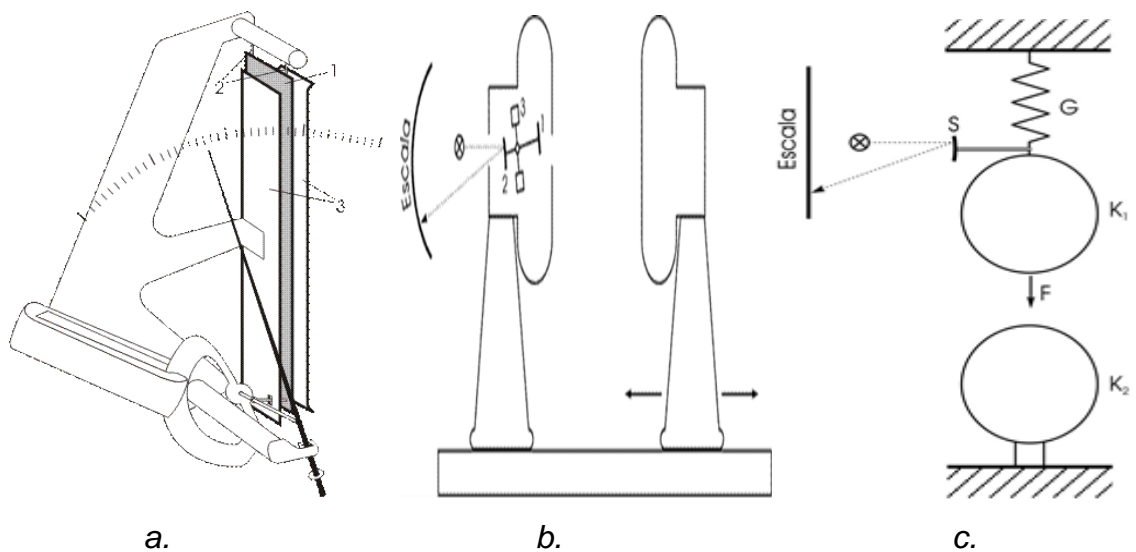
⁷ Universidad Tecnológica Nacional – FACULTAD REGIONAL SANTA FE; Tema “Medición en AT en continua y valor eficaz en alterna” pág. 31.

2.3.2 Voltímetros electrostáticos Estos instrumentos actúan por la acción de la tensión que se les aplica y no por la corriente. Los voltímetros electrostáticos tienen la ventaja de tener internamente resistencias muy altas y capacitancias muy bajas, lo cual los hace útiles para mediciones de baja energía y altas tensiones. Sobre la medición no influyen la frecuencia ni la forma de onda de la tensión. Aunque su exactitud no es muy elevada, de clase 0,5, pueden soportar cargas grandes y no los afectan los campos magnéticos, pero sí los eléctricos. Los tipos de voltímetros electrostáticos más comunes son:

- a. Voltímetro de Seidier
- b. Voltímetro de Starke y Schröder
- c. Voltímetro de esferas de Hueter

En la Figura 4, de izquierda a derecha en el orden mencionado, se observan los esquemas generales de los diferentes tipos de voltímetros.⁸

Figura 4. Tipos de voltímetros electrostáticos



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional – FACULTAD REGIONAL SANTA FE; Tema “Medición en AT en continua y valor eficaz en alterna”

⁸ Universidad Tecnológica Nacional – FACULTAD REGIONAL SANTA FE; Tema “Medición en AT en continua y valor eficaz en alterna” pág. 27

2.3.3 Espinterómetro o explosor a esferas Prácticamente el proceso usual para determinar tensiones altas y muy altas depende de la distancia disruptiva o del trayecto de la chispa en el aire. Cuando entre dos electrodos se sobrepasa una determinada intensidad de campo, salta una chispa. La descarga surge bruscamente cuando se llega a una tensión determinada que es función de la distancia entre los electrodos. La diferencia para AC es que en la tensión de ruptura se alcanza el valor pico, de modo que no se mide el valor eficaz sino la amplitud o pico de la tensión. La tensión de chispa depende principalmente tanto de la forma y terminación superficial de los electrodos como de la distancia más corta que los separa. En las mediciones de AT se utilizan explosores con formas de prismas, cilindros o esferas, pero solo estos últimos están normalizados.

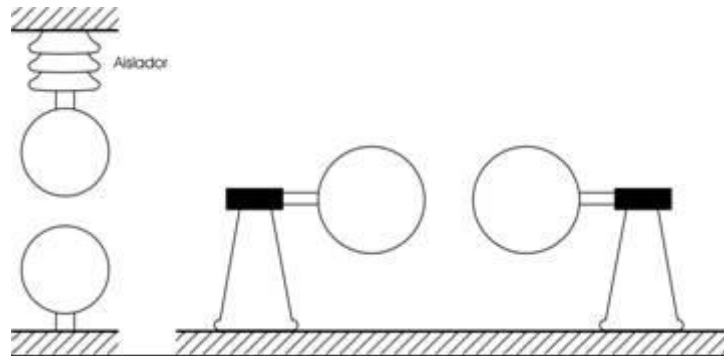
El inconveniente esencial de este método consiste en que con él no se pueden realizar mediciones prolongadas. Aunque en los casos más favorables, el error de este instrumento es del orden del 2%, suele llegar al 5%.

Las esferas pueden ser de latón, bronce, cobre, acero o aluminio y sus diámetros estandarizados más comunes son: 20, 50, 62,5, 100, 125, 250, 500, 750, 1000, 1500 y 2000 [mm]. Con altas tensiones, los campos eléctricos son muy intensos y la configuración geométrica de todo lo que rodea a las esferas es muy importante. Por esta razón las normas detallan las dimensiones de los soportes de las esferas, las distancias mínimas a tierra y las paredes de la habitación donde se encuentran.

El montaje de los explosores puede hacerse de dos formas: con una esfera a tierra o con las dos esferas aisladas. La primera se utiliza en equipos de AT que tienen un extremo del bobinado puesto a tierra; la segunda cuando el arrollamiento de AT tiene el punto medio a tierra para reducir su separación. Ambas conexiones se colocan con resistencias de protección en serie con el explosor para limitar las tensiones en el momento de la descarga; dicha resistencia se dispone en serie

con la esfera aislada en la primera conexión y repartida sobre las dos esferas en la segunda conexión.⁹ La separación física de las esferas puede ser vertical u horizontal como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Separaciones físicas de las esferas



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional – FACULTAD REGIONAL SANTA FE; Tema “Medición en AT en continua y valor eficaz en alterna”

2.4 MEDICIÓN DE ALTA TENSIÓN AC

En la medición de alta tensión (AT) en corriente alterna (AC), se emplean métodos convencionales, tales como voltmetros con impedancia en serie, a fin de reducir la corriente que circula por el aparato de medición, divisor resistivo o voltmetro electroestático. Sin embargo, sus diseños son distintos a los usados para bajas tensiones; sus diferencias radican en el aislamiento y la carga de origen. Cuando se necesita medir el valor máximo, se usan voltmetros tales que su lectura se limite al valor pico del parámetro sobre el cual se desea obtener información; también, para este caso, se puede hacer uso de un espinterómetro, aunque este último a menudo se utiliza con fines de calibración. En la medición de AT en AC, es necesario el uso de divisores de tensión y un osciloscopio con la capacidad de capturar las formas de onda.

⁹ Universidad Tecnológica Nacional – FACULTAD REGIONAL SANTA FE; Tema “Medición en AT en continua y valor eficaz en alterna” pág. 31-33.

2.4.1 Requisitos para la prueba en AC Para la medición de tensiones alternas, se debe garantizar que la forma de onda de la tensión de entrada a los instrumentos de ensayos sea sinusoidal y que guarde una proporción de pico a valores r.m.s igual a la raíz cuadrada de $2 \pm 5\%$. Sumado a esto, se debe asegurar el valor de frecuencia de la tensión de prueba, el cual puede variar entre 45-65 Hz, conocida normalmente como tensión a frecuencia industrial. Cabe anotar que, al someter a prueba objetos con impedancia no lineal o una capacitancia muy alta, pueden ocurrir variaciones en la forma de onda de entrada.

2.4.2 Sistema para la medición de la amplitud de las tensiones de alterna

Para realizar las mediciones de las tensiones en AC, es necesario usar ciertos montajes e instrumentos que permitan obtener los valores pico y r.m.s, como el divisor de tensión, que puede ser capacitivo, capacitivo amortiguado o resistivo; además se debe contar con un transformador de tensión. Igualmente, para obtener las formas de onda descritas en la sección anterior o el valor de la tensión de prueba, se debe contar con un osciloscopio apto para esta labor, ya que debe estar diseñado específicamente para medir los valores de tensión pico, r.m.s o media. Este equipo se conecta con el lado de baja tensión del divisor de tensión, a través de un cable de medición. Debe tomarse en cuenta, en el sistema de medida, la impedancia de entrada del circuito de medición y la capacitancia del cable que llega hasta el instrumento del mensurando.¹⁰

2.4.3 Divisor de tensión Es un equipo usado en los laboratorios de alta tensión con el fin de proteger los equipos destinados a la medición de sobretensiones que puedan deteriorar su aislamiento. Existen en general tres tipos de divisores de tensión: resistivo (óhmico), capacitivo y capacitivo amortiguado, aunque los dos primeros cuentan con serias limitaciones para la extra alta tensión.

¹⁰ IEEE Standard 4-2013- Techniques for High- Voltage Testing

2.4.3.1 Divisor capacitivo amortiguado El divisor capacitivo amortiguado es un instrumento versátil para la medición de tensiones normalizadas tipo impulso, del cambio de corrientes de impulso y de tensiones en corriente alterna (AC). El uso de este instrumento permite la medición de tensiones del orden de los MV, puesto que las reduce aproximadamente a 1400 V, valor de tensión que puede medir un osciloscopio digital, sin causar averías en su aislamiento.¹¹ Mientras los divisores resistivos, debido a sus pérdidas de potencia y capacitancias a tierra, se limitan a tensiones menores a 100 kV a 50 Hz, los divisores capacitivos no sufren tales desventajas y por lo tanto se pueden utilizar para tensiones y frecuencias más altas limitados solo por las inductancias o las pérdidas dieléctricas de sus componentes.¹²

Todos los divisores capacitivos amortiguados constan de un lado de alta tensión y un lado de baja tensión (ver Figura 6). La rama de alta tensión está conformada por condensadores individuales unidos con otros mediante resistencias individuales que evitan la oscilación en el divisor. La rama de baja tensión está formada un condensador C_1 .¹³

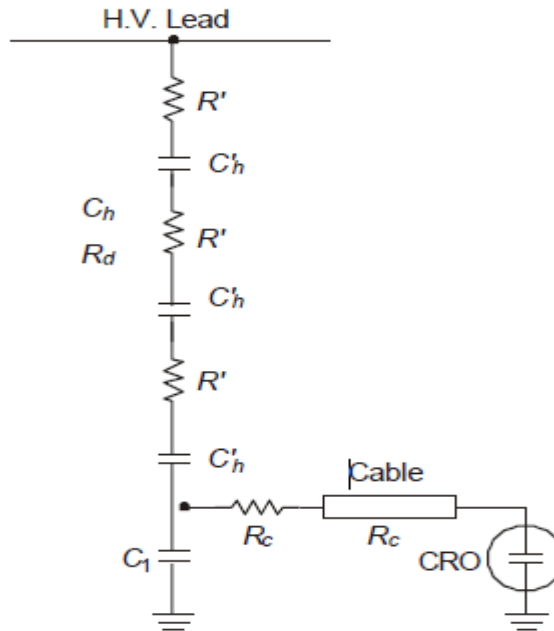
Los errores en la medición causados por la presencia de armónicos en la señal pueden ser eliminados mediante el uso de un divisor capacitivo con un voltmetro electrostático, teniendo en cuenta la capacitancia del equipo en la calibración.

¹¹ HAEFELY CS damped capacitive impulse voltage

¹² MEASUREMENTS IN HIGH-VOLTAGE TEST CIRCUITS / G. W. Bowdler

¹³ Rakosh Das Begamudre. EXTRA HIGH VOLTAGE AC TRANSMISSION ENGINEERING, Third Edition, page 398.

Figura 6. Divisor capacitivo amortiguado



Fuente: EXTRA HIGH VOLTAGE AC TRANSMISSION ENGINEERING/ Rakosh

2.4.3.2 Divisor resistivo Su diseño varía de acuerdo con el tipo de tensión a medir: impulso, alterna o continua. Es decir, no existe un divisor óhmico multifuncional. Su función es permitir medir y observar, de manera reducida, la onda de tensión a la cual se somete el objeto de prueba.¹⁴

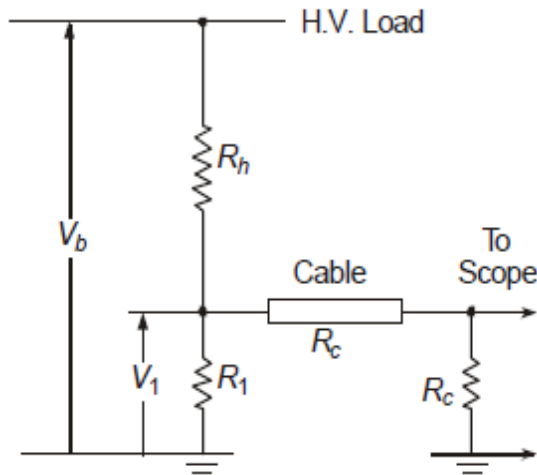
En la Figura 7, se muestra un divisor puramente resistivo, que consiste de un lado de alta tensión R_H , un lado de baja tensión R_1 en donde se conecta el cable coaxial que transmite la señal a medir, para que sea leída por el osciloscopio que se representa como R_c .

Una ventaja del divisor resistivo es la amortiguación de ondas viajeras en el conductor de AT conectado desde la fuente al objeto de prueba. Serías limitaciones en cuanto al calentamiento del divisor lo condiciona para el uso de EAT, ya que las resistencias deben ser bajas para prevenir la impedancia de las

¹⁴ CONCEPTOS BÁSICOS EN TÉCNICAS DE ALTA TENSIÓN(Julio Rugeles)

capacitancias parásitas que afectan la medición. El valor de R_H esta usualmente limitado entre 5 y 20 k Ω .

Figura 7. Divisor resistivo

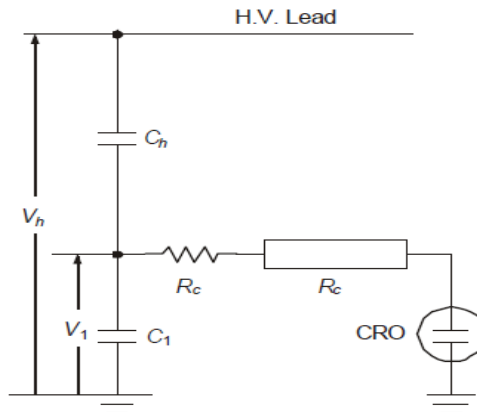


Fuente EXTRA HIGH VOLTAGE AC TRANSMISSION ENGINEERIN/ Rakosh

2.4.3.3 Divisor capacitivo En la Figura 8, se observa un diagrama simplificado de un divisor de tensión capacitivo, donde R_c representa la resistencia del conductor que se conecta con el aparato de medición (CRO). Se compone de dos condensadores; uno en el lado de alta tensión C_h con una capacidad entre 300 pF y 1000 pF; el otro, en el lado de baja tensión C_1 , en el cual se conecta el cable coaxial que transmite la señal a medir, para que sea leída por el instrumento de medición de alta impedancia de entrada.¹⁵

¹⁵ Rakosh Das Begamudre. EXTRA HIGH VOLTAGE AC TRANSMISSION ENGINEERIN, Third Edition, page 396.

Figura 8. Divisor capacitivo



Fuente: EXTRA HIGH VOLTAGE AC TRANSMISSION ENGINEERING/ Rakosh

2.5 MEDICIÓN DE TENSIONES IMPULSO

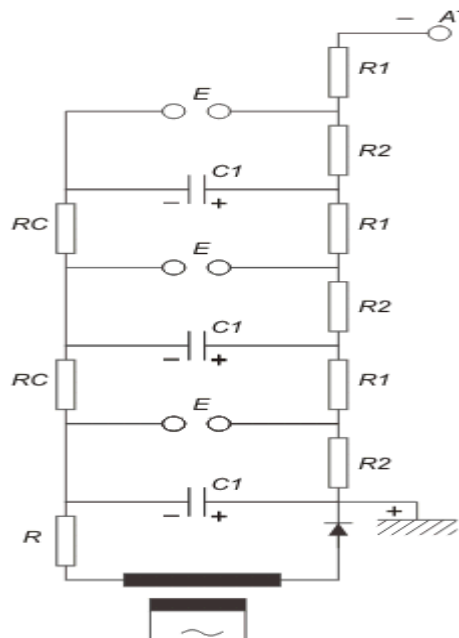
La naturaleza del medio donde se ubicarán finalmente los elementos constitutivos de un sistema eléctrico hace que surjan preguntas sobre el comportamiento de los equipos bajo fenómenos como descargas, ya sean atmosféricas o de maniobra. Surge la necesidad de construir laboratorios para realizar pruebas que permitan corroborar su respuesta a dichos fenómenos y así saber el verdadero comportamiento de los diferentes equipos eléctricos.

¿Pero cómo hacer para reproducir en un laboratorio condiciones de tensión similares a las que se presentan en campo? Como son fenómenos de alta variabilidad, se ha optado por representarlos mediante ondas con características normalizadas para poder valorar el funcionamiento de los equipos. Las altas tensiones a las cuales se presentan estos fenómenos se replican en el laboratorio por medio de generadores de impulso, que consisten en un cierto grupo de capacitores que se cargan en paralelo por medio de rectificadores de alta tensión, a través de resistencias de carga. Se crea la descarga de los capacitores por medio de espinterómetros de esferas a través de un circuito serie de resistencias

amortiguadoras de las oscilaciones. Cuando se requiere hacer una variación en la tensión de prueba, basta con hacer una regulación en la tensión del rectificador.

La experiencia científica ganada en estos últimos años ha arrojado como resultado una onda que representa de manera formal un impulso atmosférico (IA) y de maniobra (IM); consiste en una onda de tipo unidireccional de tensión que se puede recrear mediante la topología eléctrica que se observa en la Figura 9. El circuito está compuesto por etapas que se interconectan por un capacitor C_1 , el cual está separado del siguiente por unos aislantes o un aislador de porcelana; también consta de una resistencia de carga R_c , una resistencia de frente R_1 y otra resistencia de cola R_2 , utilizadas durante la carga, además de explosores de esfera E . El espaciamiento entre las esferas de las etapas se puede regular simultáneamente por la consola de mando del generador, que a su vez acciona un eje roscado, el cual hace un desplazamiento instantáneo de los soportes.

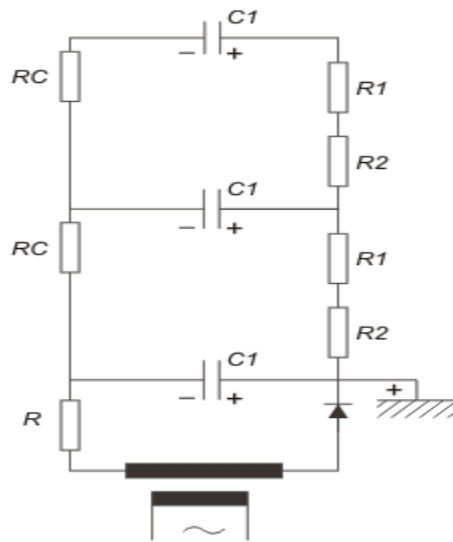
Figura 9. Diagrama de funcionamiento del generador de varias etapas.



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/fisica/alta-tension/generador-varias-etapas>

2.5.1 Fase de carga. Como en esta fase no interesan los explosores, el circuito se puede simplificar como se muestra en la Figura 10. En este grafico se ilustra cómo los capacitores se cargan en paralelo a través de las resistencias ya mencionadas; estas resistencias adquieren en consecuencia una tensión final aproximada a la de la fuente de continua; es decir, $\sqrt{2}$ veces la tensión eficaz secundaria.

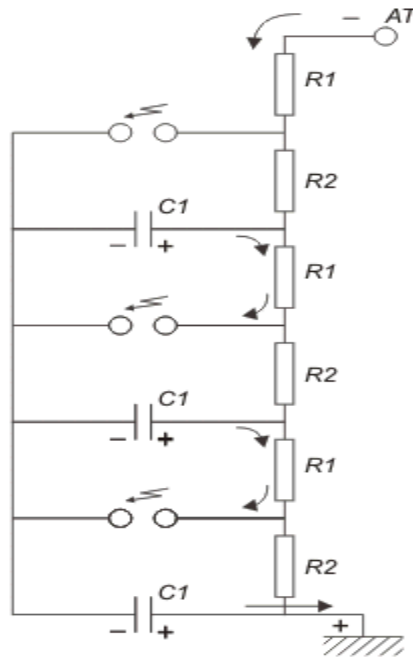
Figura 10 Circuito que representa la fase de carga.



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/fisica/alta-tension/generador-varias-etapas>

2.5.2 Fase de descarga Ya que las resistencias de carga R_c son muy grandes comparándolas con la resistencia de cola R_2 (20 o más veces), el circuito admite las correspondientes simplificaciones, observadas en la Figura 11. En este circuito también se puede mirar que el arco que ocurre en los explosores conecta los capacitores que se encuentran en serie; por lo tanto, en la terminal de AT se puede obtener una tensión que es n veces mayor que la que ocurre en una etapa.

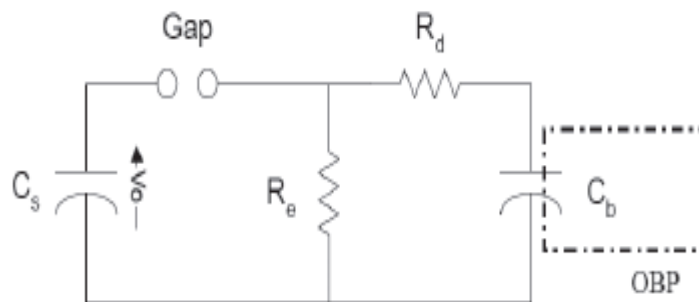
Figura 11. Circuito que representa la fase de descarga.



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/fisica/alta-tension/generador-varias-etapas>

En el circuito equivalente básico para generar las ondas de impulso de tensión que se muestra en la Figura 12, se han despreciado la inductancia serie equivalente del GIT, así como la inductancia y resistencia del objeto bajo prueba.

Figura 12. Circuito equivalente del generador de impulsos de tensión.



Fuente: Diego Fernando García G., Diego Fernando Rincón C. Diseño y construcción de un generador de impulso de voltaje de 10 KV Tecnura, vol. 12, núm. 24, 2009, pp. 4-13, Universidad Distrital Francisco José de Caldas Colombia

El principio de funcionamiento es simple: se carga la capacitancia C_s previamente a una tensión V_0 ; posteriormente, al accionar G_{ap} , éste transfiere su carga a la capacitancia C_b , a través de R_d ; para ello se requiere que $R_d \ll R_e$. Esta parte determina el tiempo de frente o crecimiento de la señal; una vez C_b se ha cargado, las dos capacitancias se descargan a través de R_e , generando la fase de descarga o cola de la onda de impulso. En la Tabla 1 se puede observar las partes del circuito equivalente del generador de impulsos.

Tabla 1. Partes del circuito equivalente del generador de impulso

C_s	Capacitancia equivalente del GIT
R_e	Resistencia equivalente de cola
G_{ap}	Interruptor para el control de disparo
R_d	Resistencia equivalente de frente
C_b	Capacitancia del objeto bajo prueba
OBP	Objeto bajo prueba

Fuente: Diego Fernando García G., Diego Fernando Rincón C. Diseño y construcción de un generador de impulso de voltaje de 10 KV Tecnura, vol. 12, núm. 24, 2009, pp. 4-13, Universidad Distrital Francisco José de Caldas Colombia

El espacio activado por la generación de chispa en el generador de impulsos (trigratrón) es el encargado de hacer las descargas de los explosores de las esferas.

2.6 MEDICIÓN DE ALTA TENSIÓN EN LA UIS

En este numeral se enuncia de manera general las metodologías de los sistemas de medidas que se efectúan en el laboratorio de la UIS, de acuerdo con los siguientes tipos de medición:

- Medición de alta tensión DC.
- Medición de alta tensión AC.

- Medición de tensión impulso.

Para DC

En el LAT de la UIS no se realiza este tipo de medición DC, porque no se cuenta con instrumentos de estas características, ni montajes de generación de tipo continua. Como el laboratorio está enfocado en la generación y la distribución de la energía eléctrica para nuestro entorno, la AT y la EAT se transmiten en alterna; entonces, los métodos se enfocan en el estudio de las tensiones en alternas y la generación de impulsos. Por ende los datos arrojados en el sistema de medición del LAT permiten seleccionar dispositivos de protección idóneos.

Para AC

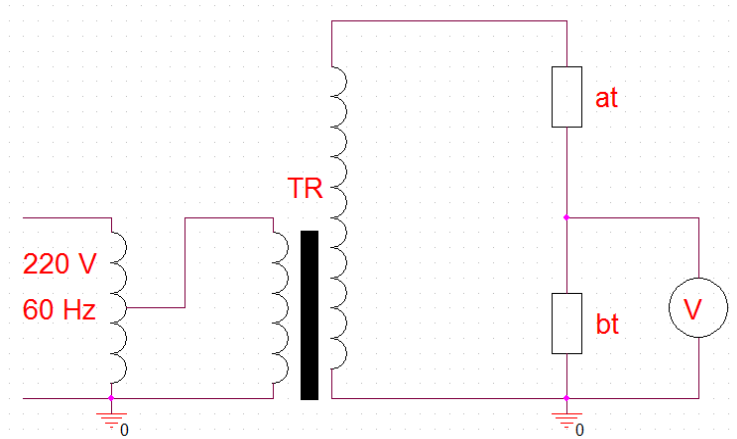
Para este tipo de medición, se alimenta el equipo al que se le desea hacer el diagnóstico con un nivel de tensión AC, generado de forma gradual, controlado a través de la consola de mando. Por medio del transformador elevador de tensión, se consiguen los niveles de AT con los que se diseñan las pruebas, según están estipuladas en las normas. Una vez están dadas las condiciones necesarias para los factores que se incluyen en el proceso, se procede a tomar los datos arrojados por el equipo de medida (osciloscopio). La señal medible se toma en la resistencia o capacitancia de BT, de los divisores de tensión (resistivo o capacitivo, según el utilizado en la prueba), los cuales cuentan con relaciones dadas por el fabricante u obtenidas en una calibración previa y adquirir los datos pertinentes relacionados con el montaje que se ejecute.

$$RELACIÓN DIVISOR DE TENSIÓN CAPACITIVO = 720,5 \ 1$$

$$RELACIÓN DIVISOR DE TENSIÓN RESISTIVO = 1055 \ 1$$

La Figura 13 muestra cómo se realiza el proceso de medición (AC) en el laboratorio.

Figura 13. Esquema de medición UIS.

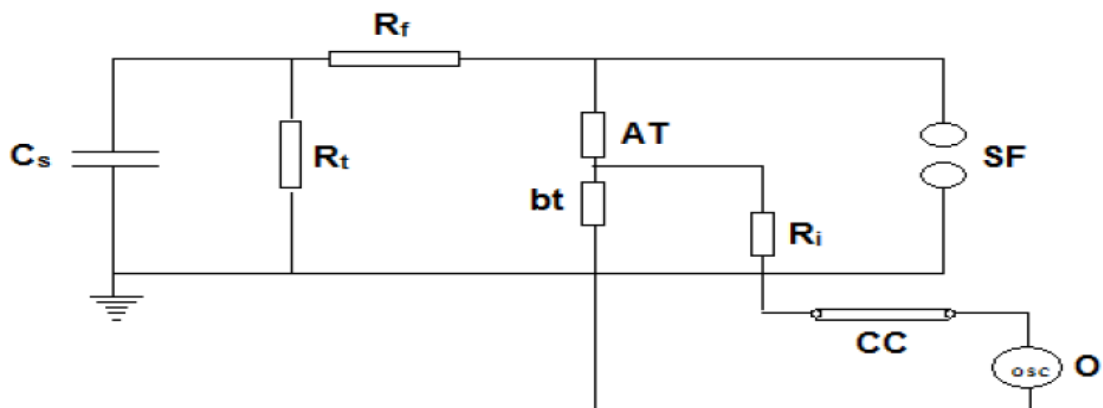


Fuente: Medición de pérdidas corona y nivel de radio interferencia en líneas cortas enmalladas, Raúl Omar Vila C.

Para tensión impulso

Para las pruebas tipo IA que se ejecutan en el LAT de la UIS, las ondas se generan por medio de los diferentes elementos conectados del GIT. En la Figura 14, se muestra un esquema equivalente del generador. Se requiere un divisor de tensión, tipo capacitivo amortiguado, para leer la tensión de descarga realizada en la prueba.

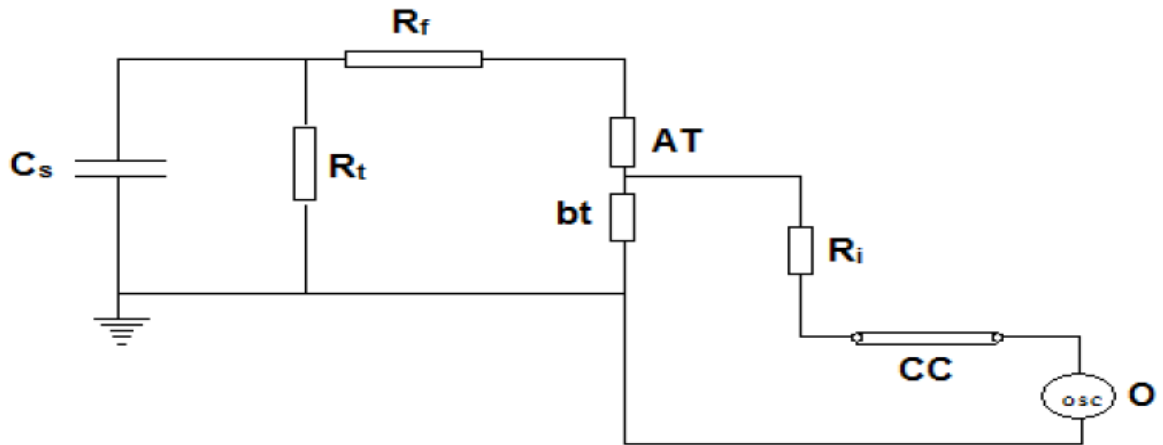
Figura 14. Circuito para impulso atmosférico. Onda completa y recortada.



Fuente: Laboratorio de alta tensión " Manual de prácticas", Julio Rugeles J.,Msc, Julio César Chacón V.,MPE

Para la generación de ondas tipo IM, en el laboratorio de la UIS se realiza el montaje que se muestra en el circuito equivalente de la Figura 15.

Figura 15. Circuito para impulso maniobra. Onda completa.



Fuente: Laboratorio de alta tensión “ Manual de prácticas”, Julio Rugeles J.,Msc, Julio César Chacón V.,MPE

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

En el Laboratorio de Alta Tensión de la UIS se cuenta con una serie de equipos con los cuales se realizan prácticas de tipo docente, investigativo y de extensión. Entre las pruebas que se pueden ejecutar en este laboratorio se encuentran:

- Efecto corona en los conductores. Evaluación y análisis.
- Determinación de la tensión de ruptura dieléctrica en aceites aislantes.
- Obtención de formas de onda normalizadas
- Determinación de la tensión de chispa $V_{50\%}$.
- Ensayos en dispositivos contra sobretensiones (DPS)
 - Pruebas en corriente alterna
 - Pruebas de impulso
- Pruebas de rigidez dieléctrica a elementos de protección personal
 - Guantes aislantes de energía eléctrica
 - Cascos aislantes de electricidad

Para la realización de las pruebas anteriores, se encuentran disponibles en el LAT de la UIS los siguientes equipos:

1. Generador de impulsos de tensión, el cual incluye:
 - ❖ Unidad de carga.
 - ❖ Consola de mando.
 - ❖ Divisor capacitivo amortiguado.
2. Transformador elevador de tensión alterna.
 - ❖ Consola de mando del transformador.
 - ❖ Divisor de tensión resistivo.
3. Espinterómetro.
 - ❖ Consola de mando.
4. Chispómetro.

5. Osciloscopio digital.

3.1 EQUIPOS DISPONIBLES

En esta sección se relaciona los equipos de medición que se mantienen en funcionamiento en el laboratorio de la UIS, en donde se describen los parámetros característicos que proveen los fabricantes, por medio de los datos de placa y catálogos suministrados por ellos, estos últimos se encuentran disponibles en el material bibliográfico del LAT.

Generador de impulso de tensión

Con este generador se pueden implementar pruebas donde se requiera el uso de ondas normalizadas $1,2/50 \mu\text{s}$ y $250/2500 \mu\text{s}$. En la Figura 16 muestra el generador de impulsos completo, y las Figuras 17 y 18 muestran sus componentes principales. En la Tabla 2 se enlista las características del generador de impulsos de tensión.

Figura 16. Generador de impulso de tensión.



Fuente: Autores.

Tabla 2. Características del generador de impulsos

Marca	Haefely tipo S-serie 8 etapas.
Máxima energía por etapa	2,5 kJ
Capacidad por etapa	500 nF
Tensión máxima por etapa	100 kV
Eficiencia para IA	86-97 %
Eficiencia para IM	83-90 %

Fuente: Autores.

Los equipos que se encuentran en funcionamiento en el laboratorio carecen de documentación que sirve, como apoyo bibliográfico y facilite el entendimiento en

los aspectos básicos de los mismos. Para buscar cualquier información se debe recurrir a los catálogos existentes en el LAT. Una solución a este inconveniente es realizar una hoja de vida tipo para cada uno de los equipos existentes como se muestra a continuación. Las demás hojas de cada uno de los equipos en el anexo B.

Tabla 3. Hoja de vida del generador de impulsos de tensión

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	GENERADOR DE IMPULSOS DE TENSIÓN
MARCA	HAEFELY
MODELO	Haefely tipo S-serie 8 etapas
REFERENCIA	WO3090 V1E/CO 6400/2
SERIE	081 577-21
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	HAEFELY SUIZA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de diciembre de 1991
FORMA DE ADQUISICIÓN	Convenio ICFES BID
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	SUIZA
COSTO DE ADQUISICIÓN	66'191.703
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	-----

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
N° PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	18643
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 1 de diciembre de 1991 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de diciembre de 1992

Fuente: Autores.

Figura 17. Unidad de carga del GIT.



Fuente: Autores.

La Tabla 4 muestra los valores de placa de la unidad de carga del GIT.

Tabla 4. Características de la unidad de carga

Tensión Nominal	100 kV
Corriente Nominal	15 mA
Tensión Primaria	220 V
Potencia de Entrada	3000 VA

Fuente: Autores.

Figura 18. Consola de mando del GIT.



Fuente: Autores.

En la siguiente Figura se puede observar el divisor capacitivo amortiguado.

Figura 19. Divisor capacitivo amortiguado.



Fuente: Autores.

La Tabla 5 se presentan las características del divisor capacitivo amortiguado

Tabla 5. Características divisor de tensión capacitivo amortiguado

Marca	Haefely
Valor capacitivo total lado de alta real	662,298 pF
Valor capacitivo total lado de alta catalogo	670 pF \pm 10%
Valor capacitivo unidad lado de baja	468 nF
Tensión máxima	1000 kV
Relación calibrada	720,5/1

Fuente: Autores.

Espinterómetro

El espinterómetro se utiliza para recortar las tensiones de chispa o disruptiva a una distancia determinada, según lo requiera la prueba. El espinterómetro consta de una consola de mando la cual se observa en la Figura 20.

Figura 20. Espinterómetro.



Fuente: Autores.

En la Tabla 6 se presentan las características del espinterómetro

Tabla 6. Características espinterómetro

Marca	Haefely
Diámetro de esferas	25 cm

Fuente: Autores.

Figura 21. Consola de mando del espinterómetro.



Fuente: Autores.

Transformador elevador de tensión alterna

Este transformador permite la implementación de pruebas donde requieran señales de AC (60 Hz), y niveles de tensión de un alto valor. Las Figuras 22 y 23 muestran los componentes de la máquina.

Figura 22. Transformador elevador de tensión.



Fuente: Autores.

En la Tabla 7 se presentan las características del transformador de tensión

Tabla 7. Características transformador de tensión

Marca	Foster
Tensión primaria	500 V
Tensión secundaria	300 kV
Potencia	20 kVA
Corriente primaria máxima	40 A
Corriente secundaria máxima	67 mA
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Autores.

En la Figura 23 se muestra la consola del transformador elevador de tensión.

Figura 23. Consola del transformador elevador de tensión.



Fuente: Autores.

Chispómetro

Este equipo está diseñado para efectuar pruebas a los aceites dieléctricos. En la Figura 24 se muestra el chispómetro.

Figura 24. Chispómetro



Fuente: Autores.

En la Tabla 8 se muestran las características del chipómetro.

Tabla 8. Características chispómetro

Marca	Siemens
Tensión primario	216 V
Tensión secundaria	60 kV
Voltímetro	analógico

Fuente: Autores.

Osciloscopio digital

En la Figura 25 se observa el osciloscopio que se utiliza en el laboratorio de alta tensión de la UIS, para capturar las imágenes de las señales o el valor correspondiente según la prueba que se realice.

Figura 25. Osciloscopio.



Fuente: Autores.

La Tabla 9 muestra las características del osciloscopio digital.

Tabla 9. Características osciloscopio digital

Marca	Fluke 190 series II.
Rangos	500 mV, 5 V, 50 V, 500 V, 1000 V
Lectura de valor máximo de escala	5000 cuentas
Exactitud	$\pm(0,5\% +8 \text{ cuentas})$.
Supresión de modo normal	AC a 50 o 60 Hz $\pm 1\%$: > 60 dB

Fuente: Autores.

4. ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE MEDIDA

En este capítulo se realizan un inventario de los equipos que hacen parte del sistema de medición del laboratorio de alta tensión de la UIS, con el cual se establecen las condiciones de funcionamiento y el ambiente de trabajo del personal que utiliza de este laboratorio. También se realiza una inspección a los dispositivos del sistema, con las que se evidencian el estado de las conexiones, sistemas de puestas a tierra, limpieza del equipo, etc.

4.1 GENERADOR DE IMPULSOS DE TENSIÓN (GIT)

Este equipo de manera general se encuentra en un estado aceptable, y funciona de acuerdo al comportamiento de su diseño cuando se ejecutan los montajes y pruebas para el cual esta acondicionado. Se realizó el diagnóstico del GIT y se hacen las siguientes observaciones:

- Existe suciedad en la parte exterior, debido a que no se le hace una limpieza general de forma constante.
- Falta de borneras y terminales propicios para la manipulación en las etapas correspondientes del GIT, se observa una falencia en la etapa cinco (ver Fig. 26) en donde el conductor que se conecta en esa sección contiene una terminal que con la manipulación se ha deteriorado y presenta hilos del conductor sueltos que pueden ocasionar corrientes de fuga.

Figura 26. Terminal defectuosa GIT.



Fuente: Autores.

- En el anclaje del SPT se encuentran varios conductores conectados de forma manual, los cuales no cuentan con terminales ponchados de forma correcta como lo sugieren las normas de seguridad, afectando la protección del equipo en caso de un corto circuito o descarga atmosférica, ya que el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra se puede afectar y no se encuentre dentro los estándares de la norma IEEE 80. A continuación se observa en la Figura 27 el punto de anclaje donde están conectadas varios sistemas de puesta a tierras de diferentes equipos.

Figura 27. Punto de anclaje del SPT.



Fuente: Autores.

Los otros conductores que conectan al GIT con la consola de mando y la unidad de carga, se encuentran en condiciones normales con su respectivo material aislante en buenas condiciones (encauchetadura).

La unidad de carga se encuentra al igual que el GIT con polvo en la superficie exterior, y una fisura en el conector del conductor encauchetado que se acopla con la consola, al cual se le adhirió cinta aislante (ver Figura 28) como material de refuerzo para solucionar transitoriamente el problema y continuar normalmente el funcionamiento. Las otras partes y conectores de la unidad de carga se encuentran en condiciones favorables para su maniobra.

Figura 28. Conector fisurado J.X 1.



Fuente: Autores.

La consola de mando del GIT en general cumple con los procesos de medición que se llevan a cabo en el laboratorio, y para los cuales este dispositivo se hace imprescindible. Además allí se ubica la consola del espinterómetro, por ende las sugerencias que se apuntan a continuación recalcan para los dos instrumentos que hacen parte del sistema de medición del LAT.

- El dispositivo que acciona el sistema de seguridad (tranca puerta) se encuentra de manera inadecuada, ya que por practicidad debe estar fijo, para que en su

continua manipulación no se presenten accidentes como consecuencia del mal posicionamiento (ver Figura 29).

Figura 29. Dispositivo de accionamiento.



Fuente: Autores.

- La señal a medir es transmitida por medio de un cable coaxial desde el divisor utilizado hasta la consola de mando, en donde se encuentra ubicado el punto de conexión, allí se conecta el equipo de medición para la toma de los datos de la señal generada. El punto carece de una terminal que se acople con el instrumento de medida, lo cual genera ruido a la señal e introduce incertidumbre en el dato tomado en la prueba. Se sugieren dichos elementos, para que este proceso sea más práctico y fiable (ver Figura 30).

Figura 30. Punto de conexión del equipo de medición.



Fuente: Autores.

- En la parte posterior de la consola del GIT los conductores se hallan con los respectivos terminales ensamblados, excepto uno que se evidencia unos hilos sueltos, además en el tablero de protecciones se notan partes sueltas, debido a que los puntos de anclaje que se diseñan sobre estos se encuentran deteriorados, ya que el tablero no está dimensionado para el número de seccionadores necesarios para proteger los equipos que se encuentra disponibles en este lugar (ver Figura 31).

Figura 31. Punto de conexión del equipo de medición.



Fuente: Autores.

4.2 DIVISOR CAPACITIVO AMORTIGUADO

Al realizar un diagnóstico de este equipo que hace parte del sistema de medición en la generación de ondas de tensión del LAT de la UIS, se observa que después de un tiempo en servicio, el instrumento se encuentra en buenas condiciones y sigue cumpliendo con su funcionalidad en las pruebas del laboratorio en las que se utiliza. Las principales observaciones del estado actual son las siguientes:

- Al equipo le hace falta una limpieza general para quitarle el polvo de la parte exterior, con el cual se mejora su aspecto físico y se conserva en un buen ambiente de trabajo, además de protegerlo para que siga en funcionamiento por más tiempo.
- La bornera que se encuentra en la parte superior del divisor capacitivo amortiguado, en donde se conectan los equipos de prueba por medio de un conductor de varios hilos, es inadecuado porque no cuenta con una terminal acorde que permita una conexión funcional, ya que esta se conecta manualmente enrollando el cable al tornillo y después prensándolo por medio de la respectiva tuerca tal y como se puede observar en la Figura 32.

Figura 32. Bornera de conexión superior.



Fuente: Autores.

- El divisor se conecta a la malla de puesta tierra por medio de una lámina de cobre, que está bien acoplada al equipo. Esta lámina está conectada a un punto de anclaje que hace parte de la malla certificada por las normas de SPT.

Como se muestra en la Figura 33, en el punto de anclaje hay varias conexiones que corresponden a diferentes equipos pertenecientes al laboratorio. Distintas conexiones al mismo punto no afectan las tierras, ya que el punto está conectado directamente a la malla, pero si es recomendable distribuirlos de forma uniforme y ponchar los conductores de puesta a tierra a terminales que se encuentren normalizados.

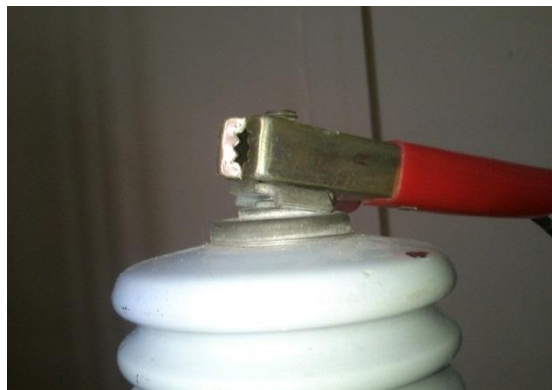
Figura 33. Punto de anclaje con varias conexiones.



Fuente: Autores.

- Cabe mencionar que algunos conductores que alimentan equipos a los que se le realizan las pruebas, tienen terminales tipo pinza, que son fáciles de conectar y seguros, además permiten un buen flujo de corriente (ver Figura 34).

Figura 34. Terminal tipo pinza.



Fuente: Autores.

- La conexión entre instrumento de prueba y la resistencia shunt es inadecuada, ya que se realiza por medio de un conductor al que se le retiro el material aislante en los extremos de forma manual y de igual manera se acoplo en la bornera de la resistencia como se observa en la Figura 35.

Figura 35. Conexión entre instrumento de prueba y resistencia Shunt.



Fuente: Autores.

4.3 TRANSFORMADOR ELEVADOR DE TENSIÓN TIPO TANQUE

El transformador elevador tipo tanque, al igual que la gran mayoría de los equipos, presenta acumulación de residuos en su superficie, esto producto de intervalos prolongados entre mantenimientos, especialmente en la parte inferior donde se localizan las borneras de conexión y su placa característica. Las conexiones entre borneras carecen de terminales aptos, que permitan un acople adecuado y seguro con los bornes de conexión de sus componentes (consola de mando, divisor resistivo). Para realizar los contactos se ha recurrido a un arreglo de tipo artesanal, en donde a los extremos del conductor se les retira el material aislante, los cuales son aprisionados por una tuerca y una arandela, y en algunos casos el cable desnudo es enrollado en el borne de conexión de forma directa, tal como se muestra en la figura 36.

Figura 36. Terminal tipo mariposa



Fuente: Autores.

La consola de mando se conecta con el transformador elevador por medio de un conductor aislado que está conformado por varios conductores. El material aislante en una sección de éste, se encuentra deteriorado y los conductores que están dentro se encuentran expuestos, valga aclarar que cada uno estos cuentan con su material aislante independiente como se muestra en la Figura 37, y permiten el normal funcionamiento según la prueba que se esté realizando.

Figura 37. Conductor consola de mando para pruebas en AC



Fuente: Autores.

El transformador elevador de tensión tipo tanque, consta de una consola de mando (ver Figura 38), que está compuesta por un autotransformador, que varía el nivel de tensión mediante un tap de transformación, a través de la acción gradual de un volante. También cuenta con un relé de sobre corriente tipo térmico, cuya función es proteger a los dispositivos de las sobre corrientes que puedan presentarse en la ejecución de las diferentes pruebas, y su inadecuada manipulación sumado al tiempo en servicio han generado que este dispositivo no esté cumpliendo la función para la cual fue diseñado.

Figura 38. Consola de mando tensión alterna



Fuente: Autores.

En la parte posterior de la consola de control de corriente alterna, se observan un número de conductores que no están conectados, porque hacen parte de un sistema de control que en la actualidad no se encuentra habilitado. Como hacen falta etiquetas en los conductores se pueden generar confusiones al momento de realizar un mantenimiento o una reconexión (ver Figura 39).

Figura 39. Consola parte posterior.



Fuente: Autores.

4.4 ESPINTERÓMETRO TIPO VERTICAL

Este equipo presenta al igual que los demás una ausencia de conexiones sólidas en algunos de sus terminales y borneras, sumado a esto también se observa cierta cantidad de polvo sobre el equipo, aunque en menor proporción que los demás (ver Figura 40).

Figura 40. Vista general del espinterómetro



Fuente: Autores.

En una de las esferas de cobre que hace parte del equipo, se evidencia una abolladura producto de un leve golpe propinado por un descuido en su manipulación, como se muestra en la Figura 41. Para solucionar esta imperfección se desmonto la esfera y de forma manual se corrijó la abolladura, ya que la norma enfatiza en que las esferas deben ser homogéneas.

Figura 41. Esferas de cobre defectuosa y corregida.



Fuente: Autores.

4.5 CHISPÓMETRO

Este equipo se encuentra en general en buen estado, aunque a algunas partes de él se les han adherido polvo en el transcurso de su prestación del servicio, actualmente cumple con su funcionalidad de manera normal. El conductor de puesta a tierra no se encuentra con una conexión sólida del equipo al punto de referencia y los terminales de conexión presentan falencias (ver Figura42).

Figura 42. Chispómetro.



Fuente: Autores.

5. ESTUDIO DE LAS RELACIONES DE TRANSFORMACIÓN DE LOS DIVISORES DE TENSIÓN

En el Laboratorio de alta tensión de la UIS, se encuentran dos tipos de divisores de tensión, uno capacitivo amortiguado, y otro resistivo. Debido al tiempo que llevan en servicio y su continuo uso, se desea saber si las relaciones dadas por los fabricantes u obtenidas en procesos de calibración anterior aún son las mismas. Si las relaciones de transformación ha cambiado, se sugiere implementarlas en la realización de futuras experiencias en el laboratorio.

5.1 DIVISOR CAPACITIVO AMORTIGUADO

El divisor capacitivo amortiguado existente en el LAT, cuyo fabricante es HAEFELY tipo CS 1000 sugiere una relación de transformación igual a:

$$720,5:1$$

La cual se verificó, mediante la medición de las capacitancias que conforman el elemento, esto fue posible gracias a la unidad M4100 que se muestra en la Figura 43.

Figura 43. Unidad M4100



Fuente: Autores.

El M4100 es uno de los instrumentos de prueba de aislamientos y potencia de aparatos más importantes del mundo. Su combinación única de capacidades de prueba y software de análisis de inteligencia artificial lo hacen el instrumento de factor de potencia Tan-Delta más confiable de la industria. Estos instrumentos se utilizan en todo el mundo gracias a sus exigentes características de seguridad y de precisión en la medición.

Las nuevas características de la cuarta generación del conjunto de pruebas M4100 incluyen:

- Módulo de potencia robusta
- Módulo de medición de alta precisión
- Doble controlador universal interpolable
- Módulo de interfaz de alta fiabilidad
- Sistema ampliado de Software y FRANK™ DTA6 Motor de Inteligencia Artificial
- Compatibilidad GFIC Clase B y RCBO
- Firmware de seguridad y el sistema de detección

El instrumento M4000 tiene un software para simplificar la gestión de los resultados de las pruebas. También ofrece una amplia gama de herramientas de auto-diagnóstico integradas.

Módulo de referencia de calibración del campo del M4151

El módulo de referencia de calibración del campo, que viene de serie con el M4100, le permite verificar la calibración del instrumento en el campo. En la Figura 44 se muestra el módulo de referencia.

Figura 44. Módulo M4151



Fuente: http://www.doble.com/products/m4000_features.html

La celda de aislamiento líquido

La celda de aislamiento líquido, también suministrada con el M4100, se puede utilizar en el campo para una rápida comprobación de precisión (ver Figura 45).

Figura 45. Celda de aislamiento líquido



Fuente: http://www.doble.com/products/m4000_features.html

Características y ventajas de las celdas de aislamiento líquido.

- Genera su propia señal de prueba limpia para resultados más confiables.
- Proporciona la máxima potencia para reproducir mejor las condiciones en servicio.
- Auto-calibración en el campo, así que siempre es preciso.
- Tecnología digital avanzada lleva la precisión a nuevos niveles.
- Instalación automatizada elimina errores.
- El software M4000 hace que las pruebas fáciles, rápidas e inteligentes.
- Los registros se presentan en un formato que es fácil de leer, guardar e imprimir.
- El conjunto integrado de pruebas de diagnóstico proporciona información sobre el estado del instrumento.
- La construcción robusta proporciona la exactitud de un instrumento de laboratorio con la capacidad de soportar duras condiciones de campo.¹⁶

¹⁶http://www.doble.com/products/m4000_features.html

En la Figura 46 se muestran los resultados de la auto calibración que se le realizó al M4100, antes de empezar con las medidas de las unidades capacitivas del divisor.

Figura 46. Resultado del auto calibración

RANGO de Corriente	LIMITES Resistencia	% de ERROR Resistencia	NOMINAL P/F/R	LIMITES Factor de Potencia	% de ERROR Factor de Potencia	NOMINAL P/F/R
300 uA	+/-0.5%	-0.0433	PASA	+/-0.04%	0.0005	PASA
1 mA	+/-0.5%	-0.0418	PASA	+/-0.04%	-0.0002	PASA
3 mA	+/-0.5%	-0.0494	PASA	+/-0.04%	-0.0020	PASA
10 mA	+/-0.5%	-0.0946	PASA	+/-0.04%	0.0002	PASA
30 mA	+/-0.5%	-0.0643	PASA	+/-0.04%	-0.0015	PASA
100 mA	+/-0.5%	-0.1084	PASA	+/-0.04%	-0.0011	PASA
300 mA	+/-0.5%	-0.0418	PASA	+/-0.04%	0.0004	PASA

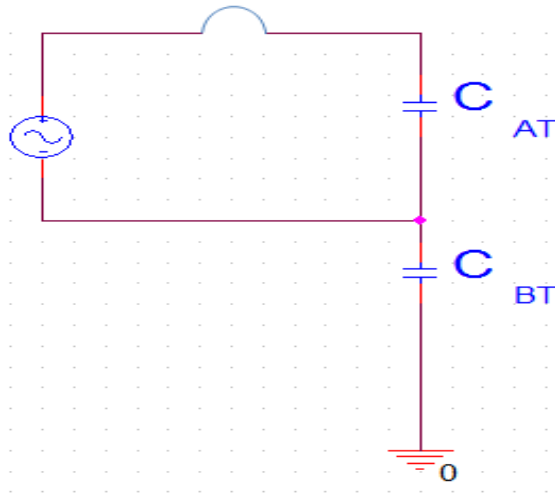
PRUEBA	VALOR MEDIDO	LIMITES	RESULTADOS
Conexion de la Pantalla de Guarda	0.00 uA	3.2 uA	PASA
Watts GST	977.08 uW	-1 to +10 mW	PASA

Imprimir Certificado Completo de Verificación de la Calibración
Verificación de Calibración Pasada.
PRESIONE F2 PARA INICIAR EL DIAGNOSTICO DE LA VERIFICACION DE LA CALIBRACION

Fuente: Autores.

Para obtener los valores de las capacitancias, fue necesario realizar una serie de montajes, con los cuales se hallaron los valores de estas, para el lado de baja y de alta tensión respectivamente, seguidamente, se procedió a realizar el mensurado de las capacitancias de cada una de las unidades alta tensión del divisor capacitivo amortiguado. En la Figura 47 se muestra el circuito con el que se midió el valor capacitivo de C_{AT} .

Figura 47. Diseño de medición capacitivo del lado de AT



Fuente: Autores.

La prueba consistió en aplicar un valor elevado de tensión de 10 kV, y con este nivel el módulo calculó el valor de la capacitancia; además de realizar las distintas conexiones, se aterrizó la capacitancia de baja tensión con el fin de protegerla de las altas tensiones que se estaban manejando. El montaje realizado para hacer esta medición se muestra en la Figura 48.

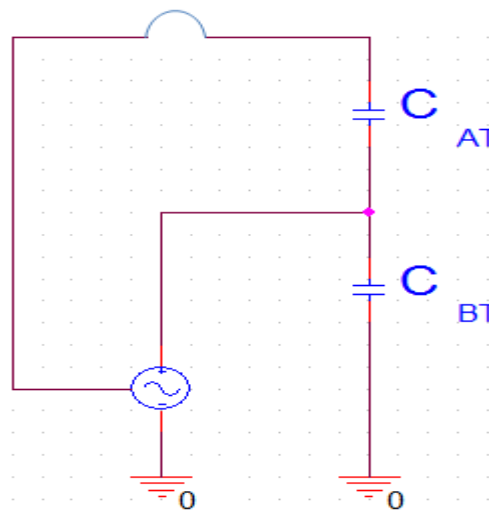
Figura 48. Montaje de la medición con el equipo M4100



Fuente: Autores.

Para hallar el valor capacitivo del lado de baja tensión, se realizó el montaje del esquema que se muestra en la Figura 49 suministrando al equipo de medida un nivel de tensión de 200 V. Como se observa en el circuito por el lado de alta tensión se le inyecta una corriente que no afecta el mensurando, debido a que el módulo M4100 en su multifuncionalidad, ejecuta un comando que omite la circulación de la corriente a través de este lazo.

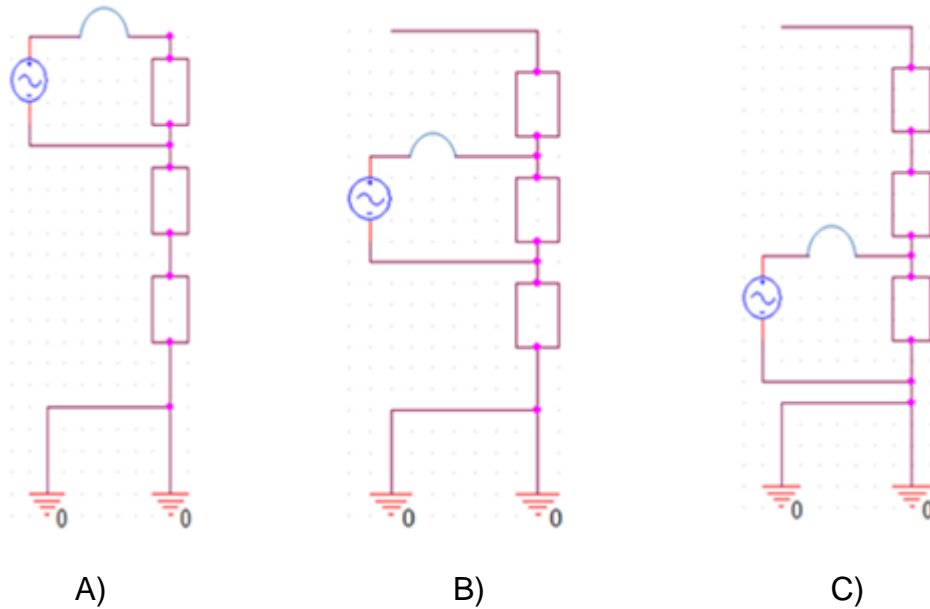
Figura 49. Esquema de medición capacitivo de BT



Fuente: Autores.

Para los módulos de AT se realizaron los montaje de los circuitos que se observan en la Figura 50, con los cuales se hallaron los valores capacitivos de cada uno. Para estas medidas el M4100 se alimentó con un nivel de tensión de 10 kV, y a su vez se protegió la capacitancia de baja tensión. Los módulos de alta tensión se midieron de la parte superior hacia la parte inferior, que se nombraron en la hoja de cálculo generada por el instrumento como: $C_{superior}$, $C_{intermedia}$ y $C_{inferior}$, ver Figura 50.

Figura 50. Esquema de medición de los módulos capacitivos de AT



Fuente: Autores.

Los resultados de todas las mediciones, se recopilaron por medio del software del equipo de medida, el cual generó los correspondientes valores de cada mensurando, para posteriormente realizar el cálculo de la relación de transformación del divisor capacitivo, según el modelo matemático sugerido por el fabricante.¹⁷

En la Figura 51 se observan los resultados obtenidos del proceso de medición.

¹⁷ HAEFELY CS damped capacitive impulse voltage

Figura 51. Resultados de la medición divisor capacitivo amortiguado

M4000 - Clipboard
09/10/13 09:38 AM

Página 1 de 1

Dato de Placa			
Fecha (DD/MM/AA)	04/10/13	Hora	05:08 PM
Compañía	Universidad Industrial de Santander		
Localización	Laboratorio Alta Tension UIS		
Equipo	Divisor Capacitivo HAEFELY		
Número de Serie			
Fabricante	HAEFELY		
Identificación especial	DC HAEFELY UIS		
Designación de circuito			

Información Administrativa			
Verificado por	Julio Chacon	Probado por	Jose A Pineda, JR
Controlador Número		Hoja Número	
Instrumento Número			

Condiciones de Prueba			
Clima	Interiors	Temperatura de Aire	71 °C
Humedad	77 %	Temperatura de Aceite	

Resultados de Prueba											
No	ID Prueba	C	Desc. Circ.	kV	mA	Watts	Med. %FP	Corr. Fctr	Corr. %FP	Cap./ Ind.	R T
1	Divisor Capacitivo HAEFE	A	TIERRA-RA					1.00			
2	Serie:	A	TIERRA-RA					1.00			
3	C Total	A	UST-A	10.00	2.480	0.500	2.015	1.00	2.015	657.75 pF	
4	Tip Up	A	UST-A	2.500	2.481	0.506	2.040	1.00	2.040	657.90 pF	
5		A	TIERRA-RA					1.00			
6	C Superior	A	UST-R	10.00	7.439	0.439	0.589	1.00	0.589	1973.36 pF	
7	Tip Up	A	UST-R	2.500	7.443	0.539	0.725	1.00	0.725	1974.26 pF	
8		A	TIERRA-RA					1.00			
9	C Intermedio	A	UST-R	10.00	7.499	0.127	0.169	1.00	0.169	1989.06 pF	
10	Tip Up	A	UST-R	2.500	7.496	0.132	0.176	1.00	0.176	1988.25 pF	
11		A	TIERRA-RA					1.00			
12	C Inferior	A	UST-R	10.00	7.482	0.406	0.543	1.00	0.543	1984.72 pF	
13	Tip Up	A	UST-R	2.500	6.502	0.467	0.718	1.00	0.718	1724.64 pF	
14		A	TIERRA-RA					1.00			
15	C Baja	A	GUARDA-R	0.200	1796.860	293.605	1.634	1.00	1.634	0.47656 uF	
16	Rep C Baja	A	GUARDA-R	0.200	1796.864	293.869	1.635	1.00	1.635	0.47657 uF	

Parámetros de CL (Configuración de Línea):

A = Ref. a 10 kV, Modulación de Frecuencia de línea, 60 Hz
 B = Ref. a 10 kV, Modulación de Frecuencia de línea, 50 Hz
 C = Ref. a 10 kV, Inversión de Sincronización de línea
 D = Valores actuales, Modulación de Frecuencia de línea, 60 Hz
 E = Valores actuales, Modulación de Frecuencia de línea, 50 Hz
 F = Valores actuales, Inversión de Sincronización de línea
 G = Valores actuales, Prueba de Sincronización de línea
 H = Ref. a 10 kV, Prueba de Sincronización de línea

26 grados centigrados y 72%H

Hoja de Nota

Fuente: Autores.

Una vez realizados los cálculos se obtuvieron los siguientes valores de capacitancia:

$$C_1 = 657,75 \text{ pF}$$

$$C_2 = 0,4765 \text{ } \mu\text{F}$$

Para calcular la relación del divisor capacitivo según el fabricante, es necesario encontrar los valores de los parámetros que están incluidos en el modelo matemático dado en la Ecuación 4.1.

C_1 = Capacitancia del lado de alta tensión

C_2 = Capacitancia del lado de baja tensión

ℓ = Longitud del cable de medida (20 m)

C_K = Capacitancia del cable 67 pF

Se calculó la relación de la siguiente manera:

$$n = \frac{C_2 * \ell * C_K}{C_1} + 1 \quad (4.1)$$
$$n = \frac{0,4765 * 10^{-6} + 20 * 67 * 10^{-12}}{657,75 * 10^{-12}} + 1$$

$$n = 727,5$$

A continuación se realiza el cálculo del error para n:

$$E_r \% = \frac{E_{teor} - E_{exp}}{E_{exp}} * 100 \quad (4.2)$$

$$E_r \% = \frac{720,5 - 727,5}{727,5} * 100 = -0,96\%$$

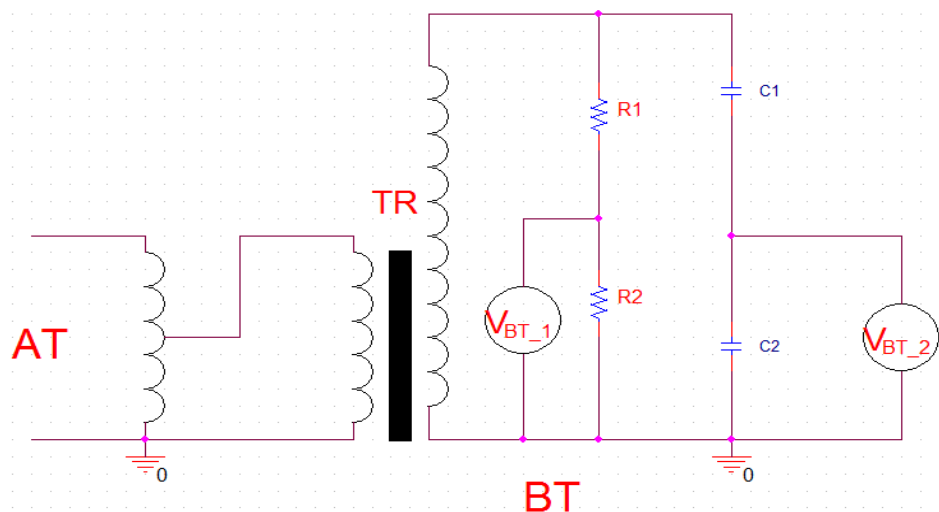
Con la comparación de los sistemas de medición, el realizado por el fabricante (ver anexo A pág. 135) y el realizado por los autores, se evidencia que tanto los valores capacitivos como la relación del divisor arrojan resultados similares, por lo cual el proceso cumplió las expectativas trazadas en el alcance de la

investigación. Se sugiere realizar las prácticas con la relación que se aplica actualmente, ya que el resultado en el error es mínimo

5.2 DIVISOR RESISTIVO

Debido a que el divisor resistivo presenta una pequeña fuga de aceite desde su interior, puede ser un indicio de que sus características hayan cambiado, de lo cual surge la inquietud si estos cambios han afectado la relación calibrada utilizada (1055:1). De ser así, se debe hallar un factor de corrección o la nueva relación de transformación, de tal forma que se pueda obtener un valor más cercano al real. Para ello se realizó un montaje en el LAT que incluyó al divisor capacitivo amortiguado, al divisor resistivo, a la consola de mando de AC, y a los dos osciloscopios disponibles en el laboratorio, como se muestra a continuación en la Figura 52.

Figura 52. Circuito para realizar la prueba de la RTDR



Fuente: Medición de pérdidas corona y nivel de radio interferencia en líneas cortas enmalladas, Raúl Omar Vila C.

En la Figura 52 se observa la utilización del auto transformador de AT disponible en el laboratorio, el cual alimenta el lado de alta del transformador elevador de tensión que se encuentra en vacío y los resultados de las mediciones se obtuvieron en el lado de baja tensión. Donde la relación de transformación del divisor capacitivo fue hallada con anterioridad. Partiendo de este hecho se mide la tensión en el lado de baja y haciendo uso de la relación de transformación del divisor capacitivo amortiguado se logra el valor de alta tensión, valor que se utiliza para alimentar el auto transformador.

La medición en el divisor resistivo se realiza en el lado de baja tensión, y conociendo el valor de alta se traza una curva que relaciona estos dos valores mediante una función lineal.

Tabla 10. Resultados del mensurando de la RTDR

V ALTA KV	V ALTA KV	V1 CAPACITIVO	V2 RESISTIVO	V1 CAPACITIVO PROMEDIO	V2 RESISTIVO PROMEDIO	V ALTA PROMEDIO
10	13,74570447	14,1	9,05	14,1	9,038	10257,75
		14,1	9,02			
		14,1	9,05			
		14,1	9,03			
		14,1	9,04			
20	27,49140893	27,3	17,99	27,24	17,946	19817,1
		27,3	17,96			
		27,2	17,94			
		27,2	17,96			
		27,2	17,88			
30	41,2371134	41,5	27,51	41,18	27,27	29958,45
		41,2	27,3			
		41,1	27,17			
		41	27,14			
		41,1	27,23			
40	54,98281787	54,8	36,7	54,72	36,54	39808,8
		54,7	36,5			

V ALTA KV	V ALTA KV	V1 CAPACITIVO	V2 RESISTIVO	V1 CAPACITIVO PROMEDIO	V2 RESISTIVO PROMEDIO	V ALTA PROMEDIO
		54,7	36,5			
		54,7	36,5			
		54,7	36,5			
50	68,72852234	68,9	46,3	68,96	46,34	50168,4
		68,9	46,3			
		68,9	46,3			
		69	46,4			
		69,1	46,4			
60	82,4742268	83,1	53,3	83,06	54,54	60426,15
		83,1	53,3			
		83	56,4			
		83,1	53,3			
		83	56,4			
70	96,21993127	96	65,6	96	65,46	69840
		96	65,4			
		96	65,2			
		96	65,5			
		96	65,6			
80	109,9656357	110	74,9	110	75,12	80025
		110	75,1			
		110	75,1			
		110	75			
		110	75,5			
90	123,7113402	124	84,7	124	84,82	90210
		124	84,9			
		124	84,8			
		124	84,8			
		124	84,9			
100	137,4570447	138	94,7	138	94,86	100395
		138	95,3			
		138	94,6			
		138	94,8			
		138	94,9			

V ALTA KV	V ALTA KV	V1 CAPACITIVO	V2 RESISTIVO	V1 CAPACITIVO PROMEDIO	V2 RESISTIVO PROMEDIO	V ALTA PROMEDIO
110	151,2027491	152	104,8	152	104,66	110580
		152	104,9			
		152	104,6			
		152	104,3			
		152	104,7			
120	164,9484536	165	114,2	165	114,1	120037,5
		165	114,5			
		165	113,9			
		165	114			
		165	113,9			
130	178,6941581	179	124,3	179	124,08	130222,5
		179	124,1			
		179	123,8			
		179	124,1			
		179	124,1			
140	192,4398625	193	134,1	193	133,9	140407,5
		193	133,8			
		193	133,7			
		193	133,9			
		193	134			
150	206,185567	207	143,7	207	143,72	150592,5
		207	143,8			
		207	143,6			
		207	144			
		207	143,5			

Fuente: Autores

Frecuentemente es necesario hacer ajustes de modelos lineales a los resultados de mediciones, cuando una de las variables medidas depende de otra de ellas. En estas situaciones, la información que debe obtenerse son los parámetros que caracterizan a la función que debe relacionar ambas variables. Sin duda, el caso más simple es una relación lineal, en la que deben determinarse como parámetros la pendiente y la ordenada al origen de una recta.

El método más simple para el ajuste de una recta a un conjunto de parejas de datos experimentales se refiere a la regresión lineal, también conocido como el de mínimos cuadrados lineales. En este método, se hace una minimización de la suma cuadrática de las distancias verticales entre los datos experimentales y la recta por ajustar, considerando como variables a la pendiente m y la ordenada al origen b .¹⁸

De donde, realizando una regresión de tipo lineal se obtuvo la siguiente función:

$$V_{AT} = 1036,27 * V_{BTR} + 2036,01 \quad (4.3)$$

Y

$$r = 0,9996$$

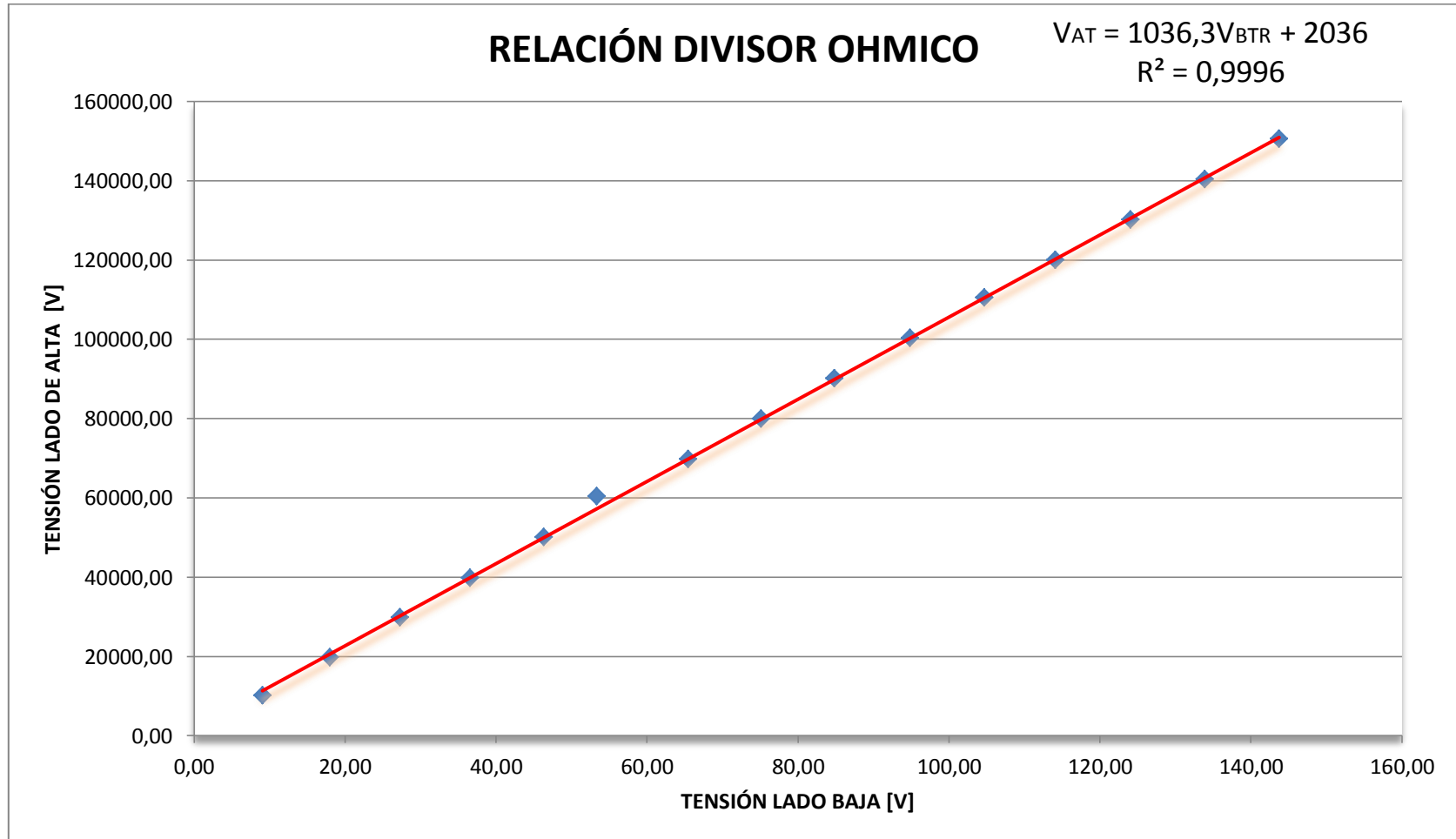
Del anterior modelo matemático se puede concluir, que debido al valor de la correlación que es aproximadamente igual a uno, la ecuación lineal (4.3) es acertada con respecto a los datos hallados en el mensurando. La pendiente de la recta, es equivalente a la relación de transformación del divisor de tensión resistivo, cuyo valor es:

$$\mathbf{RTDR = 1036,27:1}$$

En la Figura se muestra la evaluación de la incertidumbre de la regresión que permitió determinar la RTDR.

¹⁸ http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/eval_incert_6905.pdf

Figura 53. Relación de transformación divisor óhmico



Fuente: Autores

5.2.1 Evaluación de la incertidumbre en regresión lineal En seguida se realiza un cálculo, para hallar la incertidumbre en la medición de la relación del divisor resistivo, el cual se encuentra en el LAT, y cuyo valor es la pendiente de la función lineal, como la mostrada en la ecuación 4.4.

$$V_{AT} = RTDR * V_{BTR} + b \quad (4.4)$$

Dónde:

$RTDR$ Es el valor de la pendiente de la función

b Corte con en el eje vertical

A partir de la ecuación 4.4, se derivan las siguientes expresiones:

$$RTDR = \frac{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi} * V_{ATi} - \frac{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi} * \sum_{i=1}^N V_{ATi}}{N}}{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi}^2 - \frac{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi}^2}{N}} = 1036,27 \quad (4.5)$$

Y

$$b = \frac{\frac{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi}^2 * \sum_{i=1}^N V_{ATi} - \frac{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi} * \sum_{i=1}^N V_{ATi}}{N}}{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi}^2 - \frac{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi}^2}{N}}}{N} = 2036,01 V \quad (4.6)$$

Dónde:

N Es el número de parejas de datos experimentales, con V_{BTRi}, V_{ATi} las coordenadas del punto i

V_{AT} Valor promedio de la tensión AT para cada medida

V_{BTR} Valor promedio de la tensión BT para cada medida, ubicado en el divisor de tensión resistivo.

Los valores promedio de cada una de las medidas de tensión utilizadas en las ecuaciones anteriores, se refirieron de la tabla 10 en las columnas V2 resistivo promedio y VALTA promedio.

Seguidamente se calcula un equivalente de la desviación estándar de la siguiente forma:

$$\delta_{VAT} = \frac{\sqrt{\frac{N}{N-2} \sum_{i=1}^N (V_{ATi} - mV_{BTRi} - b)^2}}{N-2} = 983,03 \text{ V} \quad (4.7)$$

Una vez calculada esta desviación estándar, se determinan las incertidumbres en la pendiente, μ_m , y en la ordenada al origen, μ_b , con las expresiones:

$$\mu_{RTDR} = \delta_{VAT} * \frac{N}{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi}^2 - \left(\sum_{i=1}^N V_{BTRi} \right)^2} = 6,07 \quad (4.8)$$

$$\mu_b = \delta_{VAT} * \frac{\sum_{i=1}^N V_{BTRi}^2}{N \sum_{i=1}^N V_{BTRi}^2 - \left(\sum_{i=1}^N V_{BTRi} \right)^2} = 523,29 \quad (4.9)$$

Por lo que, el resultado de la medición, expresado de la siguiente forma $x \pm \mu$, será:

$$V_{AT} = 1036,27 \pm 6,07 * V_{BTR} + 2036,01 \pm 523,29 \text{ V} \quad (4.10)$$

Por el resultado del cálculo de la incertidumbre se sugiere adoptar el nuevo valor para la relación del divisor resistivo, ya que la actual esta por fuera del rango.

A continuación se realiza el cálculo del error para RTDR:

$$E_r \% = \frac{E_{teor} - E_{exp}}{E_{exp}} * 100 \quad (4.11)$$

$$E_r \% = \frac{1055 - 1036,27}{1036,27} * 100 = 1,8\%$$

El proceso de evaluación de incertidumbre sugiere que el antiguo valor de la relación de transformación se encuentra por fuera del rango, a pesar que el error sea pequeño se sugiere trabajar con la nueva relación de transformación.

6. DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD DEL LAT

En este capítulo se revisará el estado de los sistemas de seguridad del laboratorio, para verificar si cumplen con las normas y los estándares para los cuales se diseñaron, tanto para seguridad del personal como para la protección de los equipos.

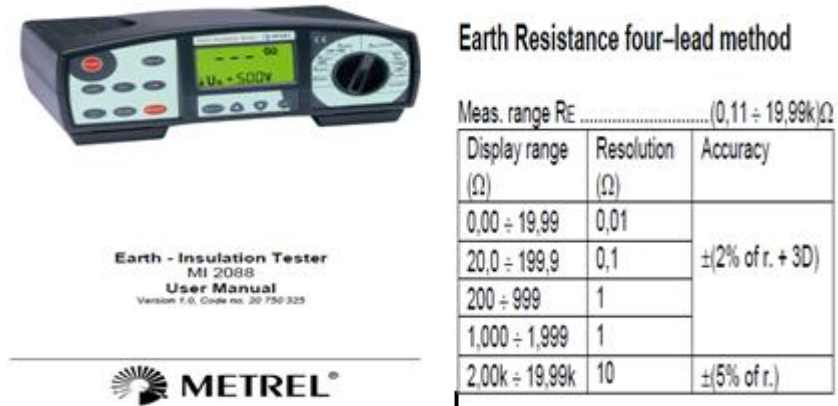
Los sistemas a analizar en el LAT son:

- Sistemas de puesta a tierra.
- Sistema de tranca puerta.
- Apantallamiento de los equipos.

6.1 MALLA DE PUESTA A TIERRA

Se realizó la medición de la resistencia de la malla de puesta a tierra del LAT utilizando el método de medida de los tres polos o el 62%, con el fin de realizar un diagnóstico de su estado actual, para lo cual se utilizó el telurómetro disponible en el laboratorio de máquinas eléctricas cuyas características se muestran en la Figura 54.

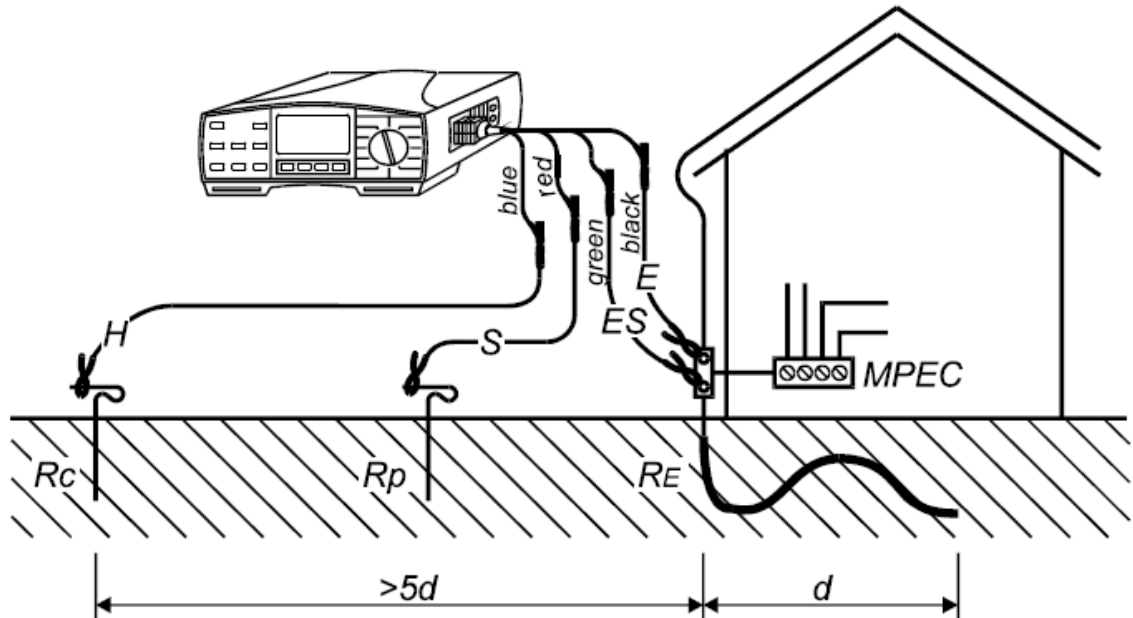
Figura 54. Características del telurómetro



Fuente: METREL Earth Insulation Tester MI2088 User Manual

Para efectuar esta medición se usaron dos trayectorias, y de esta forma tomar el caso más desfavorable. En una de las trayectorias usadas se tomó como punto de referencia uno de los alambres que suben de la malla de tierra que se encuentran en la parte exterior del laboratorio, detrás de la malla coaxial, seguidamente el electrodo de corriente se ubicó en la zona verde cercano al edificio Beltrán Pinzón. Para obtener una mejor medición se realizaron una serie de perforaciones en el pavimento del parqueadero del LAT, y allí ubicar los electrodos según la distancia utilizada en el mensurando (ver Figura 55).

Figura 55. Conexión del telurómetro para medir la resistencia del terreno



Fuente: Earth - Insulation Tester MI 2088 User Manual Version 1.0, Code no. 20 750 325

Se efectuaron cinco medidas con intervalos de un minuto en cada uno de los puntos en los que se ubicó el electrodo de potencial, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Valores medidos de la resistencia del LAT de la UIS hacia el edificio Beltrán Pinzón

RESISTENCIA PAT LAT			
Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo m	Distancia de la periferia de la malla PAT al segundo electrodo m	Resistencia Ω	Promedio Ω
8	50	5,42	5,40
		5,35	
		5,39	
		5,40	
		5,42	

RESISTENCIA PAT LAT			
Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo m	Distancia de la periferia de la malla PAT al segundo electrodo m	Resistencia Ω	Promedio Ω
12	50	6,73	6,83
		7,08	
		6,86	
		6,78	
		6,72	
16	50	7,77	7,75
		7,75	
		7,70	
		7,68	
		7,83	
20	50	7,94	7,96
		7,95	
		7,94	
		7,96	
		8,03	
24	50	8,60	8,87
		9,01	
		8,91	
		8,94	
		8,91	
28	50	9,97	10,00
		9,92	
		9,96	
		10,18	
		9,95	
32	50	13,61	13,56
		13,69	
		13,65	

RESISTENCIA PAT LAT			
Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo m	Distancia de la periferia de la malla PAT al segundo electrodo m	Resistencia Ω	Promedio Ω
		13,18	
		13,65	
36	50	16,30	16,42
		16,52	
		16,44	
		16,40	
		16,46	
40	50	22,90	22,88
		22,90	
		22,70	
		22,60	
		23,30	
44	50	36,80	36,66
		36,40	
		36,60	
		36,80	
		36,70	
48	50	103,40	103,90
		104,60	
		104,10	
		103,70	
		103,70	

Fuente: Autores.

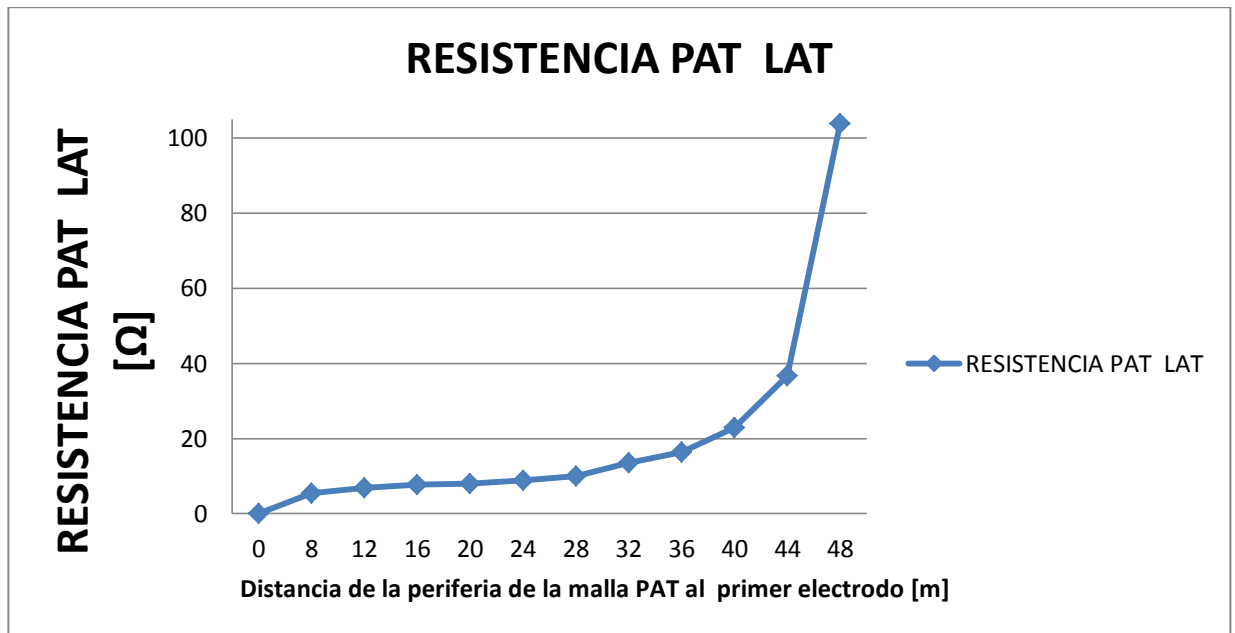
Tabla 12. Valores promedio de la resistencia del LAT de la UIS hacia el edificio Beltrán Pinzón

Promedio [Ω]	Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo [m]
0	0
5,40	8
6,83	12
7,75	16
7,96	20
8,87	24
10,00	28
13,56	32
16,42	36
22,88	40
36,66	44
103,90	48

Fuente: Autores.

El comportamiento de la resistencia de la malla de puesta a tierra se muestra en la Figura 56.

Figura 56. Resistencia de la puesta a tierra del LAT medida hacia el edificio Beltrán Pinzón



Fuente: Autores.

Según el criterio del 61,8% de la distancia a la cual se encuentra ubicado el electrodo de corriente de la periferia de la malla, el valor de la resistencia es 13,54 Ω .

La segunda medición se realizó tomando como referencia una de las conexiones a la malla de puesta a tierra que se encuentran dentro del LAT, el electrodo de corriente se ubicó cerca al nuevo edificio de la Escuela de Eléctrica, de este procedimiento se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores medidos de la resistencia del LAT de la UIS hacia el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo m	Distancia de la periferia de la malla PAT al segundo electrodo m	Resistencia Ω	Promedio Ω
2	50	2,33	2,32
		2,31	
		2,33	
		2,31	
		2,31	
6	50	4,59	4,61
		4,58	
		4,65	
		4,57	
		4,65	
10	50	7,21	7,16
		7,14	
		7,14	
		7,14	
		7,17	
14	50	7,25	7,33
		7,39	
		7,32	
		7,39	
		7,31	

Fuente: Autores.

Continuación de la Tabla 13.

Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo m	Distancia de la periferia de la malla PAT al segundo electrodo m	Resistencia Ω	Promedio Ω
18	50	7,58	7,61
		7,63	
		7,60	
		7,64	
		7,61	
22	50	7,78	7,82
		7,84	
		7,75	
		7,94	
		7,80	
26	50	8,02	8,06
		8,03	
		8,12	
		8,06	
		8,05	
30	50	8,49	8,47
		8,46	
		8,46	
		8,47	
		8,46	
34	50	10,42	11,05
		11,20	
		11,21	
		11,20	
		11,23	
38	50	15,97	15,85
		15,93	
		15,80	
		15,76	
		15,79	

Continuación de la Tabla 13

Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo m	Distancia de la periferia de la malla PAT al segundo electrodo m	Resistencia Ω	Promedio Ω
42	50	27,00	27,04
		27,00	
		27,10	
		27,00	
		27,10	
46	50	68,90	68,72
		68,80	
		68,50	
		68,50	
		68,90	

Fuente: Autores.

En la Tabla 14 se muestran los parámetros para el diseño de la malla de puesta a tierra

Tabla 14. Valores promedio de la resistencia del LAT de la UIS hacia el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

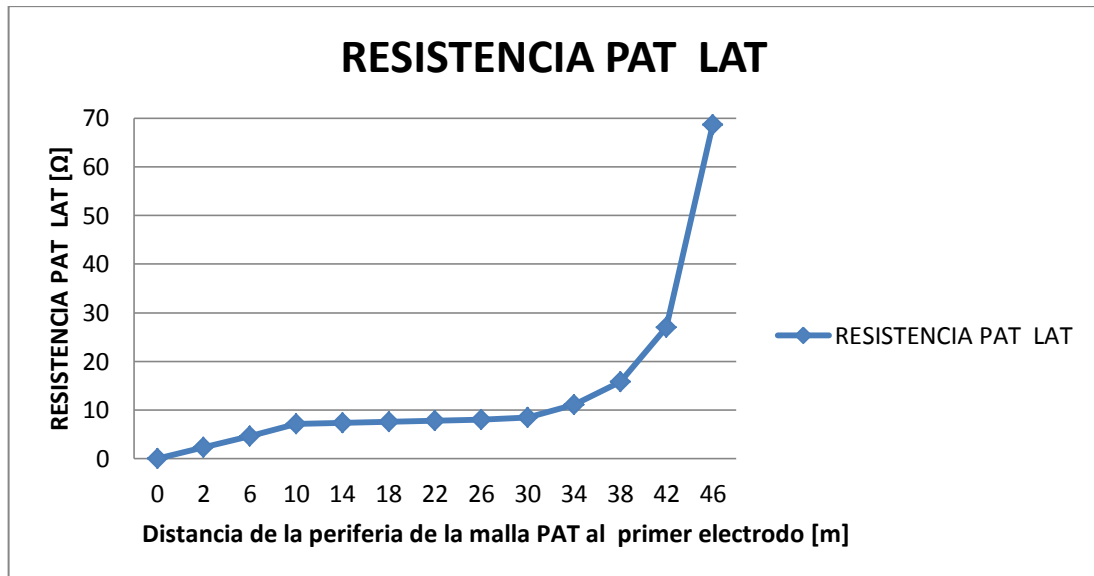
Promedio Ω	Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo m
0	0
2,32	2
4,61	6
7,16	10
7,33	14
7,61	18
7,82	22
8,06	26

Promedio Ω	Distancia de la periferia de la malla PAT al primer electrodo m
8,47	30
11,05	34
15,85	38
27,04	42
68,72	46

Fuente: Autores.

El comportamiento de la resistencia de la malla de puesta a tierra se observa en la Figura 57.

Figura 57. Resistencia de la puesta a tierra del LAT medida hacia el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica



Fuente: Autores.

Según el criterio del 61,8% de la distancia a la cual se encuentra ubicado el electrodo de corriente de la periferia de la malla, el valor de la resistencia es 8,57 Ω .

Como se realizaron dos medidas en direcciones diferentes se tomó como valor real, el caso más desfavorable, es decir el valor de $13,54 \Omega$. Lo que indica que este resultado se encuentra por encima del permitido por la norma IEEE 80-2000 que sugiere un valor menor o igual a 1Ω .

La malla de puesta a tierra no representa ninguna incertidumbre al momento de realizar una medición, puesto que independientemente de su estado, no genera perturbaciones en las mediciones obtenidas, puesto que su fin es de seguridad y protección de los equipos y de las personas que habitan y operan en esta estructura.

6.1.1 Incertidumbre en la medición de la resistencia puesta a tierra En seguida se realiza un cálculo tipo, para hallar la incertidumbre en la medición de la resistencia de puesta a tierra del LAT de la UIS, los otros valores del proceso se reflejan en las tablas 16 y 17.

EVALUACIÓN TIPO A DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA

Entonces la media aritmética:

$$y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \quad (5.1)$$

Dónde:

y Media aritmética

X_i Magnitud de entrada

n Observaciones estadísticamente independientes ($n > 1$)

y_j ($j = 1, 2, 3, \dots, n$)

Como ejemplo los datos arrojados en el primer mensurando para hallar el valor de la resistencia de puesta a tierra del LAT tomados de la Tabla 12, y para la distancia de 8 m, a continuación se muestran estos valores en la Tabla 15.

Tabla 15. Primer mensurando de RPT

Medición No	1	2	3	4	5
RPT Ω	5,42	5,35	5,39	5,40	5,42

Fuente: Autores.

Se calcula la media aritmética como:

$$y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j = \frac{1}{5} (5,42 + 5,35 + 5,39 + 5,40 + 5,42) = 5,40 \Omega$$

A continuación se halla la varianza experimental la cual está dada por:

$$S^2 y = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n y_j^2 - y^2 \quad (5.2)$$
$$S^2 y = \frac{1}{4} (5,42^2 - 5,40^2 + 5,35^2 - 5,40^2 + 5,39^2 - 5,40^2 + 5,40^2 - 5,40^2 + 5,42^2 - 5,40^2) = 8,5 * 10^{-4} \Omega$$

Enseguida se calcula la varianza experimental de la media aritmética:

$$S^2 y = \frac{S^2(y)}{n} \quad (5.3)$$

Se define la incertidumbre tipo A por:

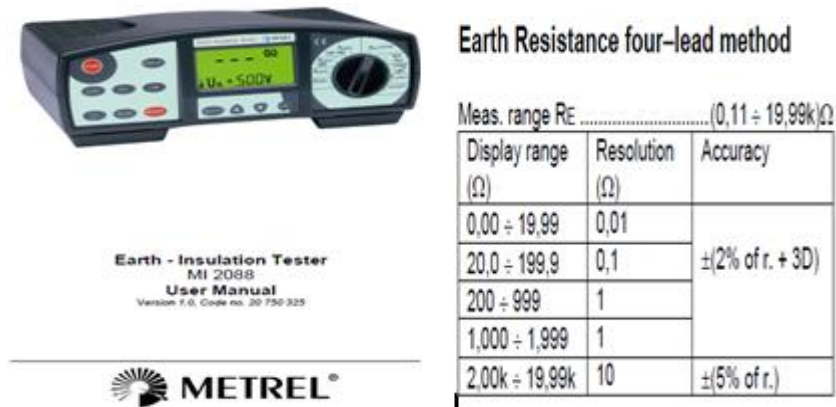
$$\mu(y)_A = \sqrt{\overline{S^2(y)}} = \frac{S(y)}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{8,5 * 10^{-4}}}{\sqrt{5}} = 0,013 \Omega \quad (5.4)$$

EVALUACIÓN TIPO B DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA

Para cuantificar la incertidumbre tipo B se consideraron especificaciones de exactitud y precisión del equipo de medida (ver Figura 58), entregado por el fabricante.

Se calcula el error de la precisión y la resolución según especificaciones dadas por el mismo.

Figura 58. Datos característicos del equipo de medida



Fuente: METREL Earth Insulation Tester MI2088 User Manual

Se calcula el error de la precisión como:

$$E_{Rm} = \pm 2\% * Rm + 3Díg = \pm 2\% * 5,40 + 3 * 0,01 = \pm 0,138 \Omega \quad (5.5)$$

Donde Rm es la resistencia de tierra promedio del primer mensurando y E_{Rm} es el error de la precisión del equipo utilizado en la medida

Por otra parte, la resolución del equipo de medida es:

$$Res_{Rm} = \pm \frac{0,01}{2} = \pm 0,005 \Omega \quad (5.6)$$

Para los valores dados antes, se considera una distribución de probabilidad rectangular para hallar sus incertidumbres:

$$\mu y_i = \pm \frac{a}{3} \quad (5.7)$$

Entonces:

$$\begin{aligned}\mu E_{Rm} &= \pm \frac{0,138}{\sqrt{3}} = \pm 0,08 \Omega \\ \mu Res_{Rm} &= \pm \frac{0,005}{\sqrt{3}} = \pm 0,003 \Omega\end{aligned}$$

La incertidumbre tipo B está dada por:

$$\mu(y)_B = \pm \sqrt{\mu^2 E_{Rm} + \mu^2 Res_{Rm}} = \pm 0,080 \Omega \quad (5.7)$$

Se calcula la incertidumbre expandida asociada que corresponde a una probabilidad de cobertura de, aproximadamente, un 95% (k=2) por medio de:

$$\mu = \pm k \sqrt{\mu^2(y)_A + \mu^2(y)_B} = \pm 2 * \sqrt{0,013^2 + 0,083^2} = \pm 0,17 \Omega \quad (5.8)$$

Por lo que, el resultado de la medición, expresado de la siguiente forma $x \pm \mu$, será:

$$\mathbf{R_{PT} = 5,40 \pm 0,17 \Omega} \quad (5.9)$$

En las Tablas 16 y 17 se presentan los resultados de las mediciones, que se realizaron para obtener un estimado de la resistencia puesta a tierra. Para este proceso se tomaron 5 muestras por cada medida, con intervalos de un minuto.

Tabla 16. Incertidumbre primera medición de RPT (Ed. Beltrán Pinzón)

INCERTIDUMBRE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DIRIGIDA HACIA EL ED. BELTRÁN PINZÓN												
No de repit n	Resist (yj) Ω	Prom. (\bar{y}) Ω	Varianza exp. S ² (y)	Incert. TipA μ(y)A	Error precisión (Erm)	Resol. Equipo (RESrm)	Incert. Rect μ(Erm)	Incert. Rect μ(RESrm)	Incert. TipB μ(y)B	Incert. Salida (μ)	Result. Medición (Rpt) Ω	% de Incertd %μ
1	5,42	5,40	0,00083	0,0129	0,138	0,005	0,0796	0,0029	0,080	0,16	5,40 ± 0,16	2,99
2	5,35											
3	5,39											
4	5,40											
5	5,42											
1	6,73	6,83	0,02198	0,0663	0,167	0,005	0,0962	0,0029	0,096	0,23	6,83 ± 0,23	3,42
2	7,08											
3	6,86											
4	6,78											
5	6,72											
1	7,77	7,75	0,00353	0,0266	0,185	0,005	0,1068	0,0029	0,107	0,22	7,75 ± 0,22	2,84
2	7,75											
3	7,70											
4	7,68											
5	7,83											
1	7,94	7,96	0,00143	0,0169	0,189	0,005	0,1093	0,0029	0,109	0,22	7,96 ± 0,22	2,78
2	7,95											
3	7,94											
4	7,96											
5	8,03											

Fuente: Autores.

Continuación de la Tabla 16

No de repit n	Resist (yj) Ω	Prom. (\bar{y}) Ω	Varianza exp. S ² (y)	Incert. TipA μ(y)A	Error precisión (Erm)	Resol. Equipo (RESrm)	Incert. Rect μ(Erm)	Incert. Rect μ(RESrm)	Incert. TipB μ(y)B	Incert. Salida (μ)	Result. Medición (Rpt) Ω	% de Incertd %μ
1	8,60	8,87	0,02513	0,0709	0,207	0,005	0,1198	0,0029	0,120	0,28	8,87 ± 0,28	3,14
2	9,01											
3	8,91											
4	8,94											
5	8,91											
1	9,97	10,00	0,01093	0,0468	0,230	0,005	0,1327	0,0029	0,133	0,28	10,00 ± 0,28	2,82
2	9,92											
3	9,96											
4	10,18											
5	9,95											
1	13,61	13,56	0,04498	0,0948	0,301	0,005	0,1739	0,0029	0,174	0,40	13,56 ± 0,40	2,92
2	13,69											
3	13,65											
4	13,18											
5	13,65											
1	16,30	16,42	0,00668	0,0366	0,358	0,005	0,2070	0,0029	0,207	0,42	16,42 ± 0,42	2,56
2	16,52											
3	16,44											
4	16,40											
5	16,46											

Fuente: Autores.

Continuación de la Tabla 16

No de repit n	Resist (yj) Ω	Prom. (ȳ) Ω	Varianza exp. S ² (y)	Incert. TipA μ(y)A	Error precisión (Erm)	Resol. Equipo (RESrm)	Incert. Rect μ(Erm)	Incert. Rect μ(RESrm)	Incert. TipB μ(y)B	Incert. Salida μ	Result. Medición (Rpt) Ω	% de Incerd %μ
1	22,90	22,88	0,07200	0,1200	0,758	0,05	0,4374	0,0289	0,438	0,91	22,88 ± 0,91	3,97
2	22,90											
3	22,70											
4	22,60											
5	23,30											
1	36,80	36,66	0,02800	0,0748	1,033	0,05	0,5965	0,0289	0,597	1,20	36,66 ± 1,20	3,28
2	36,40											
3	36,60											
4	36,80											
5	36,70											
1	103,40	103,90	0,21500	0,2074	2,378	0,05	1,3729	0,0289	1,373	2,78	103,9 ± 2,78	2,67
2	104,60											
3	104,10											
4	103,70											
5	103,70											

Fuente: Autores.

Tabla 17. Incertidumbre segunda medición de RPT (Ed. Eléctrica)

INCERTIDUMBRE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DIRIGIDA HACIA EL ED. DE ELÉCTRICA												
No de repit n	Resist (y) Ω	Prom. (ȳ) Ω	Varianza exp. S ² (y)	Incert. TipA μ(y)A	Error precisión (Erm)	Resol. Equipo (RESrm)	Incert. Rect μ(Erm)	Incert. Rect μ(RESrm)	Incert. TipB μ(y)B	Incert. Salida (μ)	Result. Medición (Rpt) Ω	% de Incertd %μ
1	2,33	2,32	0,00012	0,0049	0,076	0,005	0,0441	0,0029	0,04	0,09	2,32 ± 0,09	3,84
2	2,31											
3	2,33											
4	2,31											
5	2,31											
1	4,59	4,61	0,00152	0,0174	0,122	0,005	0,0705	0,0029	0,07	0,15	4,61 ± 0,15	3,16
2	4,58											
3	4,65											
4	4,57											
5	4,65											
1	7,21	7,16	0,00095	0,0138	0,173	0,005	0,1000	0,0029	0,10	0,20	7,16 ± 0,20	2,82
2	7,14											
3	7,14											
4	7,14											
5	7,17											
1	7,25	7,33	0,00352	0,0265	0,177	0,005	0,1020	0,0029	0,10	0,21	7,33 ± 0,21	2,88
2	7,39											
3	7,32											
4	7,39											
5	7,31											

Fuente: Autores.

Continuación de la Tabla 17

No de repit n	Resist (yj) Ω	Prom. (\bar{y}) Ω	Varianza exp. S ² (y)	Incert. TipA μ(y)A	Error precisión (Erm)	Resol. Equipo (RESrm)	Incert. Rect μ(Erm)	Incert. Rect μ(RESrm)	Incert. TipB μ(y)B	Incert. Salida (μ)	Result. Medición (Rpt) Ω	% de Incertd %μ
1	7,58	7,61	0,00057	0,0107	0,182	0,005	0,1052	0,0029	0,11	0,21	7,61 ± 0,21	2,78
2	7,63											
3	7,60											
4	7,64											
5	7,61											
1	7,78	7,82	0,00542	0,0329	0,186	0,005	0,1076	0,0029	0,11	0,23	7,82 ± 0,23	2,88
2	7,84											
3	7,75											
4	7,94											
5	7,80											
1	8,02	8,06	0,00153	0,0175	0,191	0,005	0,1103	0,0029	0,11	0,22	8,06 ± 0,22	2,77
2	8,03											
3	8,12											
4	8,06											
5	8,05											
1	8,49	8,47	0,00017	0,0058	0,199	0,005	0,1151	0,0029	0,12	0,23	8,47 ± 0,23	2,72
2	8,46											
3	8,46											
4	8,47											
5	8,46											

Fuente: Autores.

Continuación de la Tabla 17

No de repit n	Resist (yj) Ω	Prom. (\bar{y}) Ω	Varianza exp. $S^2(y)$	Incert. TipA $\mu(y)A$	Error precisión (Erm)	Resol. Equipo (RESrm)	Incert. Rect $\mu(Erm)$	Incert. Rect $\mu(RESrm)$	Incert. TipB $\mu(y)B$	Incert. Salida (μ)	Result. Medición (Rpt) Ω	% de Incertd % μ
1	10,42	11,05	0,12497	0,1581	0,251	0,005	0,1449	0,0029	0,14	0,43	11,05 ± 0,43	3,88
2	11,20											
3	11,21											
4	11,20											
5	11,23											
1	15,97	15,85	0,00875	0,0418	0,347	0,005	0,2003	0,0029	0,20	0,41	15,85 ± 0,41	2,58
2	15,93											
3	15,80											
4	15,76											
5	15,79											
1	27,00	27,04	0,00300	0,0245	0,841	0,05	0,4854	0,0289	0,49	0,97	27,04 ± 0,97	3,60
2	27,00											
3	27,10											
4	27,00											
5	27,10											
1	68,90	68,72	0,04200	0,0917	1,674	0,05	0,9667	0,0289	0,97	1,94	68,72 ± 1,94	2,83
2	68,80											
3	68,50											
4	68,50											
5	68,90											

Fuente: Autores.

Los valores de incertidumbres hallados en las Tablas 16 y 17 reflejan un mensurando aceptable, ya que los valores de la resistencia de puesta a tierra, varían muy poco al sumar o restar el valor de incertidumbre calculado para cada uno de los promedios de resistencia obtenidos en cada medición, para el caso más desfavorable (ver Tabla 17) al cual se le realizó 11 medidas, el valor de incertidumbre fue un poco mayor, pero sin presentar alteraciones considerables para el análisis. Por ejemplo para el valor 0,17 de la Ecuación 5.9, el porcentaje con respecto a la resistencia hallada en la medida es de 3,15% que es muy similar a las demás medidas.

$$\% \mu = \pm \frac{0,17 * 100}{5,40} = \pm 3,15\% \quad (5.10)$$

6.1.2 Equipotencialización de la malla de puesta a tierra del LAT En el laboratorio de alta tensión se observa una serie de platinas que emergen del suelo, para que sean tomadas como referencia a tierra para los diferentes aparatos, estas láminas deben estar sólidamente conectadas con la malla de puesta a tierra del laboratorio, para de esta forma generar una conexión entre el equipo y el sistema de puesta a tierra.

Debido al paso del tiempo, probablemente estas conexiones no se mantengan de manera sólida, entonces, si la platina de referencia no se encuentra sólidamente conectada a la malla de puesta a tierra, este punto específico no hace parte del sistema integral de puesta a tierra, y al generar una falla, la corriente tomará más tiempo en ser disipada, lo que sería un alto riesgo para el operario del laboratorio.

Para verificar estos parámetros se dio uso a un micro-ohmímetro, el cual brinda una lectura desde un punto de referencia y los demás puntos de conexión a tierra, como se muestra en la Figura 59. El punto rojo es la referencia, que podría ser tomada en cualquier otro punto, los puntos verdes representan el resto de platinas emergentes en el laboratorio, también se observa su distancia en metros con el punto de referencia.

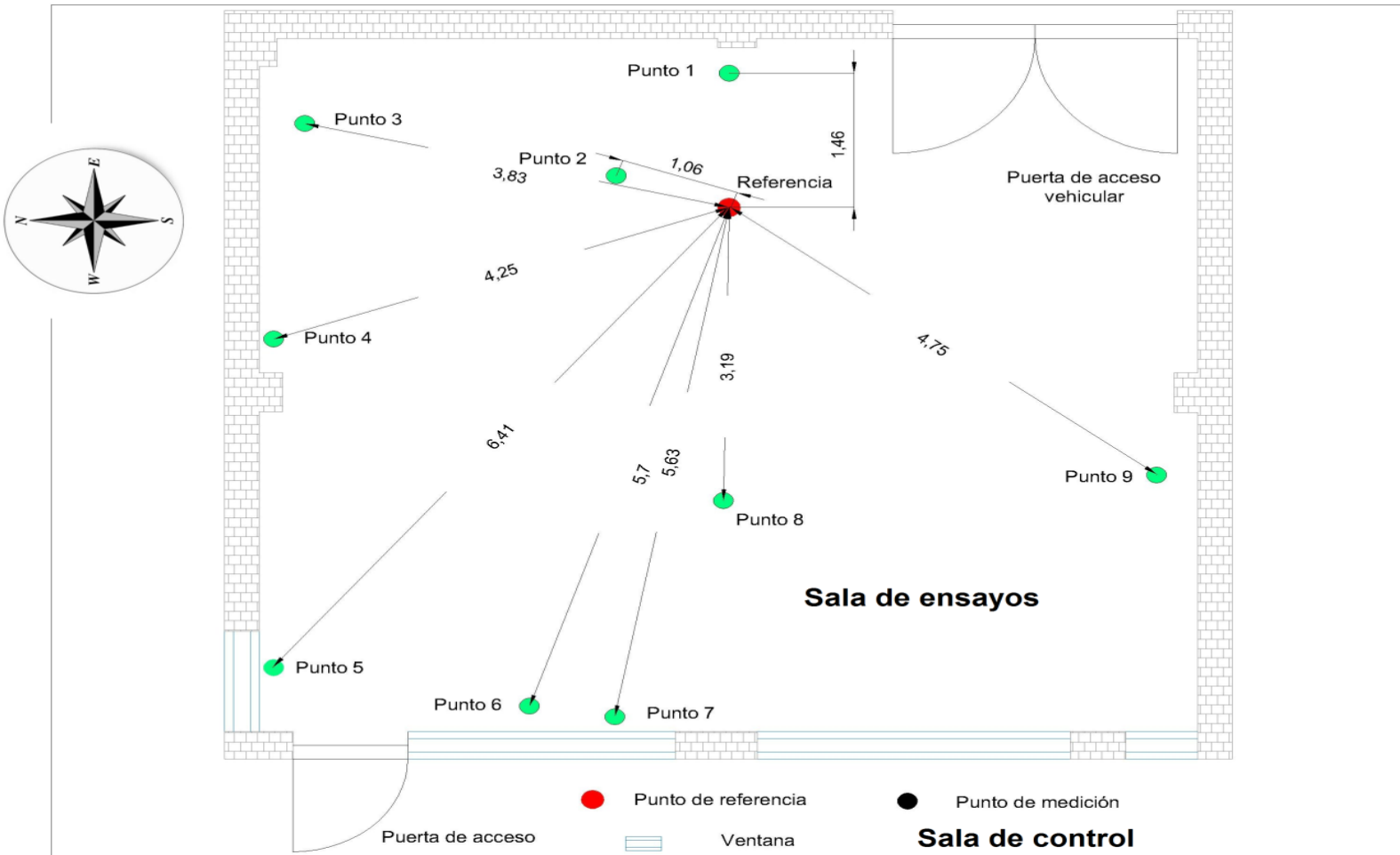
Tabla 18. Mediciones de equipotencialización

Número del punto	valor de resistencia mΩ	Distancia al punto de referencia m
1	4,03	1,46
2	1,66	1,05
3	2,79	3,84
4	2,9	4,25
5	abierto	6,41
6	abierto	5,7
7	2,2	5,63
8	2,1	3,19
9	abierto	4,75

Fuente: Autores

La resistencia entre el punto de referencia y el punto al que se somete a estudio arrojará un valor en miliohmios, verificando su conexión. Si los puntos no están conectados se catalogan como abiertos, es decir que no se encuentran sólidamente conectados a la malla de puesta a tierra del laboratorio. En la Tabla 18 se especifican los valores de resistencia de los puntos equipotencializados con el SPT, arrojando valores pequeños de resistencia que garantiza su continuidad, para los puntos catalogados abiertos o no equipotencializados, el valor resistivo es mucho mayor en comparación con los que están conectados.

Figura 59 Esquema de verificación de equipotencialización de la malla de puesta a tierra del LAT



Fuente: Autor

6.2 SISTEMA DE TRANCA PUERTA

Con el fin de garantizar la seguridad de los operarios, visitantes y personal, que se encuentre presente en las maniobras, a realizarse en el LAT, se cuenta con un sistema de seguridad, que consta de un tranca puertas accionado mediante un motor el cual impide la apertura de la puerta de manera tradicional, este se acciona manualmente por el operario, y además cuenta con un cierre eléctrico antes de energizar los equipos dispuestos para la prueba.

6.3 APANTALLAMIENTO, JAULA DE FARADAY

En el LAT, se debe contar con un sistema de apantallamiento para garantizar que no se presenten perturbaciones en las señales a medir, y atenuar las señales hacia el exterior del LAT, evitando la interferencia con los equipos ubicados en otros laboratorios.

El blindaje electromagnético se puede implementar mediante la construcción de una jaula de Faraday, muchos laboratorios han optado por la utilización de mallas metálicas, que tienen poca rigidez mecánica y pueden ser relativamente pesadas, por lo que tienen que ser soportadas en armazones robustos, lo que incrementa su costo. La construcción de una jaula de Faraday completa es necesaria cuando se realizan mediciones sensibles a descargas parciales

Encerramiento con la jaula de Faraday

La propuesta consiste en la utilización de láminas de acero galvanizado, entonces se propone

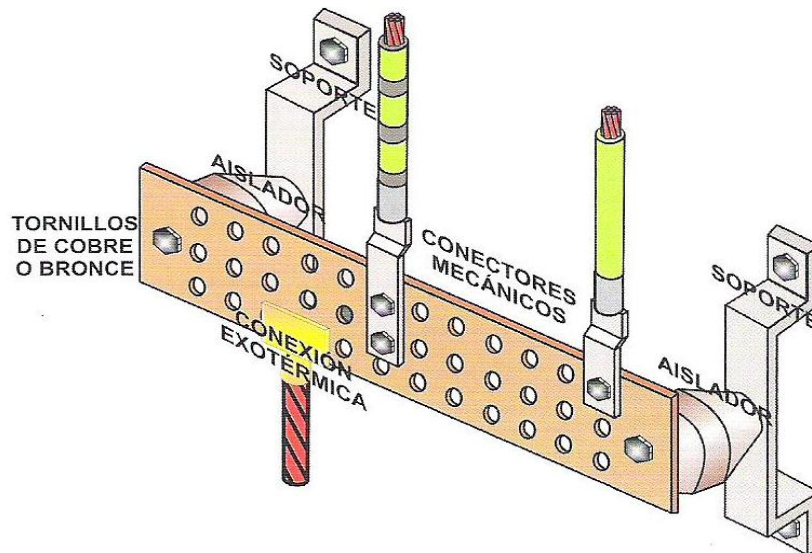
- Cubrir las paredes del LAT con estas láminas que pueden ser de calibre 26 o superior, en disposición vertical, con altura de 3 m.

- Cubrir las ventanas con una malla preferiblemente que sea de alambre de acero galvanizado ya que este presenta buena conducción para las ondas electromagnéticas radiadas. La malla puede tener un reticulado de máximo 5 cm de lado, con alambre de 2,5 mm de diámetro. Una malla con estas dimensiones además de tener solides, permite tener una buena visibilidad sobre los ensayos a realizar.¹⁹

6.4 OTRAS DISPOSICIONES

Se observó que las conexiones de referencia a tierra se encuentran de manera incorrecta, ya que carecen de un barraje equipotencial. Esta falencia se ilustra claramente en la Figura 27.

Figura 60. Barraje equipotencial



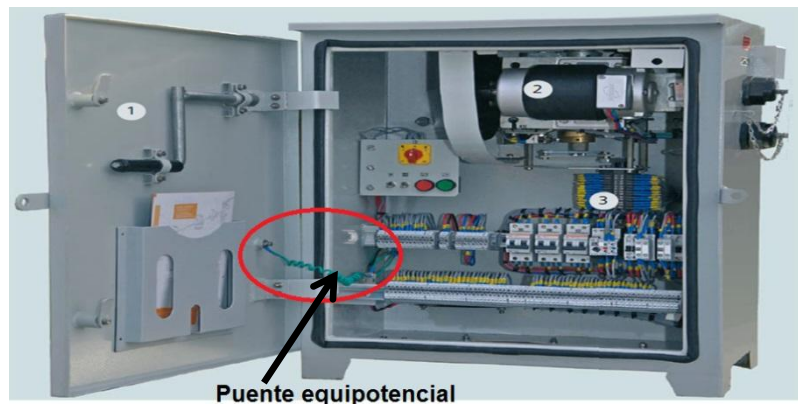
Fuente: TIERRAS Soporte de la seguridad Eléctrica/ Favio Casas-Ospina

¹⁹ PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER”, autores MPE Julio César Chacón , ING. Oliveiro Mejía.

Para solucionar estos problemas se sugiere la disposición de la Figura 60, donde se observa la conexión correcta de un barraje equipotencial.

Otro agravante, es la carencia de terminales metálicos como los que muestra la Figura 60, ya que estos proporcionan una conexión sólida entre elementos. Para terminar, se evidencia la falta de puentes equipotenciales entre las estructuras metálicas y el sistema de puesta a tierra, como lo son las puertas y ventanas que hacen parte del laboratorio. La forma correcta que recomienda la norma se muestra en la Figura 61.

Figura 61. Puente equipotencial



Fuente: Autores.

No existe señalización, del tipo: Alta tensión, salida de emergencia, rutas de trabajo y de evacuación, señal luminosa que indique que hay un equipo energizado, etc.

La disposición de apertura de la puerta de acceso vehicular es incorrecta, ya que debe abrirse hacia afuera de la estructura para que permita una rápida evacuación, además tanto puertas y ventanas no se encuentran protegidos en caso de incendio. Hace falta la construcción del apantallamiento del laboratorio, una jaula de Faraday.

Existen unas pequeñas bases metálicas que sobresalen del suelo; los cuales fueron parte del soporte de un equipo anterior, y pueden causar accidentes a los operarios del laboratorio.

Es necesaria la organización del cableado por un ducto adecuado para ello, puesto que se puede dar paso a desconexiones de tipo accidental por parte del personal.

7. SOLUCIÓN A ALGUNOS PROBLEMAS DE SEGURIDAD DEL LAT

En el laboratorio de alta tensión de la UIS (LAT) debido al paso del tiempo, y a la aparición de nuevos estándares de seguridad y calidad, se presentan una serie de no conformidades, que necesitan de manera oportuna atención y solución. En el Capítulo 5 se describieron algunas de las falencias que se presentan en el laboratorio.

Estas en su mayoría, pueden ser solucionadas de manera rápida y a un bajo costo, ya que no representan cambios significativos en la infraestructura general del laboratorio. Algunas de las no conformidades son las siguientes:

- Resistencia de puesta a tierra por encima del valor permitido por la IEEE 80 – 2000. ($R < 1 \text{ } (\Omega)$, el valor real tomado en la prueba es: $R = 13,56 \text{ } (\Omega)$)
- Existen puntos de referencia que no están sólidamente conectados al sistema de puesta a tierra
- No existe señalización
- Los conductores no cumplen con el código de colores
- No existe un sistema de apantallamiento (jaula de Faraday)
- Existen obstáculos que pueden causar accidentes a los operarios
- No existen puentes equipotenciales entre las estructuras metálicas y el sistema de puesta a tierra
- No hay conectores metálicos en los terminales de los cables
- No existen barrajes equipotenciales que faciliten las conexión de conductores con terminales metálicos
- Deterioro en el aislamiento de los conductores.
- No existen cajas de inspección para el SPT

- No existe documentación sobre los diagramas unifilares ni una copia ampliada ubicada en un lugar visible

7.1 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Para mejorar el valor de la resistencia de puesta a tierra, la cual debe ser menor o igual a 1Ω como lo indica la IEEE 80-2000 es necesario rediseñarla.

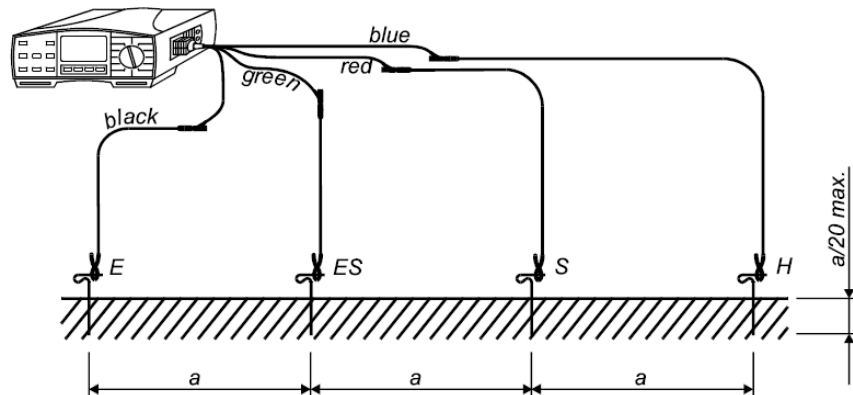
Con este fin y presentando una solución, se procedió a realizar el diseño de la nueva malla de puesta a tierra del LAT de la UIS. Para ello se hizo necesaria la medición de la resistividad del terreno donde se encuentra ubicado el laboratorio. El esquema utilizado para realizar esta medición se muestra en la Figura 62.

Tabla 19. Medición de resistividad LAT UIS

CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO POR EL MÉTODO DE BOX COX			
	RESISTIVIDAD DEL TERRENO MEDIDA X_i	$LN(X_i)$	$(X_i - X)^2$
1	169,9	5,13521003	0,26045514
2	208,25	5,33873928	0,09413778
3	280,5	5,63657372	8,0719E-05
4	378,5	5,93621607	0,08448207
5	483,5	6,18105131	0,286753
VALOR PROMEDIO		5,64555808	0,14518174
DESVIACIÓN ESTANDAR			0,42600138
DISTRIBUCIÓN NORMAL INVERTIDA (70%)			0,52440051
LA RESISTIVIDAD (CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA)			353,878427

Fuente: Autores

Figura 62. Conexión del telurómetro para medir la resistividad del terreno



Fuente: Earth - Insulation Tester MI 2088 User Manual

Para el cálculo de la resistividad del terreno se usó la metodología Box-cox de la cual se obtuvo una resistividad del terreno de $353,87 \Omega * m$. Los resultados se muestran en la Tabla 19. Posteriormente se procedió a realizar el cálculo de la malla del sistema de puesta a tierra (SPAT) según la metodología presentada por la IEEE 80-2000, y como datos de partida se tomaron los mostrados en la Tabla 20.

Tabla 20. Parámetros de diseño de la PAT del LAT

Ancho de la malla m	7
Largo de la malla m	7,75
Diámetro del conductor pg	5/8"
Resistividad del terreno $\Omega*m$	353,87
Profundidad de enterramiento de la malla m	0,8
Lado cuadrícula m	1,5
Long de cada varilla m	2,4
# Varillas verticales	2
Corriente de falla A	367
Tiempo de despeje de la falla a tierra seg.	0,00005
Diámetro de la cáscara de cemento	0,05

conductivo m	
RESISTIVIDAD DEL CEMENTO CONDUCTIVO $\Omega \cdot m$	0,24 ^{*20}

Fuente: autores

Se tomó como tiempo de despeje de la falla a tierra 0,05 ms^{*21}. Se procedió a realizar los siguientes cálculos:

Donde

R_1 Resistencia a tierra de los conductores de la red Ω

R_2 Resistencia a tierra de todas las barras de tierra Ω

R_m Resistencia de tierra mutua entre el grupo de conductores de la rejilla, R_1 , y el grupo de varillas de tierra, R_2 Ω

Resistencia de tierra de la red

Donde

ρ Resistividad del terreno $\Omega \cdot m$

L_c Es la longitud total de todos los conductores de conexión a la red m

\acute{a} Es $\frac{a}{2h}$ para conductores enterrados a una profundidad h en m o

\acute{a} Es para conductores en la superficie de la tierra

$2a$ Es el diámetro del conductor m

A Es la zona considerada por los conductores m^2

a Largo de la malla en este caso 7 m

b Ancho de la malla en este caso 7,75 m

K_1, K_2 Son los coeficientes

^{*20} http://protecemltda.awardspace.com/catalogo_protecem.pdf

^{*21} PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER/ Oliveiro Mejía Angarita

$$K_1 = 0,92 \frac{1}{a * b} \frac{1}{a} \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b} + \frac{1}{b} \ln \frac{b + \sqrt{a^2 + b^2}}{a} + \frac{a}{3b^2} + \frac{b}{3a^2} - \frac{a^2 + b^2}{3a^2 b^2} * \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6.1)$$

$$K_1 = 0,92 \frac{1}{7,75 * 7} \frac{1}{7,75} \ln \frac{7,75 + \sqrt{7,75^2 + 7^2}}{7} + \frac{1}{7} \ln \frac{7 + \sqrt{7,75^2 + 7^2}}{7,75} + \frac{7,75}{3 * 7^2} + \frac{7}{3 * 7,75^2} - \frac{7,75^2 + 7^2}{3 * 7,75^2 * 7^2} * \sqrt{7,75^2 + 7^2}$$

$$K_1 = 1,3668$$

$$K_2 = \ln \frac{4(a+b)}{b} + 2K_1 \frac{a+b}{ab} - \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{2}}}{\frac{b}{2}} - \frac{1}{2} \ln \frac{\frac{b}{2} + \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{2}}}{-\frac{b}{2} + \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{2}}} \quad (6.2)$$

$$K_2 = \ln \frac{4(7,75 + 7)}{7} + 2 * 1,3668 * \frac{7,75 + 7}{7,75 * 7} - \ln \frac{7,75 + \sqrt{7,75^2 + \frac{7^2}{2}}}{\frac{7}{2}} - \frac{1}{2} \ln \frac{\frac{7}{2} + \sqrt{7,75^2 + \frac{7^2}{2}}}{-\frac{7}{2} + \sqrt{7,75^2 + \frac{7^2}{2}}}$$

$$* \ln \frac{\frac{7}{2} + \sqrt{7,75^2 + \frac{7^2}{2}}}{-\frac{7}{2} + \sqrt{7,75^2 + \frac{7^2}{2}}}$$

$$K_2 = 5,6328$$

L_1 **Largo de la malla** en este caso 7 m

L_2 **Ancho de la malla** en este caso 7,75 m

Longitud del conductor horizontal L_c

$$L_c = \frac{L_1}{D} + 1 * L_2 + \frac{L_2}{D} + 1 * L_1 \quad (6.3)$$

$$L_c = \frac{7,75}{1,5} + 1 * 7 + \frac{7}{1,5} + 1 * 7,75$$

$$L_c = 87,03 \text{ m}$$

ρ Resistividad del terreno $\Omega * m$

\acute{a} $\sqrt{h * d}$

- d Diámetro del conductor 0,0156 m
 h Profundidad de enterramiento de la malla 0,8 m
 A Área de la malla m^2
 L_r Longitud de cada varilla 2,4 m
 n_r Número de varillas enterradas en el área A 4
 L_R Longitud de las varillas 143,75m

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi * L_c} \ln \frac{2 * L_c}{a} + \frac{K_1 * L_c}{A} - K_2 \quad (6.4)$$

$$R_1 = \frac{353,8784}{\pi * 123,25} \ln \frac{2 * 123,25}{0,0158 * 0,8} + \frac{1,3668 * 123,25}{7,75 * 7} - 5,6328$$

$$R_1 = 23,115 \Omega$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R} \ln \frac{8L_r}{d} - 1 + \frac{2K_1 * L_r}{A} \frac{1}{n_R - 1} \quad (6.5)$$

$$R_2 = \frac{353,8784}{2\pi * 4 * 2,4} \ln \frac{8 * 2,4}{0,0158} - 1 + \frac{2 * 1,3668 * 2,4}{7,75 * 7} \frac{1}{4 - 1}$$

$$R_2 = 73,344 \Omega$$

- L_r Es la longitud de cada varilla m
 n_R Número de barras colocadas en el área A
 Resistencia de tierra mutua entre la rejilla y la cama varilla

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \ln \frac{2L_c}{L_r} + \frac{K_1 * L_c}{A} - K_2 + 1 \quad (6.6)$$

$$R_m = \frac{353,8784}{\pi * 123,25} \ln \frac{2 * 123,5}{2,4} + \frac{1,3668 * 123,25}{7,75 * 7} - 5,6328 + 1$$

$$R_m = 20,45 \Omega$$

Resistencia del sistema combinado

$$R_g = \frac{R_1 * R_2 - (R_m)^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (6.7)$$

$$R_g = \frac{23,115 * 73,344 - (20,45)^2}{23,115 + 73,344 - 2 * 20,45}$$

$$R_g = 22,9878 \Omega$$

n Representa el número de conductores paralelos de una malla rectangular aquí dada por:

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d \quad (6.8)$$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} ; n_b = \frac{\overline{L_p}}{4 \overline{A}} ; n_c = \frac{L_x * L_y}{A} \frac{0.7A}{L_x * L_y} ; n_d = \frac{D_m}{L_x^2 + L_y^2} \quad (6.9)$$

$$n_a = \frac{2 * 87,083}{7,75 + 7 * 2} ; n_b = \frac{\overline{7,75 + 7 * 2}}{4 \overline{7,75 * 7}} ; n_c = 1 ; n_d = \frac{D_m}{L_x^2 + L_y^2}$$

$$n_a = 5,9039 ; n_b = 1,0006 ; n_c = 1 ; n_d = 1$$

Factor geométrico n

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d \quad (6.10)$$

$$n = 5,9039 * 1,0006 * 1 * 1$$

$$n = 5,9077$$

Factor ponderado de corrección para ajustar el efecto de los conductores internos sobre la retícula esquinera

$$K_{ii} = \frac{1}{2n^2} \quad (6.11)$$

$$K_{ii} = \frac{1}{2 * 5,9077^2 * 5,9077}$$

$$K_{ii} = 0,4334$$

K_h Es un factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad d por:

$$K_h = \frac{1}{1 + \frac{h}{h_0}} \text{ Con } h_0 = 1(m) \quad (6.12)$$

$$K_h = \frac{1}{1 + \frac{0,8}{1}}$$

$$K_h = 1,3416$$

Factor de corrección K_i

$$K_i = 0,644 + 0,148 * n \quad (6.13)$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 5,9077$$

$$K_i = 1,5183$$

Longitud efectiva de los electrodos de tierra

$$L_M = L_C + 1,55 + 1,22 \frac{L_r}{L_x^2 + L_y^2} L_R \quad (6.14)$$

$$L_M = 87,03 + 1,55 + 1,22 \frac{2,4}{7,75^2 + 7^2} * 100,083$$

$$L_M = 270,273 \text{ m}$$

K_m Valor geométrico de espaciamiento de malla, calculado así:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd_c} + \frac{D+2h^2}{8Dd_c} - \frac{h}{4d_c} + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi 2n-1} \quad (6.15)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1,5^2}{16 * 0,8 * 0,015875} + \frac{1,5 + 2 * 0,8^2}{8 * 1 * 0,015875} - \frac{0,8}{4 * 0,015875}$$

$$+ \frac{1}{1,3416} \ln \frac{8}{\pi 2 * 5,9077 - 1}$$

$$K_m = 0,4475$$

$K_{ii} = 1$ debido a que el terreno es homogéneo

Tensión de malla V_m

$$V_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_G}{L_M} \quad (6.16)$$
$$V_m = \frac{353,8784 * 0,4475 * 1,5183 * 367}{270,273}$$
$$V_m = 326,555 \text{ V}$$

Longitud efectiva del electrodo a tierra

$$L_S = 0,75 * L_C + 0,85 * L_R \quad (6.17)$$
$$L_S = 0,75 * 87,083 + 0,85 * 100,0833$$
$$L_S = 150,3833 \text{ m}$$

Factor de espaciamento para voltaje de paso K_S

$$K_S = \frac{1}{\pi} \frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} 1 - 0,5^{n-2} \quad (6.18)$$
$$K_S = \frac{1}{\pi} \frac{1}{2 * 0,8} + \frac{1}{1,5 + 0,8} + \frac{1}{1,5} 1 - 0,5^{5,9077-2}$$
$$K_S = 0,5354$$

Tensión de paso V_s

$$V_s = \frac{\rho * K_S * K_i * I_G}{L_S} \quad (6.19)$$
$$V_s = \frac{353,8784 * 0,5354 * 1,518 * 367}{150,3833}$$
$$V_s = 702,0645 \text{ V}$$

Cálculo de las tensiones de paso y de contacto

$$V_{touch\ 50} = \frac{116}{t_s} \quad (6.20)$$

$$V_{touch\ 50} = \frac{116}{0,00005}$$

$$V_{touch\ 50} = 16404,88\ V$$

$$V_{step\ 50} = 1000 + 1,5 * C_s * \rho_s \frac{0,116}{t_s} \quad (6.21)$$

$$C_s = 1 \ ; \ \rho_s = \rho = 353,8784\ \Omega * m$$

$$V_{step\ 50} = 1000 + 1,5 * 1 * 353,8784 \frac{0,116}{0,00005}$$

$$V_{step\ 50} = 25112,88\ V$$

Cálculo del “ Ground Potencial Rise”

$$GPR = IG * Rg \quad (6.22)$$

$$GPR = 8302,535\ V$$

Cálculo de la resistencia con el cemento conductivo

$$R_{CE-rod} = \frac{1}{2\pi L_R} \rho \ln \frac{8L_R}{D_C} - 1 + \rho_c \ln \frac{8L_R}{d_c} - 1 - \rho_c \ln \frac{8L_R}{D_C} - 1 \quad (6.23)$$

$$R_{CE-rod} = \frac{1}{2\pi * 100,0833} 353,8784 \ln \frac{8 * 100,0833}{0,1} - 1 + 0,24$$

$$* \ln \frac{8 * 100,0833}{0,015} - 1 - 0,24 * \ln \frac{8 * 100,0833}{0,1} - 1$$

$$R_{CE-rod} = 4,5\ \Omega$$

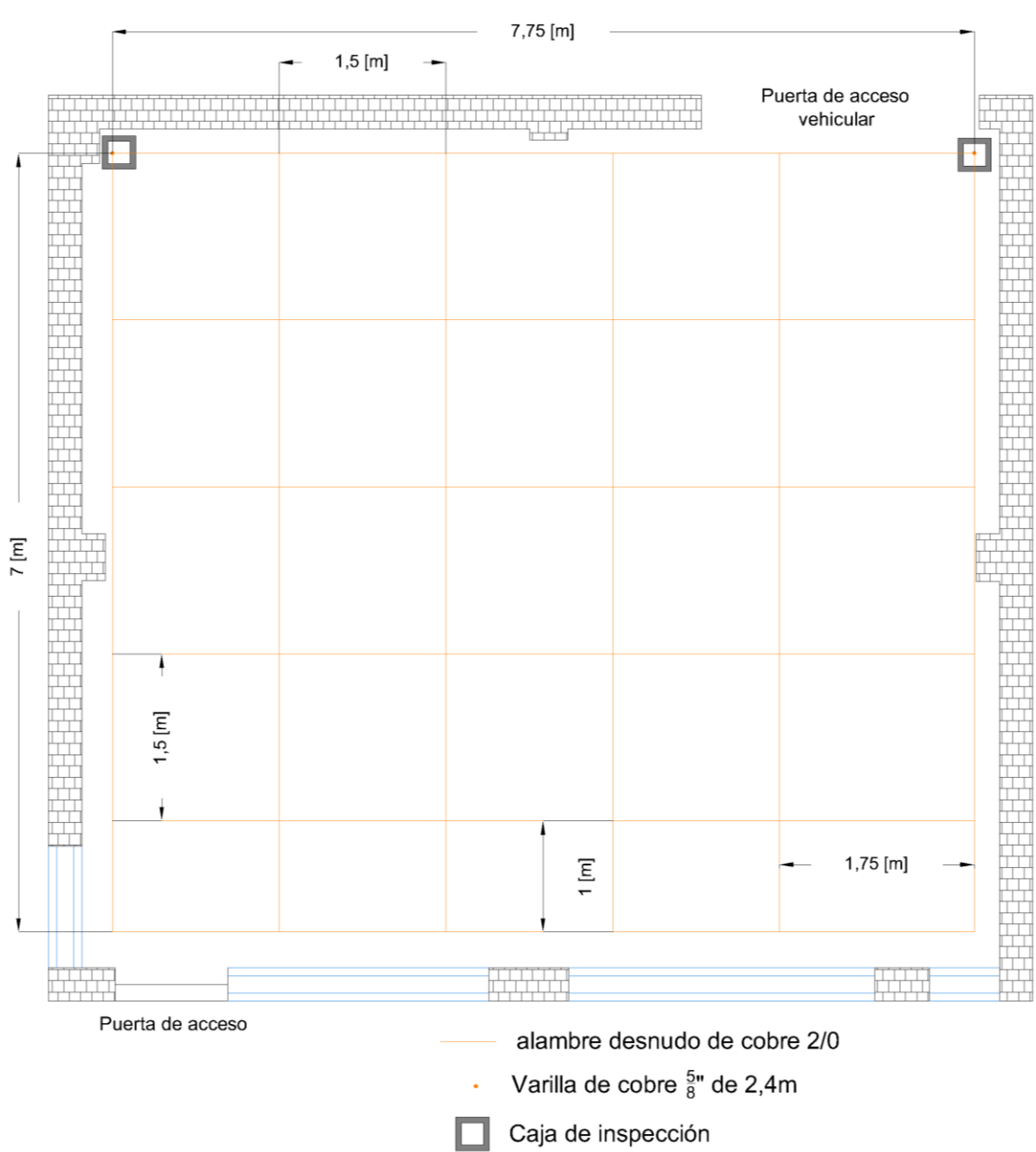
Tabla 21. Diseño final de la malla de SPT

	VALOR OBTENIDO	VALOR DE REFERENCIA			CONSIDERACIÓN	
		$V_{touch\ 50}$	$V_{step\ 50}$	RETIE		
V_m	326,55 V	16404,8773 V			$E_m < E_{touch}$	CUMPLE
GPR	8436,523 V	16404,8773 V			$GPR < E_{touch}$	CUMPLE
V_s	702,0645 V		25112,8756 V		$E_s < E_{step}$	CUMPLE
R_{malla}	22,9878 Ω			10	$R \leq R (RETIE)$	NO_CUMPLE
R corregido	4,5 Ω				$4,5 < 10$	CUMPLE

Fuente: Autores

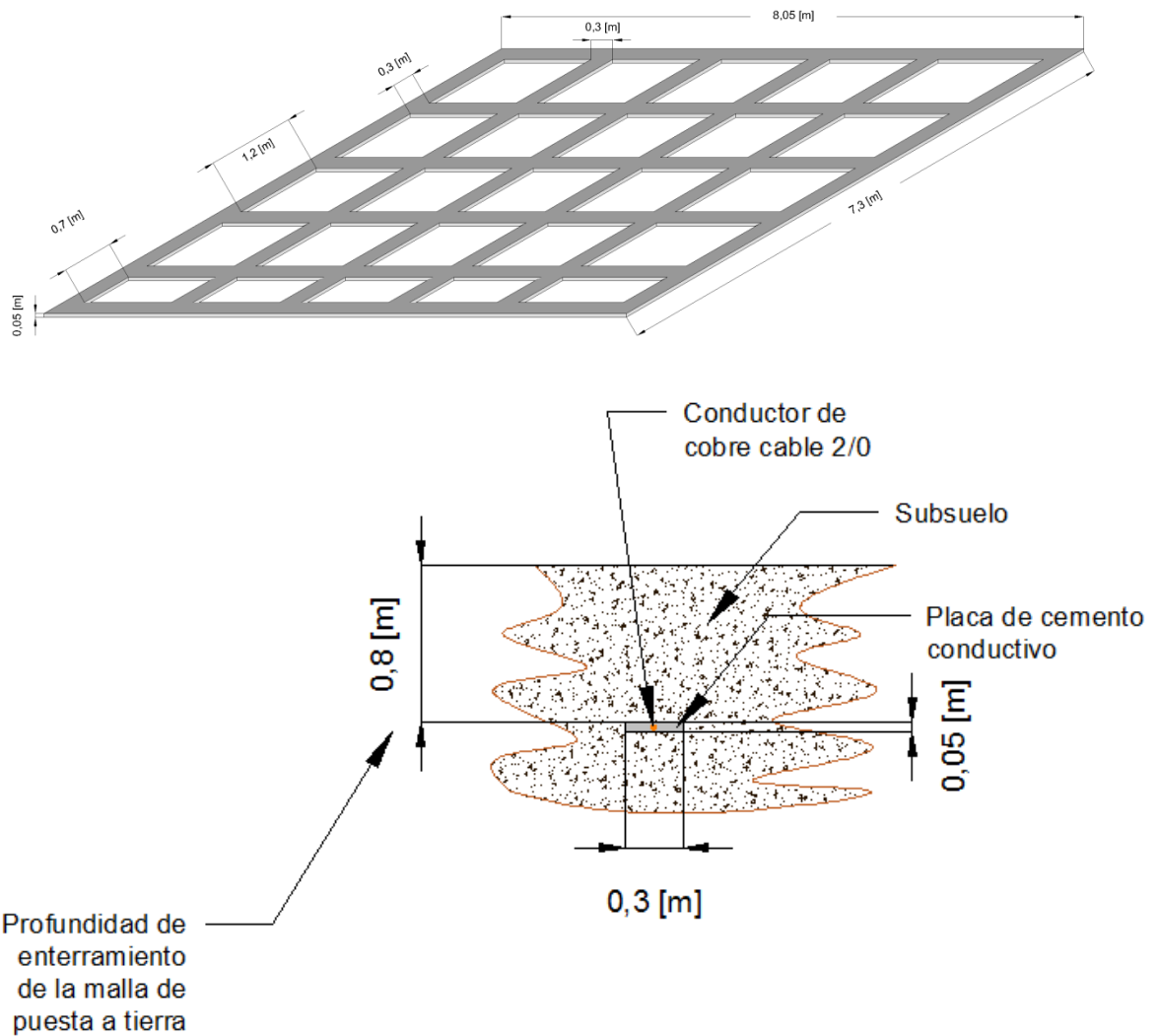
Como se mencionó en un principio, la condición del valor de la resistencia de puesta a tierra menor o igual a 1 Ω se omitió en la realización del diseño, a pesar que este se puede ejecutar, no se justifica una inversión de tales proporciones para un área con estas dimensiones. Entonces se optó por el segundo ítem de la norma, el cual se enfatiza en las tensiones de paso y de contacto. Un diseño opcional con mejores características, pero con un costo más elevado se deja a consideración en el Anexo C. Los parámetros finales del diseño se muestran en la tabla 21. La figura 63 y 64 muestran detalles del diseño de la malla del sistemas de puesta a tierra.

Figura 63. Diseño de la malla del sistema de puesta a tierra



Fuente: Autores

Figura 64. Detalles del SPT



Fuente: Autores

La Tabla 22 contiene el presupuesto de inversión que se requiere para la construcción del diseño de la malla de puesta a tierra, sugerida para el Laboratorio de Alta Tensión de la UIS.

Tabla 22. Presupuesto para el SPT del LAT

	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
cable cobre	m	85	\$ 15 000,00	\$ 1 275 000,00
soldaduras 90 g	Un	28	\$ 10 000,00	\$ 280 000,00
soldaduras 150 g	Un	2	\$ 13 000,00	\$ 26 000,00
varillas	m	2	\$ 77 000,00	\$ 154 000,00
conductivo	Un	7	\$ 70 000,00	\$ 490 000,00
BARRAJE EQUIPOTENCIAL	Un	6	\$ 300 000,00	\$ 1 800 000,00
terminal ponchable de tambor largo # 2	Un	50	\$ 1 000,00	\$ 50 000,00
MANO DE OBRA SOLDADURA	Punto	30	\$ 13 000,00	\$ 390 000,00
EXCAVACIÓN	m ³	70	\$ 50 000,00	\$ 3 500 000,00
TAPADO ZANJA	m ³	70	\$ 50 000,00	\$ 3 500 000,00
AIU				\$ 1 750 000,00
COSTO DIRECTO				\$ 13 215 000,00
IMPREVISTOS				\$ 660 750,00
IVA				\$ 105 720,00
UTILIDAD				\$ 925 050,00
COSTO TOTAL				\$ 14 906 520,00

Fuente: Autores

7.2 PUNTOS DE REFERENCIA DESCONECTADOS

Si se realiza la construcción de la malla de puesta a tierra del laboratorio se podría hacer una conexión sólida de los puntos que no se encuentran equipotencializados mediante la aplicación de soldadura exotérmica. De no realizarse la remodelación de la SPT, se recomienda la desconexión parcial y

total de cualquier terminal que se encuentre anclado eléctricamente a estos, que son los puntos 5, 6 y 9 que se referencian en la Figura 59, además de establecer una señalización y un recubrimiento que impida la conexión en estos puntos e incluir esta salvedad en el protocolo de seguridad del laboratorio.

7.3 SEÑALIZACIÓN

El laboratorio de alta tensión de la universidad, maneja labores de tipo industrial, donde es indispensable contar con la señalización adecuada, para brindar en primera medida seguridad a sus operarios, estudiantes y visitantes, y seguidamente cumplir con los estándares de calidad encaminado de esta forma al laboratorio y sus ensayos, hacia una certificación. Para ello es necesario conocer cómo se definen, tanto las formas y colores de las señales, para ello se tomó de la NTC 1461 la información que se muestra en las Tablas 23, 24 y 25.

Tabla 23. Significado general de los colores de seguridad

Color de seguridad	Significado u objetivo	Ejemplos de uso
Rojo	Pare Prohibición	Señales de pare Paradas de emergencia Señales de prohibición
	Este color también se usa para prevención del fuego, equipo contra incendios y su ubicación	
Azul ¹⁾	Acción de mando	Obligación a vestir equipo de protección personal
Amarillo	Precaución, riesgo de peligro	Indicaciones de peligro (fuego, explosión, radiación, intoxicación, etc.) prevención de escalones hacia arriba o hacia abajo, obstáculos. ²⁾
Verde	Condición de seguridad	Salidas de emergencia, estaciones de primeros auxilios y rescate.

Fuente: NTC 1461




Tabla 24. Colores de contraste

Color de seguridad	Color de contraste correspondiente
Rojo	Blanco *
Azul	Blanco
Amarillo	Negro
Verde	Blanco

El color de contraste para blanco será negro y para negro será blanco.

Fuente: NTC 1461

Tabla 25. Forma geométrica y significado

Forma geométrica	Significado
	Prohibición o acción de mando
	Prevención
	Información (incluyendo instrucciones)

Fuente: NTC 1461

Para el laboratorio de AT de la UIS se sugiere la siguiente señalización mostrada en la Tabla 26.

Tabla 26 Señalizaciones sugeridas por el laboratorio de Alta Tensión

NOMBRE	SIMBOLO	UBICACIÓN
Riesgo eléctrico		Entrada del laboratorio
Materias inflamables		Entrada sala de ensayos
Materias explosivas		Entrada sala de ensayos
Carga suspendida		Entrada sala de ensayos
Riesgo de tropezar		Entrada sala de ensayos
Atención puesta a tierra		Cajas de inspección y barrajes de puesta a tierra

Continuación Tabla 26.

NOMBRE	SIMBOLO	UBICACIÓN
Prohibido fumar		Entrada del laboratorio
Entrada prohibida a personas no autorizadas		Entrada del laboratorio
Peligro de descarga eléctrica		Entrada del laboratorio
Prohibido accionar		Consola de mando
Extintor		Al lado de la puerta de la sala de ensayos

Continuación Tabla 26

NOMBRE	SIMBOLO	UBICACIÓN
Protección obligatoria de la cabeza		Entrada sala de ensayos
Protección obligatoria de los pies		Entrada sala de ensayos
Vía salida de emergencia		Puerta principal
Dirección que debe seguirse		Puerta principal
Salida		Puerta principal
Salida de emergencia		Puerta principal

Fuente: NTC 1461

7.3.1 Código de colores de los conductores Con el objetivo de evitar accidentes por errónea interpretación de las tensiones y tipos de sistemas, se debe cumplir con el código de colores para conductores aislados mostrados en la tabla 27. Se tomará como válido para determinar este requisito el color propio del acabado exterior del conductor o en su defecto, su marcación debe hacerse en las partes visibles con pintura, que actúen como barrajes en instalaciones interiores.²²

Tabla 27. Código de colores para los conductores

SISTEMA	1Φ	1Φ	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ-	3ΦY	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ
TENSIONES NOMINALES (Voltios)	120	240/120	208/120	240	240/208/120	380/220	480/440	480 /440	Mas de 1000 V
CONDUCTORES ACTIVOS	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases
FASES	Negro trifásico	Negro Rojo/	Amarillo Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo
NEUTRO	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Gris	No aplica	No aplica
TIERRA DE PROTECCIÓN	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde
TIERRA AISLADA	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: RETIE resolución número 9 0708 del 30 de agosto de 2013

7.4 OBSTÁCULOS, TERMINALES, BARRAJES, AISLAMIENTO DETERIORADO

En la sala de equipos se encuentra terminales de apoyo de un equipo que anteriormente estuvo anclado al suelo en ese lugar, se recomienda la extracción o cortar estos terminales de tornillo para evitar inconvenientes, ya que estos no están cumpliendo ninguna función en el LAT.

Se recomienda realizar un puente equipotencial entre las parte metálicas y la puesta a tierra, tomando como conexión un punto que este equipotencializado

²² RETIE resolución número 9 0708 del 30 de agosto de 2013

con el SPT como se muestra en la (Figura 65), para esto se recomienda la instalación de trenzas de cobre llanas, como se muestra a continuación;

Figura 65. Trenza equipotencial



Fuente: <http://glground.co/galeria.html>

Los terminales de los conductores deben ser adecuados con un terminal metálico como se muestra en la Figura 65.

7.4.1 Barraje equipotencial En el laboratorio se encuentran inadecuadas conexión, donde se puede apreciar, conductores sin los terminales adecuados y la inexistencia de un barraje equipotencial, como se observa en la Figura 66.

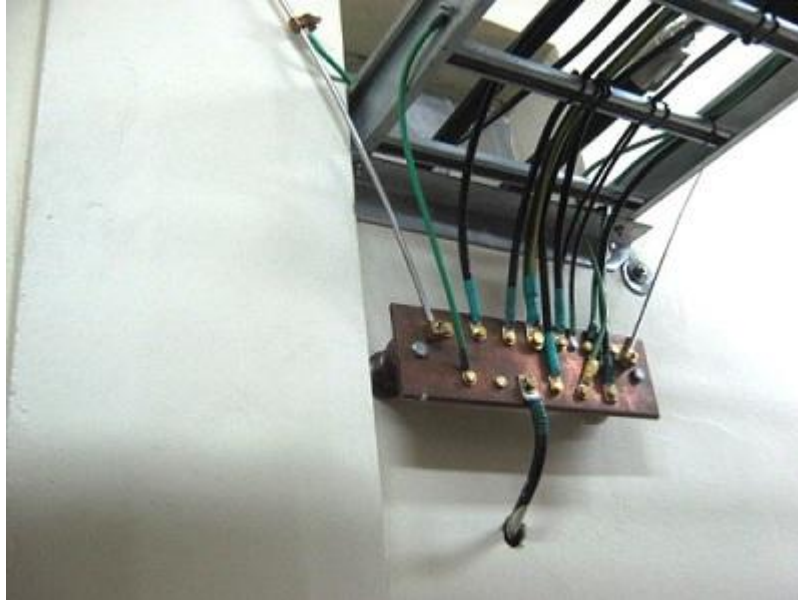
Figura 66. Conexión errónea en el LAT



Fuente: Autores

Se recomienda la instalación de un barraje equipotencial similar al que se muestra en la Figura 67, para evitar desconexiones accidentales.

Figura 67. Conexión con barraje equipotencial y terminales metálicas



Fuente: <http://glground.co/galeria.html>

7.4.2 Canaleta porta cable Si se lleva a cabo la remodelación del SPT del laboratorio, se dispondrá de una canaleta porta cable a 30 cm de profundidad con un ancho de 40 cm, donde se ubicaran los cables de conexión. De no llevarse a cabo la construcción de la nueva malla de tierra, se recomienda la instalación de estas canaletas para evitar tropiezos del personal autorizado y evitar desconexiones involuntarias.

7.4.3 Diagrama unifilar Se debe documentar el diagrama unifilar de cada maniobra, anexarlo al manual del laboratorio y ubicar una copia de esta ampliada en un lugar visible cerca a la consola de mando.

8. CONCLUSIONES

Los autores consideran como conclusiones más relevantes de su trabajo de grado las que se da a continuación:

- Al medir las relaciones de transformación de los divisores de tensión, resistivo y capacitivo amortiguado, se evidencia que la relación de transformación que se midió al divisor capacitivo amortiguado, se aproxima a los valores que sugiere el fabricante. Al igual que la medida al divisor resistivo, que presenta una variación mínima, con respecto a su valor calibrado.
- Debido a que algunos puntos de referencia de la malla del sistema de puesta a tierra no se encuentran equipotencializados, se hace necesario la construcción de una nueva malla de puesta a tierra con el fin de garantizar la conexión de los equipos al SPT, para proteger a los operarios de tensiones de paso y de contacto.
- Se sugiere levantar todas las no conformidades desde el punto de vista de la norma RETIE que se presentan en el laboratorio de alta tensión de la UIS.
- Es importante instalar un sistema de apantallamiento, de tal forma que los campos magnéticos que se generan en las prácticas no afecten a las edificaciones externas.
- Otro aspecto que requiere ser atendido en el LAT, es la señalización del laboratorio, con el fin de evitar accidentes e iniciar la acreditación.

- Es necesario realizar una continua calibración y mantenimiento periódico de los equipos, para evitar su salida de servicio de manera prematura.
- Es necesario iniciar a identificar y documentar los mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos de manera periódica, según corresponda en los equipos existentes.
- Esta investigación le apporto a los autores un crecimiento en diferentes campos de la ingeniería, como lo son la inspección RETIE, sistemas de puesta a tierra y mediciones en Alta Tensión.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la construcción de unas canaletas para llevar los conductores de conexión entre equipos de medida e instalar los barrajes equipotenciales, con el fin de evitar accidentes y daños en los conductores, además la instalación de terminales por compresión de doble tornillo y tambor largo e instalar puentes equipotenciales en puertas y ventanas, para garantizar una solida conexión a tierra.
- Como fortalecimiento para la escuela E3T y sus futuros ingenieros, es importante reactivar las relaciones Industria - Universidad, con el fin de explorar nuevas aplicaciones y tendencias que el sector eléctrico este implementando en la práctica.
- Realizar un análisis de costos que incluya la instalación de terminales, barrajes equipotenciales, jaula de Faraday y la construcción de las canaletas porta cables.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS O.E., “LA SEGURIDAD ELECTRICA EN SUBESTACIONES DE 13,2 KV Y 34,5 KV”; Director Julio C. Chacón Velasco, Tesis de pregrado 2009.

ARISMENDI W. R. C “ACREDITACION DEL LABORATORIO DE ALTA TENSION DE LA U.I.S”. Director Julio César Chacón V, Tesis de maestría 2004.

CANTOR R. J. J., RAMIREZ A. N. J “MANUAL DE SEGURIDAD EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSION DE LA UIS”.; Director Julio César Chacón V, Tesis de pregrado 2004.

Casas O.F. “TIERRAS. SOPORTE DE LA SEGURIDAD ELÉCTRICA” Editorial Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Agosto 2008.

CONCEPTOS BÁSICOS EN TÉCNICAS DE ALTA TENSIÓN (Julio Rugeles)

EXTRA HIGH VOLTAGE AC TRANSMISSION ENGINEERING/ Rakosh

G. W. Bowdler ” MEASUREMENTS IN HIGH-VOLTAGE TEST CIRCUITS”

HAEFELY CS damped capacitive impulse voltage

HAEFELY CS damped Capacitive impulse voltage

<http://sbfel3.ucsb.edu/beam/gvm.html>

http://www.ing.unlp.edu.ar/medidas/alumnos/docs/D1P_Incertidumbre.pdf

<http://www.textoscientificos.com/fisica/alta-tension/generador-varias-etapas>

IEEE 80-2000 "GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING" New York 2000

IEEE Std. 4-2013. IEEE Standard Techniques for high- Voltage Testing. New York. 2013.

Kuffel E, Zaengl W. S. "HIGH – VOLTAGE ENGINEERING FUNDAMENTALS". 1° edición Pergamon. 1984. London.

Luz Garzón "UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA" ESTUDIO UTIL DE VARISTORES"

M S Naidu, V Kamaraju. High Voltage Engineering, Second Edition. First published © 1995, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited

M S Naidu. "HIGH VOLTAGE ENGINEERING, SECOND EDITION"

MEASUREMENTS IN HIGH-VOLTAGE TEST CIRCUITS / G. W. Bowdler

Mejía O. A "PROPUESTA PARA LA ADECUACION DE LA INFRAESTRUCTURA DEL LABORATORIO DE ALTA TENSION DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER [RECURSO ELECTRONICO]", director Julio César Chacón V, Tesis de pregrado 2009

NTC 1461 "HIGIENE Y SEGURIDAD. COLORES Y SEÑALES DE SEGURIDAD"

NTC-ISO/IEC 17025 “REQUISISTOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN” 2005 Colombia

PASANTIA “ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA” ESTUDIO UTIL DE VARISTORES/ Luz Garzón/ Universidad Distrital “ Francisco José caldas”

RETIE. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Requisitos obligatorios para garantizar la seguridad en las instalaciones eléctricas en Colombia, resolución número 9 0708 del 30 de agosto de 2013

Universidad Tecnológica Nacional – FACULTAD REGIONAL SANTA FE; Tema “Medición en AT en continua y valor eficaz en alterna”

Vila R. O. “MEDICIÓN DE PÉRDIDAS CORONA Y NIVEL DE RADIO INTERFERENCIA EN LÍNEAS CORTAS ENMALLADAS”. Tesis de Maestría Director Julio César Chacón V, 2004

ANEXOS

Anexo A Características de los equipos usados en las mediciones

A.1 Principales especificaciones técnicas de la unidad M4100

M4100



Technical Specifications

The M4100 unit is the foundation of the M4000 Diagnostic Test System for Condition Assessment of Power Apparatus

Note: A personal computer is required to operate the M4100

TOGETHER WE POWER THE WORLD

Power Specifications:

Output Voltage: 0 to 12 kV AC

Output Current: 100 mA continuous at 10 kV
200 mA > 30 minutes at 10 kV
300 mA > 4 minutes at 10 kV

Operating time period based on 50°C operating temperature. Longer durations at high currents will be realized at lower operating temperatures

Output Power: 3 kVA

Sinusoidal output signal internal generated independent of input supply. No loss in performance when used with portable generator

A.C. Input*: 95-264 V AC 47 to 63 Hz
16 A max at 110 V,
10 A max at 220 V

Measurement, Accuracy and Range Test Frequency:

Test Frequency:

Range: 45 to 70 Hz independent of input signal

Resolution: 0.1 Hz

Accuracy: ±1% of reading

Test Voltage:

Range: 25 V to 12 kV

Resolution: 1 V

Accuracy: ±1% of reading, ±1 V

Test Current:

Range: 0 to 5.0 A

Resolution: 0.1 µA

Accuracy: ±1% of reading, ±1 µA

* There are power restrictions for input voltages below 190 V AC.

Capacitance:

Range: 0 to 100 µF

Resolution: 0.01 pF

Accuracy: ± 0.5% of reading, ± 1 pF

Inductance:

Range: 6 H to 10 MH

Resolution: 0.01 H

Accuracy: ± 0.5% of reading

Watts:

Range: 0 to 2 kW, actual

Resolution: 0.5 mW

Accuracy: ± 2% of reading at 10 kV,
± 0.03% of VA, ± 0.5 mW

Dissipation Factor:

Range:

%PF 0 to ±100.00%

PF 0 to ±1.0000

% Tan δ 0 to ±999.99%

Tan δ 0 to ±9.9999

mW/Var 0 to ±9999.9

Resolution: 0.01% / 0.0001

Accuracy: ± 0.5% of reading, typical
± 0.04% PF/Tan δ
± 0.0004 PF/Tan δ



Temperature Measurement:

Range: -20 °C to +50 °C

Resolution: 0.1 °C

Accuracy: ±4 °C

Requires optional temperature probe

ENVIRONMENTAL

Temperature:

Operating: -20 °C to +50 °C

Storage: -40 °C to +70 °C

Humidity: 90% non-condensing

DIMENSIONS

Instrument: 10-1/4 in. H x 20 in. W x
25-1/4 in. D 26 cm H x
50.8 cm W x 64.1 cm D

High Voltage Cable: 60 ft./18 mt (other lengths
available as options)

Weights
Instrument: 95 lbs/45.5 kg

MAXIMUM INTERFERENCE CONDITIONS AT LINE

Frequency

Electrostatic: 15 mA rms of interference
current into any lead or
cable with no loss of
measurement accuracy.
Applicable to a maximum
ratio of interference
current to specimen
current of 20:1.

Electromagnetic: 500 µT, at 50 Hz in any
direction

For more information, contact
M4000@doble.com

TOGETHER WE POWER THE WORLD



Doble Engineering Company
85 Walnut Street
Watertown, MA 02472 USA
tel +1 617 926 4900
fax +1 617 926 0528

STANDARDS

EMC Emissions

FCC 47 CFR Part 15 Class A Emissions requirements (USA)

EN 55011:1998/A1:1999/A2:2002 Group 1 Class A ISM Emissions requirements (EUROPE)

AS/NZS CISPR 11:2004 Class A ISM Emissions requirements (Australia)

EMC Immunity

EN 61326:1997/A1:1998/A2:2001/A3:2003

IEC 61000-4-2/3/4/5/6/11

IEC 801-2(1984) Electrostatic Discharge

ANSI/IEEE C37.90.1 Surge Withstand Capability

SAFETY

EN 61010-1 :2001 (2nd Edition)

ENVIROMENTAL

IEC 60068-2-2 Dry Heat

IEC 60068-2-1 Cold

IEC 60068-2-30 Damp Heat

MECHANICAL

IEC 60068-2-27 Shock

IEC 60068-2-6 Vibration

IEC 60068-2-6 Drop test

ASTM D999.75 Transport Shock Test

Specifications are subject to change without notice.



*The M4100 unit is the foundation of the M4000 Diagnostic
Test System for Condition Assessment of Power Apparatus*

www.doble.com

Doble is certified ISO 9001:2000

MKT-SL-M4100TS-12/08

A.2 Principales especificaciones técnicas del Micro-Ohmímetro



MICRO-OHMMETERS
10A Digital

Model 6240

Auto calculates resistance from 1μΩ to 400Ω with resolutions down to 1μΩ

► FEATURES

- Reliable low resistance measurements from 1μΩ to 400Ω
- Four-terminal Kelvin resistance measurement eliminates test lead resistance
- 10A test current at up to 4000μΩ
- 0.25% basic accuracy
- 1μΩ resolution
- Direct reading, easy to operate
- Six selectable resistance ranges
- Reverse polarity switch
- Overload and input fuse protection
- Manufactured to international safety and environmental standards
- Automatic decimal point and zeroing
- Large terminals accept banana plugs and spaded lugs
- Rechargeable NiMH battery with internal charger (110/220V)
- Large multifunctional backlit display
- Includes power cord and isolated USB cable
- Includes FREE DataView® software for data storage, real-time display, analysis and report generation

► SPECIFICATIONS

MODEL	6240					
Range	4000μΩ	40mΩ	400mΩ	4000mΩ	40Ω	400Ω
Accuracy	0.25% of Reading ± 2cts	0.25% of Reading ± 2cts	0.25% of Reading ± 2cts	0.25% of Reading ± 2cts	0.25% of Reading ± 2cts	0.25% of Reading ± 2cts
Resolution	1μΩ	10μΩ	0.1mΩ	1mΩ	10mΩ	100mΩ
Test Current	10A	1A	1A	100mA	10mA	10mA
Memory	Stores up to 99 test results					
Power Source	Rechargeable 6V, 8.5Ah NiMH battery pack (included)					

► ACCESSORIES

Kelvin clips, set of two
Catalog #1017.84 (included)
(10A – Hippo) 10 ft
Catalog #2118.70 (optional)
(10A – Hippo) 20 ft

Kelvin probes, set of two (optional)
Catalog #2118.73
(1A – spring loaded) 10 ft
Catalog #2118.74
(1A – spring loaded) 20 ft

Kelvin clips, set of two (optional)
Catalog #2118.79
(1-10A) 10 ft
Catalog #2118.80
(1-10A) 20 ft

Kelvin probes, set of two (optional)
Catalog #2118.77
(10A – spring loaded) 10 ft

Kelvin probes pistol grip, set of two (optional)
Catalog #2118.75
(10A – spring loaded) 10 ft

DataView® software
Included with Model 6240

► CATALOG NO. DESCRIPTION

2129.80	Micro-Ohmmeter Model 6240 (10A, Instantaneous, Continuous, Multiple Test, includes 10A Kelvin Clips (Hippo) and DataView® software)
Accessories (Optional)	
1017.84	Kelvin Clips 10 ft (10A – Hippo)
2118.70	Kelvin Clips 20 ft (10A – Hippo)
2118.73	Kelvin Probes 10 ft (1A, Spring Loaded)
2118.74	Kelvin Probes 20 ft (1A, Spring Loaded)
2118.75	Kelvin Probes Pistol Grip (10A – spring loaded), set of two, 10 ft
2118.77	Kelvin Probes (10A – spring loaded), set of two, 10 ft
2118.79	Kelvin Clips 10 ft (1-10A) Replacement for Cat #2118.71
2118.80	Kelvin Clips 20 ft (1-10A) Replacement for Cat #2118.72



Technical Assistance (800) 343-1391

www.aemc.com 93

A.3 Especificaciones técnicas del Telurómetro METREL MI-2088

MI 2088 Earth –Insulation Tester

Technical specification

6. Technical specification

6.1. Functions

Insulation Resistance

Meas. range Riso ($U_n \geq 250V$) .. (0,008 ÷ 29,9k)M Ω		
Display range Riso (Ω) $U_n \geq 250V$	Resolution (M Ω)	Accuracy*
0,000M ÷ 1,999M	0,001	±(2% of r. + 2D)
2,00M ÷ 19,99M	0,01	
20,0M ÷ 199,9M	0,1	
200M ÷ 1999M	1	±(1% of r. / 1G Ω of r. + 2% of r. +2D)
2,00G ÷ 19,99G	10	
20,0G ÷ 29,9G	100	

*Specified accuracy is valid, if **Universal test cable** is used, while it is valid up to 200 M Ω , if **Tip Commander** is used.

Meas. range Riso ($U_n < 250V$) .. (0,012 ÷ 199,9)M Ω		
Display range Riso (Ω) $U_n < 250V$	Resolution (M Ω)	Accuracy
0,000M ÷ 1,999M	0,001	±(5% of r. + 3D)
2,00M ÷ 19,99M	0,01	
20,0M ÷ 199,9M	0,1	

Display range Test voltage (V)	Resolution (V)	Accuracy
0 ÷ 1200	1	±(2% of r. + 3D)

Nom. test voltage... 50 ÷ 1000Vd.c. in steps of 10 V
 Current capability of test generator
 (at $U_{test} > U_n$) > 1mA
 Short-circuit test current < 3 mA
 Automatic discharge of tested object.....yes

Continuity of protection conductors

Meas. range R (0,08 ÷ 1999) Ω		
Display range R (Ω)	Resolution (Ω)	Accuracy
0,00 ÷ 19,99	0,01	±(2% of r. + 2D)
20,0 ÷ 199,9	0,1	±(3% of r.)
200 ÷ 1999	1	

Open-terminal test voltage 4 - 7 Vd.c.
 Short-circuit test current > 200 mA
 Compensation of test leads (up to 5 Ω).....yes
 Sound signal.....yes
 Automatic polarity exchangeyes
 Measurement mode.....single measurement

Continuity

Display range R (Ω)	Resolution (Ω)	Accuracy
0,0 ÷ 199,9	0,1	±(3% of r. + 3D)
200 ÷ 1999	1	

Open-terminal test voltage..... 4 - 7 Vd.c.
 Short-circuit test current..... < 7 mA
 Sound signal (R > 20 Ω) yes
 Measurement mode continuous measurement

Earth Resistance four-lead method

Meas. range RE (0,11 ÷ 19,99k) Ω		
Display range (Ω)	Resolution (Ω)	Accuracy
0,00 ÷ 19,99	0,01	±(2% of r. + 3D)
20,0 ÷ 199,9	0,1	
200 ÷ 999	1	
1,000 ÷ 1,999	1	±(5% of r.)
2,00k ÷ 19,99k	10	

Additional spike resistance error
 at R_c max. or R_p max. ±(3% of r. + 10D)
 R_c max. (4k Ω + 100RE) or
 50k Ω (whichever is lower)
 R_p max. (4k Ω + 100RE) or
 50k Ω (whichever is lower)

Additional error
 at 10 V voltage noise (50 Hz) ±(5% of r. + 10D)
 Open-terminal test voltage..... 40 Va.c.
 Test voltage shape..... sine wave
 Test voltage frequency..... 125/150 Hz
 Short-circuit test current..... < 20 mA
 Automatic test of current and
 potential test probe resistance yes
 Automatic test of voltage noise yes

Earth Resistance using one clamp in combination with four – lead method

All technical data listed under four-lead method are valid, except display and meas. ranges, see adapted ones below.

Meas. range RE (0,11 ÷ 1,99k) Ω		
Display range	Resolution	Accuracy

(Ω)	(Ω)	
0,00 ÷ 19,99	0,01	±(2% of r. + 3D)
20,0 ÷ 199,9	0,1	
200 ÷ 999	1	
1,00k ÷ 1,99k	10	

Additional specification:

Additional error at lowest noise current where **nC** indication is already displayed (valid at max. ratio $R_{tot}/R_{part} = 1/2$)±(10% of r. + 10D)
 Noise current indication **nC**>2,4A approx.
 Additional error of resistance ratio $R_{partial}/R_{total} \cdot 1\%$
 $R_{partial}$ = resistance measured with clamp
 R_{total} = resistance of earthig system
 Indication in case of low clamp current< 0,5 mA
 Automatic test of noise current.....yes
 Additional clamp error is to be considered.

Earth Resistance using two clamps

Meas. range RE(0,08 ÷ 100)Ω

Display range RE (Ω)	Resolution (Ω)	Accuracy*
0,00 ÷ 19,99	0,01	±(10% of r. +2D)
20,0 ÷ 100,0	0,1	±(20% of r.)

*Distance between test clamps >30 cm

Additional error at lowest noise current where **nC** indication is already displayed...±(10% of r. + 10D)
 Noise current indication **nC** starts to be displayed at..... Inoise / Isignal > 100
 Additional clamp error is to be considered.

Specific Earth Resistance (resistivity)

All technical data listed under four-lead method are valid, except display range table, see adapted one below.

Display range ρ (Ωm)	Resolution (Ωm)	Accuracy
0,00 ÷ 19,99	0,01	Consider accuracy of RE measurement
20,0 ÷ 199,9	0,1	
200 ÷ 1999	1	
2,00k ÷ 19,99k	10	
20,0k ÷ 199,9k	0.1k	
200k ÷ 999k (a < 8m)	1k	$\rho = 2\pi aRE$
200k ÷ 1999k (a ≥ 8m)		

Display range ρ (Ωft)	Resolution (Ωft)	Accuracy
0,00 ÷ 19,99	0,01	
20,0 ÷ 199,9	0,1	
200 ÷ 1999	1	
2,00k ÷ 19,99k	10	
20,0k ÷ 199,9k	0.1k	
200k ÷ 999k (a < 8ft)	1k	
200k ÷ 1999k (a ≥ 8ft)		

Distance between test rods1 up to 30 m or 1 up to 60 ft

Voltage a.c./d.c.

Display range U (V)	Resolution (V)	Accuracy
0 ÷ 600	1	±(2% of r. + 2D)

Nominal frequency range.....45 – 65 Hz, d.c.

Current (True RMS)

Display range I (A)	Resolution (A)	Accuracy
0,0m ÷ 99,9m	0,1m	±(5% of r. + 3D)
100m ÷ 999m	1m	±(5% of r.)
1,00 ÷ 9,99	0,01	
10,0 ÷ 99,9	0,1	
100 ÷ 200	1	

Input resistance.....10Ω/1W
 Measurement principle..... current clamp 1A/1mA
 Nominal frequency 50/60 Hz
 Additional clamp error is to be considered.

Varistor over-voltage protection devices – Breakdown voltage

Display range U (V)	Resolution (V)	Accuracy
0 ÷ 1000	1	±(5% of r. + 10V)

Measurement principle..... d.c.voltage ramp
 Test voltage slope.....500 V/s
 Treshold current.....1 mA

6.2. General characteristics

Power supply .. 6 Vd.c. (4 × 1,5V battery IEC LR14)	Protection classificationdouble insulation
Automatic comparison of test result with set	Over-voltage chateg. ... CATIII/300V or CATII/600 V
high and low limit valueyes	Polution degree..... 2
Vizual and sound warnings.....yes	Degree of protectionIP 44
Dimensions (w × h × d)..... 26,5 × 11 × 18,5 cm	Working temp. range..... 0 ÷ 40 °C
Weight (without accessories, with batteries) .. 1,7kg	Nominal (reference) temp. range..... 10 ÷ 30 °C
Display LCD with backlight	Max. humidity 85 % RH (0 ÷ 40°C)
Memories over 1000 measurements	Nominal (reference) hum. range..... 40 ÷ 60 % RH
Computer connection RS 232	Auto power off..... yes

A.4 Certificado de calibración del Telurómetro METREL MI-2088

 ERASMUS	CERTIFICADO DE CALIBRACION	Fecha de emisión: 08- Oct-09	Código: LC-FR-001
		Versión.1	Página 1 de 8

CERTIFICADO DE CALIBRACION No : 791
Fecha: 26 de Marzo de 2013


CERTIFICADO DE CALIBRACION

Erasmus Ltda. Diag. 40 A N 18 -09 Laboratorio de Metrología.

ESTE LABORATORIO EXPIDE EL PRESENTE CERTIFICADO MEDIANTE EL USO DE LAS MEJORES PRACTICAS Y LOS METODOS DESCRITOS.

CLIENTE:	PROTECEM
DIRECCION:	C.C. OMNICENTRO LOCAL 2-8
CIUDAD:	BUCARAMANGA
INSTRUMENTO:	TELUROMETRO
FABRICANTE:	METREL
MODELO:	MI-2088
SERIE:	10450263
RANGO DE MEDICION:	RE 0Ω-19KΩ -0V-600VACDC RINS 0,00M- 29,9GΩ
EQUIPO PATRON:	CS-2086 METREL-CMC-256 PLUS

NUMERO DE PAGINAS DE ESTE REPORTE INCLUYENDO ANEXOS 8

 ERASMUS	CERTIFICADO DE CALIBRACION	Fecha de emisión: 08- Oct-09	Código: LC-FR-001
		Versión.1	Página 2 de 8

CERTIFICADO DE CALIBRACION No : 791

Fecha: 26 de Marzo de 2013


METODO UTILIZADO:

- El método utilizado es de comparación con los equipos patrón CS-2086 Metrel para prueba de resistencia y CMC-256 Plus OMICRON para prueba de corriente y voltaje estos equipos tienen trazabilidad a patrones nacionales e internacionales

-Los resultados de calibración solo se refieren al instrumento bajo prueba

DESCRIPCION DEL INSTRUMENTO:

ESCALA RISO($U_n \geq 250v$)	RESOLUCION (M Ω)
0,00M / 1,999M	0,001
2,00M / 19,99M	0,01
20,0M / 199,9M	0,1
200M / 1999M	1
2,00G / 19,99 G	10
20,0 G / 29,9G	100
RESISTIVIDAD	RESOLUCION(Ωm)
0,00/ 19,99	0,01
20,0/ 199,9	0,1
200/ 1999	1
2,00K / 19,99 K	10
20,0 K / 199,9 K	0,1 K
200K / 2000 K	1K

 ERASMUS	CERTIFICADO DE CALIBRACION	Fecha de emisión: 08- Oct-09	Código: LC-FR-001
		Versión. 1	Página 3 de 8

CERTIFICADO DE CALIBRACION No : 791
Fecha: 26 de Marzo de 2013

FECHA DE RECEPCION: 15/03/13

FECHA DE CALIBRACION: 26/03/13

TRABAJO REALIZADO:

Calibración del instrumento de prueba bajo parámetros de comparación con el equipo patrón, teniendo en cuenta que el fabricante del equipo a probar maneja los siguientes valores de tolerancia tal como se muestra en la tabla anterior.

EQUIPO UTILIZADO:

CALIBRATION SET


CS -2086 METREL SERIE NR 031206- CMC-256 PLUS

TRAZABILIDAD:

El laboratorio de Metrología de ERASMUS LTDA, cuenta y mantiene su trazabilidad de los patrones utilizados en esta calibración mediante el certificado de calibración METREL DUS-OMICRONS ELECTRONICS el cual es acreditado por la (PTB) De Alemania.

INCERTIDUMBRE DE MEDICION:

Factor de cubrimiento de $k= 2$ con una confiabilidad de 95%

	CERTIFICADO DE CALIBRACION	Fecha de emisión: 08- Oct-09	Código: LC-FR-001
		Versión.1	Página 4 de 8

CERTIFICADO DE CALIBRACION No : 791
Fecha: 26 de Marzo de 2013

RESULTADOS DE LA MEDICION:

El Instrumento Bajo prueba se le realiza el ajuste apropiado de calibración que esta por dentro del rango de tolerancia expuesto por el fabricante según el manual de instrucciones.

En el siguiente anexo esta la tabla de resultados obtenidos durante la calibración.


PRUEBAS REALIZADAS

Medición De Resistencia De Aislamiento, 100 V

Rango	Frecuencia	K Ω -M Ω	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
100	0 Hz	190.00	188.000	2.000	1.053	0,16 Ω
100	0 Hz	1.00	0.992	0.008	0.800	0,08 Ω
100	0 Hz	19.00	18.650	0.350	1.842	0,2 Ω
100	0 Hz	100.00	98.500	1.500	1.500	0,12 Ω
100	0 Hz	190.00	188.300	1.700	0.895	0,2 Ω

Medición De Resistencia De Aislamiento, 250 V

Rango	Frecuencia	K Ω -M Ω	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
250	0 Hz	190.00	189.000	1.000	0.526	0,12 Ω
250	0 Hz	1.00	1.005	0.005	0.500	0,08 Ω
250	0 Hz	19.00	19.070	0.070	0.368	0,2 Ω
250	0 Hz	100.00	99.100	0.900	0.900	0,18 Ω
250	0 Hz	190.00	188.900	1.100	0.579	0,8 Ω

	CERTIFICADO DE CALIBRACION	Fecha de emisión: 08- Oct-09	Código: LC-FR-001
		Versión: 1	Página 5 de 8

CERTIFICADO DE CALIBRACION No : 791
 Fecha: 26 de Marzo de 2013

Medición De Resistencia, 500 V


Rango	Frecuencia	K Ω -M Ω -G Ω	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
500	0 Hz	190.00	189.000	1.000	0.526	0,16 Ω
500	0 Hz	1.00	1.001	0.001	0.100	0,08 Ω
500	0 Hz	19.00	19.000	0.000	0.000	0,2 Ω
500	0 Hz	900.00	893.000	7.000	0.778	0,3 Ω
500	0 Hz	1.90	1.860	0.040	2.105	0,2 Ω

Medición De Resistencia, 1000 V

Rango	Frecuencia	K Ω -M Ω -G Ω	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
1000	0 Hz	190.00	189.000	1.000	0.526	0,16 Ω
1000	0 Hz	1.00	1.003	0.003	0.300	0,08 Ω
1000	0 Hz	19.00	19.070	0.070	0.368	0,2 Ω
1000	0 Hz	900.00	896.000	4.000	0.444	0,3 Ω
1000	0 Hz	1.90	1.860	0.040	2.105	0,2 Ω

Medición R+ 200 m A

Rango	Frecuencia	Ω	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
Ω	0 Hz	10.00	9.610	0.390	3.900	0,22 Ω
Ω	0 Hz	19.00	18.180	0.820	4.316	0,5 Ω
Ω	0 Hz	100.00	97.400	2.600	2.600	0,1 Ω
Ω	0 Hz	190.00	187.300	2.700	1.421	0,16 Ω

 ERASMUS	CERTIFICADO DE CALIBRACION	Fecha de emisión: 08-Oct-09	Código: LC-FR-001
		Versión: 1	Página 6 de 8

CERTIFICADO DE CALIBRACION No : 791
 Fecha: 26 de Marzo de 2013

Medición Con 1 Pinza De Tierras.


Rango	Frecuencia	Ω	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
Ω	0 Hz	0.50	0.470	0.030	6.000	0,1 Ω
Ω	0 Hz	1.00	0.960	0.040	4.000	0,16 Ω
Ω	0 Hz	10.00	9.870	0.130	1.300	0,2 Ω
Ω	0 Hz	19.00	18.530	0.470	2.474	0,5 Ω
Ω	0 Hz	100.00	98.500	1.500	1.500	0,5 Ω

Medición Con 2 Pinza De Tierras.

Rango	Frecuencia	Ω	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
Ω	0 Hz	0.50	0.530	0.030	6.000	0,1 Ω
Ω	0 Hz	1.00	1.040	0.040	4.000	0,3 Ω
Ω	0 Hz	10.00	10.090	0.090	0.900	0,2 Ω
Ω	0 Hz	19.00	19.290	0.290	1.526	0,5 Ω
Ω	0 Hz	100.00	99.900	0.100	0.100	0,1 Ω

Medición de resistencia de tierra (método 4 cables)

Rango	Frecuencia	Ω	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
Ω	0 Hz	10.00	9.930	0.070	0.700	0,2 Ω
Ω	0 Hz	19.00	18.640	0.360	1.895	0,5 Ω
Ω	0 Hz	190.00	186.500	3.500	1.842	0,18 Ω
Ω	0 Hz	1900.00	1897.000	3.000	0.158	0,12 Ω

 ERASMUS	CERTIFICADO DE CALIBRACION	Fecha de emisión: 08- Oct-09	Código: LC-FR-001
		Versión: 1	Página 7 de 8

CERTIFICADO DE CALIBRACION No : 791
 Fecha: 26 de Marzo de 2013

Medición Clamp Corriente


Rango	Frecuencia	m A - A	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
Autorango	60Hz	1.00	1.000	0.000	0.000	0,02 A
Autorango	60 Hz	10.00	10.000	0.000	0.000	0,02 A
Autorango	60 Hz	100.00	99.600	0.400	0.400	0,01 A
Autorango	60 Hz	1.00	0.994	0.006	0.600	0,02 A
Autorango	60 Hz	10.00	10.000	0.000	0.000	0,02 A

Medición de Tensión AC

Rango	Frecuencia	Valor especificado	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
Autorango	60Hz	100.00	100.000	0.000	0.000	0,03V
Autorango	60 Hz	500.00	500.000	0.000	0.000	0,03V

Medición de Varistor

Rango	Frecuencia	Valor especificado	Valor Medido	Diferencia	% de Error	Incertidumbre
510 k Ω	0	500.00	504.000	4.000	0.800	0,03V
900k Ω	0	900.00	886.000	14.000	1.556	0,03V

	CERTIFICADO DE CALIBRACION	Fecha de emisión: 08- Oct-09	Código: LC-FR-001
		Versión.1	Página 8 de 8

CERTIFICADO DE CALIBRACION No : 791
Fecha: 26 de Marzo de 2013

EVALUACION

Las desviaciones están dentro de las tolerancias especificadas en el protocolo de calibración.

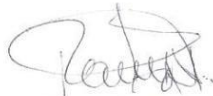
OBSERVACIONES

- Este certificado de calibración expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y no podrán ser adulteradas ni manipuladas por personas ajenas al laboratorio.
- Los resultados contenidos en el presente certificado se refiere en el momento y condiciones en el que se realizaron las mediciones.
- El laboratorio no se responsabiliza por la mala manipulación de los instrumentos calibrados
- No se permite la reproducción de este Certificado de Calibración excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Sello del laboratorio



Elaborado


RONAL SANCHEZ

Aprobado


YEFERSSON CANON

Jefe De Laboratorio.

A.5 Especificaciones técnicas del Fluke 105 series II

METER MODE

Displays up to four readings and a full screen scope waveform of INPUT A.

DC Voltage

Ranges
 direct input 100 mV, 300 mV, 1V, 3V, 10V, 30V, 100V, 300V
 with 10:1 probe 1V, 3V, 10V, 30V, 100V, 300V, 1 kV, 3 kV (limit 600V)
 Accuracy $\pm(0.5\% + 5 \text{ counts})$
 Full Scale Reading 1000 or 3000 counts
 Normal Mode Rejection >50 dB at 50 or 60 Hz
 Common Mode Rejection >100 dB at DC, 50, 60, or 400 Hz

AC or AC+DC True RMS Voltage

Ranges
 direct input 100 mV, 300 mV, 1V, 3V, 10V, 30V, 100V, 250V
 with 10:1 probe 1V, 3V, 10V, 30V, 100V, 300V, 1 kV, 2.5 kV (limit 600V)
 Accuracy 50 Hz to 60 Hz $\pm(1\% + 10 \text{ counts})$
 (valid from 1 Hz [20 Hz] to 20 kHz $\pm(2\% + 15 \text{ counts})$
 5% range) 1 Hz [5 Hz] to 1 MHz $\pm(3\% + 20 \text{ counts})$
 1 Hz [5 Hz] to 5 MHz $\pm(10\% + 25 \text{ counts})$

- [values] for "Vrms AC (no DC)", AC coupled input.
- In "AC+DC", the DC component is included in the measurement result and does not influence the accuracy.

Full Scale Reading 1000 or 3000 counts
 Crest Factor Automatic ranging on crest factor overload
 Common Mode Rejection Ratio >60 dB, DC to 60 Hz

Additional Meter Mode Measurements

FREQUENCY 1 Hz to 5 MHz
 Resolution 4 digits
 Accuracy $\pm(0.5\% + 2 \text{ counts})$

RPM selectable: 1 pulse/rev. or 1 pulse/2 rev.
 Range 60RPM (120 @ 1 pulse/2 rev.) to 99.99kRPM
 Resolution 1 RPM (10RPM for RPM >10,000)
 Accuracy $\pm(1\% + 10 \text{ counts})$

DUTY CYCLE positive or negative pulse
 Range 2.0% to 98.0%
 Resolution 0.1%
 Accuracy (logic or pulse waveforms) $\pm(0.5\% + 2 \text{ counts})$

PULSE WIDTH positive or negative pulse.
 Range 250 μs to 50 ms
 Resolution 3 digits
 Accuracy $\pm(0.5\% + 2 \text{ counts})$

dBV 1 volt reference

dBm reference @ 50, 60, 75, 93, 110, 125, 135, 150, 250, 300, 500, 600, 800, 900, 1000 or 1200 Ω

dBW or WATTS 1, 2, 4, 8, 16 or 50 Ω reference

Ω MODE

(external 4-mm banana jack inputs)

Ranges 30Ω, 300Ω, 3 kΩ, 30 kΩ, 300 kΩ, 3 MΩ, 30 MΩ
 Accuracy (300Ω to 30 MΩ)..... ±(0.5% +5 counts)
 Accuracy (30Ω)..... ±(2.5% +25 counts)
 Full Scale Reading..... 3000 counts
 Measurement Current..... 500 μA, 500 μA, 70 μA, 7 μA,
 700 nA, 70 nA, 70 nA
 Open Circuit Voltage <4V
 Full Scale Voltage <250 mV to 3 MΩ, <2V to 30 MΩ
 Continuity Beeper audible for readings
 <5% of selected range

DIODE TEST MODE

(external 4 mm banana jack inputs)

Open Circuit Voltage.....<4V
 Full Scale Voltage 2.800V
 Measurement Current..... 0.5 mA
 Continuity Beeper audible for readings <1V

EXTERNAL mV MODE

Displays up to four readings and a full size waveform of the
 4 mm banana jack input.

DC Voltage

Ranges300 mV, 3V
 Accuracy..... ±(0.5% +5 counts)

Full Scale Reading..... 3000 counts
 Normal Mode Rejection>50 dB at 50 or 60 Hz
 Common Mode Rejection >100 dB at DC, 50, 60,
 or 400 Hz

AC or AC+DC True RMS Voltage

Ranges 300 mV, 3V
 Accuracy DC, 50 Hz, and 60 Hz.
 (valid from >5% of range) ±(2% +15 counts)
 OL at >2500 counts in 3V range
 Full Scale Reading..... 3000 counts
 Crest Factor Automatic ranging on crest factor overload
 Useful Bandwidth5kHz
 Common Mode Rejection Ratio.....>60 dB, DC to 60 Hz

Additional EXTERNAL mV mode measurements

Frequency, RPM, Duty Cycle and Pulse Width
 measurements and waveforms can also be made with
 reduced accuracy.

°C / °F TEMPERATURE SCALING for optional
 temperature probes

Scaling 1 mV/degree

AMPERE SCALING for optional current probes
 Scaling 1 mV/A, 10 mV/A, 100 mV/A, 1 V/A (1 mV/mA)
 for DC, AC rms, or AC+DC rms

METER, Ω , DIODE, and EXTERNAL mV MODE FUNCTIONS

Smooth Moving average of readings for about last 8 sec.
 Normal..... <3.5 seconds response time for inputs >50 Hz
 Fast..... <1 second response time for inputs >50 Hz
 Change Alert™ Audible beep when reading changes
 Touch Hold Audible beep & hold of last stable reading
 Relative..... Zeros present reading as a reference value
 % Change..... % change relative to a reference value
 % Scale % of user set 0% and 100% references
 Min Max Simultaneous display of present, maximum,
 minimum, and average values with time

Min Max TrendPlot™

Logs minimum, maximum, and average readings to memory at full accuracy and displays all three as graphs. Uses automatic vertical scaling and horizontal time compression for hands-free recording from 120 seconds to 40 days full screen.

Minimum, maximum, and average full accuracy (16 bit) waveforms available to PC interface ~~91~~ ~~92~~ ~~96~~.

MEMORIES (SAVE OR RECALL) ~~91~~ ~~92~~ ~~96~~

Screen all displayed waveforms, readings, and setup, 10 for Fluke 99 and 105, 5 for Fluke 96
 Waveforms individual waveforms with setting, 20 for Fluke 99 and 105, 10 for Fluke 96
 Setups complete test tool setting, 40 for Fluke 99 and 105, 20 for Fluke 96

SIGNAL GENERATOR ~~91~~ ~~92~~ ~~96~~

Sine Wave 1V pk-pk at 976 Hz
 Source resistance..... 400 Ω
 Square Wave 5V pk-pk at 488 Hz, 976 Hz, or 1.95 kHz
 Source resistance..... 400 Ω

PROBE CALIBRATOR

AC probe adjust at 5pk-pk at 1.95 kHz

COMPONENT TESTER ~~91~~ ~~92~~ ~~96~~

Current Mode..... 0 to +3 mA in max. 128 steps
 Max. voltage..... \leq 2V
 Voltage Mode..... -2V to +2V in max. 128 steps
 Max. Current +or- 1 mA

A.6 Especificaciones técnicas del Fluke 190 series II

Fluke 190 series II
Manual de uso

Mediciones automáticas de osciloscopio

La precisión de todas las lecturas está comprendida dentro de \pm (% de lectura + número de cuentas) entre 18 °C y 28 °C. Se ha de añadir 0,1 x (precisión específica) por cada °C por debajo de 18 °C o por encima de 28 °C. Para mediciones de tensión con sonda 10:1, sume la precisión de sonda; consulte la sección "Sonda 10:1" en la página 146. En la pantalla debe ser visible cuando menos 1,5 período de forma de onda.

General

Entradas A, B, C y D
Supresión de modo común (CMRR) de CC >100 dB
Supresión de modo común de CA a 50, 60 ó 400 Hz >60 dB

Tensión de corriente continua (VCC)

Tensión máxima
con sonda 10:1 1.000 V
directa (1:1) 300 V

Resolución máxima
con sonda 10:1 1 mV
directa (1:1) 100 μ V

Lectura de valor máximo de escala 999 cuentas

Precisión a 5 hasta 10 μ s/div

2 mV/div $\pm(1,5\% + 10$ cuentas)
5 mV/div a 100 V/div $\pm(1,5\% + 5$ cuentas)

Supresión de modo normal CA a 50 o 60 Hz >60 dB

Tensión CA (VCA)

Tensión máxima
con sonda 10:1 1.000 V
directa (1:1) 300 V

Resolución máxima
con sonda 10:1 1 mV
directa (1:1) 100 μ V

Lectura de valor máximo de escala 999 cuentas

Precisión

Acoplada en continua:
CC a 60 Hz $\pm(1,5\% + 10$ cuentas)

Acoplada en alterna, bajas frecuencias:
50 Hz directa (1:1) $\pm(1,5\% + 10$ cuentas)
60 Hz directa (1:1) $\pm(1,9\% + 10$ cuentas)
Con la sonda 10:1, el punto de desplazamiento de baja frecuencia bajará a 2 Hz, lo que incrementa la exactitud de CA en bajas frecuencias. Cuando sea posible, utilice el acoplamiento en continua para una máxima precisión.

Acoplada en alterna o en continua, altas frecuencias:
60 Hz a 20 kHz $\pm(2,5\% + 15$ cuentas)
20 kHz a 1 MHz $\pm(5\% + 20$ cuentas)
1 MHz a 25 MHz $\pm(10\% + 20$ cuentas)

132

Especificaciones **8**
Mediciones automáticas de osciloscopio

En frecuencias superiores, el desplazamiento de frecuencia del instrumento comienza a afectar a la precisión.
Supresión del modo normal CC >50 dB

Todas las exactitudes son válidas si:

- La amplitud de la forma de onda es mayor que una división
- En la pantalla aparece cuando menos 1,5 período de forma de onda.

Tensión CA + CC (RMS verdaderas)

Tensión máxima
con sonda 10:1 1.000 V
directa (1:1) 300 V

Resolución máxima
con sonda 10:1 1 mV
directa (1:1) 100 μ V

Lectura de valor máximo de escala 1.100 cuentas

Precisión

CC a 60 Hz $\pm(1,5\% + 10$ cuentas)
60 Hz a 20 kHz $\pm(2,5\% + 15$ cuentas)
20 kHz a 1 MHz $\pm(5\% + 20$ cuentas)
1 MHz a 25 MHz $\pm(10\% + 20$ cuentas)

En frecuencias superiores, el desplazamiento de frecuencia del instrumento comienza a afectar a la precisión.

Amperios (AMP)

Con sonda amperimétrica o derivador de corriente opcionales

Rangos como VCC, VCA, VCA+CC

Sensibilidad de la sonda 100 μ V/A, 1 mV/A, 10 mV/A, 100 mV/A, 400 mV/A, 1 V/A, 10 V/A y 100 V/A

Precisión como VCC, VCA, VCA+CC (sumar incertidumbre de sonda amperimétrica o de derivador de corriente)

Pico

Modos Pico máximo, pico mínimo o pico a pico

Tensión máxima
con sonda 10:1 1.000 V
directa (1:1) 300 V

Resolución máxima
con sonda 10:1 10 mV
directa (1:1) 1 mV

Lectura de valor máximo de escala 800 cuentas

Precisión

Pico máx. o mín. $\pm 0,2$ divisiones
Pico a pico $\pm 0,4$ divisiones

133

A.7 Especificaciones técnicas del divisor capacitivo amortiguado CS 1000

Prüfprotokoll
Procès-verbal d'essai
Test-Report

HAEFELY

WO 55 3090

Stosspannungsteiler

1 Diviseurs de tension de choc Impulse voltage dividers

Type	CS 1000			Universidad Industrial de Santander Departamento de Electricidad Ciudad Universitaria Aptdo Areo 678 Bucaramanga Columbia
Kondensator (en)	185'762			
Condensateur (s) No. :	185'763			
Capacitor (s)	185'764			
Sekundäreinheit (en)	185'947			Y/Ref. Contract No. 011RE/90 dated 4.07.1990 O/Ref. V1E/CO 6400/2
Unité (s) secondaire(s) No. :	185'947			
Secondary unit (s)				Gleichspannung Tension continue DC voltage
Nennspannungen / Tensions nominales / Rated voltages				
Blitzstoss prim. :	1000	kv		Dämpfungswiderstand Résistance d'amortissement Damping resistance
Choc de foudre Lightning impulse sec. : max.	1,5	kv		
Schaltstoss Choc de manoeuvre apppr. :	800	kv		100 Ω_{\pm} 10 %
Switching impulse				
Wechselspannung Tension alternative AC voltage	--	kv		
Primärkapazität Capacité primaire Primary capacitance	670	pF \pm	10 %	

Messkabel / Câble de mesure / Test lead

Länge longueur l length	20	Impedanz Z impédance	75 Ω	Kapazität C_k capacité capacitance	67 pF/m
Prüfungen nach Essais selon Tests as to	EHB- Spez.		Atm. Bedingungen Conditions atm.	984 mbar, 22 °C, 26 % rel. Feuchte humidité rel.	

Prüfung der Hochspannungseinheiten / Essai des unités de haute tension / Test of the high voltage units

gemessen mit einer Schering-Brücke bei 50 Hz, 68 kv		App.No. $\left\{ \begin{array}{l} 187'764 \\ 185'763 \\ 185'762 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} c = 1981 \text{ pF, } \tan \delta = 4,84 \% \\ c = 1973 \text{ pF, } \tan \delta = 4,22 \% \\ c = 2007 \text{ pF, } \tan \delta = 4,35 \% \end{array} \right. C_1 $
$C_1, \tan \delta$ mesuré au pont de Schering à	measured with a Schering bridge at	
Widerstand (gemessen) R Résistance (mesurée) Resistance (measured)	parallel <input type="checkbox"/> -- Ω serie <input checked="" type="checkbox"/> 102,2 Ω	

Prüfung des Sekundärteils / Essai de la partie secondaire / Test of the secondary part

$C_2, \tan \delta$ mesurés au pont de Schering à	50 Hz, 200 v,	$C_2 = 468,0 \text{ nF}$	$\tan \delta = 2,19 \%$
Prüfspannung Tension d'essai Test voltage	1000 v (DC), 60 sec.	bestanden tenue withstood	Abschlusswiderstand (gemessen) Résistance terminale (mesurée) Terminating resistance (measured) 74,98 Ω

Prüfung des kompletten Teilers / Essai du diviseur complet / Test of the complete divider

gemessen mit einer Schering-Brücke bei 50 Hz		$n = \frac{C_2 + l \cdot C_k}{C_1} + 1$
$C_1, \tan \delta$ mesurés au pont de Schering à	measured with a Schering bridge at	
U (kv)	100	Blitzstoss siehe Choc de foudre voir Lightning impulse see
C_1 (pF)	652,3	
$\tan \delta_1$	$3,83 \cdot 10^{-3}$	Burch siehe Burch voir Burch see
U_{max} (kv)	1000	
n	720,5	

Gemessen in Anwesenheit von
Effectués en présence de
Witnessed by

Anzahl Seiten 1 gemessen Kasper
Nombre de pages 1 mesuré Starck
Number of pages 1 measured

Prüffeld Plateforme d'essai
Basel, 27.02.91 Test department

Anexo B Hoja de vida e inventario de equipos del LAT

B.1 Hoja de vida tipo

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	
MARCA	
MODELO	
REFERENCIA	
SERIE	
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	
FECHA DE ADQUISICIÓN	
FORMA DE ADQUISICIÓN	
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	
COSTO DE ADQUISICIÓN	
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	
N° PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	
GARANTÍA	

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	ScopeMeter 190 Series II
MARCA	FLUKE
MODELO	190 Series II
REFERENCIA	18651620
SERIE	II
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	FLUKE, USA
FECHA DE ADQUISICIÓN	17 de mayo del 2012
FORMA DE ADQUISICIÓN	Directa
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	Casa Hermes Ltda. Cr 17 # 36-23 Bucaramanga
COSTO DE ADQUISICIÓN	11'900.800
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	Fabricante anual
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
Nº PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	102417
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 17 de mayo del 2012 FECHA DE TERMINACIÓN: 17 de mayo del 2013

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	ScopeMeter 150 Series II
MARCA	FLUKE
MODELO	150 Series II
REFERENCIA	DM6340831
SERIE	II
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	FLUKE, USA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de abril de 1997
FORMA DE ADQUISICIÓN	Licitación
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	----- -----
COSTO DE ADQUISICIÓN	2'500.000
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	Fabricante
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
Nº PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	37049
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 1 de abril de 1997 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de abril de 1998

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	GENERADOR DE IMPULSOS DE TENSIÓN
MARCA	HAEFELY
MODELO	Haefely tipo S-serie 8 etapas
REFERENCIA	WO3090 V1E/CO 6400/2
SERIE	081 577-21
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	HAEFELY SUIZA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de diciembre de 1991
FORMA DE ADQUISICIÓN	Convenio ICFES BID
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	SUIZA
COSTO DE ADQUISICIÓN	66'191.703
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	-----
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
Nº PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	18643
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 1 de diciembre de 1991 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de diciembre de 1992

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	DIVISOR RESISTIVO
MARCA	FOSTER
MODELO	-----
REFERENCIA	-----
SERIE	-----
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	FOSTER – INGLATERRA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de enero de 1983
FORMA DE ADQUISICIÓN	-----
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	-----
COSTO DE ADQUISICIÓN	-----
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	Autores
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
Nº PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	2161
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 1 de enero de 1983 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de enero de 1984

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	DIVISOR CAPACITIVO AMORTIGUADO
MARCA	HAEFELY
MODELO	C 100
REFERENCIA	WO553090
SERIE	1991
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	HAEFELY SUIZA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de diciembre de 1991
FORMA DE ADQUISICIÓN	Convenio ICFES BID
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	SUIZA
COSTO DE ADQUISICIÓN	-----
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	Puente Shering
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
N° PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	-----
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 1 de diciembre de 1991 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de diciembre de 1992

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	CONSOLA DEL TRANSFORMADOR ELEVADOR DE TENSIÓN
MARCA	FOSTER
MODELO	-----
REFERENCIA	J-YC009
SERIE	-----
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	FOSTER - INGLATERRA
FECHA DE ADQUISICIÓN	UNESCO
FORMA DE ADQUISICIÓN	1 de enero de 1983
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	INGLATERRA
COSTO DE ADQUISICIÓN	\$ 23. 464.00
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catalogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catalogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catalogo
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
Nº PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	2157
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 1 de enero de 1983 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de enero de 1983

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	CONSOLA DE MANDO GENERADOR DE IMPULSOS
MARCA	HAEFELY
MODELO	GC 222
REFERENCIA	093-233.1
SERIE	081 736-03
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	HAEFELY SUIZA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de diciembre de 1991
FORMA DE ADQUISICIÓN	Convenio ICFES BID
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	SUIZA
COSTO DE ADQUISICIÓN	-----
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	-----
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
N° PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	18643
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 1 de diciembre de 1991 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de diciembre de 1992

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	ESPINTERÓMETRO
MARCA	HAEFELY
MODELO	1991
REFERENCIA	WOA 523090
SERIE	081 736-03
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	HAEFELY SUIZA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de diciembre de 1991
FORMA DE ADQUISICIÓN	Convenio ICFES BID
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	SUIZA
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	-----
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
Nº PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	18643
	FECHA DE INICIO: 1 de diciembre de 1991 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de diciembre de 1992

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	CHISPÓMETRO
MARCA	SIEMENS
MODELO	-----
REFERENCIA	-----
SERIE	-----
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	SIEMENS – ALEMANIA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de abril de 1990
FORMA DE ADQUISICIÓN	-----
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	-----
COSTO DE ADQUISICIÓN	458 393,20
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	-----
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	Ver catálogo
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
Nº PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	2162
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: 1 de abril de 1990 FECHA DE TERMINACIÓN: 1 de abril de 1991

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	CONSOLA DE MANDO DEL ESPINTERÓMETRO
MARCA	HAEFELY
MODELO	1991
REFERENCIA	WOA 523090
SERIE	081 736-03
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	HAEFELY SUIZA
FECHA DE ADQUISICIÓN	1 de diciembre de 1991
FORMA DE ADQUISICIÓN	Convenio ICFES BID
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	SUIZA
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catálogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catálogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	-----
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
Nº PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	18643
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: FECHA DE TERMINACIÓN:

Fuente: Autores

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	
NOMBRE DE PRESTADOR	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA DE ELABORACIÓN DE LA HOJA DE VIDA	17/10/2013

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
NOMBRE DEL EQUIPO	MEDIDOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA
MARCA	LUTRON
MODELO	PHB-218
REFERENCIA	AF08434
SERIE	AF08434
FABRICANTE Y LUGAR DE ORIGEN	LUTRON Taiwán
FECHA DE ADQUISICIÓN	25 de agosto del 2013
FORMA DE ADQUISICIÓN	Directa
NOMBRE DE PROVEEDOR - DIRECCIÓN	Bogotá calle 76 N° 20B-24 Of 207
COSTO DE ADQUISICIÓN	750.000
CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO	Ver catalogo
REQUISITOS E INDICACIONES DADAS POR EL FABRICANTE	Ver catalogo
MANTENIMIENTO INDICADO POR EL FABRICANTE	Ver catalogo
CALIBRACIÓN (TIPO Y PERIODICIDAD)	Fabricante
SERVICIO EN EL QUE SE ENCUENTRA UBICADO	Laboratorio de Alta tensión
N° PLACA O CÓDIGO DE INVENTARIO	110311
GARANTÍA	FECHA DE INICIO: FECHA DE TERMINACIÓN:

Fuente: Autores

B.2 Inventario de los equipos pertenecientes al LAT de la UIS

TIPO	MARCA	SERIAL	SERIAL UIS
GENERADOR DE IMPULSOS	HAEFELY	081577.21	18643
SCOPEMETER 190 SERIES II	FLUKE	II	1024q7
SCOPEMETER 150 SERIES II	FLUKE	II	37049
DIVISOR RESISTIVO	FOSTER	-----	2161
DIVISOR CAPACITIVO AMORTIGUADO	HAEFELY	1991	-----
CONSOLA DEL TRANSFORMADOR ELEVADOR DE TENSION	FOSTER	-----	2157
CONSOLA DE MANDO GENERADOR DE IMPULSOS	HAEFELY	081736- 03	18643
ESPINTERÓMETRO	HAEFELY	081736- 03	18643
CHISPOMETRO	SIEMENS	-----	2162
CONSOLA DE MANDO SEPARACIÓN ESFERAS DEL ESPINTERÓMETRO	HAEFELY	WOA 523090	18643
MEDIDOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA	TURON	08434	110311

Fuente: Autores

Anexo C Diseño opcional para el sistema de puesta a tierra (SPT)

Tabla 28. Parámetros del diseño

Ancho de la malla m	7
Largo de la malla m	7,75
Diámetro del conductor pg.	5/8"
Resistividad del terreno $\Omega \cdot m$	353,87
Profundidad de enterramiento de la malla m	0,8
Lado cuadrícula m	0,5
Long de cada varilla m	2,4
# Varillas verticales	8
Corriente de falla A	367
Tiempo de despeje de la falla a tierra seg.	0,00005
Diámetro de la cáscara de cemento conductor m	0,05
RESISTIVIDAD DEL CEMENTO CONDUCTIVO $\Omega \cdot m$	0,24²³

Fuente: Autores

Para este diseño, también se omitió el valor de la resistencia puesta a tierra menor o igual a 1Ω , entonces se optó por el segundo ítem de la norma, el cual se enfatiza en las tensiones de paso y de contacto. La diferencia con el sugerido en la investigación, es que la cuadrícula de malla es menor, y por consiguiente se prefirió construir una placa de cemento conductor con espesor de 0,05 m, en el área de la sala de ensayos del LAT, después se ubica el enmallado de puesta a tierra de conductor de cobre 2/0 sobre la placa compactada, y por último se recubre el enmallado con otra placa del mismo espesor. La ventaja será que con este diseño se desprecian las tensiones de paso y de contacto, el inconveniente para ejecutarlo es el costo del proyecto, el cual se muestra al final del anexo.

²³ http://protecemltda.awardspace.com/catalogo_protecem.pdf

SafeGrid Earthing Software complies with IEEE Std 80 and IEC 60479.

Project:
SPT LAB. ALTA TENSION UIS
Scenario:
LABORATORIO ALTA TENSION UIS
Description:
DISEÑO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA DEL LABORATORIO DE ALTA
TENSION DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Design Inputs

Table 1: Soil characteristics

Model	Specify soil model parameters
Top layer resistivity (Ohm.m)	356,000
Top layer depth (m)	5,000
Bottom layer resistivity (Ohm.m)	356,000

Table 2: Grid energisation

Units	Current (A)
Magnitude	367,000000

Table 3: Grid and rod conductor size

Method	Specify grid conductor radius
Conductor radius (mm)	69,100000

Table 4: Measurement units

Units	Metric
-------	--------

Table 5: System

Frequency (Hz)	60
----------------	----

Buried Grid Model

Table 6: Segments

No. of segments accounting for intersections only	486
No. of segments after segmentation (for accuracy)	486
Fault location (segment no.)	1
Total length of conductor network (m)	258,200

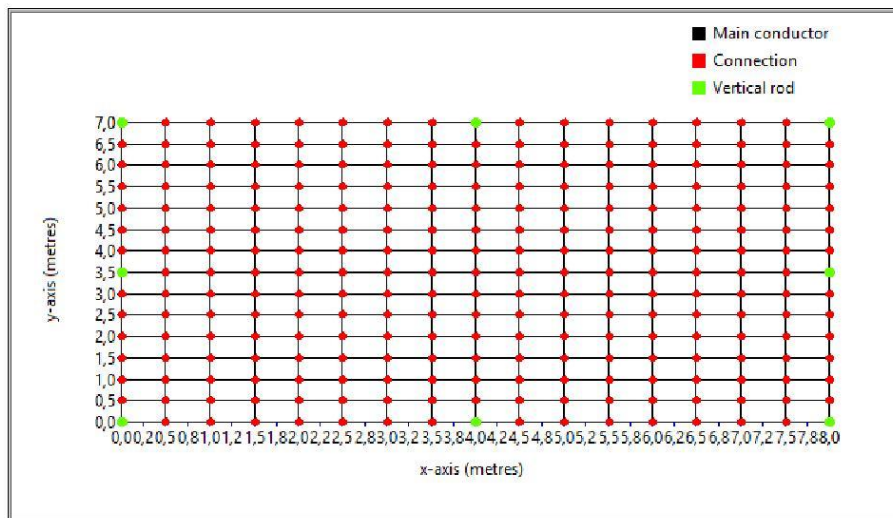


Figure 1: Buried grid preview

Safety Criteria (ISAFE) Calculation

Table 7: User Inputs

Safety standard (body resistance)	IEEE
Fibrillation current method	50kg - IEEE
Body resistance curve (IEC)	-
Conditions (IEC)	-
Foot resistance calculation method	IEEE80:2000
Additional series resistance (i.e. shoe or glove) (Ohms)	0,000000
Fault clearing time (s)	0,500000
System frequency (Hz)	60
System X/R ratio	20
Decrement factor	Default
Decrement factor value	1,061755

Sub-surface layer resistivity (Ohm.m)	356,000000
Use top layer soil resistivity? (True/False)	TRUE
Surface material resistivity (Ohm.m)	500,000000
Surface layer depth (m)	0,180000

Table 8: Results

Allowable Touch Voltage Limit (V)	254,184869
Allowable Step Voltage Limit (V)	553,217983
Permissible body current (A)	0,164049
Body resistance - 1 hand to both feet (Ohms)	1000,000000
Body resistance - 1 foot to other foot (Ohms)	1000,000000

Method of Images Grounding (MOI-GND) Modelling

Table 9: Results

Grid Impedance (Ohms)	14,739
Grid Potential Rise, GPR (V)	5409,396

Table 10: Summary of Inputs

Top soil layer resistivity (Ohm.m)	356,00
Depth top soil layer (m)	5,00
Bottom soil layer resistivity (Ohm.m)	356,00
Excitation current (A)	367,00
Faulted segment no.	1
Final no. of segments	486
Conductor radius (m)	0,069100
Conductivity of buried conductor (S/m)	57E+6
Frequency (Hz)	60
Calculation delta	0,001

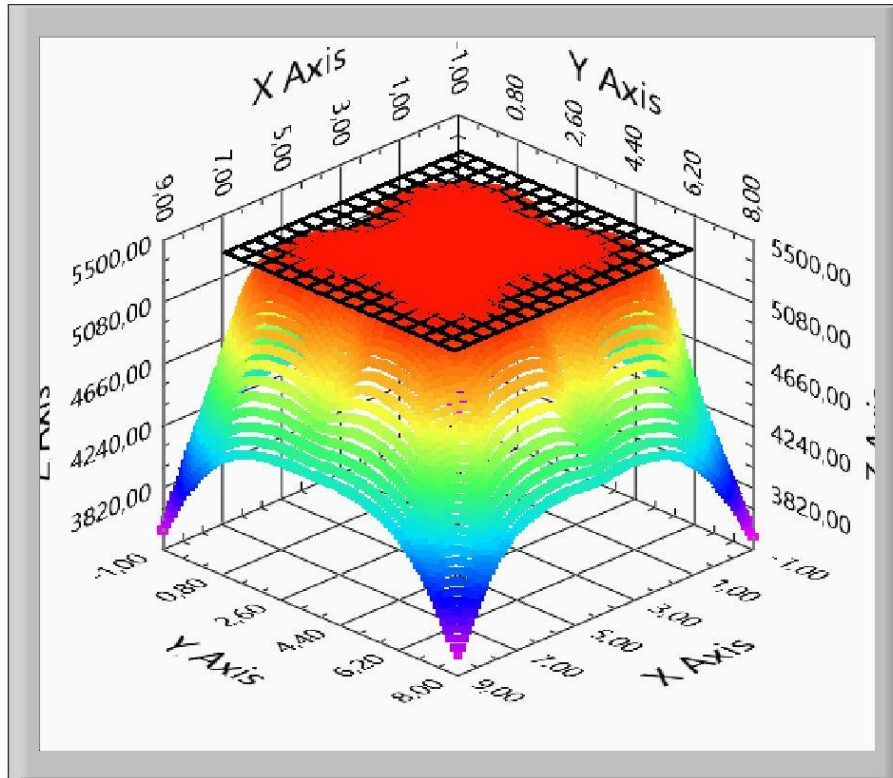


Figure 2: Surface potentials (V) - 3D view

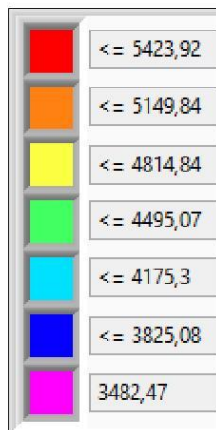


Figure 3: Surface potentials - Colour map

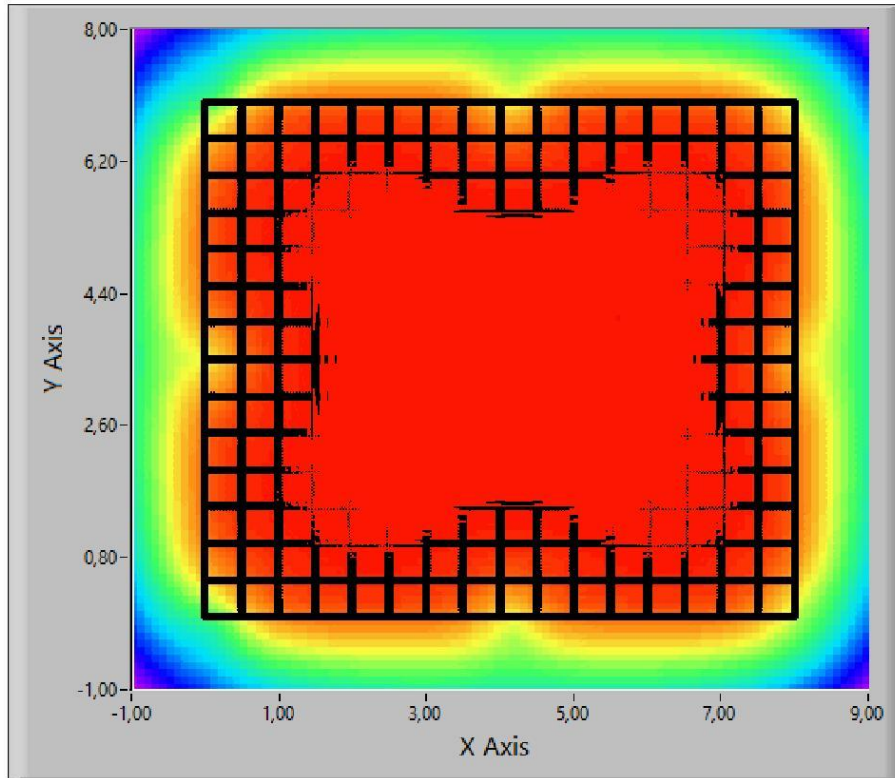


Figure 4: Surface potentials (V) - X-Y view

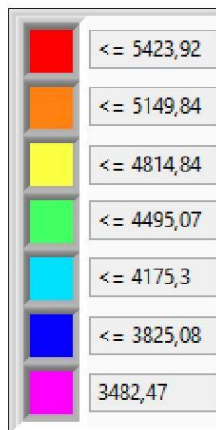


Figure 5: Surface potentials - Colour map

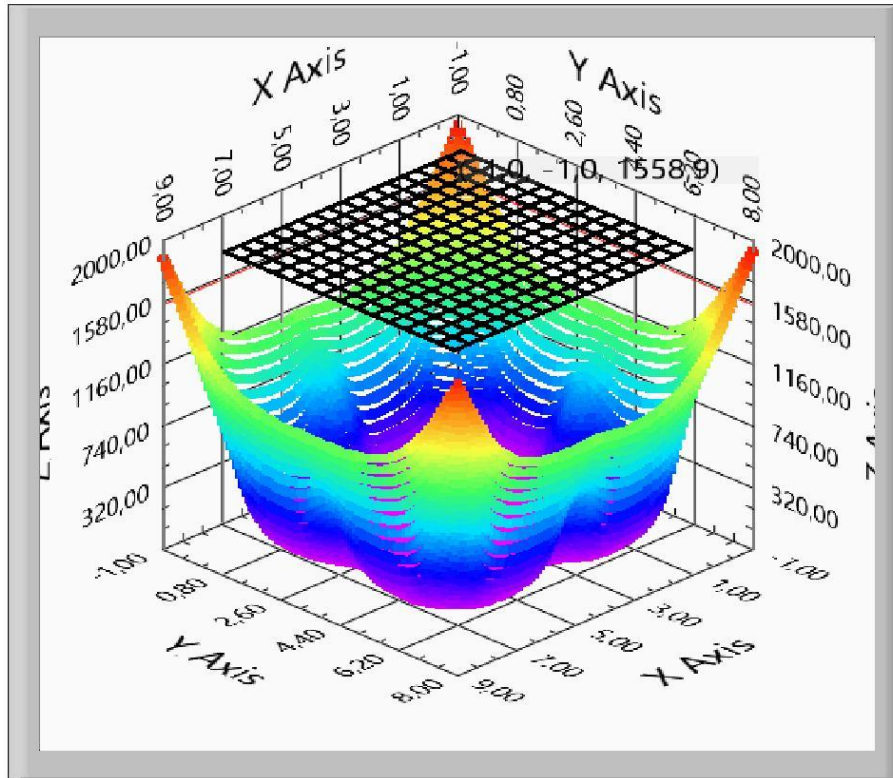


Figure 6: Touch potentials (V) - 3D view

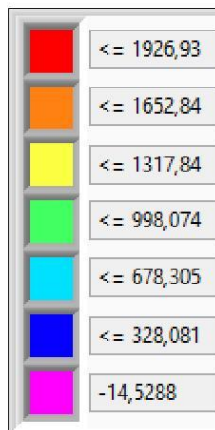


Figure 7: Touch potentials - Colour map

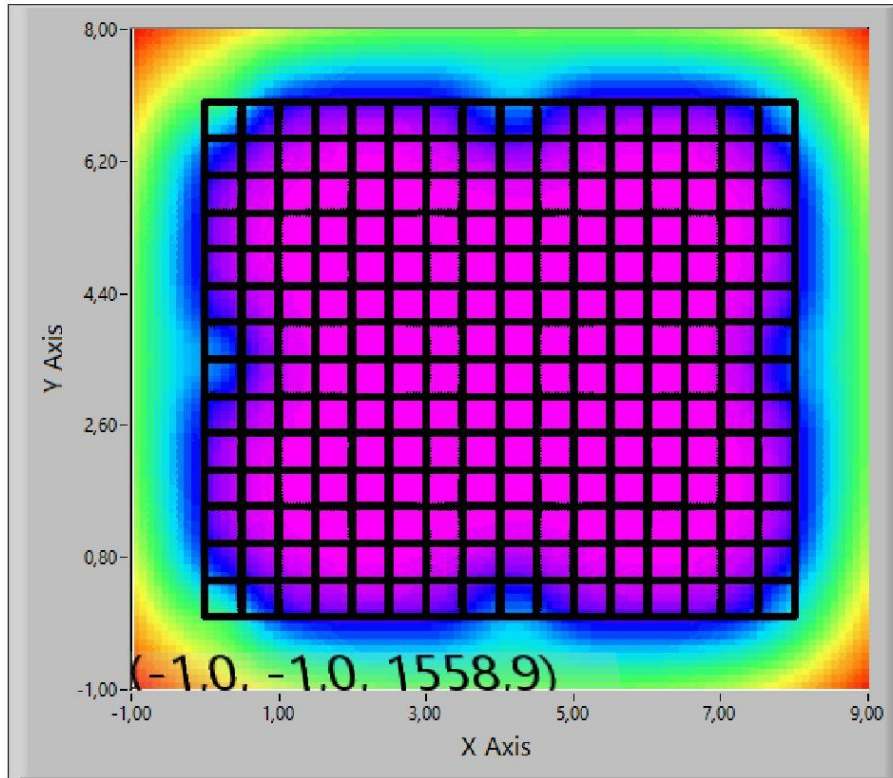


Figure 8: Touch potentials (V) - X-Y view

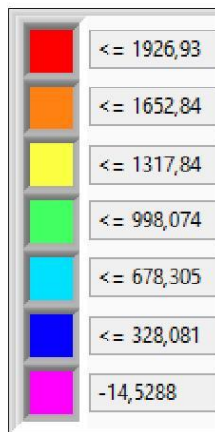


Figure 9: Touch potentials - Colour map

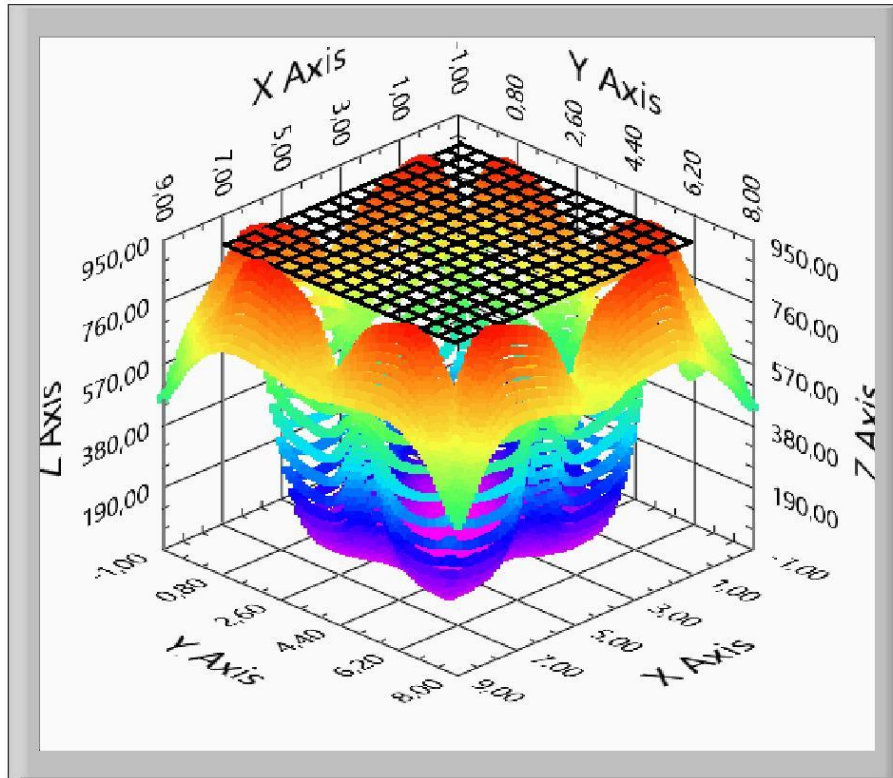


Figure 10: Step potentials (V) - 3D view

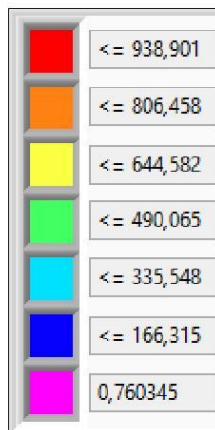


Figure 11: Step potentials - Colour map

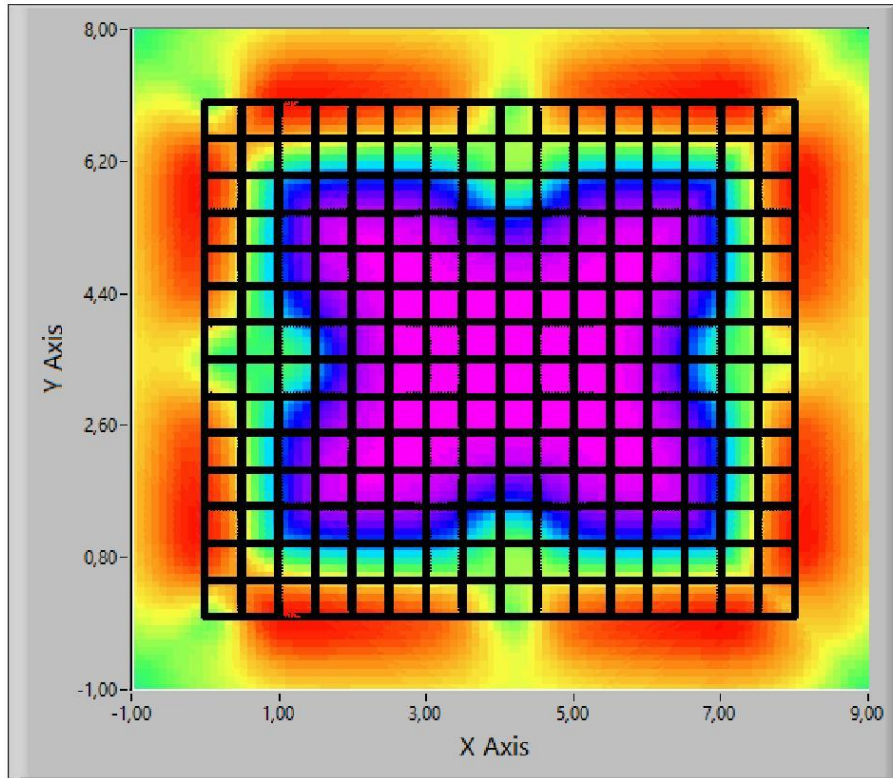


Figure 12: Step potentials (V) - X-Y view

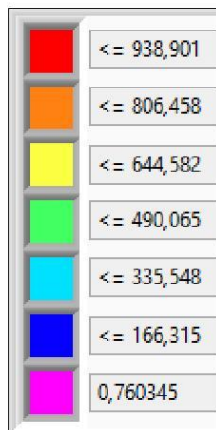


Figure 13: Step potentials - Colour map

Tabla 29. Costo de la malla de puesta a tierra

	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
cable cobre	m	580	\$ 15.000,00	\$ 8.700.000,00
soldaduras 90 g	Un	700	\$ 10.000,00	\$ 7.000.000,00
soldaduras 150 g	Un	452	\$ 13.000,00	\$ 5.876.000,00
varillas	m	60	\$ 77.000,00	\$ 4.620.000,00
conductivo	Un	125	\$ 75.000,00	\$ 9.375.000,00
BARRAJE EQUIPOTENCIAL	Un	6	\$ 300.000,00	\$ 1.800.000,00
terminal ponchable de tambor largo # 2	Un	200	\$ 1.000,00	\$ 200.000,00
MANO DE OBRA SOLDADURA	Punto	1152	\$ 13.000,00	\$ 14.976.000,00
EXCAVACIÓN	m ³	72	\$ 50.000,00	\$ 3.600.000,00
TAPADO ZANJA	m ³	72	\$ 50.000,00	\$ 3.600.000,00
AIU				\$ 1.800.000,00
COSTO DIRECTO				\$ 61.547.000,00
IMPREVISTOS				\$ 3.077.350,00
IVA				\$ 492.376,00
UTILIDAD				\$ 4.308.290,00
COSTO TOTAL				\$ 69.425.016,00

Fuente: Autores