

SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS IMPLEMENTADO EN UN SISTEMA DE REGADÍO ARTIFICIAL, IEC 62305 Y NTC 4552

Humberto Berni

7 de Abril de 2016 - Cartagena Colombia

WORLD MEETING ON
LIGHTNING



CONTENIDO DE LA PRESENTACIÓN

1. Objetivo

2. Grupo de trabajo – reconocimiento de gratitud
3. Antecedentes
4. Ubicación del sitio
5. Alcance de los trabajos, mediciones e implementación del SIPRA
6. Resultados y conclusiones

1.Objetivo

Exponer un caso practico de protecciones contra rayos implementado en el Paraguay



Grupo de trabajo

Favio Casas Ospina y equipo

Milthon Martinez

Humberto Berni



Reconocimiento de Gratitud



“Lo más sencillo casi siempre es lo más correcto”

Emerio Casas

Ing. Favio Casas

...quien expone ante un público, debería antes pararse frente a un espejo y preguntarse:

Voy a decir algo que aporte? algo cierto? algo de interés?

Fuente: Casas, Favio: *Tierras - Soporte de la Seguridad Eléctrica*



Reconocimiento de Gratitud

“Las magnitudes de los parámetros del Rayo varían espacial y temporalmente”



“En las ciencias y tecnología no existen verdades absolutas, sino certezas temporales...”

Prof. Dr. Horacio Torres-Sánchez

Fuente: Que rayos sabemos sobre innovación tecnológica –Horacio Torres



Los sitios de más alta DDT en Suramérica

Rango	Lugar	País	DDT (Rayos/km²- año)
1	Posadas	Argentina	42.7
2	Ocaña	Colombia	39.9
3	Concepción	Paraguay	37.0
4	Campo Grande	Brasil	32.9
...			
8	Juiz de Forã	Brasil	25.8
9	Maipures	Colombia	24.6
10	Yurimaguas	Perú	21.6
11	Carauari	Brasil	19.6

Fuente: Horacio Torres Sánchez - El Rayo



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**



4. UBICACIÓN DEL SITIO

- Distrito Río Verde
- Departamento de San Pedro – Paraguay
- $23^{\circ}30'09''$ Latitud Sur (S)
- $56^{\circ}25'10''$ Longitud Oeste (W)
- Elevación 125 metros sobre el nivel del mar
- Clima tropical húmedo
- Temperatura media anual: 23° C
- Pluviosidad media anual: 180 mm

Estadísticas Paraguay



Muertes por electrocución

Por choque eléctrico	
2009	Cantidad
Enero	13
Febrero	16
Marzo	6
Abril	4
Mayo	8
Junio	2
Julio	2
Agosto	6
Setiembre	7
Octubre	5
Noviembre	21
Diciembre	20
Total	110


Por impacto de rayo	
2009	Cantidad
Enero	5
Febrero	7
Marzo	0
Abril	0
Mayo	1
Junio	0
Julio	0
Agosto	0
Setiembre	3
Octubre	5
Noviembre	4
Diciembre	6
Total	31

Por choque eléctrico	
2010	Cantidad
Enero	15
Febrero	16
Marzo	8
Abril	3
Total	42

Por impacto de rayo	
2010	Cantidad
Enero	5
Febrero	3
Marzo	1
Abril	4
Total	13

Fuente: Dpto. de Capacitación
ANDE - Paraguay





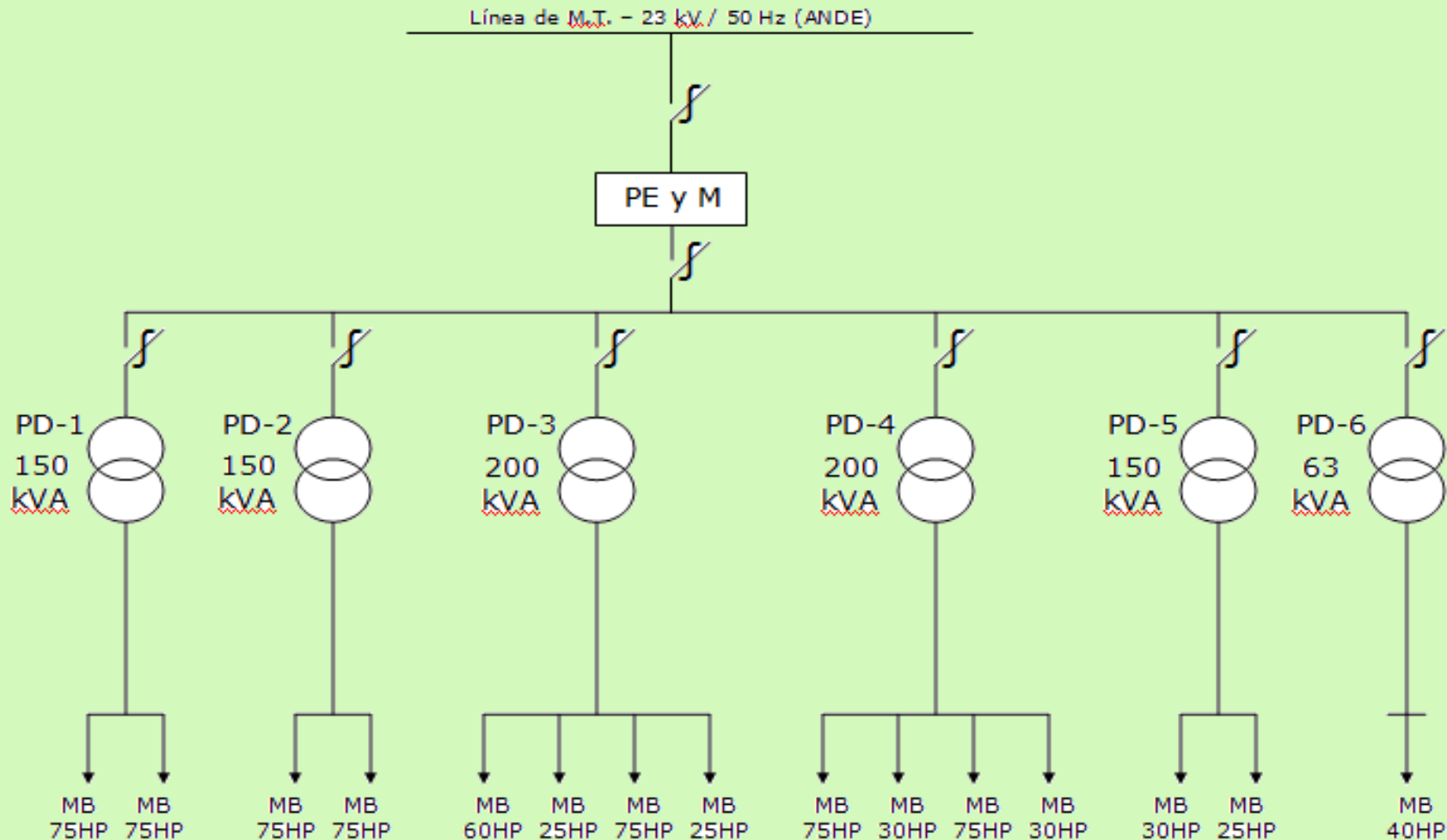
SISTEMA DE RIEGO RÍO VERDE SAN PEDRO PARAGUAY

OBJETIVO:

Presentar la implementación de un Sistema Integral de Protección contra Rayos (SIPRA) para un sistema de regadío artificial, realizada en el año 2007, siguiendo las normas IEC 62305 y NTC 4552



Esquema eléctrico unifilar de la Instalación Eléctrica



ESTANCIA PIRE PORA – RÍO VERDE SAN PEDRO - PARAGUAY



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

WORLD MEETING ON
LIGHTNING



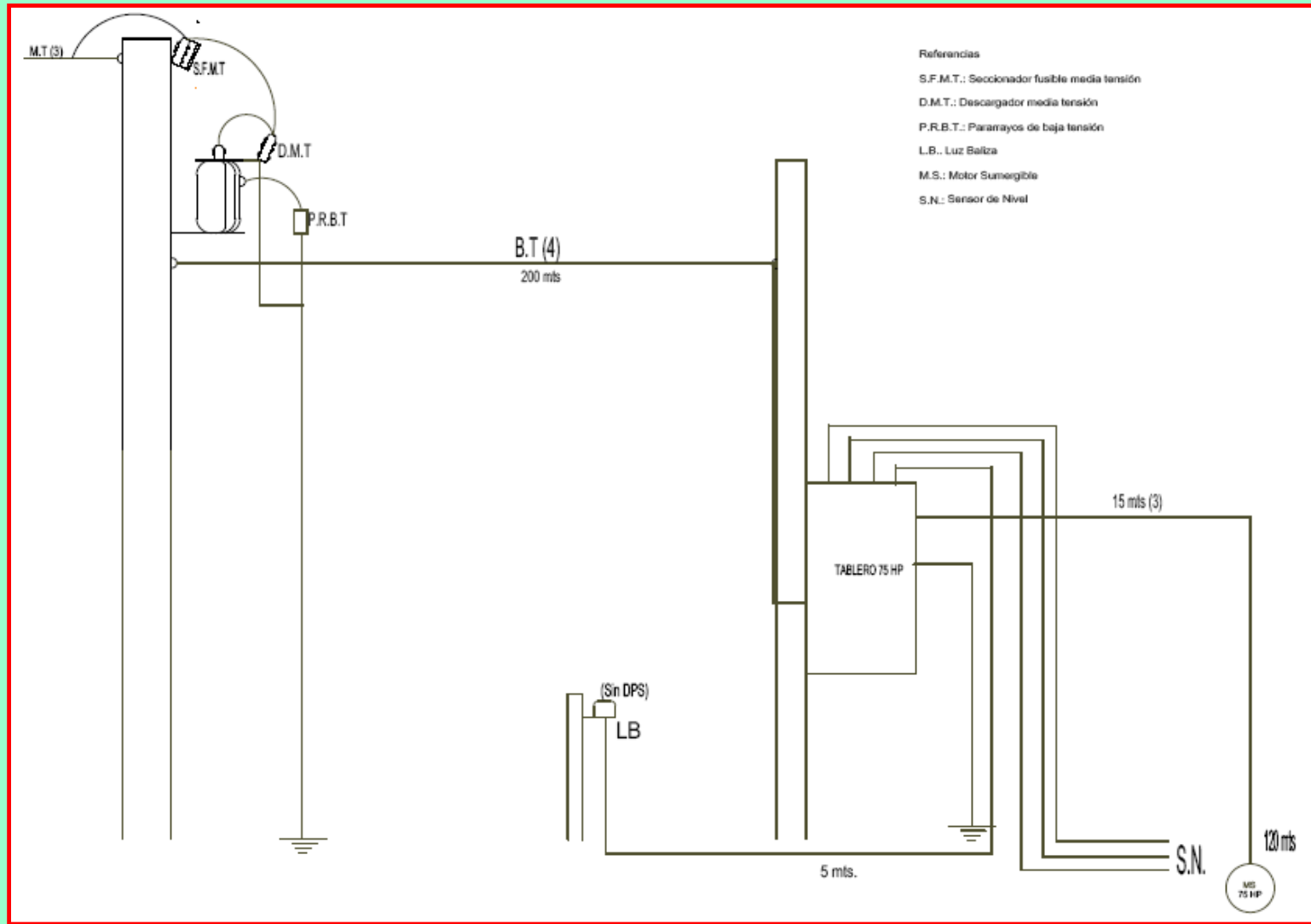


**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

WORLD MEETING ON
LIGHTNING



Esquema de la instalación eléctrica





**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

3. ANTECEDENTES

<u>Sistema de riego:</u>	Pívorot central con aspersores
<u>Pívorot:</u>	520 metros de brazo
<u>Giro:</u>	360°
<u>Eje:</u>	Cubre el terreno cultivado en áreas circulares
<u>Red eléctrica de MT:</u>	6 transformadores
<u>Sistema de riego:</u>	15 motobombas sumergibles
<u>Problema permanente:</u>	Quema de equipos
<u>Causa principal daños:</u>	Descargas eléctricas atmosféricas
<u>Dificultades:</u>	ALTO COSTO DE FS, Sitio retirado para adquirir repuestos

3. ANTECEDENTES

Quema de componentes de la instalación eléctrica:

- Bombas sumergibles
- Módulos controladores de nivel (PN)
- Temporizadores
- Relé de ausencia de fase
- Arrancadores suaves para motor
- Placas electrónicas
- Un transformador por año
- Descargadores de MT

5. ALCANCE DE LOS TRABAJOS

- **Estudio de Resistividad del suelo**
- **Diagnóstico de la puesta a tierra existente**
- **Diseño con mejoras para el sistema de puesta a tierra**
- **Implementación en campo de las soluciones propuestas**
- **Resultados finales**

Métodos de medición utilizados:

Resistividad del terreno: Método de Wenner

Resistencia de puesta a tierra: Método de la Caída de potencial – Regla del 62 %

Instrumento de medición:

Telurómetro (earth tester)

Conforme a normas AIEE 81/62 y VDE 0413

Frecuencia de operación: 1470 Hz

Certificación del INMETRO del Brasil

Estudio de Resistividad del Terreno



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

WORLD MEETING ON
LIGHTNING



Resistividad Aparente del Terreno

SEPARACIÓN ELECTRODOS a (m)	R1 (Ω) sentido E-W	R2 (Ω) sentido N-S	R (Ω) promedio	P ($\Omega.m$) =2 π aR
1	46,00	46,25	46,13	289,84
2	29,90	26,50	28,20	354,37
3	19,40	23,50	21,45	404,32
4	18,12	16,39	17,26	433,79
5	18,40	16,68	17,54	551,03
6	15,10	15,46	15,28	576,04
7	9,50	10,96	10,23	449,94
8	8,29	10,51	9,40	475,50

Resistividad Aparente del Terreno

Utilización de software para estratificación del terreno

resistividad.rsi

Modelo de Medición: Wenner Schlumberger

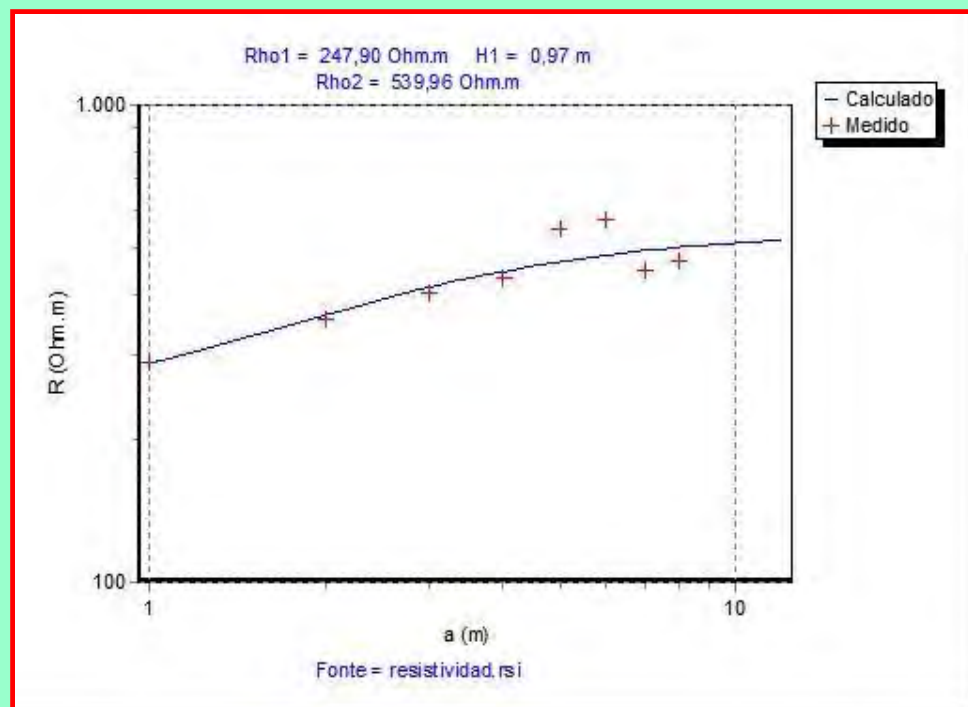
Tipo de datos: Resistividade Resistência

Novo OK

Abriu Cancelar

Salvar Ajuda

a(m)	A	B	Rm	Rmc	Rhomc
1,00	46,00	46,25	46,13	46,13	289,84
2,00	29,90	26,50	28,20	28,20	354,37
3,00	19,40	23,50	21,45	21,45	404,32
4,00	18,12	16,39	17,26	17,26	433,79
5,00	18,40	16,68	17,54	17,54	551,03
6,00	15,10	15,46	15,28	15,28	576,04
7,00	9,50	10,96	10,23	10,23	449,94
8,00	8,29	10,51	9,40	9,40	472,50



Resistividad Aparente del Terreno

ANEXO 2: ESTUDIO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

FECHA MEDICIÓN	1 de Junio de 2007	TIPO DE TERRENO	Arenoso
CLIENTE	Gustafson Asociados S.A.	ESTADO DEL TERRENO	Húmedo
CIUDAD	Río Verde / San Pedro	COLOR DEL SUELO	Rojizo
SITIO	Estancia Pire Porã	MÉTODO DE MEDICIÓN	Wenner

Profundidad (m) de exploración	Separación m	Resistencia (Ω)				Resistividad $\Omega.m$
		E - W	N - S	π	Promedio	
0,75	1,00	46,00	46,25	3,14	46,13	289,81
1,50	2,00	29,90	26,50	3,14	28,20	354,37
2,25	3,00	19,40	23,50	3,14	21,45	404,32
3,00	4,00	18,12	16,39	3,14	17,26	433,67
3,75	5,00	18,40	16,68	3,14	17,54	551,04
4,50	6,00	15,10	15,46	3,14	15,28	576,04
5,25	7,00	9,50	10,96	3,14	10,23	449,94
6,00	8,00	8,29	10,51	3,14	9,40	472,50

$$\rho = \frac{4 \pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4p^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + p^2}}}$$

$$\rho \approx 2\pi a R$$

Resistividad aparente del Terreno



Resistividad Aparente del Terreno

Conclusiones

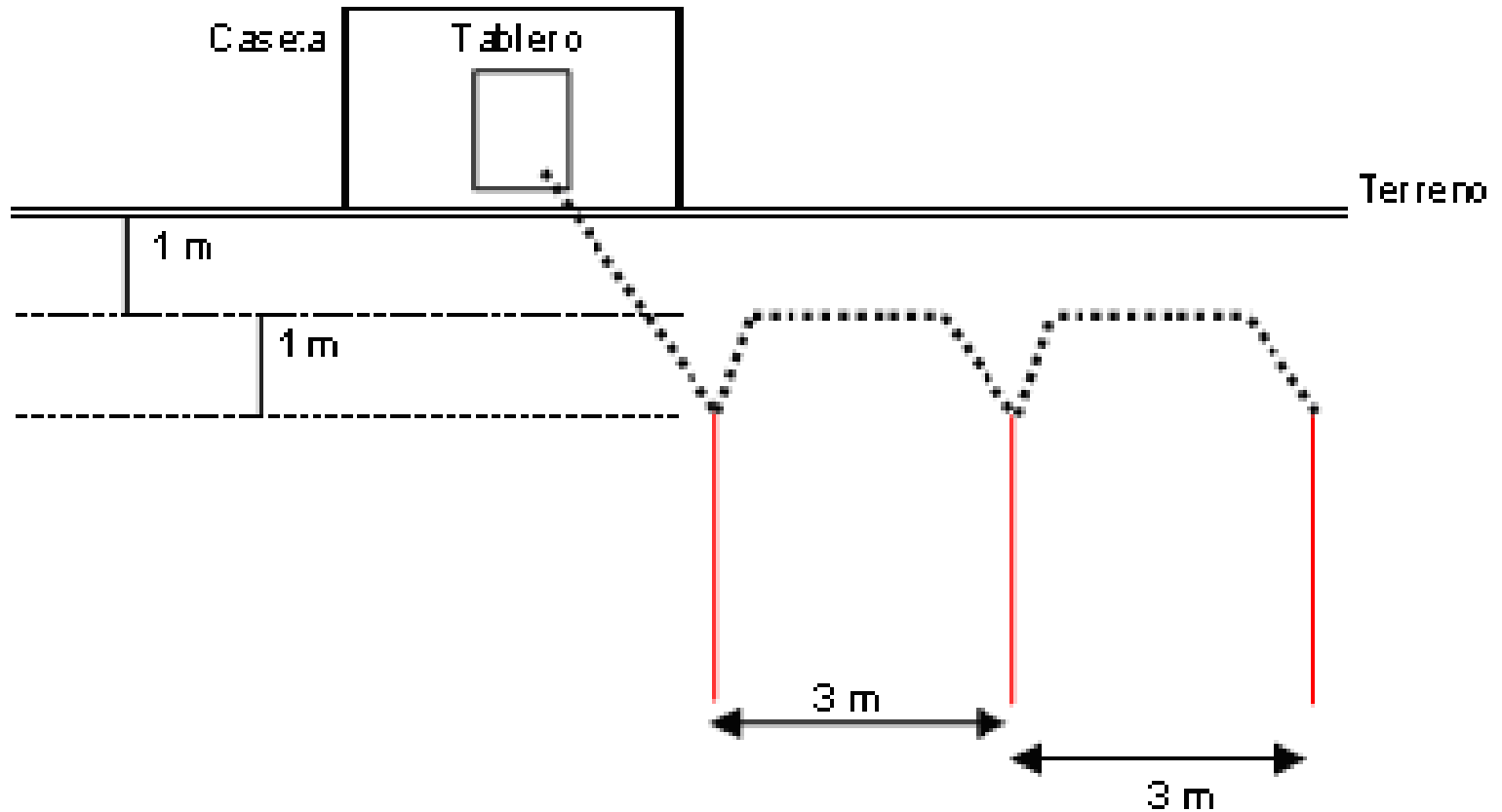
Resistividad moderadamente alta
Suelo clase B1, arenoso semiseco
Corrosividad: leve a baja

Capa inferior tiene menor resistividad
Usar electrodos de 2,4 m y 254 μ m
Conductores enterrados a 0,7 m



MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Diagnóstico de la Puesta a Tierra



Esquema de conexiones de la puesta a tierra existente

Simbología:



Conductor de tierra de cobre desnudo de 50 mm² (enterrado a 1 metro de profundidad), y

Conductor del electrodo de puesta a tierra de 50 mm²

Medición de la Puesta a Tierra inicial

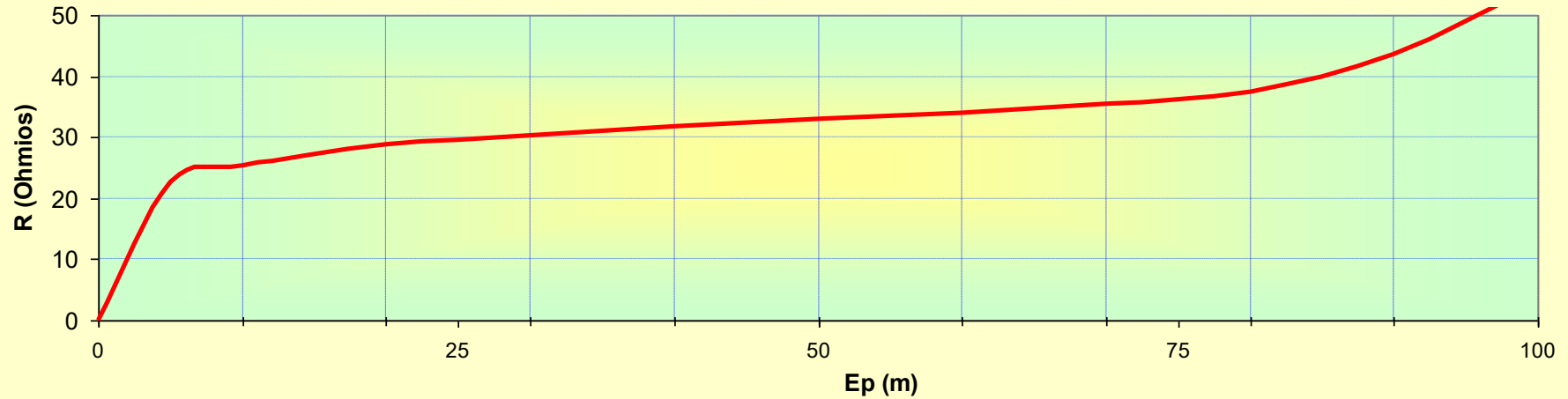
MEDICIÓN	Vce (V)	Ec (m)	Ep (m)	R (ohmios)
1	0,00	100	100	1946,00
2	0,00	100	90	43,70
3	0,00	100	80	36,40
4	0,00	100	70	35,40
5	0,00	100	60	33,90
6	0,00	100	50	32,90
7	0,00	100	40	31,80
8	0,00	100	30	30,40
9	0,00	100	20	28,80
10	0,00	100	10	25,40
11	0,00	100	5	22,70

RESISTENCIA CALCULADA SEGÚN EL MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL	Ec (m)	Ep (m)	R (ohmios)
	100	61,80	35,28



Diagnóstico de la Puesta a Tierra

CURVA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA



Diagnóstico de la Puesta a Tierra

Evaluación de la Puesta a Tierra

			Cumple	No cumple	NORMA
1	VALOR DE RESISTENCIA	35,28 Ω	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	IEC62305 NP337 NBR5419 NTC4552
2	Calidad de los electrodos tipo Varilla	Acero con recubrimiento de cobre menor a 100 μm	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UL467 IEC62305 IEC61024-1 NTC4552
3	Dimensiones de los electrodos tipo varilla	5/8" X 2400 mm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEC62305-3 IEC60364-5-54 UL467
4	Separación entre electrodos tipo varilla	Menor a 4,8 m	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NFPA780-4,13,2,4 NTC4552-5,3,3,2
5	Calidad de las conexiones	Mecánicas tipo perno	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	IEEE 837 IEEE1100 NEC250-8 NP337
6	Sección de los conductores de PAT (malla)	50 mm ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEC62305-3 IEEE80-9.3 IEC61024-1
7	Sección del conductor del electrodo de PAT	50 mm ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEEE80-11.3 NEC250.66 RETIE-15.3.2
8	Calidad de los cables	Cobre desnudo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEC62305-3 IEEE80-11.2 NTC2050-250
9	Técnica de mejoramiento del suelo	Gel: una dosis por electrodo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEEE 80 - 14.5 / 2000
10	Barra de cobre para conexiones equipotenciales	No hay	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NEC250.30.4 ANSI/EIA/TIA607-5.5.1.1
11	Registro para inspección y mantenimiento	No hay	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NEC-250.68 NTC4552-5.3.3 RETIE15.2

RESPONSABLE DE LA MEDICIÓN

Ing. Humberto Berni

Representante del Cliente

Ing. Martín Gustafson

FECHA DE ENTREGA

Año 2007 Mes 6 Día 18

Diagnóstico de la Puesta a Tierra

Evaluación de la Puesta a Tierra existente

Tabla. Resumen de los resultados obtenidos en la medición de PAT

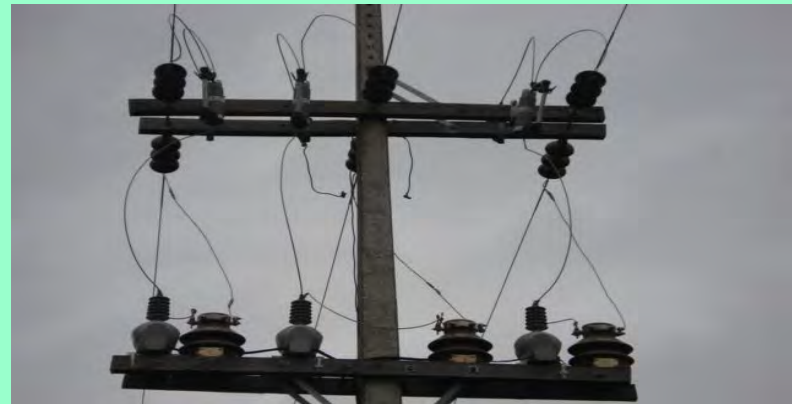
Descripción del sitio	Valor de R_T	Valor satisface las normas	Condiciones de la PAT satisface las normas
Caseta de tablero de motobomba de 75 HP	35,28 Ω	NO	Parcialmente

Diagnóstico del Sistema de Protección

Protección contra Sobretensiones Transitorias

- ✓ No se utilizan DPS de Baja Tensión (BT)
- ✓ No hay conexiones equipotenciales
- ✓ Descargadores de MT desconectados (Puesto de Entrega)
- ✓ Red de MT: los conductores de bajada del SPE no son apropiados o están en malas condiciones

Diagnóstico de la Instalación Eléctrica M.T.

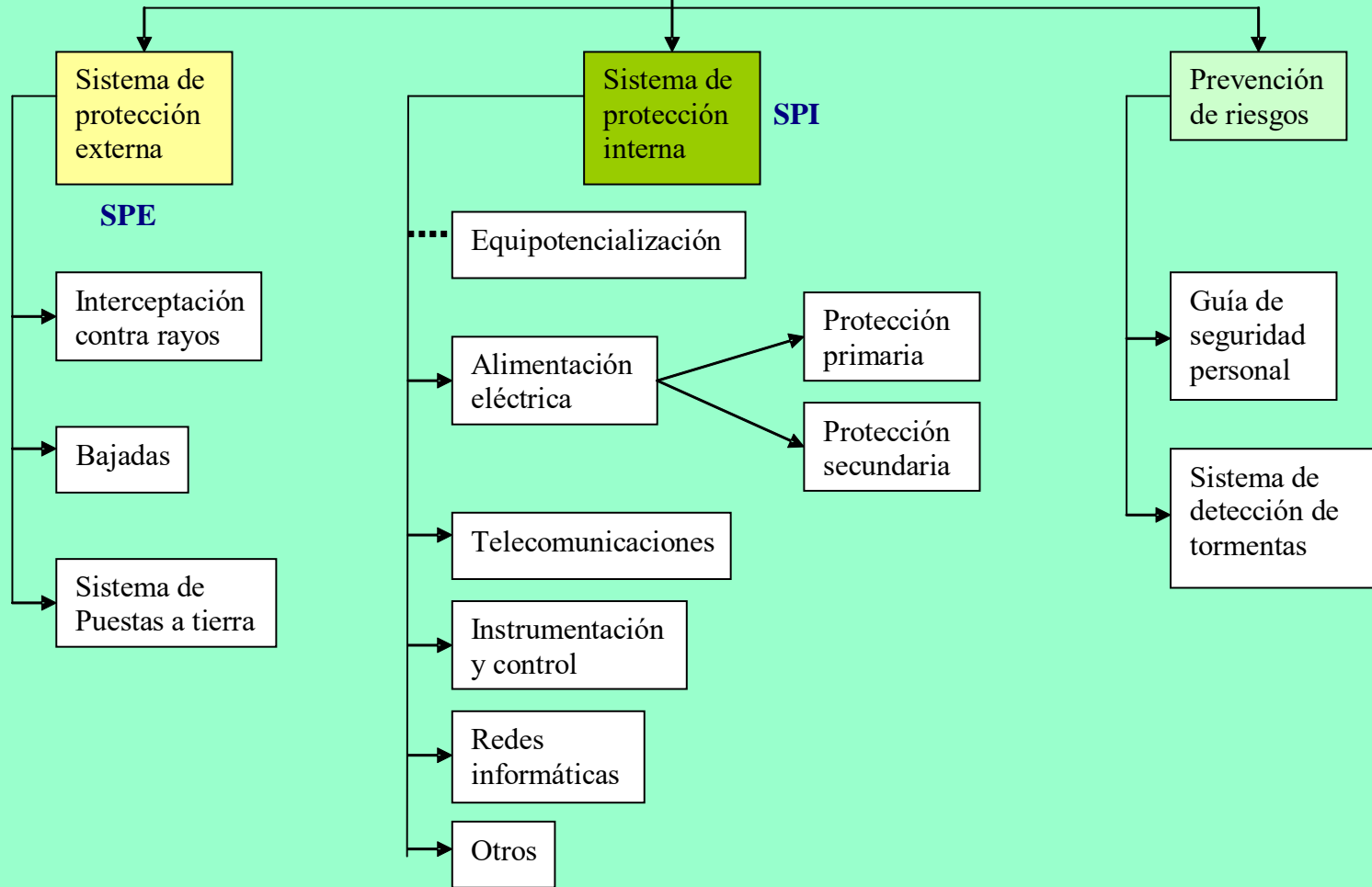


**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**



Sistema integral de protección contra rayos

SIPRA



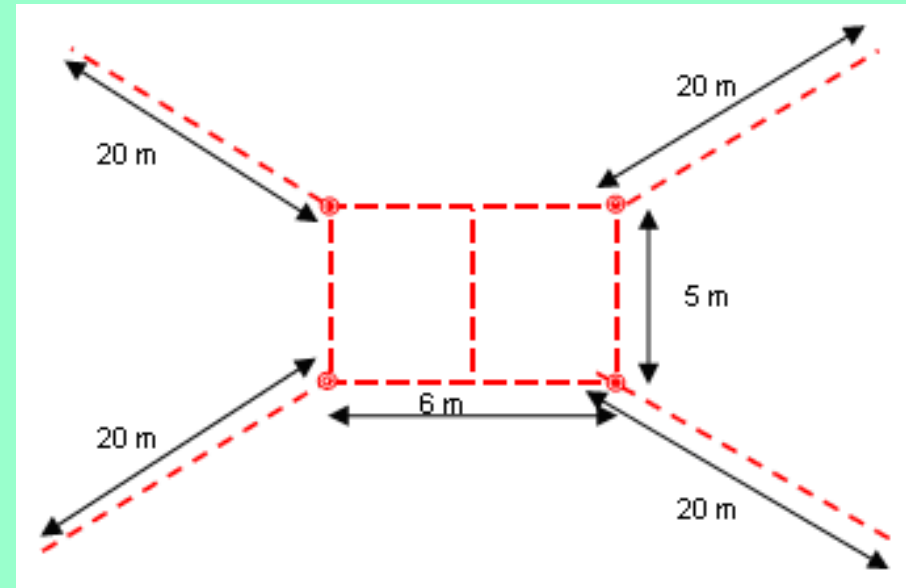
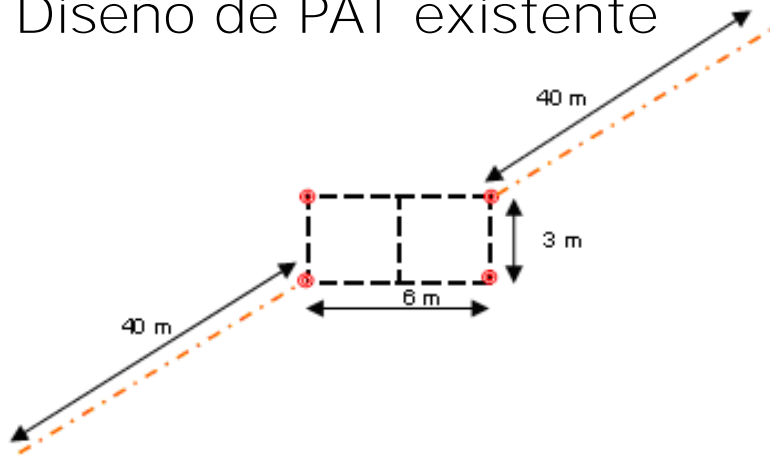
Diseño de Sistema de Puesta a Tierra

	X1 (m)	Y1 (m)	Z1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Z2 (m)	Raio (m)	Tip
C1	0,00	0,00	0,70	0,00	3,00	0,70	4,70	A
C2	3,00	0,00	0,70	3,00	3,00	0,70	4,70	A
C3	6,00	0,00	0,70	6,00	3,00	0,70	4,70	A
C4	0,00	0,00	0,70	6,00	0,00	0,70	4,70	A
C5	0,00	3,00	0,70	6,00	3,00	0,70	4,70	A
C6	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	3,10	7,94	A
C7	0,00	3,00	0,70	0,00	3,00	3,10	7,94	A
C8	6,00	0,00	0,70	6,00	0,00	3,10	7,94	A
C9	6,00	3,00	0,70	6,00	3,00	3,10	7,94	A
C10	0,00	0,00	0,70	-28,00	-28,00	0,70	5,30	A
C11	6,00	3,00	0,70	34,00	31,00	0,70	5,30	A
C12								

Modelamiento de la Puesta a Tierra mejorada

Diseño de Sistema de Puesta a Tierra

Diseño de PAT existente



Configuración de la puesta a tierra a construir (final)

Simbología:

⊗ Electrodo tipo varilla 5/8" x 2400 mm x 254 μ m

--- Conductor de tierra de cobre desnudo de 50 m²

Diseño de la Puesta a Tierra

Modelamiento de la Puesta a Tierra propuesta

Relatório de Software:

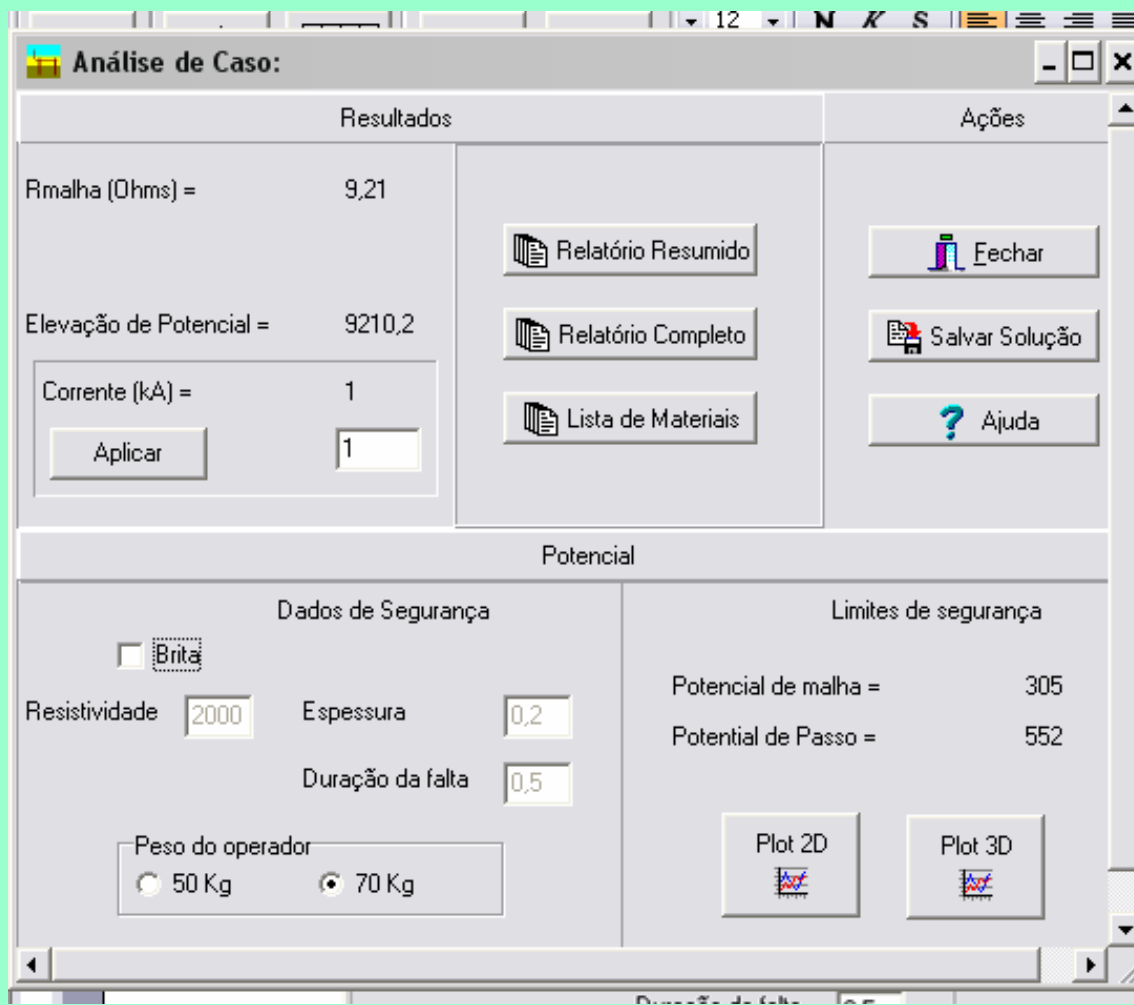
Cálculos de resistências

Resistência da Malha = 9,21 Ohmios

Corrente da malha = 1000 A

Elevação de potencial da malha = 9210,2 V

Diseño de Sistema de Puesta a Tierra



Resultado del software de la Puesta a Tierra mejorada

Construcción de la Puesta a Tierra recomendado



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**



Construcción de la PAT recomendado



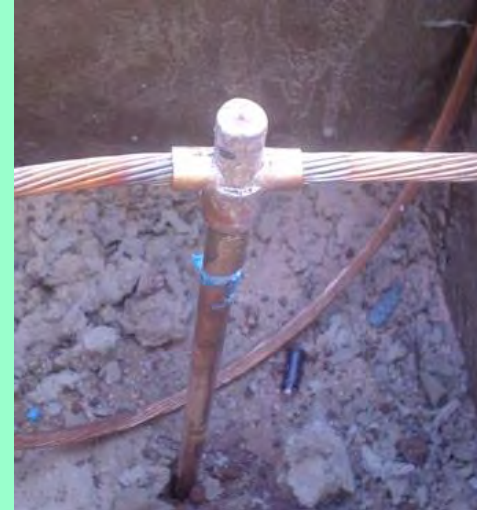
**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

Construcción del Sistema de Puesta a Tierra recomendado



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

Construcción del Sistema de Puesta a Tierra recomendado



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**



Medición final de PAT modificada

MEDICIÓN	Vce (V)	Ec (m)	Ep (m)	R (ohmios)
1	0,00	100	100	2170,00
2	0,00	100	90	12,39
3	0,00	100	80	11,15
4	0,00	100	70	10,79
5	0,00	100	60	10,33
6	0,00	100	50	9,87
7	0,00	100	40	9,36
8	0,00	100	30	8,79
9	0,00	100	20	8,01
10	0,00	100	10	3,91

RESISTENCIA CALCULADA SEGÚN EL MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL	Ec (m)	Ep (m)	R (ohmios)
	100	61,80	10,35



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**



Medición final de PAT modificada



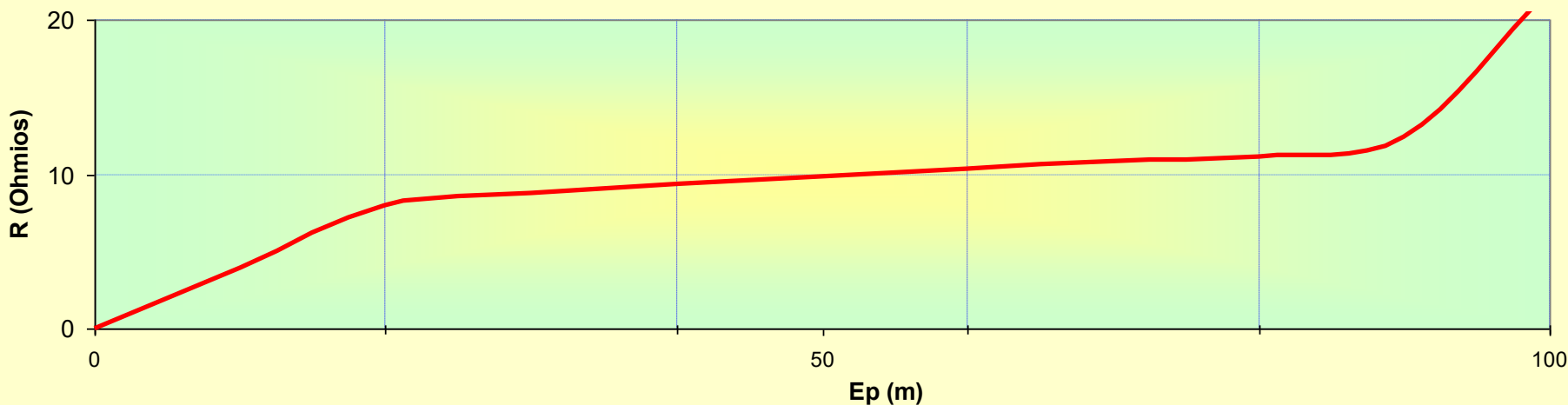
**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

WORLD MEETING ON
LIGHTNING

Certificación de la calidad de la PAT

FECHA	Año <input type="text" value="2007"/> Mes <input type="text" value="8"/> Día <input type="text" value="17"/>	ÚLTIMO DÍA DE LLUVIA	Año <input type="text" value="2007"/> Mes <input type="text" value="7"/> Día <input type="text" value="14"/>
EMPRESA / DIRECCIÓN	<input type="text" value="Gustafson Asociados S.A. / Estancia Pire Porã"/>		
CIUDAD	<input type="text" value="Río Verde / San Pedro"/>	UBICACIÓN PT	<input type="text" value="SITIO DE MOTOBOMBA - TABLERO ELÉCTRICO"/>
SENTIDO DE MEDICIÓN	<input type="text" value="E - W"/>	Estado superficial del terreno	<input type="text" value="Seco"/>
CONFIGURACIÓN	<input type="text" value="Malla rectangular de 6 x 3 m<sup>2</sup>, con retícula cuadrada de 3 x 3 m<sup>2</sup>"/>	Entrega de memorias de cálculo	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
APLICACIÓN PT:	COMUNICACIONES <input type="checkbox"/>	SUBESTACIÓN <input type="checkbox"/>	PARARRAYOS <input checked="" type="checkbox"/> OTRO <input type="text" value="Potencia / Tablero electrónico"/>
TELURÓMETRO	MARCA <input type="text" value="Megabras"/>	FRECUENCIA <input type="text" value="1470 Hz"/>	PRECISIÓN <input type="text" value="0,10 %"/>
MÉTODO DE MEDICIÓN	<input type="text" value="Regla del 62 % - Curva de caída de potencial"/>		

CURVA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**



Certificación de la calidad de la PAT IEEE 81

Evaluación de la Puesta a Tierra final

			Cumple	No cumple	NORMA
1	VALOR DE RESISTENCIA	10,35 Ω	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	IEC62305 NP337 NBR5419 NTC4552
2	Calidad de los electrodos tipo Varilla	Acero con recubrimiento de cobre mayor a 100 μm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	UL467 IEC62305 IEC61024-1 NTC4552
3	Dimensiones de los electrodos tipo varilla	5/8" X 2400 mm x 254 μm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEC62305-3 IEC60364-5-54 UL467
4	Separación entre electrodos tipo varilla	5 m	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NFPA780-4,13,2,4 NTC4552-5,3,3,2
5	Calidad de las conexiones	Soldadura exotérmica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEEE 837 IEEE1100 NEC250-8 NP337
6	Sección de los conductores de PAT (malla)	50 mm ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEC62305-3 IEEE80-9.3 IEC61024-1
7	Sección del conductor del electrodo de PAT	50 mm ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEEE80-11.3 NEC250.66 RETIE-15.3.2
8	Calidad de los cables	Cobre desnudo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEC62305-3 IEEE80-11.2 NTC2050-250
9	Técnica de mejoramiento del suelo	Gel: una dosis por electrodo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IEEE 80 - 14.5 / 2000
10	Barra de cobre para conexiones equipotenciales	5 x 50 x 300	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NEC250.30.4 ANSI/EIA/TIA607-5.5.1.1
11	Registro para inspección y mantenimiento	40 x 40 cm (interior)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NEC-250.68 NTC4552-5.3.3 RETIE15.2

RESPONSABLE DE LA MEDICIÓN

Ing. Humberto Berni

Representante del Cliente

Ing. Martín Gustafson

FECHA DE ENTREGA

Año 2007 Mes 8 Día 22

Sistema de Puesta a Tierra diseñado

Evaluación de la Puesta a Tierra final

Tabla. Resumen de los resultados obtenidos en la medición de PAT mejorada

Descripción del sitio	Valor de R_T	Valor satisface las normas	Condiciones de la PAT satisface las normas
Caseta de tablero de motobomba de 75 HP	10,35 Ω	Acceptable	SI

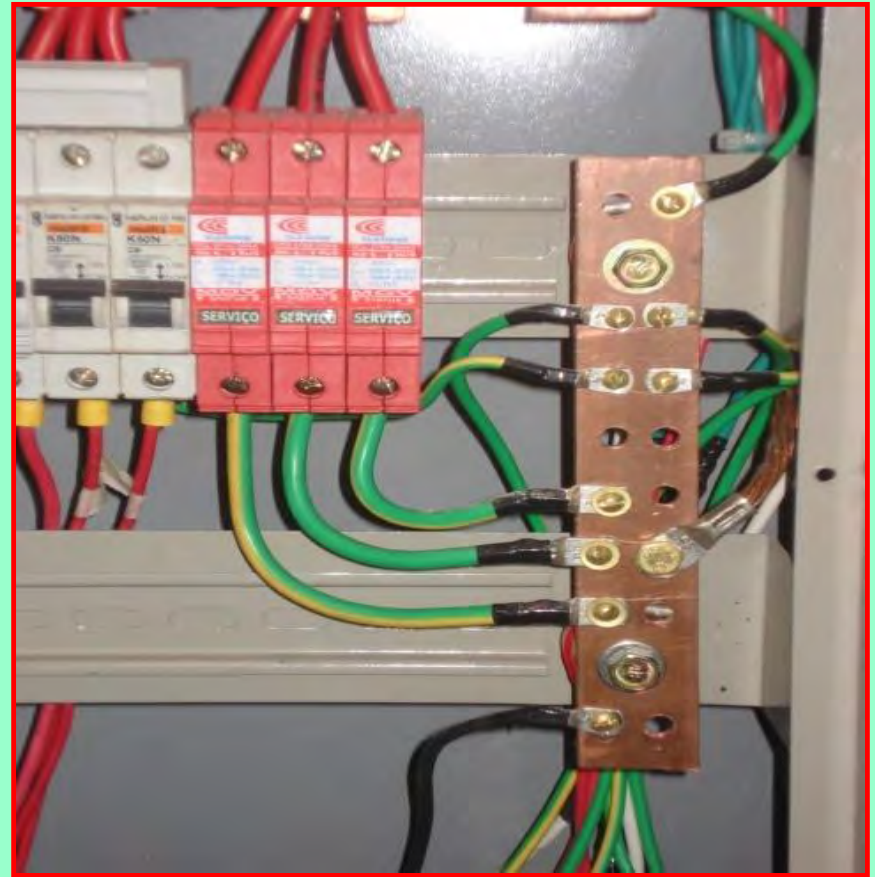
Mejoras al Sistema de Protección Interna (SPI)

Protección contra Sobretensiones Transitorias

- ✓ Instalación de DPS de Baja Tensión (BT)
- ✓ Ecuilización de potenciales (uso de barras)
- ✓ Reconexión de Descargadores de MT (Puesto de Entrega)
- ✓ Reubicación de Descargadores de MT (PD's)
- ✓ Red de MT: conductores de bajada del SPE apropiados

Mejoras al Sistema de Protección Interna (SPI)

Protección contra Sobretensiones Transitorias



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

WORLD MEETING ON
LIGHTNING

Mejoras al Sistema de Protección Interna



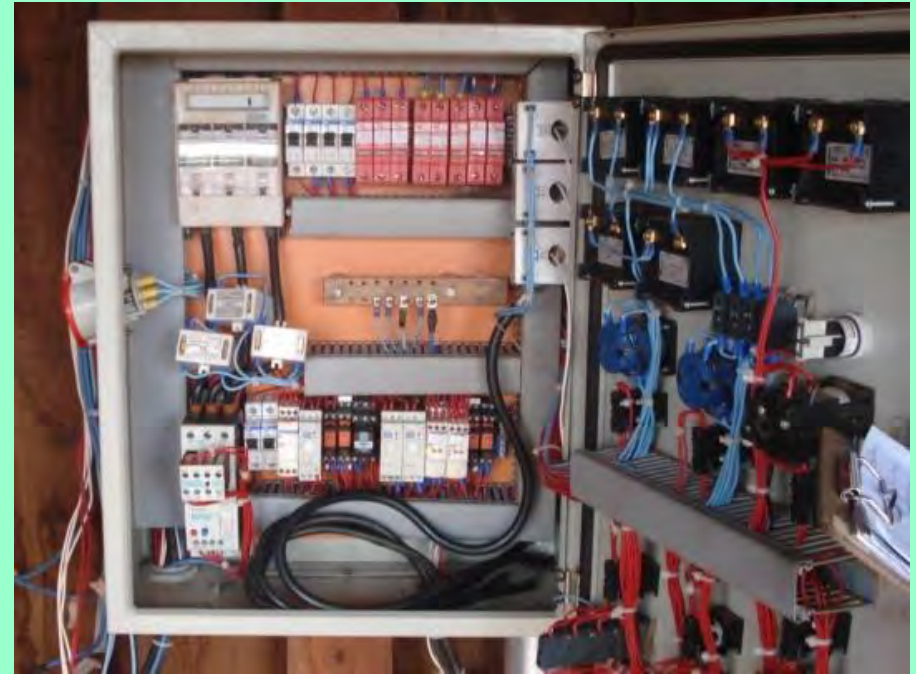
**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

Mejoras al Sistema de Protección Interna



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

Mejoras al Sistema de Protección Interna



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

WORLD MEETING ON
LIGHTNING

DPS DE BT EN TRANSFORMADORES

DPS -BT

Soldadura
Exotérmica

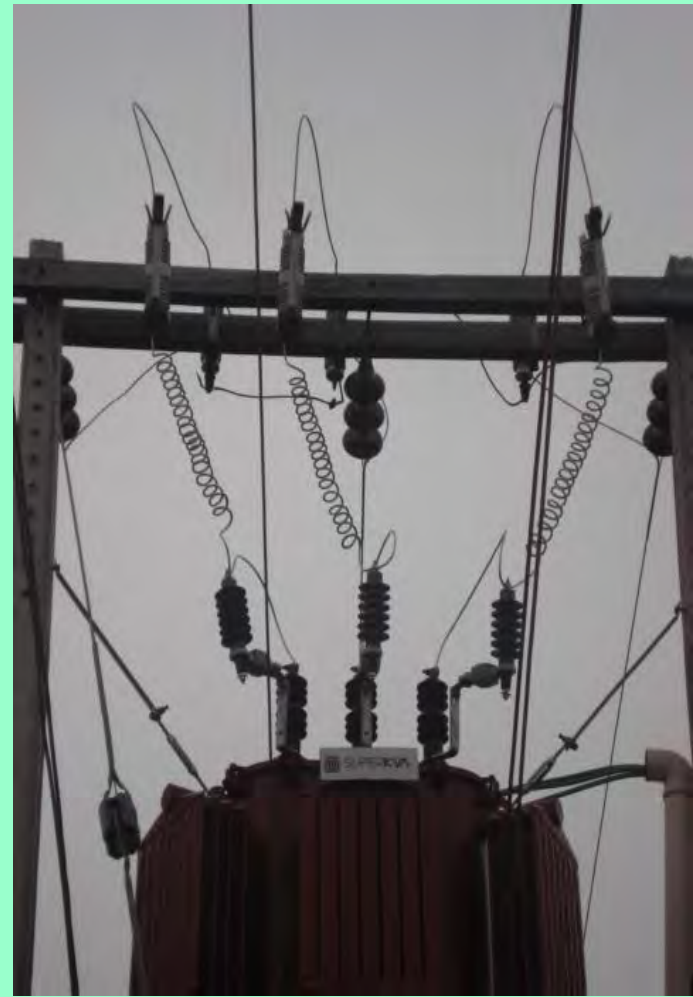


**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

WORLD MEETING ON
LIGHTNING



Mejoras en la instalación eléctrica M.T.



**Protección Integral Contra Rayos Implementado
En Una Instalación De Irrigación**

WORLD MEETING ON
LIGHTNING



6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- ✓ **DESDE LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO EL PORCENTAJE DE FALLA SE REDUJO A CERO.**
- ✓ **SOLAMENTE SE QUEMAN ESPORADICAMENTE ALGUNOS DPS.**
- ✓ **EL GRADO DE CONFIABILIDAD QUE DAN LAS NORMAS, 98 % O UN POCO MENOS, EN ESTE CASO DIO RESULTADO FAVORABLE.**
- ✓ **EN SINTESIS :“ECUALIZACIÓN DE POTENCIALES Y USO DE DPS”.**

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCION



Humberto Berni

hberni@segelectricaparaguay.com