

## Diseño y Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra para el Instituto de Biotecnología Misiones

Aquino Marina Magdalena <sup>a</sup>, Mattivi Federico Manuel <sup>a\*</sup>, Martínez José Gustavo <sup>a</sup>, Wagner Nelson Elmer <sup>a</sup>, Oliveira Mario Orlando<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: marinamagdalen597@gmail.com, fmmattivi@outlook.com, martinez@fio.unam.edu.ar, nelson.wagner@fio.unam.edu.ar, mario.oliveira@fio.unam.edu.ar .

---

### Resumen

Este artículo presenta los resultados del diseño y cálculo de una malla de Puesta a Tierra para el Instituto de Biotecnología Misiones, ubicado en el campus de la Universidad Nacional de Misiones. Este diseño es esencial para satisfacer los requisitos técnicos específicos establecidos por los fabricantes de equipos de laboratorio, a fines de garantizar la seguridad y funcionalidad óptima de estos. Así, este documento presenta la metodología de diseño del sistema de puesta de tierra, las mediciones realizadas, el lugar propuesto para instalación de la malla y jabalinas y el computo de materiales. Los resultados demuestran que las características del sistema de puesta a tierra a construir se ajustan a los valores requeridos para el proyecto.

*Palabras Clave – Biotecnología, Cálculo, Puesta a tierra.*

### 1. Introducción

La finalidad de un sistema de Puesta a Tierra (PAT) es proteger tanto a las personas como a los equipos de una instalación eléctrica evacuando rápidamente a tierra la corriente de falla originadas por descargas atmosféricas, electricidad estática o bien fallas propias de los equipos eléctricos. Para esto, es necesario que la “resistencia” de la PAT tenga un valor adecuado para evitar niveles de voltaje peligrosos en la superficie del terreno. Existen diferentes normativas nacionales que establecen los requisitos que debe cumplir una instalación eléctrica en relación con la PAT, como, por ejemplo: poner a tierra las partes metálicas de los equipos e instalaciones que no deben entrar en contacto con partes sometidas a tensión. En este sentido, se debe considerar siempre un conductor de PAT normalizado para conectarlo al sistema de PAT constituido por jabalinas y mallas convenientemente armados y enterrados.

El Instituto de Biotecnología Misiones (InBioMis) dispone de importantes equipos de medición con los cuales lleva adelante numerosas investigaciones. Dichos equipos requieren de una instalación eléctrica que cuente con las protecciones adecuadas que garanticen la seguridad de los usuarios y que, por otro lado, cubra los requisitos de garantía y/o seguros requeridos por los fabricantes de los equipos, en este caso en particular inferior a los  $5\Omega$ . Por tal motivo, este artículo presenta los procedimientos fundamentales que se utilizaron para el diseño de un sistema de PAT, cuyo objetivo fue atender a las exigencias de una instalación eléctrica para un laboratorio de investigación que opera con equipos de alto costo e importante relevancia para los estudios que se desarrollan en el mismo.

#### 1.1. Método de Wenner

Existen varios métodos para medir la resistividad del suelo, siendo el método de Wenner [1], el más común y el utilizado en este caso. Como muestra la Fig. 1, este método utiliza cuatro electrodos para medir la resistencia del suelo, dispuestos en línea recta, enterrados a la misma profundidad (b) y separados a intervalos iguales (a) [1]. Los electrodos de los extremos ( $C_1$  y  $C_2$ ) inyectan corriente al

terreno y los electrodos internos ( $P_1$  y  $P_2$ ) miden la diferencia de potencial. Así, se obtiene la relación “ $V/I$ ” que representa la resistencia aparente “ $R$ ” del terreno.

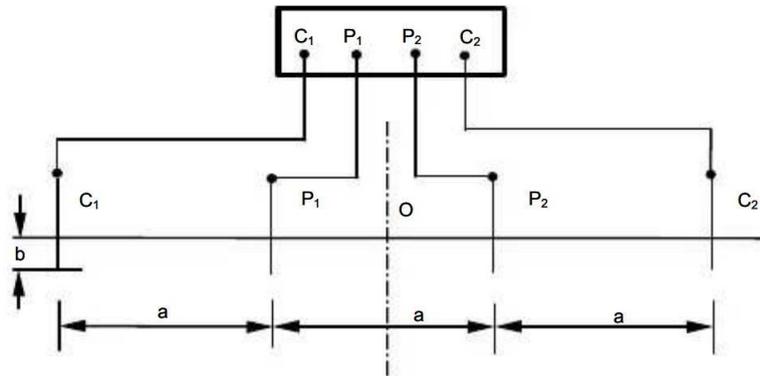


Fig. 1 - Esquema de conexiones para determinar la resistividad utilizando el método de Wenner. [1]

La condición que se debe cumplir es que la profundidad teórica de hincado del electrodo debe ser:

$$b \leq 0,1a$$

Habiendo utilizado el método de Wenner para determinar el valor de “ $R$ ”, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de la resistividad del terreno [1]:

$$\rho = 2\pi aR \quad (1)$$

donde:  $a$  es la distancia entre los electrodos y  $R$  es la resistencia medida entre los electrodos interiores.

## 2. Procedimiento Metodológico

La resistividad del suelo es un parámetro muy importante para realizar el diseño de sistemas de PAT. Este valor determina cómo la corriente eléctrica se dispersa en el suelo, lo cual es fundamental para garantizar la seguridad y efectividad de la malla de PAT en instalaciones eléctricas. La resistividad del suelo afecta directamente la capacidad de una malla de PAT para disipar corrientes de falla, es por ello que, un diseño correcto de la malla de PAT asegura que cualquier corriente de falla sea dispersada de manera eficiente, protegiendo tanto a las personas como a los equipos [6].

La resistividad del suelo depende de los siguientes factores [6]:

- Tipo de suelo: arenas, arcillas y suelos rocosos tienen diferentes resistividades.
- Humedad: la presencia de agua en el suelo disminuye la resistividad.
- Temperatura: la resistividad aumenta a temperaturas más bajas, especialmente en suelos congelados.
- Contenido de sales y minerales: la presencia de sales y minerales conductores disminuye la resistividad.

### 2.1. Determinación de la ubicación de la malla

La elección de la ubicación adecuada para la malla de PAT es importante para asegurar la efectividad de la misma. La malla debe ubicarse en una zona donde la resistividad del terreno sea lo más baja posible. Por esto, se prefieren áreas con alta humedad, ya que el agua actúa como un conductor que facilita la dispersión de la corriente eléctrica.

A su vez, la malla de PAT debe estar lo más cerca posible de la fuente de energía o los equipos que se necesitan proteger, ya que esto reduce la longitud de los conductores de conexión, minimizando la resistencia y el costo de la misma. Además, debe haber suficiente espacio para

desplegar una malla de tamaño adecuado, que cumpla con las especificaciones de resistencia a tierra establecidas en los parámetros de diseño.

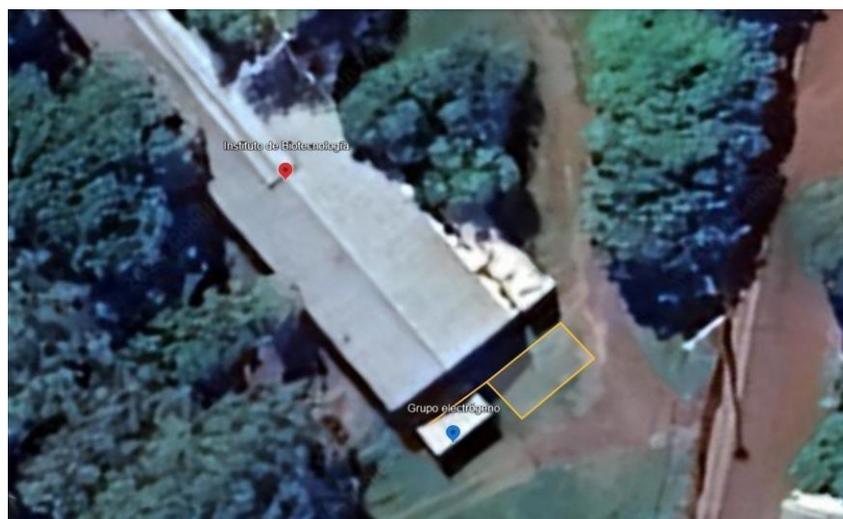
Finalmente, es fundamental asegurar que la ubicación seleccionada no interfiera con otras infraestructuras subterráneas como tuberías de agua, gas, o cables de telecomunicaciones.

Como se mencionó anteriormente, el presente diseño de PAT está proyectado para el laboratorio InBioMis, el cual se encuentra ubicado dentro del campus de la Universidad Nacional de Misiones, tal como se puede observar en la Fig. 2.



**Fig. 2 - Ubicación del Instituto de Biotecnología en el interior del Campus de la Universidad Nacional de Misiones.**

A continuación, en la Fig. 3 se presenta la ubicación propuesta para la instalación de la malla de PAT, donde se puede observar en color amarillo el área que ocuparía la misma, en función de recomendaciones del departamento de arquitectura de la UNaM.



**Fig. 3 - Espacio propuesto para la ubicación de la malla de PAT.**

### 2.1. Medición de la resistividad del suelo

Para la determinación de la resistividad del suelo se debe realizar la medición de la resistencia del suelo y para ello se utiliza un telurímetro, que es un instrumento de medición diseñado específicamente para evaluar la resistividad del suelo y la resistencia de PAT. Funciona aplicando una corriente eléctrica al suelo y midiendo la caída de voltaje resultante, lo que permite calcular la resistividad del terreno con alta precisión.

En este caso se utiliza un instrumento de la marca “Megabras” modelo “MTD20KWe” para realizar las mediciones como puede observarse en la Fig. 4.



**Fig. 4 - Telurímetro utilizado para la medición de la resistencia del suelo.**

Seguidamente en la Tabla 1, se presentan los resultados obtenidos de realizar las mediciones en 2 direcciones ortogonales entre sí para verificar la homogeneidad del terreno.

**Tabla 1 - Resistencia del terreno**

Nº	Resistencia (1m) [ $\Omega$ ]	Resistencia (2m) [ $\Omega$ ]	Resistencia (3m) [ $\Omega$ ]
1	31,6	17,58	9,64
2	37,8	16,46	7,8

Una vez obtenidas las mediciones, es posible calcular la resistividad del terreno utilizando la expresión (1) correspondiente al método de Wenner, la cual fue presentada anteriormente. Luego de esto, se establece realizar un promedio de los resultados para establecer la resistividad promedio del terreno y utilizar esto para el diseño de la malla de PAT como se puede observar en la Tabla 2.

**Tabla 2** - Resistividad del terreno

Resistencia promedio [ $\Omega$ ]	Longitud [m]	Resistividad [ $\Omega\text{m}$ ]
34,7	1	218,03
17,02	2	213,88
8,72	3	164,37
<b>Promedio total [<math>\Omega\text{m}</math>]</b>		<b>198,76</b>

## 2.2. Dimensionamiento de la malla de PAT

La resistencia de PAT de los diferentes tipos de electrodos puede ser calculados en forma aproximada por distintas expresiones matemáticas que tienen en cuenta la resistividad del terreno, las características geométricas del electrodo adoptado y la profundidad de enterrado del mismo [2].

1. Jabalinas enterradas verticalmente: para este tipo de electrodo se definen 2 parámetros que son el diámetro y su longitud. La fórmula que permite calcular la resistencia para este tipo de electrodo es:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 \right) \quad (2)$$

donde: L es la longitud de la jabalina enterrada; d es el diámetro de la jabalina y  $\rho$  es la resistencia del terreno.

2. Conductor desnudo enterrado horizontalmente: para este tipo de electrodo se definen 3 parámetros el diámetro del conductor, su longitud y la profundidad de enterrado. La fórmula que permite calcular la resistencia para este tipo de electrodo es:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \left( \frac{4L}{d} \right) + \ln \left( \frac{L}{h} \right) - 2 + \frac{2h}{L} - \frac{h^2}{L} + \frac{h^4}{2L} + \dots \right) \quad (3)$$

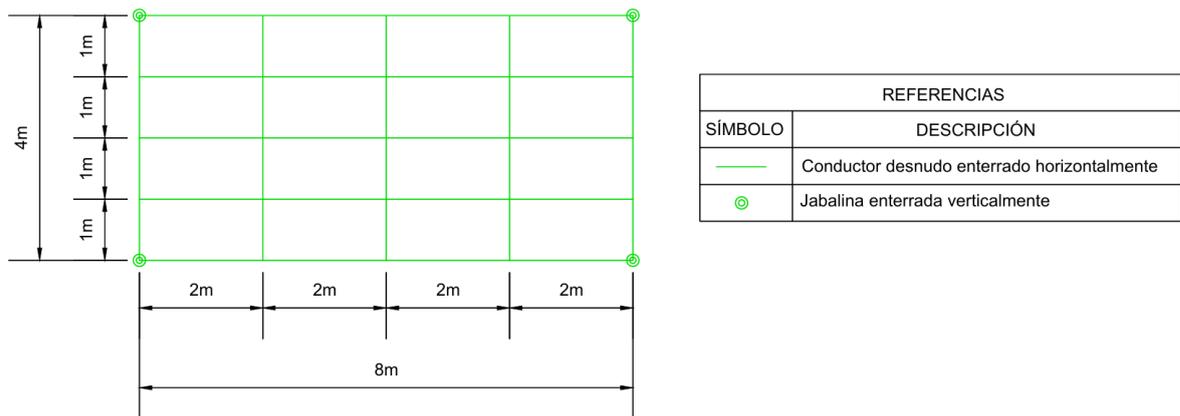
donde: L es la longitud del conductor enterrado; h es la profundidad de enterrado del conductor desnudo; d es el diámetro del conductor y  $\rho$  es la resistencia del terreno.

3. Paralelo de resistencias: la expresión utilizada para calcular la resistencia equivalente ( $R_{eq}$ ) es:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (4)$$

donde:  $R_1$  es la resistencia de PAT de las jabalinas;  $R_2$  es la resistencia de PAT del conductor desnudo y  $R_3$  es la resistencia de PAT existente del grupo electrógeno.

Para la malla de PAT se propone la configuración presentada en la Fig. 5.



**Fig. 5 - Distribución de la malla de PAT.**

En base a la distribución establecida en la Fig. 5 y a las ecuaciones para jabalinas enterradas verticalmente (2) y conductor desnudo enterrado horizontalmente (3). A continuación, considerando los parámetros de la Tabla 3 se diseña la malla de PAT.

**Tabla 3 - Parámetros para el diseño de la PAT**

Resistividad [ $\Omega\text{m}$ ]	a [m]	b [m]	Nº Conductores a	Nº Conductores b	L [m]	h [m]
198,76	8	4	5	5	60	0,9

En la Tabla 4 se presenta el resultado obtenido al calcular la resistencia de PAT utilizando 4 jabalinas de sección nominal de 15,875mm y una longitud de 1500mm.

**Tabla 4 - Resistencia de PAT (Jabalinas)**

Nº de jabalinas	L_total [mm]	D [pulg]	D [mm]	R1 [ $\Omega$ ]
4	6000	0,625	15,875	36,98

En la Tabla 5 se puede observar el resultado obtenido al calcular la resistencia de PAT utilizando 60m de conductor de cobre desnudo cuya sección nominal es de 6,45mm.

**Tabla 5 - Resistencia de PAT (Conductor desnudo)**

Sección nominal [ $\text{mm}^2$ ]	D [mm]	R2 [ $\Omega$ ]
25	6,45	6,72

La última resistencia que debe considerarse para el dimensionamiento de la malla de PAT es la resistencia de la PAT del grupo electrógeno del Laboratorio de Biotecnología, ya que esta será conectada en paralelo a la malla. Para ello se realiza la medición de esta resistencia con el telurímetro utilizado para la determinación de la resistividad del terreno, el resultado se presenta a continuación en la Tabla 6.

**Tabla 6** - Resistencia de PAT (Grupo electrógeno)

R3 [ $\Omega$ ]
28

Finalmente es posible realizar el paralelo de las 3 resistencias de PAT utilizando la expresión (4), logrando obtener así el valor de resistencia de PAT final el cual puede observarse en la Tabla 7.

**Tabla 7** - Resistencia de PAT final

R1 [ $\Omega$ ]	R2 [ $\Omega$ ]	R3 [ $\Omega$ ]	R123 [ $\Omega$ ]
36.98	6.72	28	4.73

El resultado obtenido para la distribución y materiales propuestos es satisfactorio ya que para este proyecto en particular se pretende una resistencia de PAT inferior a los  $5\Omega$  según lo establecido por el fabricante del equipo que se busca instalar.

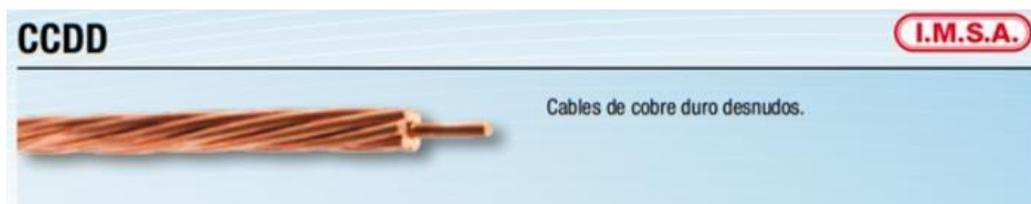
### 2.3. *Cómputo de materiales*

En el diseño de sistemas de PAT, es esencial seleccionar conectores adecuados para asegurar una conexión eficiente y duradera entre los componentes del sistema. Para garantizar la integridad y la conductividad del sistema, en este caso en particular, se sugiere utilizar conectores en "C" para derivaciones y conectores a compresión para las PAT de la marca "LCT". Estas decisiones están basadas en la necesidad de proporcionar conexiones seguras y confiables en cables de cobre o acero cobreado a jabalinas, empleando el método de unión por compresión en frío. La Fig. 6 muestra el conector en C y el conector a compresión para PAT sugerido.



**Fig. 6** - Conector en "C" y conector a compresión para PAT. [3]

Por otro lado, se recomienda utilizar conductores de cobre desnudos, como ser de la marca comercial "IMSA" como se puede observar en la Fig. 7. Esto se basa en la necesidad de garantizar un alto nivel de calidad y confiabilidad en los componentes críticos del sistema de PAT.



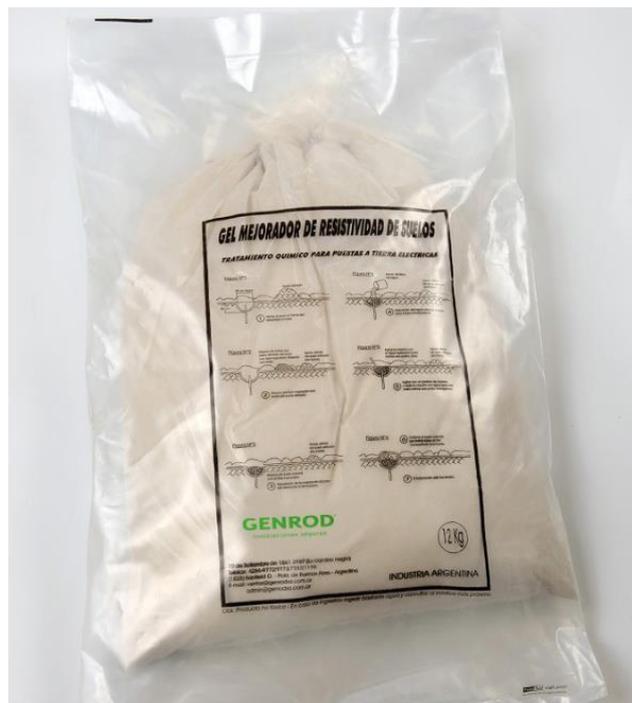
**Fig. 7** - Conductor desnudo. [4]

Para la selección de las jabalinas y sus respectivos accesorios, en este caso se sugiere utilizar productos de la marca “GENROD”, ya que posee gran variedad de componentes en su catálogo facilitando así el proceso de selección los cuales pueden observarse en la Fig. 8.



**Fig. 8 - Jabalinas y accesorios. [5]**

La eficiencia de un sistema de PAT depende significativamente de la capacidad del suelo para dispersar la corriente eléctrica, en muchos casos, las características naturales del suelo pueden no ser ideales para lograr una resistividad baja. Es por ello, que para el presente proyecto se propone la utilización de un gel mejorador de resistividad del suelo de la marca “GENROD” que se puede observar en la Fig. 9, para garantizar el óptimo funcionamiento de la malla de PAT.



**Fig. 9 - Gel mejorador de resistividad del suelo. [5]**

A continuación, en la Tabla 8, se presenta el cómputo de materiales utilizado para llevar a cabo el presente proyecto.

**Tabla 8** - Cómputo de materiales

Ítem	Código del fabricante	Fabricante sugerido	Unidad	Cantidad
Conductor de cobre desnudo de 25mm <sup>2</sup>	CCDD 25	IMSA	m	100
Conector en C para derivaciones	CCD 25	LCT	-	25
Conector a compresión para puestas a tierra, en cables de cobre o acero cobreado a jabalina	CCG - 1	LCT	-	4
Jabalina 5/8" x 1500mm	JLJC1615	Genrod	-	4
Jabalina 5/8" x 1500mm acoplable con acoples	JLJCA1615	Genrod	-	2
Buje de acoplamiento de jabalina 5/8" (manguito)	BA 16	Genrod	-	1
Bolsa de gel x12 kg	A-6	Genrod	-	10

#### 4. Conclusiones

El diseño de la malla de PAT para el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Misiones cumple con los parámetros específicos requeridos para proteger los equipos biotecnológicos. La elección de la ubicación para instalación futura de la malla, se basó en la medición precisa de la resistividad del suelo. La selección adecuada de materiales y conectores aseguran la eficiencia y seguridad del sistema. El resultado final proyectado es una malla de PAT con una resistencia inferior a 5Ω, garantizando la dispersión eficiente de corrientes de falla y protegiendo tanto a las personas como a los equipos. Vale resaltar que, la instalación de la malla es una etapa futura, donde se deberá volver a medir el valor real de resistencia de PAT.

#### 5. Referencias

- [1] Instituto Argentino de Normalización, IRAM 2281-2\*-Puesta a tierra de sistema electricos, Buenos Aires, 2002.
- [2] ASOCIACIÓN ELECTROTECNIA ARGENTINA , Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmueble-AEA 90364 Parte 7, 2006.
- [3] LCT, Catálogo de terminales, pp. <https://lct.com.ar/catalogo/terminales-y-uniones-de-cobre/>.
- [4] I.M.S.A, Catálogo de conductores, p. <https://imsa.com.ar/catalogos/>.
- [5] GENROD, Puesta a tierra catálogos de productos, p. <https://www.genrod.com.ar..>
- [6] Glen A. Mazur, Principios de Puesta a Tierra, Fluke, 2014.