



Evaluación de la eficiencia de aditivos en el tratamiento de puestas de tierra en Huancayo

Evaluation of the efficiency of additives in the treatment of earthworks in Huancayo

 Sáenz, Bartolomé .¹ y  Cartolín, Ana L.¹

¹ Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Resumen: La presente investigación se realizó considerando como objetivo general: determinar la eficiencia de los diferentes aditivos usados en las puestas a tierra en Huancayo, para lo cual se realizaron mediciones de resistividad eléctrica de suelos, resistencia de puesta a tierra y resistividad de aditivos aplicando métodos normados como el método de Wenner, caída de potencial, de la pendiente y el de los cuatro puntos respectivamente. Posteriormente se realizó la comparación de la eficiencia del cemento conductivo y la bentonita en electrodos verticales de puesta a tierra en 6 terrenos de distinta resistividad eléctrica. El tipo de investigación es aplicada y el nivel explicativo. Como principal conclusión es que se ha evaluado la eficiencia del tratamiento de puestas a tierra con diferentes tipos de aditivos. Basado en cálculos y mediciones de campo con métodos normados, se halla que el cemento conductivo es más eficiente para la reducción de la resistencia de puesta a tierra de varillas verticales en comparación con la bentonita.

Palabras clave: sistema, puesta a tierra, eficiencia de aditivos, resistividad eléctrica, suelos, resistencia eléctrica.

Abstract: This research is carried out considering as a general objective to determine the efficiency of the different additives used in grounding in Huancayo, for which measurements of electrical resistivity of soils, grounding resistance and resistivity of additives were carried out applying standardized methods such as the Wenner method, potential drop, the slope and the four-point method respectively. Subsequently, the comparison of the efficiency of conductive cement and bentonite in vertical grounding electrodes was carried out in 6 terrains of different electrical resistivity. The type of research is applied and the explanatory level. The main conclusion is that the efficiency of grounding treatment with different types of additives has been evaluated. Based on calculations and field measurements with standardized methods, it is found that conductive cement is more efficient in reducing the grounding resistance of vertical rods compared to bentonite.

Keywords: system, grounding, additive efficiency, electrical resistivity, soils, electrical resistance.



Referencia: Sáenz, B. , y Cartolín, A. L. (2026). Evaluación de la eficiencia de aditivos en el tratamiento de puestas de tierra en Huancayo. *Prospectiva Universitaria*, 23(01), 1–6. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/2638>

Recibido: 21 de enero de 2026
Aceptado: 22 de enero de 2026
Publicado: 29 de enero de 2026

Prospectiva Universitaria. Vol. 23, núm. 01, enero a junio, 2026. Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons



CC BY 4.0 DEED
Attribution 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Introducción

Se han hecho muchos trabajos de medición de puestas a tierra, pero muy poco o casi nada en cuanto a comparación de la eficiencia de aditivos comerciales que van apareciendo en el mercado. Por ello, en el presente proyecto de investigación, se realizó el análisis para comparar que aditivo comercial es más eficiente para la ejecución de puesta tierra, entre los cuales se realizó el estudio de bentonita sódica y el cemento conductor, así mismo también se realiza el modelamiento de suelo para obtener un valor teórico de resistencia eléctrica sin ningún tipo de aditivo. Se utilizaron métodos normados en estándares IEEE de medición de resistividad y resistencia eléctricas, así como también el equipo de medición esta calibrado a fin de lograr valores reales (STD 80, I y STD 81 I). La muestra es en 6 distintos terrenos con diferente resistividad eléctrica y así obtener el porcentaje de reducción en las puestas tierra con cada aditivo.

2. Métodos

Para realizar un análisis adecuado y modelamientos, se realizaron seis puestas a tierra en la ciudad de Huancayo, cada una con diferente resistividad eléctrica y cada uno con los mismos procedimientos, pero con resultados propios. Las mediciones de las resistividades eléctricas de los terrenos se realizaron con el método **wenner1916** para separaciones de 1, 2, 4, 5 y 8 metros de distancia entre electrodos auxiliares.

2.1. Registro de mediciones en campo de la resistividad eléctrica

Se aplicó la fórmula de Wenner para medir la resistividad de los terrenos usando la fórmula siguiente:

$$\rho_a = 2\pi Rs \quad (1)$$

Donde: ρ_a es la resistividad aparente (Ω_m), R es la resistencia medida (Ω), s es la distancia de separación de electrodos (m).

2.2. Determinación de la resistividad y resistencia eléctrica

La resistividad eléctrica asumiremos el valor de la resistividad eléctrica de la capa superior solamente si el espesor de la capa es superior a la longitud de la varilla de, en el caso que no cumpla esta condición se utilizó la fórmula como lo detalla en (Yanque, sf)

$$\rho = \frac{l\rho_1\rho_2}{\rho_2h + \rho_1(l-h)} \quad (2)$$

Donde: ρ_e es la resistividad eléctrica equivalente, ρ_1 es la resistividad eléctrica de la capa superior, ρ_2 es la

resistividad eléctrica de la capa inferior, l es la longitud de la varilla y h altura de la capa superior.

De acuerdo a los datos adquiridos del modelamiento a dos capas del suelo y datos de la varilla se obtuvieron los valores de las resistencias eléctricas utilizando la ecuación indicada en (STD 142, 2007).

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (3)$$

Donde R es la resistencia eléctrica (Ω), ρ es la resistividad eléctrica del terreno (ρ_m), L es la longitud de la varilla ($2.4m$), a es el radio de la varilla ($0.01905m$). Luego, se procedió a determinar mediante el uso de las ecuaciones los valores de resistividad y resistencia eléctrica para cada uno de los 6 terrenos.

2.3. Procedimiento y toma de muestras

Durante el desarrollo de la investigación, se realizó el proceso de adquisición de datos mediante mediciones de la resistividad y resistencia eléctrica con el telurómetro; luego en gabinete se hizo uso del software CYMGrd (Versión 6.3 Rev. 3 - español), Microsoft y Excel (2016) en el procesamiento de datos correspondientes de manera independiente para cada uno de los 6 terrenos seleccionados de manera aleatoria para su medición y en cada caso se analizó el tipo de material que resultaría más eficiente que el otro. Se consideró como población los terrenos de Huancayo y como muestra no probabilística se consideraron 6 ubicaciones diferentes de terrenos y en cuyos terrenos se hicieron las mediciones respectivas. Las mediciones se realizaron con el telurómetro marca MEGABRAS modelo MTD20 KWe. Para las mediciones de las resistividades eléctricas de los terrenos se empleó el criterio de separaciones de 1, 2, 4, 5 y 8 metros de distancia entre electrodos auxiliares.

3. Resultados

Mediante las mediciones realizadas se obtuvieron valores de la resistividad eléctrica, tal como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1
Resistividad Eléctrica en Cada Terreno

Terreno	1 m	2 m	4 m	5 m	8 m
1	112.75	359.39	836.92	680.31	578.05
2	165.56	139.11	563.85	270.64	396.84
3	347.46	349.34	515.22	351.85	467.47
4	612.61	622.03	668.53	678.58	708.74
5	703.71	710.01	720.05	711.57	723.82
6	61.88	78.54	138.23	78.54	106.56

3.1. Modelamiento del suelo

El modelamiento de suelo se determinó a partir de las mediciones realizadas y utilizando el software CYMGrd para obtener el modelo a dos capas de los seis terrenos, y obtener los datos de resistividad de la capa superior (ρ_1) e inferior (ρ_2), así como también el espesor de la capa superficial (H). A partir de estos parámetros, se determinó la resistividad eléctrica aparente (ρ_a) mediante la fórmula 2 y la resistencia de puesta a tierra (R) mediante la fórmula 3. Los valores obtenidos se detallan de forma consolidada en la Tabla 2.

3.2. Medición de la resistencia de puesta a tierra de varillas tratadas

Para la medición de resistencia de puesta a tierra se utilizó dos métodos de medición: el método de caída de potencial (STD 81, 2012) y el método de la pendiente (TAGG, 1970). En ambos métodos se realizaron las mediciones en tres direcciones distintas. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

4. Discusión

Según los hallazgos de la investigación, podemos demostrar que el objetivo, que fue evaluar la eficiencia del tratamiento de puestas a tierra con varios tipos de aditivos, se ha cumplido. La hipótesis general era que la evaluación de la eficiencia de los aditivos utilizados en puestas a tierra permitirá establecer el aditivo eficiente para uso en puestas a tierra en Huancayo. Los resultados de las mediciones de resistividad eléctrica realizadas en los 6 lugares muestran que los suelos a mayores profundidades tienden a tener resistencias eléctricas más bajas debido a la mayor humedad en los terrenos más profundos, como se puede ver en los pozos de bombeo.

En los seis lugares estudiados, el modelamiento del suelo a dos capas muestra una tendencia a que las capas superiores tengan menor resistividad y tengan espesores mayores que la longitud de los electrodos utilizados. Como resultado, las resistencias de estas capas superiores se utilizaron para calcular las resistencias de puesta a tierra. Se utilizaron dos métodos, la caída de potencial y la pendiente, para medir la resistencia de puesta a tierra de las varillas tratadas con bentonita y cemento conductivo. Los resultados de las mediciones de las resistencias eléctricas aparentes evidencian que los suelos no son homogéneos, por lo que asumimos que las mediciones realizadas con el método de la pendiente son verdaderas porque en este método se considera el efecto de la variación de la resistividad del suelo para ubicar la varilla auxiliar de potencial en la medición correcta de la resistencia de puesta a tierra.

Los resultados de las mediciones de muestras de

aditivos con la caja de Miller muestran una fuerte dependencia de la resistividad eléctrica con la cantidad de agua y la concentración de sales. Los resultados del comportamiento de la resistencia son similares a los de la resistencia como lo describen en el estándar (STD 80, 2012). De acuerdo con el objetivo general establecido, la presente investigación ha llegado a conclusiones importantes sobre la eficiencia de los aditivos utilizados. Debido a que los porcentajes de reducción de las resistencias eléctricas iniciales son mayores, el cemento conductivo es más eficiente que la bentonita. Se comprueba un comportamiento similar entre el porcentaje de reducción vs resistencia inicial con los resultados de la presente investigación. Esta mejor eficiencia del cemento conductivo es por efecto de que el cemento se adhiere a la varilla y crea un efecto de tener un electrodo de mayor diámetro.

Al respecto, Quispe y Gutierrez (2018) exponen que para una resistividad de terreno de $34.97\Omega\cdot m$ y con una resistencia inicial calculada de 14.83Ω , después de utilizar cemento conductivo rodeando una varilla de 2.4 m y 5/8" de diámetro, mide una resistencia final de 4.23Ω logrando un porcentaje de reducción del 62.03. La discrepancia es que ellos realizan su estudio en un solo terreno y consideran al suelo como homogéneo. En el mismo sentido, Sinchi (2017) presenta que para resistencias iniciales de 21.80Ω y 57.4Ω , logra reducciones de 40 y 58 respectivamente con Gem Cadweld y varilla de 1.8 m. Purba y Purba (2019) obtienen un 74% de reducción en varillas de 50 cm. En todos estos casos, los porcentajes varían debido a las dimensiones del electrodo, pero mantienen el mismo comportamiento.

Al comparar los costos entre el uso de cemento conductivo y bentonita para el tratamiento de suelos en puestas a tierra, se observa una diferencia significativa en la inversión inicial. Si bien el costo específico del cemento conductivo como insumo es aproximadamente 4.5 veces superior al de la bentonita, el impacto en el presupuesto total de instalación representa un incremento del 46.8%.

Este diferencial se justifica bajo los objetivos de seguridad del estándar IEEE Std 80, el cual enfatiza que una puesta a tierra de baja resistencia es fundamental para prevenir descargas eléctricas peligrosas en personas y proteger la integridad de los equipos frente a fallas. A diferencia de la bentonita, el cemento conductivo garantiza una baja resistencia permanente sin necesidad de mantenimiento recurrente por rehidratación.

Los datos detallados de esta comparativa se presentan en la Tabla 6.

Tabla 2*Modelamiento de los suelos y resultados de resistencia*

Terreno	H (m)	1 (Ω_m)	2 (Ω_m)	a (Ω_m)	R (Ω)
1	1.00	120.00	2279.87	268.22	105.22
2	2.48	137.35	1028.41	137.35	53.38
3	2.52	344.35	492.59	344.35	135.04
4	2.54	612.13	751.82	612.13	240.14
5	3.72	706.56	736.57	706.56	277.18
6	3.80	63.25	156.21	63.25	24.81

Tabla 3*Medición de la Resistencia Eléctrica en los 6 Terrenos con Ambos Métodos de Medición*

Terreno	Bentonita (Caída Potencial Ω)	Bentonita (Pendiente Ω)	Cemento Conductivo (Caída Potencial Ω)	Cemento Conductivo (Pendiente Ω)
1	40.86	41.53	28.83	27.00
2	28.03	27.06	17.10	15.65
3	34.53	33.13	21.63	19.80
4	70.00	69.26	39.86	39.23
5	90.10	87.76	54.76	50.86
6	19.30	17.70	13.06	11.46

Tabla 4*Medición de Resistividad Eléctrica y Resistencia en Función a la Humedad*

Agua (ml)	Resistencia Bentonita (Ω)	Resistencia Cemento Conductivo (Ω)	Resistividad Bentonita (Ω -m)	Resistividad Cemento Conductivo (Ω -m)
25	1639	1130.0	61.4625	42.37500
50	1509	944.0	56.5875	35.40000
75	1477	432.0	55.3875	16.20000
100	1283	247.0	48.1125	9.26250
125	1180	127.5	44.2500	4.78125
150	1100	90.8	41.2500	3.40500
175	1040	73.0	39.0000	2.73750
200	941	33.1	35.2875	1.24125
225	831	56.0	31.1625	2.10000
250	700	51.3	26.2500	1.92375
275	407	46.3	15.2625	1.73625
300	381	37.0	14.2875	1.38750
325	376	32.0	14.1000	1.20000
350	370	28.0	13.8750	1.05000

Tabla 5*Medición de Resistividad Eléctrica y Resistencia en Función a la Concentración de Sal*

Agua (ml)	Resistencia Bentonita (Ω)	Resistencia Cemento Conductivo (Ω)	Resistividad Bentonita (Ω -m)	Resistividad Cemento Conductivo (Ω -m)
25	1690.00	1052.00	63.375000	39.450000
50	1509.00	186.40	56.587500	6.990000
75	1087.00	30.50	40.762500	1.143750
100	253.00	28.20	9.487500	1.057500
125	116.00	23.90	4.350000	0.896250
150	31.90	18.35	1.196250	0.688125
175	23.90	15.74	0.896250	0.590250
200	20.50	14.11	0.768750	0.529125
225	18.45	12.70	0.691875	0.476250
250	16.01	12.28	0.600375	0.460500
275	12.28	10.53	0.460500	0.394875
300	10.93	9.60	0.409875	0.360000
325	9.54	8.70	0.357750	0.326250
350	9.52	8.80	0.357000	0.380000

Tabla 6*Comparación del Costo de Instalación de Puesta a Tierra (Soles)*

Descripción del Recurso	Cantidad	Bentonita (Unit.)	Bentonita (Total)	Cemento (Unit.)	Cemento (Total)
Material de Tratamiento	3/2	20.0	60.0	135.0	270.0
Caja de Registro	1	35.0	35.0	35.0	35.0
Conector 3/4"	1	12.9	12.9	12.9	12.9
Varilla Copperweld 3/4"	1	90.0	90.0	90.0	90.0
Mano de Obra (Técnico)	1	250.0	250.0	250.0	250.0
Costo Total			447.9		657.9

Nota. La diferencia en cantidad refiere a 3 sacos de bentonita frente a 2 de cemento conductivo.

4.1. Conclusiones

La eficiencia del tratamiento de puestas a tierra con varios tipos de aditivos se ha evaluado en esta investigación. Se ha demostrado que, en comparación con la bentonita, el cemento conductivo es más efectivo en reducir la resistencia de puesta a tierra de las varillas verticales, según cálculos y mediciones de campo realizadas con métodos convencionales. Para resistencias de puesta a tierra iniciales menores a 250 Ω , que son terrenos más comunes como los medidos en los 6 casos de la presente investigación, se concluye que el tratamiento con cemento conductivo es más eficiente que los aditivos químicos. En las mediciones de resistencia de puesta a tierra, se ha demostrado que el método de la pendiente es más preciso porque considera suelos no homogéneos, como los estudiados en esta investigación.

4.2. Aspectos administrativos y ética

Esta investigación fue financiada por la UNCP a través del Vicerrectorado de Investigación y su presupues-

to de financiamiento de tesis universitaria. No requirió la aprobación de la Junta de Revisión Institucional (IRB) debido a que es un trabajo estrictamente experimental y comparativo en cuanto al uso de material para la implementación de un sistema de puesta a tierra. Agradecer al Vicerrectorado de Investigación por el apoyo en el financiamiento de la presente tesis y apoyo incondicional del asesor Dr. Bartolomé Sáenz Loayza, quien estuvo en todo momento colaborando con la investigación, a pesar de estar en una época de pandemia mundial de Covid-19.

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Los financiadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio; en la recogida, análisis o interpretación de los datos; en la redacción del manuscrito; o en la decisión de publicar los resultados. En cuanto a la contribución, ALCL se encargó del planteamiento del estudio, conceptualización, adquisición de datos y análisis de datos, discusión y conclusiones; mientras que BSL realizó la revisión y asesoría metodológica, validación de datos y adquisición de financiamiento.

Referencias

- Purba, M., & Purba, A. (2019). The Effect of Conductive Cement as an Grounding Media of Electrode on Earth Resistance.
- Quispe, R., & Gutierrez, Y. (2018). *Diseño e Implementación de Diferentes Sistemas de Puestas a Tierra Para Los Laboratorios de Ingeniería Mecánica Eléctrica de La UNA - Puno* [Tesis de lic.]. Universidad Nacional del Altiplano. Consultado el 29 de enero de 2026, desde <https://repositorio.unap.edu.pe/items/563684dc-fa6e-4a39-9ebf-148bab0a3ced>
- Sinchi, F. M. (2017, julio). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo GEM y electrodo químico* [Tesis de lic.]. Universidad Politécnica Salesiana. Consultado el 29 de enero de 2026, desde <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14487>

Accepted: 2017-08-03T14:21:03Z.