

Evaluación de la resistencia puesta a tierra en la industria minera del Perú.

Evaluation of grounding resistance in the mining industry of Peru.

Fabrizio Armando Millan Montalvo¹  ORCID, Estefany Gabriela Garcia Rayo¹ ORCID, Kevin Anderson Manzano Condori¹ ORCID y Franck Kervy Palacios Rivera¹ ORCID.

¹Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima – Perú

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo evaluar la eficacia de la puesta a tierra en la industria minera en las regiones del Perú. El enfoque utilizado toma en cuenta los factores regionales y las normativas nacionales e internacionales para comprobar la resistencia, resistividad y para la correcta instalación de la puesta a tierra. Para llevar a cabo la evaluación se utiliza una metodología, que incluye mediciones de resistividad y de resistencia de la PAT según la IEEE 81-2012, además de medidas de la PAT puntos geográficos para llevar a cabo un análisis comparativo. Los resultados obtenidos permiten comprender las características de esta y cómo se relacionan con la naturaleza del suelo utilizado, lo que es de gran utilidad para mejorar la seguridad de un SPAT en la industria minera. Para realizar la investigación presente sobre la resistencia de la puesta a tierra, se siguieron normas y estándares nacionales e internacionales, tales como: el Código Nacional de Electricidad, Utilización y Suministro; la IEEE-80: 2010; la IEEE-81: 2012 y regulaciones establecidas por las autoridades competentes de la mano con el aporte de los profesionales expertos. En conclusión, el análisis y la evaluación de la PAT en aplicaciones para la minería muestran que la resistividad del suelo, resistencia eléctrica del suelo y la ubicación geográfica afectan significativamente la eficacia de la puesta a tierra. Por lo tanto, es importante seguir las normas, estándares y regulaciones establecidas para garantizar una correcta instalación y su ejecución en todo momento de un SPAT.

Palabras clave: Puesta a tierra, resistencia, resistividad, factores regionales, industria minera.

ABSTRACT

The objective of this article is to evaluate the effectiveness of grounding in the mining industry in the regions of Peru. The approach used takes into account regional factors and national and international regulations to check resistance, resistivity and for correct installation of grounding. To carry out the evaluation, a methodology is used, which includes resistivity and PAT resistance measurements according to IEEE 81-2012, in addition to PAT measurements at geographical points to carry out a comparative analysis. The results obtained allow us to understand its characteristics and how they relate to the nature of the soil used, which is very useful to improve the safety of a SPAT in the mining industry. To carry out the research presented on grounding resistance, national and international norms

and standards were followed, such as: the National Electricity, Use and Supply Code; IEEE-80: 2010; the IEEE-81: 2012 and regulations established by the competent authorities together with the contribution of expert professionals. In conclusion, the analysis and evaluation of PAT in mining applications show that soil resistivity, soil electrical resistance, and geographical location significantly affect the effectiveness of grounding. Therefore, it is important to follow the established rules, standards and regulations to ensure correct installation and execution of a SPAT at all times.

KEY WORDS: Grounding, resistance, resistivity, regional factors, mining industry.

INTRODUCCION

El sistema de puesta a tierra (SPAT), es la base de la seguridad eléctrica (F. Casas-Ospina, 2010). Una puesta a tierra es aquella instalación eléctrica que tiene como misión dispersar corriente hacia tierra, o bien, establecer una referencia; las corrientes involucradas pueden ser de naturaleza estacionaria, casi estacionaria, de alta frecuencia o electromagnética en forma de impulsos, corrientes que pueden ser originadas durante el funcionamiento de un sistema técnico hecho por el hombre o causado por un fenómeno natural (M. De la Vega Ortega, 1999). Como objetivo: La seguridad de las personas, protección de las instalaciones, mejora de la calidad de servicio y establecimiento y permanencia de un potencial de referencia (R. G. Márquez, 1999).

Otra definición es la del Código Nacional de Electricidad- Utilización: “La puesta es un camino conductivo permanente y continuo con capacidad suficiente para conducir a tierra cualquier corriente de falla probable que le sea impuesta por diseño, de impedancia suficientemente baja para limitar la elevación de tensión sobre el terreno y facilitar la operación de los dispositivos de protección en el circuito” (CNE-U, 2006). En general, el sistema de puesta a tierra se utiliza en todos los elementos de la energía eléctrica, incluyendo la generación, transmisión y distribución, así como en entornos residenciales e industriales y los beneficio de una SPT es la disminución de la tensión de operación y el aumento de la seguridad de los usuarios y equipo donde el sistema puede detectar fallos a tierra, y disminuir tanto la interferencia electromagnética y el riesgo de electricidad estática (D. E. Putra et al., 2021).

El objetivo de la presente investigación es exponer que la resistividad, resistencia y la ubicación geográfica afectan significativamente la eficacia de la puesta a tierra, sobre la base normativa y teórica, lo cual nos permite mejorar la calidad y la eficiencia de la SPAT en aplicaciones para la minería. La contribución del presente artículo al conocimiento científico es brindar un enfoque analítico normativo de la PAT en los diferentes factores de entorno en las regiones del Perú, con aplicación para la minería, la cual pueda ser utilizada para el análisis respectivo según las necesidades que correspondan. Dicho aporte es viable debido a la validación teórica normativa y comprobación de los resultados obtenidos, que verifican su confiabilidad bajo la normatividad de referencia.

Tensión de paso

Según la guía IEEE es la diferencia en el potencial de la superficie que podría ser experimentada por una persona parada con los pies separados una distancia de 1 m sin contactar algún objeto conectado a tierra (IEEE Std 80, 2013).

Tensión de toque

Según lo establecido en la guía IEEE-80 nos comenta lo siguiente: La diferencia de potencial entre el incremento de potencial de tierra (GPR) de una cuadrícula o sistema de tierra y el potencial de superficie en el punto en que una persona puede estar de pie, mientras que, al mismo tiempo tiene una mano en contacto con una estructura conectada a tierra. (IEEE Std 80, 2013).

Resistividad Eléctrica del Terreno

La resistividad de la tierra está influenciada por varios factores, como el tipo de suelo, la temperatura, la humedad, el contenido mineral y la compacidad. La literatura indica que los valores de resistividad de la tierra varían ampliamente desde menos de 1 Ω -m para agua de mar hasta 109 Ω -m para arenisca (IEEE std 81, 2012). Sin embargo, no es la realidad del Perú, donde la variación es muy grande, pudiendo llegar a valores mayores a **100,000 Ω .m**.

Para determinar la resistencia de puesta a tierra es necesario conocer la resistividad del terreno, la cual puede variar con la profundidad, contenido químico, humedad y temperatura. La presencia de agua no indica no obstante **baja resistividad** (CNE-U, 2006).

Factores que intervienen en la Resistividad Eléctrica del Terreno

Es importante señalar que los factores del terreno que tienen una estructura definida en la afectación de la resistividad eléctrica. Como son los siguientes factores del terreno:

Las sales solubles y su concentración.

El estado higrométrico.

La compactación.

La temperatura.

La desertificación.

La estratigrafía.

Materiales y métodos

Simulador

TecAt Plus 6.3

Es un software diseñado específicamente para el diseño de redes de puesta a tierra. Mayormente se utiliza para analizar, calcular y optimizar los sistemas de puesta a tierra de instalaciones eléctricas, como subestaciones, centrales eléctricas y líneas de transmisión.

Dentro de algunas de las funciones clave de TECAT PLUS 6.3 podemos tener lo siguiente:

1. Análisis de resistividad del suelo
2. Análisis de estratificación del suelo
3. Cálculo de voltajes de contacto y de paso
4. Diseño de Redes de Puesta a Tierra
5. Distribución de corriente de falla

Métodos

Metodología de Medición de la Resistividad Eléctrica del Terreno

Para la medición correcta de la resistividad eléctrica del terreno como es el caso de una mina, se ha utilizado el Método de “Wenner”. Se presentan dos casos cuando las separaciones de varillas tienen diferentes medidas horizontales y cuando dichas medidas horizontales son iguales. Para dicho caso adoptaremos medidas horizontales igual por el cual es una simplificación del método de los cuatro puntos.

Método Wenner

Un buen método para medir la resistividad aparente de grandes volúmenes de tierra intacta es el método de los cuatro puntos (Wenner) de la normativa IEEE 81-2012. Se instalan cuatro sondas auxiliares en la tierra, todas a profundidad y espaciadas (en línea recta) a intervalos. Se pasa una corriente de prueba I entre los dos electrodos exteriores y el potencial V entre las dos sondas interiores se mide con un potenciómetro o voltímetro de alta impedancia. Entonces, la relación V/I de la resistencia R en ohmios (IEEE std 81, 2012)

Mediciones de Resistividad

Observación: Disposición de espacios iguales. (Figura 1, a)

Ecuación:

$$\rho = 2 * \pi * a * R \dots (1)$$

Ecuación:

Donde:

V: Instrumento de medida de resistencia de tierra (Telurómetro)

A: Separación equidistante de electrodos en m.

b: Profundidad de clavado de los electrodos ($b \leq a/20$) en m.

ρ : Resistividad eléctrica en terreno en Ω -m.

R: Resistencia eléctrica del terreno en Ω .

Mediciones de Resistividad Observación:

Disposición de espacios diferentes. (Figura 1,b)

$$\rho = \frac{2 * \pi * a * R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \dots (2)$$

Donde:

V: Instrumento de medida de resistencia de tierra (Telurómetro)

a: Separación equidistante de electrodos en m.

b: Profundidad de clavado de los electrodos ($b \leq a/20$) en m.

ρ : Resistividad eléctrica en terreno en Ω -m.

R: Resistencia eléctrica del terreno en Ω .

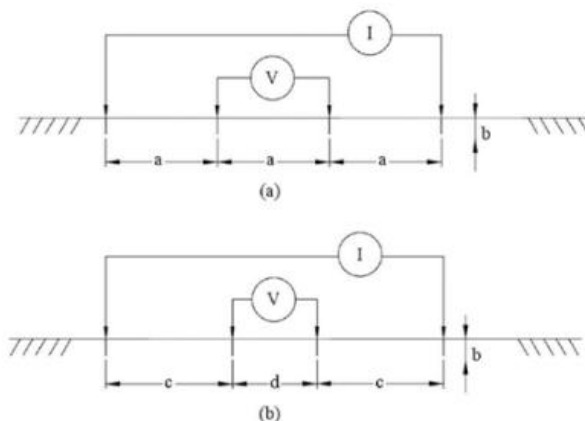


Figura1. Método de cuatro puntos. (a) electrodos de prueba igualmente espaciados y (b) electrodos de prueba espaciados desigualmente [6].

Metodología para la Estratificación del Terreno

El procedimiento para estratificar el terreno en dos estratos se realiza mediante el método de “Manejo de Curvas”. Solo con dos estratos horizontales es viable resolver un modelo matemático, en cual nos posibilita hallar la resistividad del primer y segundo estrato correspondiente, con su respectiva profundidad de datos tomados.

Para el suelo de dos estratos, la (ρ_a) se obtiene a partir de la expresión general $a=2\pi aR$ en la cual se reemplaza la expresión del potencial entre los electrodos (P1) y (P2) de espesores (h) e infinito, para un punto (p), situado a una distancia (a) metros (IEEE std 81, 2012).

$$(\alpha) = \rho_1 \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{k^n}{\sqrt{1 + (2nh/a)^2}} - \frac{k^n}{\sqrt{4 + (2nh/a)^2}} \right) \right] \dots (3)$$

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi l} * \ln \ln \frac{2l}{r} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n * \ln \ln \frac{2nh + l}{2nh - l} \dots (4)$$

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi l} * \ln \ln \frac{2l}{r} \dots (5)$$

Modelo de suelo de dos capas

Un modelo de suelo de dos capas puede ser representado por un suelo de la capa superior de una profundidad finita por encima de una capa inferior de profundidad infinita. El cambio abrupto de la resistividad en los límites de cada capa de suelo se puede describir por medio de un factor de reflexión (IEEE Std 80, 2013).

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \dots (6)$$

Donde:

V_p: Potencial del “p” cualquiera del primer estrato en relación al infinito

ρ₁: Resistividad del primer estrato.

ρ₂: Resistividad del segundo estrato.

k: Coeficiente de reflexión.

H: Profundidad del primer estrato.

MÉTODO CAÍDA DE POTENCIAL

El método de caída de potencia también se conoce como método del 62% (I. Agulleiro & M.M. Lozano, 2005), que es la Regla Simplificada del método de Caída de Potencial, Se toma una sola medición con la sonda del medidor de potencial a una distancia del 61,8% del total de la distancia entre el electrodo bajo prueba y la sonda de inyección de corriente (Amy Ferrari, 2019). El método de caída de potencial (fall-of-potential FOP) implica pasar una corriente entre un electrodo de tierra (G) y el electrodo de corriente (CP), y luego medir la tensión entre G y del electrodo de potencial (PP), como se muestra en la Figura2 (IEEE std 81, 2012). Según la IEEE Std 81-2012 para el método se debe tener en cuenta lo siguiente: Para minimizar las influencias entre los electrodos debido a las resistencias mutuas, los electrodos de corriente se colocan generalmente a una distancia considerable del electrodo de tierra en prueba. Por lo general, esta distancia es al menos cinco veces la dimensión más grande del electrodo de tierra en prueba. El electrodo de potencial se coloca típicamente en la misma dirección de electrodos de corriente, pero también puede colocarse en dirección opuesta, como se muestra en la Figura2.

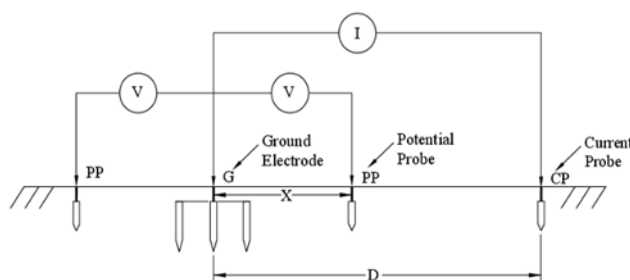


Figura2. Ilustración del método de caída de potencia (IEEE std 81, 2012)

ANÁLISIS DE PUESTA A TIERRA EN APLICACIONES PARA LA MINERÍA

Para la investigación se utilizó de ejemplo, una configuración de puesta a tierra definida. Se modela el diseño base como un electrodo simple enterrado a 65 cm, tal como lo indica nuestro CNE-Utilización: 2006, sección 060. El diseño básico consta de una varilla de Cu de 5/8" x 2,1 m, caja de registro y un cable de Cu desnudo de 70 mm².

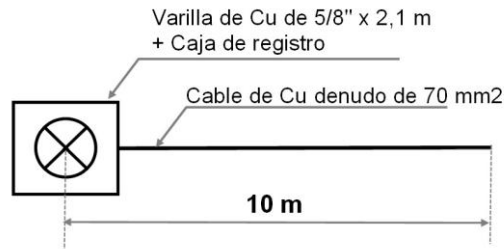


Figura3. Varilla de cobre. Fuente: Elaboración propia.

MINERA PAMPA DE COBRE, CHAPI, AREQUIPA.

Ubicación: Arequipa, Perú.

Clima: Cálido árido, con escasas precipitaciones.

Altura: 2 000 m.s.n.m y 2 700 m.s.n.m

Tabla 1. Mediciones de resistividad – Minera Pampa de Cobre.

a (m)	ρ (Ω .m)
1	122.5
2	150.8
3	207.3
4	248.8
5	216.8
6	192.3
7	149.5
8	125.7

Nota: Presenta la base de datos de más de 15 años de análisis de trabajo de la empresa CORPORACIÓN SELECTRONICS SAC (Rondón, J. N., 2023).

Mediciones de resistividad – Minera Pampa de Cobre, Chapi, Arequipa.

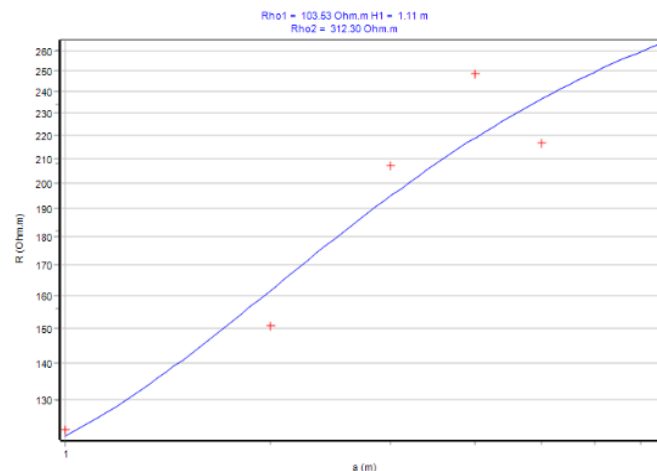
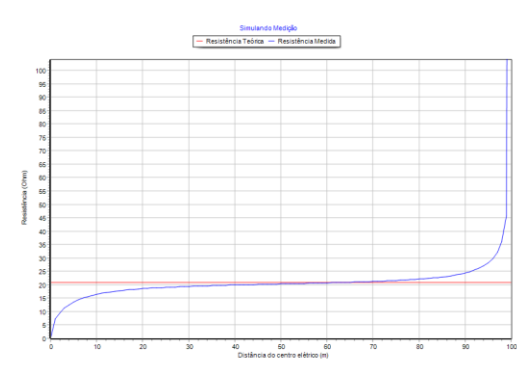


Figura4. Simulación de Estratifica**Tabla 2.** Mediciones de resistividad – Minera Pampa de Cobre.**Estratificación**

Estratificación	
ρ_1	103.53 Ω .m
ρ_2	312.30 Ω .m
h_1	1.11 m

Fuente: Elaboración propia – Minera Pampa de cobre.

Simulación del Diseño**Figura5.** Simulación del diseño de la Fig. 1. en Minera Pampa de Cobre

MINERA VOLCAN, UNIDAD CHUNGAR, CERRO DE PASCO.

Ubicación: Capital del departamento de Pasco, Perú.

Clima: Frío, lluvioso y con amplitud térmica moderada.

Altura: 4200 m.s.n.m

Tabla 3. Mediciones de resistividad – Minera Volcan, Unidad Chungar, Cerro de Pasco

a (m)	ρ (Ω .m)
1	861.4
2	830.6
3	853.9
4	585.6
5	571.8

6	610.7
7	492.6
8	578.1

Nota: Presenta la base de datos de más de 15 años de análisis de trabajo de la empresa COPORACIÓN SELECTRONICS SAC (Rondón, J. N., 2023).

Mediciones de resistividad – Minera Unidad Chungar

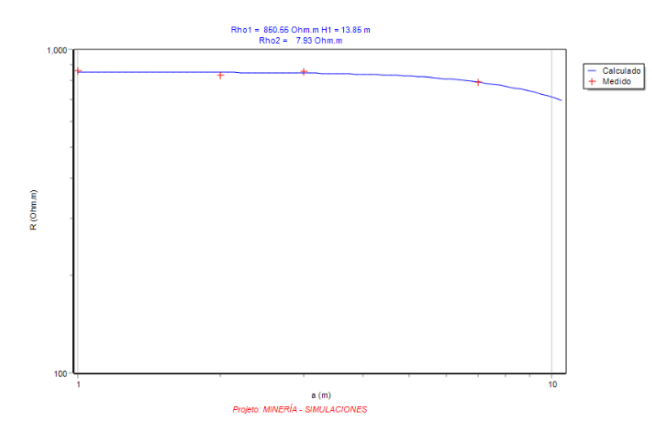


Figura6. Simulación de Estratificación – Minera Volcan

Tabla 4. Mediciones de resistividad – Minera Volcan

Estratificación	
ρ_1	850.55 $\Omega.m$
ρ_2	7.93 $\Omega.m$
h_1	13.85 m

Simulación del Diseño

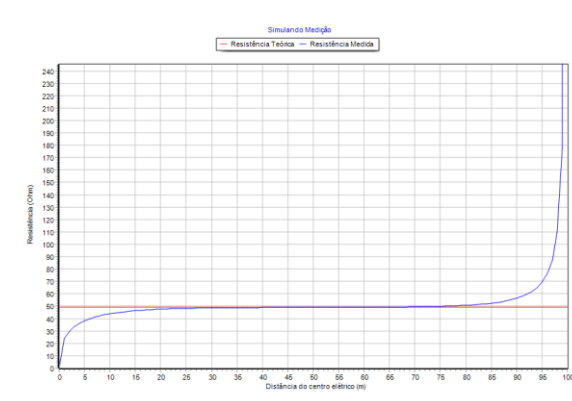


Figura7. Simulación del diseño de la Fig. 1. en Minera Volcan, Unidad Chungar, Cerro de Pasco

MINERA VOLCAN, UNIDAD PARCACHATA, CERRO DE PASCO.

Ubicación: Capital del departamento de Pasco, Perú.

Clima: Frío, lluvioso y con amplitud térmica moderada.

Altura: 4200 m.s.n.m

Tabla 5. Mediciones de resistividad – Minera Volcán, Unidad Chungar, Cerro de Pasco

a (m)	ρ (Ω .m)
1	1520.5
2	1129.7
3	844.5
4	1895
5	219.9
6	1707.8

Nota: Presenta la base de datos de más de 15 años de análisis de trabajo de la empresa COPORACIÓN SELETRONICS SAC (Rondón, J. N., 2023).

Mediciones de resistividad – Minera Volcán

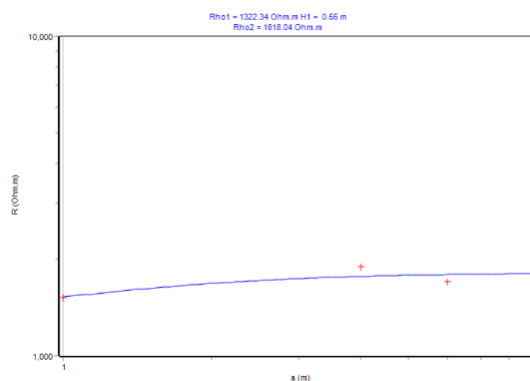


Figura8. Simulación de Estratificación – Minera Volcan, Unidad Parcachata, Cerro de Pasco.

Tabla 6. Mediciones de resistividad – Minera Volcan

Estratificación	
ρ_1	1,322.34 Ω .m
ρ_2	1,818.04 Ω .m
h_1	0.55 m

Fuente: Elaboración propia.

Simulación del Diseño

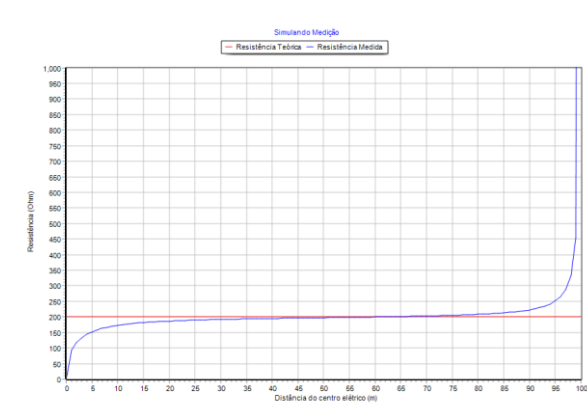


Figura9. Simulación del diseño de la Fig. 1. En Minera Volcan, Unidad Parcachata, Cerro de Pasco

HUD BAY, UNIDAD CONSTANCIA, CHUMBIVILCAS CUSCO.

Ubicación: Provincia de Chumbivilcas, Cusco, Perú.

Clima: Templado, lluvioso y con térmica moderada.

Altura: 4200 m.s.n.m

Tabla 7. Mediciones de resistividad – Minera HudBay, Unidad Constancia, Chumbivilcas Cusco.

a (m)	ρ (Ω .m)
1	200
2	92
3	76
4	71.6
5	69.3
6	67.2
7	65.5
8	63.9

Nota: Presenta la base de datos de más de 15 años de análisis de trabajo de la empresa COPORACIÓN SELECTRONICS SAC (Rondón, J. N., 2023).

Mediciones de resistividad – Minera HudBay

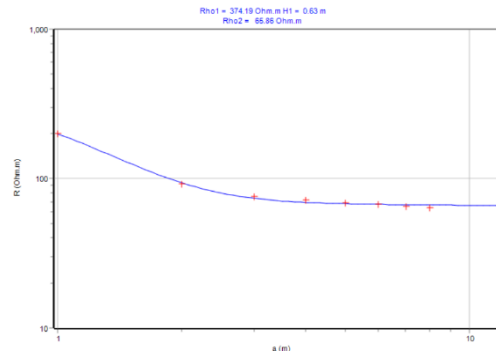


Figura10. Simulación de Estratificación – Minera HudBay, Unidad Constancia, Chumbivilcas Cusco.

Tabla 8. Mediciones de resistividad – Minera HudBay

Estratificación	
ρ_1	374.19 $\Omega.m$
ρ_2	65.86 $\Omega.m$
h_1	0.63 m

Fuente: Elaboración propia.

Simulación del Diseño

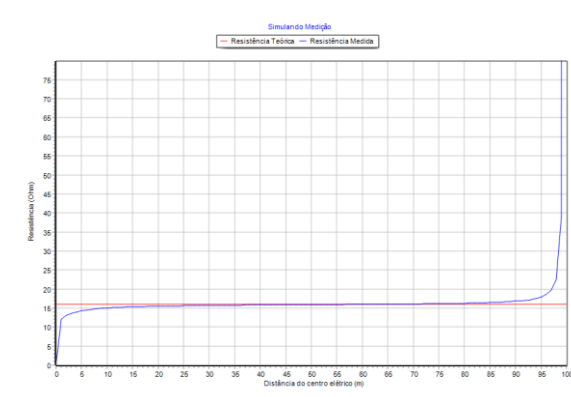


Figura11. Simulación del diseño de la Fig. 1. en Minera HudBay, Unidad Constancia, Chumbivilcas Cusco.

MINERA PODEROSA, PATÁZ LA LIBERTAD.

Ubicación: Provincia de Pataz, región La Libertad, Perú.

Clima: Templado, desértico y oceánico.

Altura: 1,250 m.s.n.m y 3,000 m.s.n.m

Tabla 9. Mediciones de resistividad – Minera Poderosa, Patáz La Libertad.

a (m)	ρ ($\Omega.m$)
1	360
2	450
3	550
4	650
5	730

Nota: Presenta la base de datos de más de 15 años de análisis de trabajo de la empresa COPORACIÓN SELETRONICS SAC (Rondón, J. N., 2023).

Mediciones de resistividad – Minera Poderosa

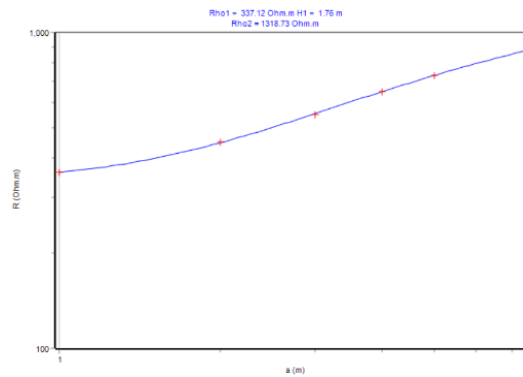


Figura12. Simulación de Estratificación – Minera Poderosa

Tabla 10. Mediciones de resistividad – Minera Poderosa

Estratificación	
ρ_1	337.12 $\Omega.m$
ρ_2	1,318.73 $\Omega.m$
h_1	1.76 m

Fuente: Elaboración propia.

Simulación del Diseño

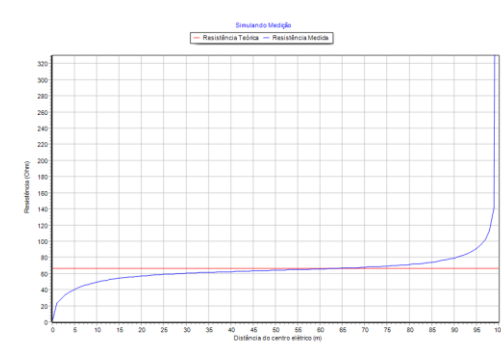


Figura13. Simulación del diseño de la Fig. 1. en Minera Poderosa

MINA EL TORO, SUMMA GOLD CORPORATION, HUMACHUCO LA LIBERTAD.

Ubicación: Huamachuco, departamento de La Libertad, Perú.

Clima: Templado, lluvioso y con amplitud térmica.

Altura: 3200 m.s.n.m y 3600 m.s.n.m

Tabla 11. Mediciones de resistividad – Minera el Toro, Summa Gold Corporation

a (m)	ρ (Ω .m)
1	89
2	100
3	104
4	110
5	118
6	120

Nota: Presenta la base de datos de más de 15 años de análisis de trabajo de la empresa COPORACIÓN SELECTRONICS SAC. [13]

Mediciones de resistividad – Minera el Toro, Summa Gold Corporation

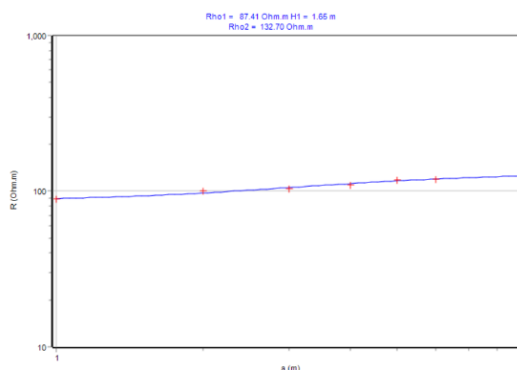


Figura14. Simulación de Estratificación – Minera el Toro, Summa Gold Corporation.

Simulación del Diseño

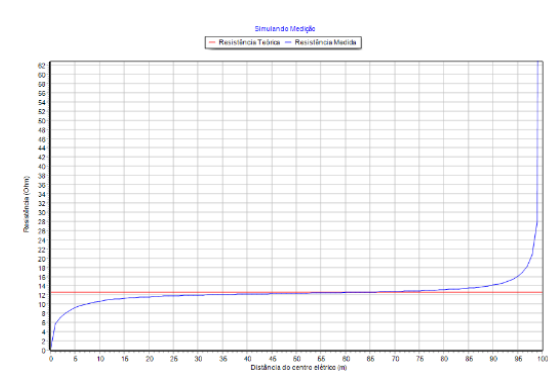


Figura15. Simulación del diseño de la Fig. 1. en Minera el Toro, Summa Gold Corporation.

Tabla 12. Mediciones de resistividad – Minera el Toro, Summa Gold Corporation.

Estratificación	
ρ_1	87.41 $\Omega.m$
ρ_2	132.70 $\Omega.m$
h_1	1.65 m

Fuente: Elaboración propia.

MINERA EL BROCAL, UNIDAD COLQUIJIRCA, CERRO DE PASCO.

Ubicación: Colquijirca, Tinyahuarco, Cerro de Pasco, Perú.

Clima: Templado, lluvioso y con amplitud térmica.

Altura: 4300 m.s.n.m

Tabla 13. Mediciones de resistividad – Minera El Brocal, Unidad Colquijirca

a (m)	ρ ($\Omega.m$)
1	145.1
2	228
3	283.7
4	322.7
5	350.9
6	371.9
7	387.8
8	400

Nota: Presenta la base de datos de más de 15 años de análisis de trabajo de la empresa COPORACIÓN SELETRONICS SAC (Rondón, J. N., 2023).

Mediciones de resistividad – Minera El Brocal, Unidad Colquijirca

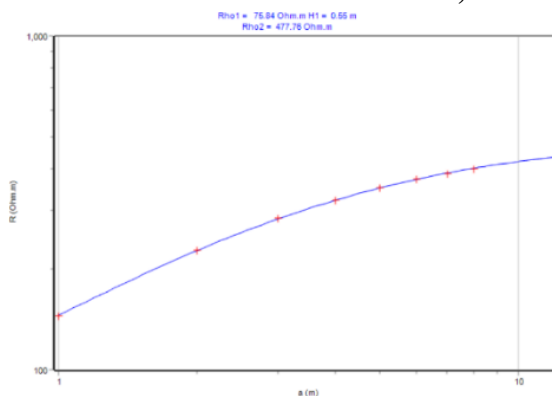


Figura16. Simulación de Estratificación – Minera El Brocal, Unidad Colquijirca.

Tabla 14. Mediciones de resistividad – Minera El Brocal, Unidad Colquijirca.

Estratificación	
ρ_1	75.84 Ω .m
ρ_2	447.76 Ω .m
h_1	0.55 m

Fuente: Elaboración propia.

Simulación del Diseño

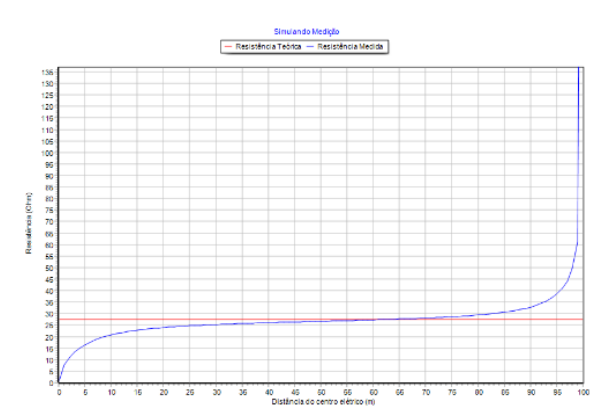


Figura17. Simulación del diseño de la Fig. 1. en Minera El Brocal, Unidad Colquijirca

Resultados:

En los resultados obtenidos de Minera Pampa de Cobre, en Chapi-Arequipa, apreciamos que la resistividad de suelo ha variado en consecuencia de los factores ambientales propios de la región, por ese motivo el software nos ha calculado una resistencia de PAT de 20.8. En la siguiente, Minera Volcán en la Unidad Chungar-Cerro de Pasco, apreciamos que la resistencia obtenida mediante el software se ha incrementado a 49.1. En la minera Volcán en

la Unidad Paracachata-Cerro de Pasco, la resistencia obtenida es equivalente a 200.3. En Minera Hud Bay en la Unidad Constancia-Cusco, la resistencia obtenida es equivalente a 16. Continuando con la siguiente, Minera Poderosa en Pataz-La Libertad, la resistencia obtenida es equivalente a 66. En Minera El Toro en Huamachuco-La Libertad, la resistencia obtenida es equivalente a 12.6. Por último, Minera El Brocal en la Unidad Colquijirca-Cerro de Pasco, la resistencia obtenida es equivalente a 27.4. En base a lo mencionado, se puede observar que las mineras 2, 3 y 7, pese a tener unos factores regionales similares tanto en la altitud, el clima y temperatura, los valores de resistencia de PAT obtenidas mediante el software son variable y erráticos entre ellos.

MINERA PAMPA DE COBRE, CHAPI, AREQUIPA: La resistencia se ha simulado sin la utilización de mejoramiento alguno, resultando 20.8Ω . Con la ayuda de un mejorador de eficiencia mínima de 60%, pH neutro y estabilidad de no más de 5%, con una vida útil de no menos de 20 años se tendrá: 8.32Ω .

MINERA VOLCAN, UNIDAD CHUNGAR, CERRO DE PASCO: La resistencia se ha simulado sin la utilización de mejoramiento alguno, resultando 49.1Ω . Con la ayuda de un mejorador de eficiencia mínima de 60%, pH neutro y estabilidad de no más de 5%, con una vida útil de no menos de 20 años se tendrá: 19.94Ω .

MINERA VOLCAN, UNIDAD PARCACHATA, CERRO DE PASCO: La resistencia se ha simulado sin la utilización de mejoramiento alguno, resultando 200.3Ω . Con la ayuda de un mejorador de eficiencia mínima de 60%, pH neutro y estabilidad de no más de 5%, con una vida útil de no menos de 20 años se tendrá: 80.12Ω . Observar que la resistividad es muy alta, por lo que el ingeniero especialista deberá analizar la dedicación de la aplicación a fin de utilizar la norma correspondiente y ampliar el diseño para cumplir los parámetros que se exijan.

HUD BAY, UNIDAD CONSTANCIA, CHUMBIVILCAS CUSCO: La resistencia se ha simulado sin la utilización de mejoramiento alguno, resultando 16Ω . Con la ayuda de un mejorador de eficiencia mínima de 60%, pH neutro y estabilidad de no más de 5%, con una vida útil de no menos de 20 años se tendrá: 6.4Ω .

MINERA PODEROSA, PATÁZ LA LIBERTAD: La resistencia se ha simulado sin la utilización de mejoramiento alguno, resultando 66Ω . Con la ayuda de un mejorador de eficiencia mínima de 60%, pH neutro y estabilidad de no más de 5%, con una vida útil de no menos de 20 años se tendrá: 26.4Ω . Observar que la resistividad es muy alta, por lo que el ingeniero especialista deberá analizar la dedicación de la aplicación a fin de utilizar la norma correspondiente y ampliar el diseño para cumplir los parámetros que se exijan.

MINA EL TORO, SUMMA GOLD CORPORATION, HUMACHUCO LA LIBERTAD: La resistencia se ha simulado sin la utilización de mejoramiento alguno, resultando 12.6Ω . Con la ayuda de un mejorador de eficiencia mínima de 60%, pH neutro y estabilidad de no más de 5%, con una vida útil de no menos de 20 años se tendrá: 5Ω .

MINERA EL BROCAL, UNIDAD COLQUIJIRCA, CERRO DE PASCO: La resistencia se ha simulado sin la utilización de mejoramiento alguno, resultando 27.4Ω . Con la ayuda de

un mejorador de eficiencia mínima de 60%, pH neutro y estabilidad de no más de 5%, con una vida útil de no menos de 20 años se tendrá: 11Ω .

CONCLUSIONES

Luego de revisar los aspectos teóricos y normativos, realizar las mediciones, verificar las condiciones, analizar y simular un diseño general para todos los casos citados, se tienen las siguientes conclusiones:

- La referencia normativa de base, con la cual se realizan las mediciones tanto de resistividad como de resistencia es el estándar IEEE-81.
- La base teórica, se fundamenta en la norma de referencia y los aspectos revisados de resistividad y resistencia de puesta a tierra.
- Un diseño de puesta a tierra, en general, no debe ser único ni exclusivo de la realidad peruana, debido a la gran variedad de climas y condiciones específicas, además de la gran variedad de resistividad.
- Para un ejemplo académico, de un diseño similar en siete escenarios del Perú, se concluye en podría ser solución en algunos casos y en otros deberá ser condicionado, mejorado o cambiado, según el análisis y criterio experto de un especialista.

REFERENCIAS

- Amy Ferrari. (2019). *Feasibility of Remote Earth Monitoring for SWER Systems*. [University of Southern Queensland]. <https://core.ac.uk/download/478159524.pdf>
- D. E. Putra, Z. Nawawi y M.I. Jambak. (2021). Using Copper-Coated Round Rod Electrodes at Various Depths in Freshwater Marshes. *Journal of Applied Research Technology (JART)*. 2(1). 15-26.
https://www.researchgate.net/publication/366066617_Using_Copper-Coated_Round_Rod_Electrodes_at_Various_Depths_in_Freshwater_Marshes/download
- F. Casas-Ospina. (2010). Tierras: soporte de la seguridad eléctrica. *Icontec*.
- I. Agulleiro & M.M. Lozano. (2005). *Técnicas modernas para la medición de sistemas de puesta a tierra en zonas urbanas*. Universidad Simón Bolívar.
https://www.academia.edu/14835427/T%C3%89CNICAS_MODERNAS_PARA_LA_MEDICION_DE_SISTEMAS_DE_PUESTA_A_TIERRA_EN_ZONAS_URBANAS_EXTRACTO
- IEEE 142-2007, *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*.
- IEEE Std 80-2013, (2013). *IEEE guide for safety in AC substation grounding*.
- IEEE std 81-2012. (2012). *Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System*.
- M. De la Vega Ortega (1999) Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra, *Editorial Limusa*,
- Ministerio de Energía y Minas. Código Nacional de Electricidad Utilización. (2006).
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898623/C%C3%B3digo_Nacional_de_Electricidad_Utilizaci%C3%B3n.pdf
- R. G. Márquez. (1999). La puesta a tierra de instalaciones eléctricas. *MARCOMBO, S. A. Alfaomega*.
https://www.academia.edu/22026944/Puesta_a_Tierra_de_Instalaciones_El%C3%A9ctricas
- Rondón, J. N. (2023). *INFORMACIÓN TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RESISTIVIDAD*. [COPORACIÓN SELECTRONICS SAC.]