



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

**Diseño de un sistema de puesta a tierra para mejorar las
condiciones de operación del área de Cancha de Materiales,
CPSAA.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Castro Maco, Luis Antonio (ORCID: 0000-0002-4492-4278)

ASESOR:

Mg.Dávila Hurtado, Fredy (ORCID: 0000-0001-8604-8811)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

A mi Madre, Padre, Esposa e hija por apoyarme de forma incondicional y así poder lograr un gran objetivo en mi vida ya que sin el apoyo de ellos no hubiese sido posible lograr tal meta de igual manera a Dios ya que me ha brindado claridad en mi vida para seguir avanzando día a día Gracias.

Luis Castro.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le agradezco a Dios por guiarme por un buen camino desde el día que empecé este camino universitario el cual hasta el momento gracias a él lo he sabido llevar de buena forma.

A la universidad Cesar Vallejos por brindarme la oportunidad de seguir avanzando profesionalmente y así seguir creciendo en mi línea de carrera de igual manera a nuestros docentes que nos han ido formando en este camino.

Al docente Fredy Dávila Hurtado ya que fuera de ser un gran asesor ha sido un gran compañero el cual nos ha brindado muy buenos consejos los cuales nos han ayudado a ver este objetivo de una manera más fácil.

A mis padres, esposa e hija ya que han sido el soporte y mi motivación para seguir en la lucha por lograr este objetivo tan importante en mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE GRAFICOS Y FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Sistema de Protección Eléctrica.....	5
2.2. Resistividad según tipo de terreno.....	7
2.3. Medición de resistividad eléctrica.....	9
2.4. Resistencia eléctrica de electrodo.....	10
III. METODOLOGIA.....	11
3.1 Tipo y Diseño de investigación.....	11
3.2 Variables y Operacionalización.....	11
3.3 Población y muestra.....	12
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5 Procedimientos.....	13
3.6 Aspectos éticos.....	14
IV RESULTADOS.....	15

4.1	Diagnosticar las condiciones de operación actuales en el área de cancha de materiales cementos Pacasmayo.....	15
4.2.	Determinar los parámetros de diseño – (resistividad, corriente y resistencia) que permitan definir el sistema de puesta tierra.....	27
4.3.	Seleccionar los materiales electromecánicos que conforman el sistema de puesta a tierra	34
V.	DISCUSIÓN.....	48
VI.	CONCLUSIONES	51
VII.	RECOMENDACIONES.....	52
	ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. <i>Valores de Resistividad en Pozos a Tierra.....</i>	7
Tabla 02. <i>Valores de resistividad de tipos de terrenos</i>	8
Tabla 03. <i>Tablero de Distribución de Área de cancha de materiales.</i>	16
Tabla 04. <i>Cargas Eléctricas Área cancha de materiales, Nivel de tensión 440V. 17</i>	
Tabla 05. <i>Pozos a tierra existente. Área Cancha de Materiales CPSAA.</i>	19
Tabla 06. <i>Mediciones de Resistencia Eléctrica (Ohmios)</i>	23
Tabla 07. <i>Matriz de identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos.</i>	26
Tabla 08. <i>Tensión de seguridad.....</i>	27
Tabla 09. <i>Intensidad de Corriente Nominal (I_n) de cada carga e Intensidad de activación (I_g) de Interruptor Protector</i>	28
Tabla 10. <i>Corriente nominal y de Interrupción en circuitos</i>	30
Tabla 11. <i>Cálculo de Resistencia de puesta a tierra.....</i>	31
Tabla 12. <i>Corriente de cortocircuito de falla a tierra.</i>	36
Tabla 13. <i>Factor de decremento.</i>	36
Tabla 14. <i>Corriente de cortocircuito de falla a tierra por tiempo de duración.</i>	37
Tabla 15. <i>Cálculo de sección de conductor de malla, en mm^2.</i>	39
Tabla 16. <i>Cálculo de la longitud mínima del conductor de la malla de pozo a tierra.</i>	40
Tabla 17. <i>Metrado de materiales para protección puesta a tierra.</i>	41
Tabla 18. <i>Inversión de la Propuesta</i>	42
Tabla 19. <i>Inversión de la Propuesta</i>	45
Tabla 20. <i>Cálculo del Valor Actual Neto.....</i>	46
Tabla 21. <i>Cálculo de la Tasa Interna de Retorno.....</i>	47

ÍNDICE DE GRAFICOS Y FIGURAS

<i>Figura 01</i> , se esquematiza el flujo de la corriente eléctrica en sistemas	6
<i>Figura 02</i> . mediciones de los valores de resistividad eléctrica mediante el método de dos puntas equidistantes.....	6
<i>Figura 03</i> . Conexión de varillas de puesta a tierra	7
<i>Figura.04</i> Conexión a tierra mediante red mallada.....	7
<i>Figura 05</i> . Método de medición de resistividad	9
<i>Figura 06</i> . Cargas Eléctricas en Tableros de Distribución Área Cancha de Materiales, CPSAA.	17
<i>Figura 07</i> . Diagramas Unifilares de Cargas Eléctricas, área cancha de materiales. .	22
<i>Figura 08</i> . Mediciones de Resistencia Eléctrica (Ohmios) por Método de las dos puntas equidistantes	23
<i>Figura 09</i> . Intensidad Nominal de corriente e Intensidad de activación de Corriente de Interruptor Termomagnético.	30
<i>Figura 10</i> . Dimensiones de malla propuesta	37

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CPSAA	:	Cementos Pacasmayo S.A.A
ITE	:	Instituto de Tecnología Eléctrica
INDECI	:	Instituto Nacional de Defensa Civil
SUNAFIL	:	Superintendencia de Fiscalización Laboral
SCADA	:	sistema de control y administración de datos
a	:	Distancia equidistante de electrodos,
b	:	Profundidad de enterrado de los electrodos
R	:	Resistencia eléctrica aparente del terreno.
h	:	Profundidad de la varilla que se entierre.
RTP	:	Resistencia de Puesta a tierra, en ohmios.
Vs	:	Tensión de seguridad, en voltios.
In	:	Corriente nominal del protector del circuito
Ec	:	Tensión de Contacto, en voltios.
Cs	:	Factor de decremento de la capa superficial.
ρ_s	:	Resistividad de la capa superficial del terreno
Ts	:	Tiempo de despeje de la falla.
Ep	:	Tensión de Paso, en voltios.
hs	:	Espesor de la capa superficial, en metros.
Icc	:	Corriente de corto circuito de falla a tierra Potencia de cortocircuito de motores eléctricos
Pcc	:	eléctricos
Ar	:	Área total encerrada por la malla propuesta.
Kon	:	Constante de Onderdonk.

RESUMEN

En la presente investigación: Diseño de un sistema de Puesta a Tierra para mejorar las condiciones de operación del Área de Cancha de materiales, CPSAA, está enmarcado dentro de la línea de investigación de modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos, tiene como objeto de estudio el diseño de un sistema de protección eléctrica de puesta a tierra para los tableros de distribución eléctrica del área de cancha de materiales de Cementos Pacasmayo.

El área de cancha de materiales, área destinada al transporte del material que se emplea como materia prima para la elaboración de cemento, en el cual existen diferentes mecanismos de transporte de material, estos mecanismos son accionados por motores eléctricos. El diseño propuesto es la protección eléctrica de puesta a tierra de éstos.

Se hizo el diagnóstico de las instalaciones actuales, realizando mediciones de resistencia de puesta a tierra a cada uno de los pozos a tierra. Luego se hizo el análisis de los parámetros de protección eléctrica en función a la potencia instalada de cargas eléctricas de cada tablero, estableciendo la corriente de fuga de cortocircuito para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra. Así mismo se hizo la propuesta de diseño de pozo a tierra en malla, dimensionando cada uno de los elementos del sistema, de acuerdo al cálculo realizado, verificando el cumplimiento de la normativa de protección eléctrica.

Finalmente se realizó la evaluación económica de la propuesta, utilizando indicadores, tales como VAN y TIR, indicadores que viabilizan la ejecución de la propuesta.

Palabras Clave: Resistencia de Puesta a Tierra, Corriente de fuga de cortocircuito, Pozo a tierra en malla.

ABSTRACT

In the present investigation called: Design of a Grounding system to improve the operating conditions of the Materials Field Area, CPSAA, it is framed within the line of investigation of modeling and simulation of electromechanical systems, and aims to study the design of an electrical grounding protection system for the electrical distribution boards of the Cementos Pacasmayo materials court area.

The materials court area is an area destined for the transport of the material that is used as raw material for the manufacture of cement, in which there are different material transport mechanisms, these mechanisms are powered by electric motors. The proposed design is the electrical grounding protection of these electric motors.

The current facilities were diagnosed, making grounding resistance measurements to each of the 5 grounding wells. Then the analysis of the parameters of the electrical protection was carried out based on the installed power of the electrical loads that each panel, establishing the short-circuit leakage current for the calculation of the grounding resistance. Likewise, a design proposal for a well to ground mesh was made, dimensioning each of the elements of the system, according to the calculation made, verifying compliance with the electrical protection regulations.

Finally, the economic evaluation of the proposal was carried out, using indicators, such as net present value, internal rate of return, and benefit-cost ratio, indicators that facilitate the execution of the proposal.

Keywords: Grounding Resistance, Short Circuit Leakage Current, Mesh Well

Grou.

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto de Tecnología Eléctrica (ITE) nos dice que el agotamiento y desgaste de las instalaciones eléctricas industriales, la falta de dispositivos de protección, el manejo inadecuado de las instalaciones eléctricas y la sobrecarga eléctrica "son el principio de incendios y electrocuciones que ponen en inseguridad a las personas".

Muchas instalaciones industriales, cuenta con sistemas de protección eléctrica, a los cuales no se les realiza las mediciones periódicas de sus parámetros de operación, debido a que lo que está plasmado en los planes de mantenimiento no se ejecuta. (González, 2018, p.1)

Los sistemas de protección eléctrica, se deterioran con el tiempo debido a que están ubicados en lugares poco transitables, no se realiza la limpieza frecuente, no se hace las mediciones de sus dispositivos, todo ello contribuye a disminuir los niveles de seguridad, y que sólo se podría determinar la eficiencia de los mismos, al momento de ocurrir un accidente eléctrico como es una descarga eléctrica. (International Cooper Asociación Latín América, 2015, p.3).

En el Perú, la empresa supervisora OSINERGMIN autorizo el "Procedimiento de fiscalización y subsanación de deficiencias en instalaciones de media tensión y subestaciones de distribución eléctrica por seguridad pública", el cual autorizaba inspeccionar y fiscalizar la identificación de las imperfecciones en las instalaciones de las redes de media tensión y subestaciones de distribución, así como la subsanación por las representantes.

El Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI, verifica que los sistemas de protección a tierra, tenga el certificado de Medición de los Pozos a Tierra, el cual mantenga el margen de los valores de las mediciones realizadas mediante un protocolo ya dado.

El problema radica en que las verificaciones de INDECI no se realizan con regularidad en las empresas, no se hacen las mediciones correspondientes de los pozos a tierra,

de igual manera los certificados correspondientes no se emiten, representando esto un peligro de suceder un accidente por electrocución.

En instalaciones industriales de la capital del Perú y en sus principales Ciudades, que no cuentan con planes de mantenimiento, ejecución y protocolos de medición de los sistemas de protección eléctrica, han sido obligadas a cerrar sus operaciones, por la Superintendencia de Fiscalización Laboral (SUNAFIL), debido a que los trabajadores realizan sus labores en condiciones de alto riesgo, lo cual, ante una eventualidad, atenta contra su integridad.

CPSAA – (Cementos Pacasmayo), es una planta ubicada en el norte del país en la ciudad de Pacasmayo – La Libertad – Perú, enfocada en la producción de cemento, es una planta moderna en cuanto a los niveles de automatización, utilizando tecnología de punta para el control de sus procesos productivos, sin embargo presenta deficiencias en cuanto a los sistemas de protección eléctrica, y específicamente en los sistemas de protección a tierra, los cuales no cuentan con el dimensionamiento de acuerdo a las cargas eléctricas que protege.

La planta está distribuida por el área de cancha de materiales, recepción del crudo, homogenización, intercambiador de calor, hornos rotativos, molinos verticales, silos de almacenamiento y zona de embolsaduras, los cuales son accionados por medio de motores eléctricos, con tensiones de operación de 440 voltios trifásicos, quienes son controlados por el sistema de control y administración de datos (SCADA); sin embargo, las conexiones de sistema de puesta a tierra, a quienes gradualmente se han ido sumando y conectando las cargas eléctricas, no cumplen con lo que determina el código Nacional de Electricidad, en cuanto a sistemas de protección eléctrica.

Se evidencia, que, en el área de la cancha de materiales, la cual es el inicio del proceso productivo de la elaboración del cemento, donde se ubican las principales fajas transportadoras, tolvas vibradoras, molinos de arcilla, entre otros, el sistema de puesta a tierra es deficiente y diferentes equipos no existen conexiones al sistema de puesta a tierra, lo cual, ante la eventualidad de una fuga de corriente, el sistema no funcione eficientemente, pudiendo ocurrir accidentes a los operarios de la planta, por tal motivo

nos proponemos a dar solución al siguiente problema ¿Cómo mejorar la resistividad del terreno en el Área de Cancha de Materiales - Planta CPSAA, mediante el diseño de un sistema de protección eléctrica de puesta a tierra”

Técnicamente se justifica la realización de la investigación porque los sistemas de protección eléctrica con puesta a tierra en el área de cancha de materiales deben garantizar la operación de manera segura de los equipos de los procesos de transporte de material en la fábrica de Cementos Pacasmayo; en el ámbito social se justifica porque los operarios en el área de cancha de materiales realizarán sus actividades normalmente, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de un accidente por descarga eléctrica.

Este proyecto tiene como objetivo principal Diseñar un sistema de Puesta a Tierra para mejorar las condiciones de operación del Área de Cancha de Materiales - Planta Cementos Pacasmayo

El cual será desarrollado por los siguientes objetivos específicos:

1. Diagnosticar las condiciones de operación actuales en el área de cancha de materiales cementos Pacasmayo
2. Determinar los parámetros de diseño – (resistividad, corriente y resistencia) que permitan definir el sistema de puesta tierra
3. Seleccionar los materiales electromecánicos que conforman el sistema de puesta a tierra.
4. Realizar una evaluación económica del sistema de puesta a tierra mediante los indicadores VAN y TIR.

La hipótesis de la investigación es: el diseño de un sistema de puesta a tierra permite determinar la mejora de las operaciones del área de cancha de materiales, CPSAA

II. MARCO TEORICO.

En los estudios realizados de los sistemas de protección de puesta a tierra, que tienen como objeto de estudio incrementar los valores de conductividad eléctrica del sistema, diseñando configuraciones dentro de lo que estipula el reglamento del sector eléctrico dentro de cada país; por lo cual dichos estudios los tomamos como referencia para el diseño de nuestro sistema de protección de los cuales mencionamos:

Gamboa (2018), en su tesis de grado denominado: **“Mejoramiento de Puesta a Tierra en la Subestación de Transformación de la Compañía Minera Quiruvilca S.A., Santiago de Chuco, La Libertad**, menciona que no tiene una favorable técnica en el sistema de protección de puesta a tierra tipo malla en la subestación de transformación, la cual respalde la seguridad de los especialistas y equipos de operación al mostrar una falla en el medio eléctrico.

Por lo cual nos indica en su conclusión que luego de realizar las mejoras de sistema de puesta a tierra tipo malla encontró algunos pozos sin electrodos los cuales generaban un gran potencial de falla teniendo valores de resistencia en el sistema de 70.8 Ohmios el cual fue mejorado teniendo valores de 6.81 Ohmios.

(ORDOÑEZ, 2010), en su tesis de grado denominado: **“Minimización del efecto de acoplamiento de medición de resistencia de puesta a tierra en una malla de una sub estación eléctrica en zonas urbanas”**, Concluye que cuando las mediciones se realizan en un Angulo de 90° el efecto de acoplamiento es menor. También nos indica que las mediciones que se realizan a mayor distancia, el efecto de acoplamiento aumenta. De igual manera la medición de la resistencia de la malla a 90° asegura una lectura que nos aproxima a la realidad, reduciendo errores en la medición, utilizando menores distancias. De igual manera nos dice que para terrenos de 130 Ω -m debemos considerar un acoplamiento de 0.075 Ω cada 100 metros de medición. En el caso de los terrenos tengan una resistividad mayora 130 Ω -m, considerar un acoplamiento de 0.1 Ω cada 100 metros de medición.

FLORES (2017), en su tesis de grado denominado “Evaluación Del Comportamiento De Puestas A Tierra Tratadas Con Cemento Conductivo Para La Red De Datos En Varias Instituciones Educativas De La Región Puno”, presenta en sus conclusiones que se ha realizado la estimación del comportamiento de las pozos a tierra tratados con cemento conductivo para la Red de Datos de 16 Instituciones Educativas ubicadas en las Provincias de Azángaro, San Antonio de Putina, Huancané, Melgar y Sandia de La Región Puno.

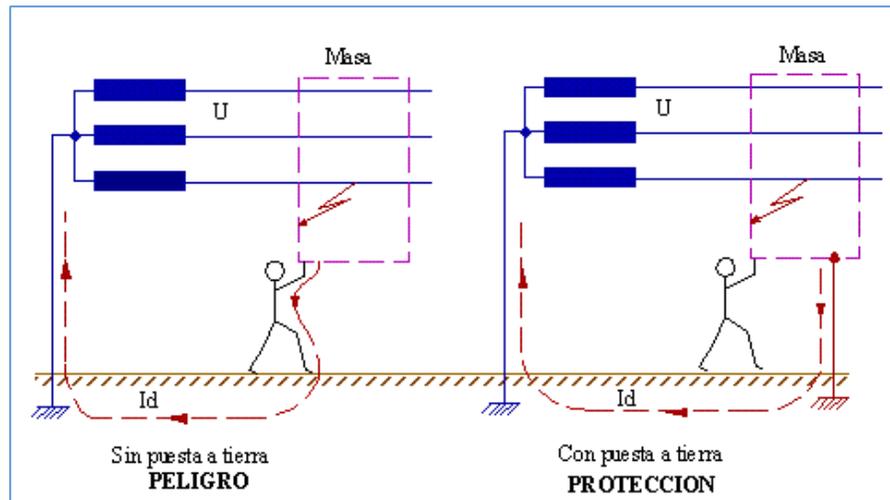
Además, realizó la evaluación de como se comportaron los pozos a tierra que fueron sometidos con cemento conductivo de las redes de datos de las 16 instituciones en la cual se realizó 3 mediciones por cada Sistema de Puesta a Tierra usando el Teluometro TESTECH KT 480D, teniendo un total de 48 mediciones, para lo cual se hizo el análisis estadístico, obteniéndose como valor final con una media de 4.63 Ohm.

2.1. Sistema de Protección Eléctrica.

Se denomina Sistemas de Protección y Puesta a Tierra, aquellos que se utilizan y se aplican a los sistemas eléctricos de potencia, con la finalidad de evitar la destrucción parcial o total del equipo o a las instalaciones en general, siendo la causa de una falla que tiene como origen un evento simple para luego ampliarse y extenderse sin ningún control en forma encadenada. (TELESUP, 2015, p.2).

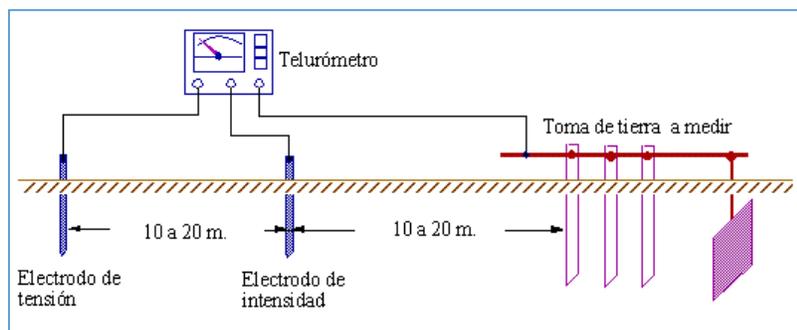
La denominación de puesta a tierra es básicamente a la unión eléctrica, que se realiza entre dos o todas las superficies y dispositivos de material metálico de una instalación y un electrodo, ésta ligadura que suele ser generalmente una placa o una pica de cobre o hierro galvanizado (o un conjunto de ellos), los cuales son enterrados en el suelo, con dispositivos que protegen a la varilla, con la finalidad de conseguir una perfecta unión eléctrica entre las superficies metálicas y tierra, y que debe tener un valor mínimo de resistencia eléctrica posible, Todo esto lo que logra es que el conjunto de la instalación no puedan existir tensiones peligrosas entre las uniones de masas y tierra. (Palacios, 2010, p.34).

En la *figura 01*, se esquematiza el flujo de la corriente eléctrica en sistemas sin y con puesta a tierra, en ella se observa que en el sistema con puesta a tierra el flujo de corriente no atraviesa por el cuerpo del individuo, sino lo hace por el circuito de puesta a tierra.



Fuente: Palacios 2010 - Flujo de corriente en sistema sin y con puesta a tierra

El protocolo de mediciones de puesta a tierra se realiza sin estar el circuito de protección conectado al sistema eléctrico, así como de los electrodos, debido a que lo que se mide es la resistencia entre la varilla con respecto a tierra. En la figura 2, se esquematiza las mediciones de los valores de resistividad eléctrica mediante el método de dos puntas equidistantes. (Ruelas, 2014, p.15).



Fuente: Palacios 2010 - Protocolo de Medición de Puesta a Tierra.

En la tabla 1, se indican los valores que establece el Código Nacional de Electricidad de la resistividad de los pozos a tierras, de acuerdo a la instalación en las que se utilice.

Tabla 1. Valores de Resistividad en Pozos a Tierra

Tipo de Servicio del Pozo a Tierra	Valor de Ohmios Recomendado
Pozo a tierra de Uso Industrial	25 ohmios o menos
Pozo a tierra para cargas generales	15 ohmios o menos
Pozo a tierra para cómputo	5 ohmios o menos
Pozo a tierra para equipo Médico, Equipo de Comunicaciones, Maquinaria Sofisticada,	2 0 1 Ohmio o menos

Fuente: Código Nacional de Electricidad, 2017.

En la *Figura 03*, se muestra las diferentes estructuras de las mallas de puesta a tierra, es decir la unión entre los electrodos a enterrar, notándose conexión de forma lineal, rectangular, triangular.

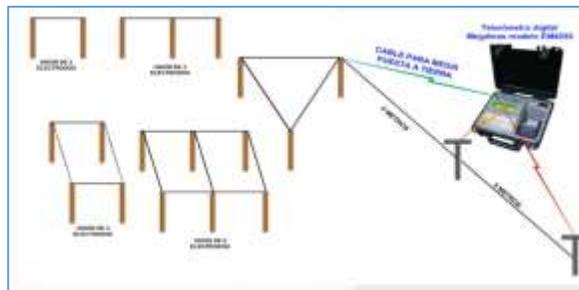


Figura 03. Conexión de varillas de puesta a tierra

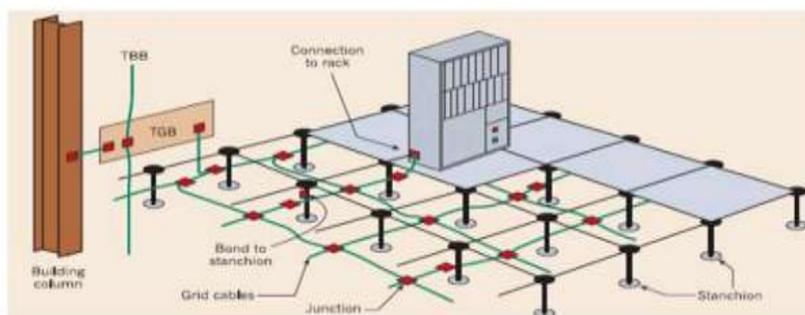


Figura.04 Conexión a tierra mediante red mallada.

2.2. Resistividad según tipo de terreno.

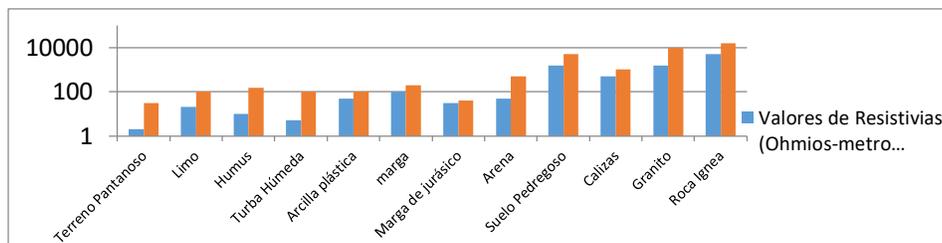
En diferentes lugares, los terrenos tienen en su granulometría diferentes formas, clasificándose los terrenos arcilloso, limos y areno, o la combinación de ellos; según el

tipo de terreno en donde se instale los sistemas de protección de puesta a tierra, se tiene los valores de la conductividad eléctrica del sistema, el cual permite que la corriente que fuga del circuito, logre circular con facilidad, tenga una respuesta en el menor tiempo posible, y de esa manera disminuir los riesgos de accidentes por electrocución de los usuarios u operarios de las instalaciones industriales. (Santos, 2016, p.19).

Tabla 2. Valores de resistividad de tipos de terrenos

Tipo de Terreno	Valores de Resistividad (Ohmios-metro)	
	Mínimo	Máximo
Terreno Pantanoso	2	30
Limo	20	100
Humus	10	150
Turba Húmeda	5	100
Arcilla plástica	50	100
Marga	100	200
Marga de jurásico	30	40
Arena	50	500
Suelo Pedregoso	1500	5000
Calizas	500	1000
Granito	1500	10000
Roca Ignea	5000	15000

Fuente: Sanz, 2010



Fuente: Sanz, 2010 - Valores de resistividad de tipos de terrenos

2.3. Medición de resistividad eléctrica.

Uno de los métodos más empleados para medir el valor de la resistividad eléctrica de un terreno es el Método de Wenner, o también conocido como el método de los cuatro electrodos. El método tiene su principio en la medición del valor de la diferencia de voltaje entre dos electrodos adyacentes, inyectando corriente al terreno por medio de los otros dos electrodos. La metodología de medición se hace colocando en línea recta los cuatro electrodos, con distancias entre ellos de “a”, y enterrados a una profundidad “b” para todos, los cuales se conectan con cables aislados. La profundidad del suelo que se mide, será proporcional a la distancia de la separación que existe entre los electrodos. En la figura 5 se ilustra el Método de medición de la resistividad. (Ruelas, 2014, p.17).

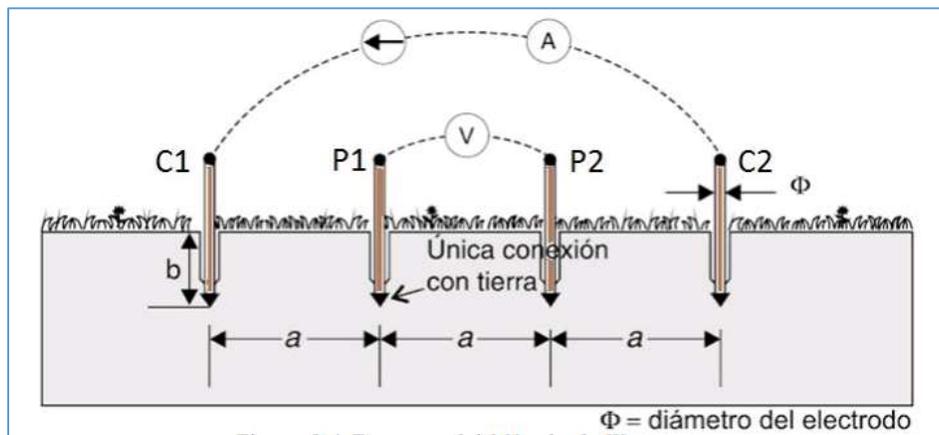


Figura 05. Método de medición de resistividad.

El valor de la resistividad se determina por la expresión:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{\left[1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right]}$$

Dónde:

ρ : Valor de la Resistividad aparente del terreno, en $\Omega \cdot m$

a: Distancia equidistante de electrodos, en metros.

b : Profundidad de enterrado de los electrodos ($b \leq a/20$), en metros

R: Resistencia eléctrica aparente del terreno, en Ω .

2.4. Resistencia eléctrica de electrodo.

Electrodo Vertical

El valor de la resistencia eléctrica del electrodo instalado de forma vertical, se determina por la expresión:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{r} \right) - 1 \right]$$

Dónde:

R: Resistencia Eléctrica, en Ohmios.

L: Longitud de la varilla enterrada, en metros.

ρ : Resistividad del terreno, expresados en Ohmios metros.

r: Radio del electrodo, en metros.

Electrodo Horizontal.

El valor de la resistencia eléctrica del electrodo instalado de forma horizontal, se determina por la expresión:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{\sqrt{2rh}} \right) - 1 \right]$$

R: Resistencia Eléctrica, en Ohmios.

L: Longitud total del contrapeso en m, en forma independiente de en cuantas formas divide, en metros.

ρ : Resistividad del terreno, expresados en Ohmios por metro.

r: Radio del electrodo, en metros.

h: Profundidad de la varilla que se entierre.

III. METODOLOGIA

3.1 Tipo y Diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación.

Esta investigación es aplicada porque el diseño del sistema de puesta a tierra permitió determinar los valores de conductividad del área de cancha de materiales en la fábrica Cementos Pacasmayo SAA.

La Investigación aplicada tiene por objetivo definir los valores de conductividad del terreno, con una configuración adecuada del sistema de protección de puesta a tierra.

3.1.2 Diseño de la Investigación:

No experimental

La investigación se realizó sin tocar deliberadamente las variables de estudio, esta investigación se basó principalmente en la observación de los fenómenos tal y como se muestran en su contexto natural los cuales son analizados posteriormente.

3.2 Variables y Operacionalización.

3.2.1 Variable independiente

Diseño de un sistema de Puesta a Tierra

3.2.2 Variable dependiente

Condiciones de operación en Planta Cementos Pacasmayo.

3.2.3 Operacionalización de la variable

El siguiente ítem se detalla en el anexo N° 01 a fin de conservar la sinopsis de la presente investigación.

3.3 Población y muestra.

3.3.1 Población.

En esta investigación se ha determinado como la población el área de cancha de materiales de Plantas de Cementos de la Región Norte del Perú.

3.3.2 Muestra.

En este proyecto de investigación se tomó como muestra el Área de cancha de materiales de Planta de Cementos Pacasmayo SA.

3.3.3 Muestreo

Elección no probabilística y con intención debido a que el ambiente es accesible y representativo de toda la población.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos.

En esta investigación se aplicaron las técnicas de recolección de datos: observación directa, análisis documental.

Observación directa: Se empleó esta técnica ya que pone al observador en contacto directo con el fenómeno u objeto de estudio.

Mediante esta técnica se realizó el registro de cargas eléctricas de área de cancha de materiales, medición de resistencia de puesta a tierra existente, estado de los equipos en funcionamiento con el fin de determinar información para el diseño del sistema de puesta a tierra.

Análisis Documental: esta técnica se empleó con la finalidad de obtener información de fuentes secundarias libros, boletines, tesis, etc.

mediante esta técnica se obtuvieron teorías como: Teoría de protección de puesta a tierra. Configuraciones de sistemas de protección. Normativa vigente

en sistema de protección de puesta a tierra para realizar la comparación con los valores de conductividad eléctrica

3.4.2 Instrumento de recolección de datos

En esta investigación como instrumento de recolección de datos se utilizaron lista de cotejo y ficha de registro

Lista de cotejo: Se utilizó este instrumento con la finalidad de que lo observado quede registrado mediante hojas de control o check list en los cuales quedo registrada potencia de equipos, intensidad nominal, factor de potencia, tensión de operación, cuenta con conductor de protección a tierra entre otros.

Ficha de registro de datos: se utilizó este instrumento con la finalidad de recopilar los datos de las fuentes consultadas que nos fueron de ayuda en la elaboración de este proyecto.

3.4.3 Validez.

la validez o conformidad de los instrumentos de la presente investigación fue dada por la aprobación de uno a tres expertos en el área los cuales verificaron bajo que parámetros estará el diseño realizado.

3.4.4 Confiabilidad.

La confiabilidad de este proyecto fue dada por los especialistas del área los cuales corroboraron los instrumentos de recolección de datos de igual manera tendrá la equilibrio o solidez de los resultados adquiridos, accediendo mejoras de éxito.

3.5 Procedimientos.

Para la realización de este proyecto de investigación el cual tiene como muestra el área de cancha de materiales de la planta “cementos Pacasmayo” da inicio haciendo uso de la técnica de recolección de datos observación directa, esta técnica nos llevó a elaborar una lista de cotejo (check list) mediante esta lista se identificó los registros de mediciones de conductividad de los pozos a tierra

que realiza la empresa, así como también se hicieron las mediciones de los valores de conductividad eléctrica en el área de cancha de materiales, utilizando el equipo Teluometro calibrado, además del registro de las características técnicas de los motores eléctricos y tableros de distribución eléctrica.

El diseño y selección de los materiales electromecánicos se llevó a cabo mediante cálculos matemáticos de igual manera se obtuvo información de fuentes secundarias como libros revistas científicas entre otros. Al culminar la investigación se realizó la evaluación económica del sistema de puesta a tierra mediante los indicadores VAN y TIR.

Se tuvo la autorización de la empresa para realizar dichas actividades con fines estrictamente académicas.

Método de análisis de datos.

Los datos se analizaron utilizando las ecuaciones que relacionan las intensidades de corriente eléctrica que circulan por la puesta a tierra, con la potencia eléctrica de la carga, así como de las variables económicas, para lo cual se utiliza el cálculo numérico y el Software Microsoft Excel, para el desarrollo de los mismos.

3.6 Aspectos éticos.

Esta investigación se realizó conservando la confidencialidad de los precedentes, documentos y datos con los cuales se elabora el estudio para así evitar cualquier situación o hecho que pueda suponer o llegar a causar algún tipo de disputa entre intereses. Los productos del diseño planteado se realizaron en base a los datos recolectados, sin falsear su valor ni propiedad, de la misma manera los cálculos realizados se encuentran dentro de lo condicionado por las teorías científicas existentes, respecto a los sistemas de protección eléctrica.

IV RESULTADOS

4.1 Diagnosticar las condiciones de operación actuales en el área de cancha de materiales cementos Pacasmayo.

4.1.1 Estado actual de las protecciones eléctricas.

Cementos Pacasmayo es una de Empresa en la Región Norte del Perú, que posee Instalaciones Industriales con altos índices de producción de cemento, así como también de la diversificación del producto para diferentes situaciones; específicamente la Planta Industrial ubicado en la Provincia de Pacasmayo, es una instalación industrial que transforma la materia prima en cemento para uso de construcción.

La planta cuenta con un proceso de producción automatizado, lo cual incrementa la eficiencia energética, la producción, la calidad del producto, la custodia del medio ambiente, la salud ocupacional; sin embargo, existe algunas deficiencias en cuánto a las protecciones de los sistemas eléctricos de las diferentes cargas que operan en el área de cancha de materiales de la empresa.

Los equipos que se encuentran en el área de cancha de materiales, tienen la función del transporte del material, así como la limpieza del mismo, por lo cual las condiciones de operación están sujetas a altos niveles de contaminación de partículas sólidas de tamaño muy pequeño, los cuales a pesar de la protección que poseen los equipos, éstos ocasionan en algunas ocasiones fallas en su operación. En el caso de las instalaciones eléctricas, si bien es cierto que cuenta con los circuitos independizados, las protecciones eléctricas tienen los dispositivos de activación y desactivación eléctrica, no tienen sistemas de protección de puesta a tierra adecuados.

Se verificó que los sistemas de puestas a tierra, no están conectados a todas las cargas eléctricas del proceso en el área cancha de materiales, así mismo

las existentes, no tienen el dimensionamiento que exige el código nacional de electricidad, además que los mantenimientos a éstas instalaciones no tienen una planificación, ni el seguimiento en la verificación de sus parámetros de funcionamiento; en algunos casos las conexiones a puesta a tierra se encuentran en mal estado de conservación, inclusive no existe la continuidad del circuito, esta información se fue obtenida mediante las técnica de observación directa, se muestra evidencias en el anexo N°5.

Características de las cargas eléctricas.

En el área de cancha de materiales se encuentran motores eléctricos que accionan los vibradores de túneles de descarga, fajas de descarga, zarandas, limpiadores, todas estas maquinarias realizan el proceso de transporte de la materia prima para el proceso del cemento. Estas cargas eléctricas que representan una potencia instalada de **465.4 Kw**, distribuidos en 5 tableros de distribución, los cuales controlan y dan marcha a la operación de los motores eléctricos.

En la tabla 3, se muestra la distribución de los tableros de distribución eléctrica.

Tabla 3. Tablero de Distribución de Área de cancha de materiales.

Tablero de Distribución	N° de Cargas Eléctricas	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)	Intensidad Nominal de Corriente (Amperios)
TD1	14	8.4	14
TD2	6	101.9	217.7
TD3	26	15.6	26
TD4	5	71.8	159.8
TD5	4	26.5	47.9
Total	55	224.2	465.4

Fuente: Fuente: CPSAA, 2019

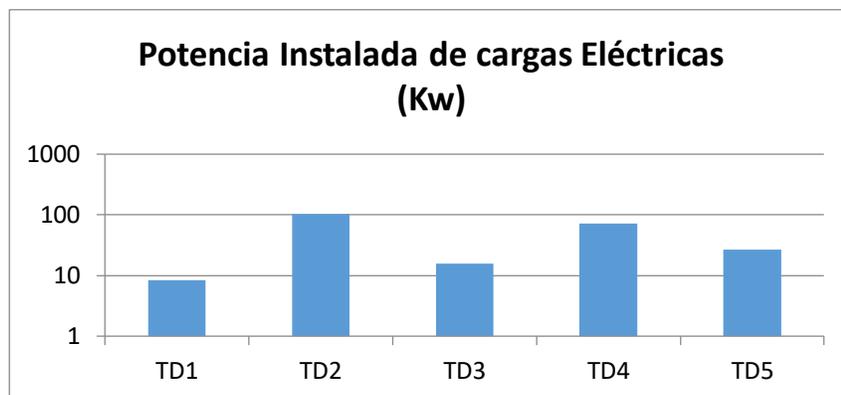


Figura 06. Cargas Eléctricas en Tableros de Distribución Área Cancha de Materiales, CPSAA.

Los motores eléctricos que forman parte del proceso en el área de cancha de materiales, se describen en la tabla 4

Tabla 4. Cargas Eléctricas Área cancha de materiales, Nivel de tensión 440V.

Tablero de Distribución	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)	Potencia Instalada (Kw)	Intensidad de Corriente Nominal (Amperios)
TD1	Vibrador túnel A-1 túnel de descarga	8.40	0.60	1.00
	Vibrador túnel A-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel B-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel B-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel C-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel C-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel D-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel D-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel E-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel E-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel F-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel F-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel G-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel G-2 túnel de descarga		0.60	1.00
TD2	Faja Descarga de camiones	101.90	14.92	24.00

TD2	Faja inclinada a Tripper		26.86	63.00
	Faja Tripper		26.86	63.00
	TRIPPER 1		16.56	40.00
	TRIPPER 2		1.79	3.20
	Zaranda para CAL		14.92	24.50
TD3	Vibrador túnel A-1 Cancha de materiales	15.60	0.60	1.00
	Vibrador túnel A-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel B-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel B-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel D-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel D-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel E-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel E-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel G-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel G-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel H-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel H-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel I-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel I-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel J-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel J-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel K-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel K-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel L-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel L-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
Vibrador túnel M-1 Cancha de materiales	0.60	1.00		
Vibrador túnel M-2 Cancha de materiales	0.60	1.00		
Vibrador túnel N-1 Cancha de materiales	0.60	1.00		
Vibrador túnel N-2 Cancha de materiales	0.60	1.00		
Vibrador túnel P-1 Cancha de materiales	0.60	1.00		
Vibrador túnel P-2 Cancha de materiales	0.60	1.00		
TD4	Faja de descarga a túnel	71.80	17.30	31.00
	Faja inclinada a Tripper		44.50	81.00
	Faja del separador Magnético		4.80	8.80
	Separador Magnético 01		3.00	35.00
	Separador Magnético 02		2.20	4.00
TD5	Compuerta desvió de caliza	26.50	4.80	8.80
	Faja a molino Crudo 2		6.30	11.10
	Faja transportadora		13.20	24.00
	Limpiador de Faja 150 - 275		2.20	4.00

Fuente: CPSAA.

4.1.2 Pozos a Tierra Existentes.

Se realizó la verificación de la conexión del sistema de puesta a tierra a los cinco pozos existentes en el área de cancha de materiales, y la forma en el cual se encuentran agrupados; en la tabla 5, se muestra las cargas eléctricas conectadas a cada pozo a tierra.

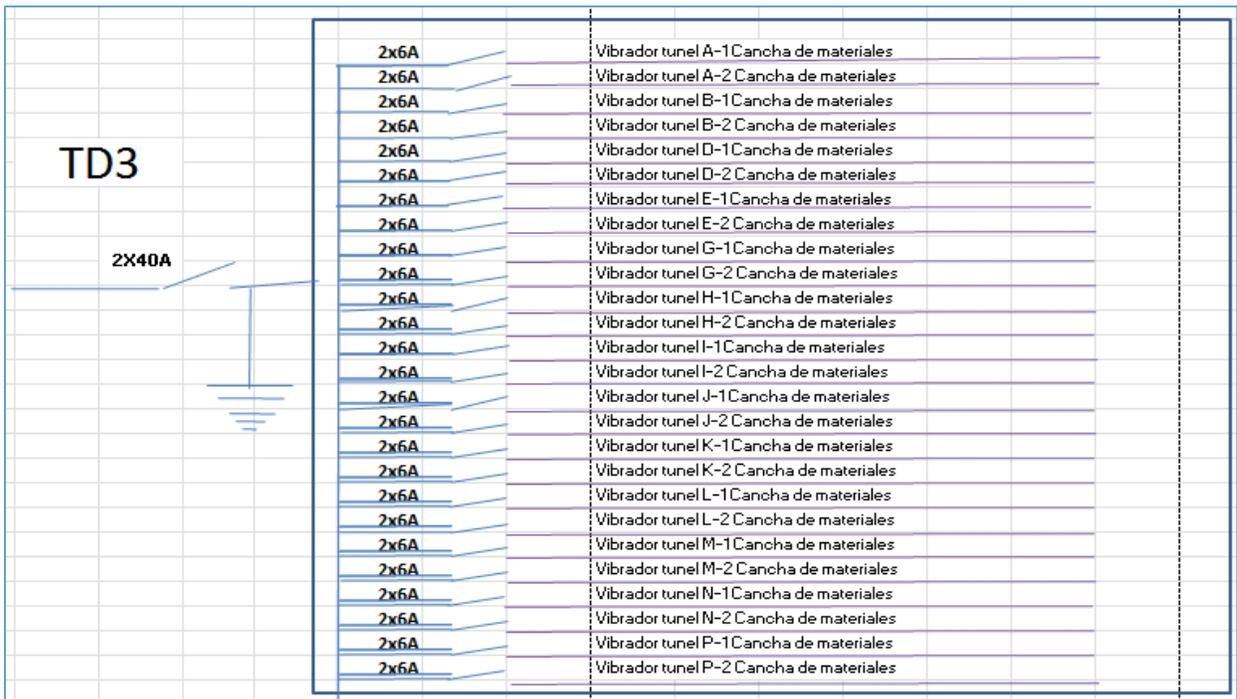
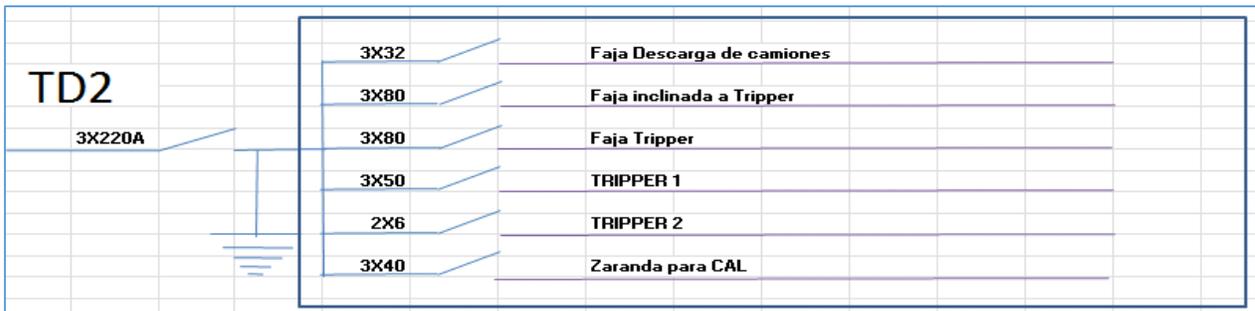
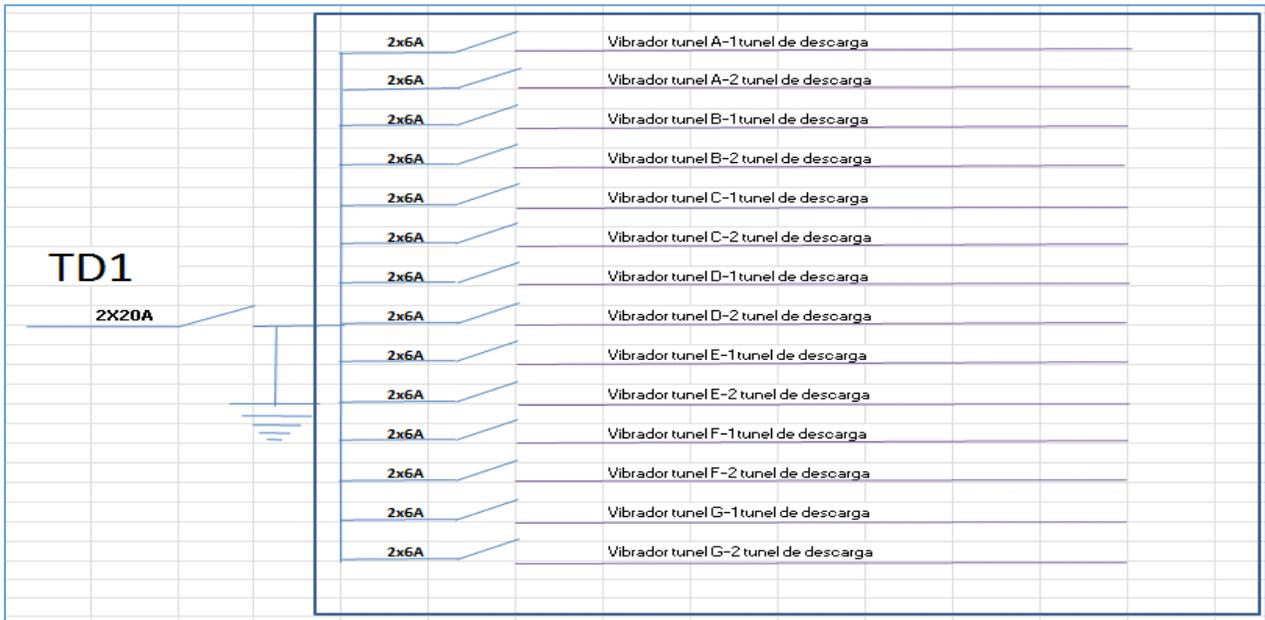
Tabla 5. Pozos a tierra existente. Área Cancha de Materiales CPSAA.

POZO A TIERRA	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)
Pozo 1	Vibrador túnel A-1 túnel de descarga	8.40
	Vibrador túnel A-2 túnel de descarga	
	Vibrador túnel B-1 túnel de descarga	
	Vibrador túnel B-2 túnel de descarga	
	Vibrador túnel C-1 túnel de descarga	
	Vibrador túnel C-2 túnel de descarga	
	Vibrador túnel D-1 túnel de descarga	
	Vibrador túnel D-2 túnel de descarga	
	Vibrador túnel E-1 túnel de descarga	
	Vibrador túnel E-2 túnel de descarga	
	Vibrador túnel F-1 túnel de descarga	
	Vibrador túnel F-2 túnel de descarga	
	Vibrador túnel G-1 túnel de descarga	
	Vibrador túnel G-2 túnel de descarga	
Pozo 2	Faja Descarga de camiones	101.90
	Faja inclinada a Tripper	
	Faja Tripper	
	TRIPPER 1	
	TRIPPER 2	
	Zaranda para CAL	
Pozo 3	Vibrador túnel A-1 Cancha de materiales	15.60
	Vibrador túnel A-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel B-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel B-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel D-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel D-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel E-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel E-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel G-1 Cancha de materiales	

Pozo 3	Vibrador túnel G-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel H-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel H-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel I-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel I-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel J-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel J-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel K-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel K-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel L-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel L-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel M-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel M-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel N-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel N-2 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel P-1 Cancha de materiales	
	Vibrador túnel P-2 Cancha de materiales	
	Pozo 4	
Faja inclinada a Tripper		
Faja del separador Magnético		
Separador Magnético 01		
Separador Magnético 02		
Pozo 5	Compuerta desvió de caliza	26.50
	Faja a molino Crudo 2	
	Faja transportadora	
	Limpiador de Faja 150 - 275	

Fuente: CPSAA.

En la figura 7, se muestran los diagramas unifilares de los tableros de distribución eléctrica del área de cancha de materiales, los interruptores termo magnéticos de cada carga eléctrica que los controlan, así mismo el interruptor termomagnético del tablero de distribución correspondiente.



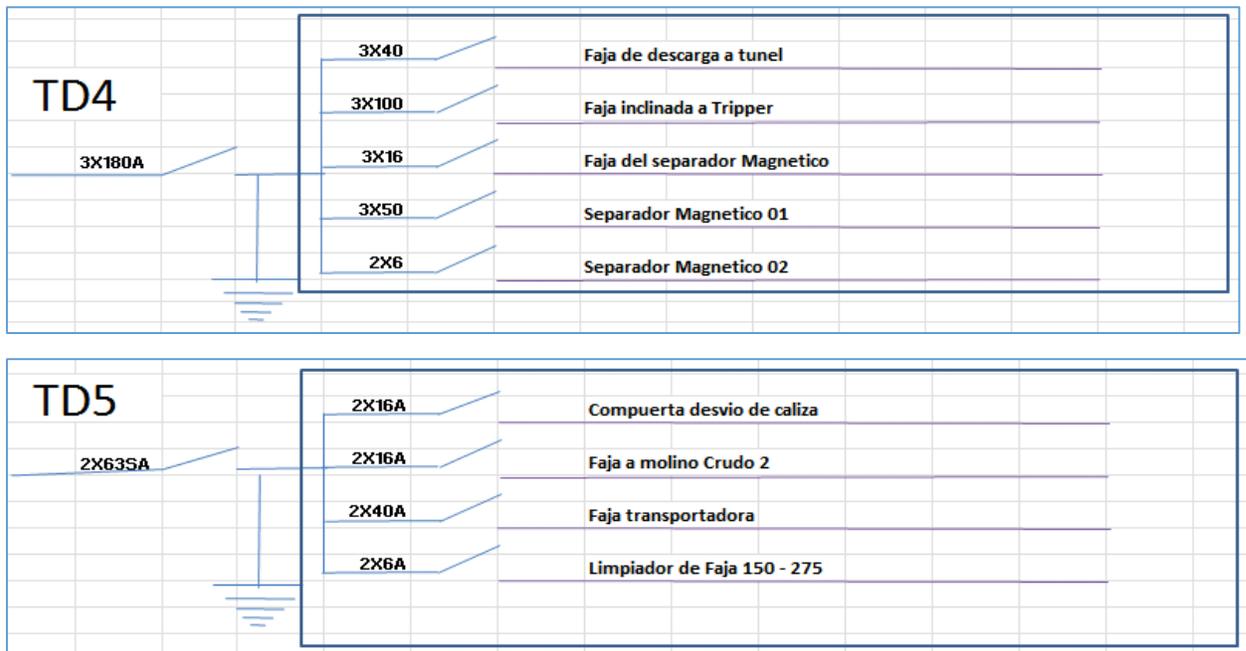


Figura 07. Diagramas Unifilares de Cargas Eléctricas, área cancha de materiales.

4.1.3 Mediciones de resistencia eléctrica de los sistemas de protección de puesta a tierra.

Se realizaron las mediciones de los pozos a tierra existentes, para lo cual se fijó un protocolo de medición que consistió en:

La medición de los pozos a tierra existentes se realizó haciendo uso del Teluometro MTD20kWe – (MEGABRAS) el cual cuenta con certificación vigente, las mediciones se llevaron a cabo bajo el método caída de potencial con dos puntas de medición las cuales son ubicadas equidistantemente. Se llevaron a cabo tres mediciones a diferentes distancias:

1. Distancia 1: de 5 y 10 metros.
2. Distancia 2: de 3 y 6 metros
3. Distancia 3: de 2 y 4 metros.

Teniendo en cuenta que las resistencias eléctricas de los pozos a tierra tienen que ser menores a 25 ohmios para ser considerada conforme, de acuerdo a lo establecido por el código nacional de electricidad suministro 2011 – sección

3/036.B sistemas de puesta a tierra en un punto para las construcciones industriales.

En la tabla 6, se muestra el resultado de las mediciones de resistencia eléctrica a cada uno de los pozos, de acuerdo al protocolo de mediciones establecido.

Tabla 6. Mediciones de Resistencia Eléctrica (Ohmios)

POZO	CARACTERÍSTICAS	MEDICIONES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA (ohmios)		
		5m/10m	3m/6m	2m/4m
1	Varilla cobre vertical 5/8"	21	31	16
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			
2	Varilla cobre vertical 5/8"	16	17	21
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			
3	Varilla cobre vertical 5/8"	27	17	22
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			
4	Varilla cobre vertical 5/8"	16	13	17
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			
5	Varilla cobre vertical 5/8"	26	21	28
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			

Fuente: Mediciones Realizadas

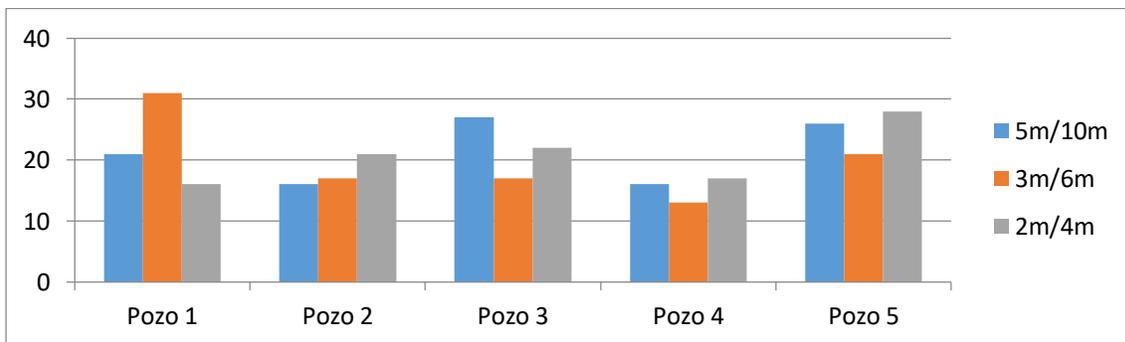


Figura 08. Mediciones de Resistencia Eléctrica (Ohmios) por Método de las dos puntas equidistantes

De la tabla 6, se puede apreciar que, de las mediciones realizadas por el método de las dos puntas equidistantes, (método descrito en la figura N°02) los pozos 2 y 4 tienen valores inferiores a los 25 ohmios, valor mínimo aceptable para una instalación industrial, los pozos 1,3 y 5 no cumplen con dicha normativa, por lo cual, ante una eventualidad de descarga eléctrica, éstos sistemas no realizarían una protección adecuada.

4.1.4 Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos.

Esta matriz de identificación y evaluación de peligros y riesgos, está enmarcado dentro de la norma de seguridad y salud en el trabajo OSHAS 18001, y con ello se logró evidenciar la necesidad de cambios en el sistema de puesta a tierra, ya que representa un riesgo significativo para el personal dentro de la instalación industrial.

La empresa se encuentra en proceso de implementación de las normas ISO en lo que se refiere a sistemas de salud y seguridad en el trabajo, lo cual exige que a sus instalaciones se realice la identificación y evaluación de los peligros y riesgos existentes dentro de la zona de trabajo.

Se elaboró la matriz de identificación y evaluación de peligros y riesgos, en el cual mediante una metodología que establece la norma, se identificó tres potenciales peligros siendo éstos:

- a) Manejo de Herramientas.
- b) Partes de equipos en Movimiento.
- c) Corriente eléctrica.

La probabilidad de ocurrencia de los riesgos, se evalúan por el evento y por la consecuencia que éste pueda ocasionar, y está en función a índices a los cuales se ha establecido calificación de acuerdo a lo que establece la norma de salud ocupacional tales como:

- a) Índice de personas expuestas.
- b) Índice de procedimientos.

- c) Índice de capacitación.
- d) Índice de frecuencia

En la matriz realizada, se identificó que el riesgo de la exposición a la corriente eléctrica, por motivo de no tener los resultados de resistencia de las puestas a tierra menor a 25 ohmios tal como establece el código nacional de electricidad, es el que tiene relevancia significativa, con factor de calificación de inaceptable, en la tabla 7, se muestra los resultados de la identificación de los peligros y la evaluación de los riesgos.

Tabla 7. Matriz de identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos.

Fuente: CPSAA.

Identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de controles																				
CEMENTOS PACASMAYO				PROCESO							ACTIVIDAD: Rutinarias x No rutinarias De emergencia									
AMBIENTE/AREA: Cancha de Materiales PERSONAS INVOLUCRADAS: Operarios Nº PERSONAS EXPUESTAS: 50 FRECUENCIA: Diaria. FECHA: marzo 2020				A.- Guardas de Seguridad.							1									
				B.- Instrucciones de operación del equipo							1									
				C.- Inspecciones de seguridad y salud en el trabajo							3									
				D.- Señalización de Riesgos y Advertencias,							3									
				E.- Charla de 5 minutos,							1,2,3									
				F.- Conexiones eléctricas (diferenciales,termomagnética) y sistema de puesta a tierra. G - Uso de EPP (lentes de seguridad ,guantes antideslizantes ,protector nasal, auricular.							3									
							1,2,3													
Nº	PELIGRO	RIESGO		EVALUACION							CONTROL PROPUESTO	RE-EVALUACION								
		EVENTO	CONSECUENCIA	INDICE	IPE	IPr	IC	IF	P=IPE+IPr+IC+IF	S		GR=P x S		Indice exposición	Indice procedimientos	Indice Capacitación	Indice frecuencia	Probabilidad	Severidad	Grado de riesgo
1	1 a 15	Existen	Capac.	Semestral	Leve	Hasta 14	Aceptable	No Requiere Control Adicional												
2	16 a 30	Parcial	Parcial	Mensual	Dañino/ Reversible	Hasta 20	Moderado	Requiere control Adicional												
3	> 31	No existen	No Capac.	Diario	Muy Dañino/ irreversible	Hasta 36	Inaceptable	Requiere análisis y Control inmediato												
1	Manejo de herramientas	Contacto	Golpe, herida.		2	1	1	3	7	1	7	Aceptable	NO Requiere Control Adicional							
2	Partes de equipo en movimiento	Contacto	Cortes, contusiones, laceraciones		2	1	1	3	7	2	14	Aceptable	NO Requiere Control Adicional							
3	Corriente eléctrica.	Contacto directo e Indirecto.	Quemaduras, shock eléctrico		3	2	2	3	10	2	20	Inaceptable	Requiere Control Adicional	3	1	1	3	8	1	8

4.2. Determinar los parámetros de diseño – (resistividad, corriente y resistencia) que permitan definir el sistema de puesta tierra

4.2.1 Niveles de Tensión de Seguridad.

La tensión de seguridad es la que alcanza las partes exteriores de los motores eléctricos, es decir es aquella que no ocasiona daños a la integridad física de las personas al momento de estas estar en contacto con las maquinas eléctricas, este valor se da de acuerdo a las condiciones en las que se encuentran las instalaciones.

De acuerdo a la normatividad vigente (Código Nacional de Electricidad, tomo V), las tensiones de seguridad lo clasifican en:

Tabla 8. Tensión de seguridad

Nº	ENTORNO	Tensión de Seguridad (voltios)
1	Entorno Seco de bajo riesgo eléctrico	65
2	Entorno Húmedo de Alto Riesgo eléctrico	24

Fuente. CNE.

4.2.2 Resistencia de Puesta a Tierra.

La resistencia de puesta a tierra se utiliza para limitar la corriente de falla para la seguridad de los equipos y el personal en sistemas industriales de igual manera es el parámetro que define el valor de la resistencia de la puesta a tierra en relación al nivel de tensión de seguridad y a la corriente nominal del protector del circuito la cual está definida en la siguiente ecuación.

Se expresa:

$$RTP = \frac{Vs}{2.5 * In}$$

Dónde:

RTP: Resistencia de Puesta a tierra, en ohmios.

Vs: Tensión de seguridad, en voltios.

In: Corriente nominal del protector del circuito, en amperios.

4.2.3 Cálculo de la Resistencia de Puesta a Tierra de los circuitos del área de cancha de materiales.

En función a la ecuación del ítem 4.2.2, se determina el valor de la resistencia de puesta a tierra de los circuitos del área de cancha de materiales, de acuerdo a la asignación de los gabinetes de distribución, determinado en la tabla 4. Los interruptores termomagnéticos, controlan y accionan el suministro de energía eléctrica hacia las cargas eléctricas, y tienen un valor de intensidad de corriente eléctrica superior a la intensidad de corriente nominal de cada carga.

En la tabla 9, se tiene el registro de las intensidades de corriente eléctrica de los interruptores termomagnéticos (I_g), así como de las intensidades de corriente nominal (I_n) de cada carga, y en el cual se verifica que $I_g > I_n$.

Tabla 9. Intensidad de Corriente Nominal (I_n) de cada carga e Intensidad de activación (I_g) de Interruptor Protector

Tablero de Distribución	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	Potencia Instalada (Kw)	Intensidad de Corriente Nominal I_n (Amperios)	Intensidad Activación de Interruptor Termomagnético I_g (Amperios)
TD1	Vibrador túnel A-1 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel A-2 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel B-1 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel B-2 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel C-1 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel C-2 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel D-1 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel D-2 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel E-1 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel E-2 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel F-1 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel F-2 túnel de descarga	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel G-1 túnel de descarga	0.60	1.00	6

	Vibrador túnel G-2 túnel de descarga	0.60	1.00	6
TD2	Faja Descarga de camiones	14.92	24.00	32
	Faja inclinada a Tripper	26.86	63.00	80
	Faja Tripper	26.86	63.00	80
	TRIPPER 1	16.56	40.00	50
	TRIPPER 2	1.79	3.20	6
	Zaranda para CAL	14.92	24.50	40
TD3	Vibrador túnel A-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel A-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel B-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel B-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel D-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel D-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel E-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel E-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel G-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel G-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel H-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel H-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel I-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel I-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel J-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel J-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel K-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel K-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel L-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
	Vibrador túnel L-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6
Vibrador túnel M-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6	
Vibrador túnel M-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6	
Vibrador túnel N-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6	
Vibrador túnel N-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6	
Vibrador túnel P-1 Cancha de materiales	0.60	1.00	6	
Vibrador túnel P-2 Cancha de materiales	0.60	1.00	6	
TD4	Faja de descarga a túnel	17.30	31.00	40
	Faja inclinada a Tripper	44.50	81.00	100
	Faja del separador Magnético	4.80	8.80	16
	Separador Magnético 01	3.00	35.00	50
	Separador Magnético 02	2.20	4.00	6
TD5	Compuerta desvió de caliza	4.80	8.80	16
	Faja a molino Crudo 2	6.30	11.10	16
	Faja transportadora	13.20	24.00	40
	Limpiador de Faja 150 - 275	2.20	4.00	6

Fuente: Autoría Propia.

Tabla 10, en esta tabla se indican las intensidades de corriente de cada tablero de distribución, con su respectivo dispositivo protector (Interruptor termomagnético).

Tabla 10. Corriente nominal y de Interrupción en circuitos

Tablero de Distribución	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)	Intensidad Nominal de Corriente In (Amperios)	Intensidad Activación de Interruptor Termomagnético Ig (Amperios)
TD1	8.4	14	20.00
TD2	101.9	217.7	220.00
TD3	15.6	26	40.00
TD4	71.8	159.8	180.00
TD5	26.5	47.9	63.00

Fuente: CPSAA.

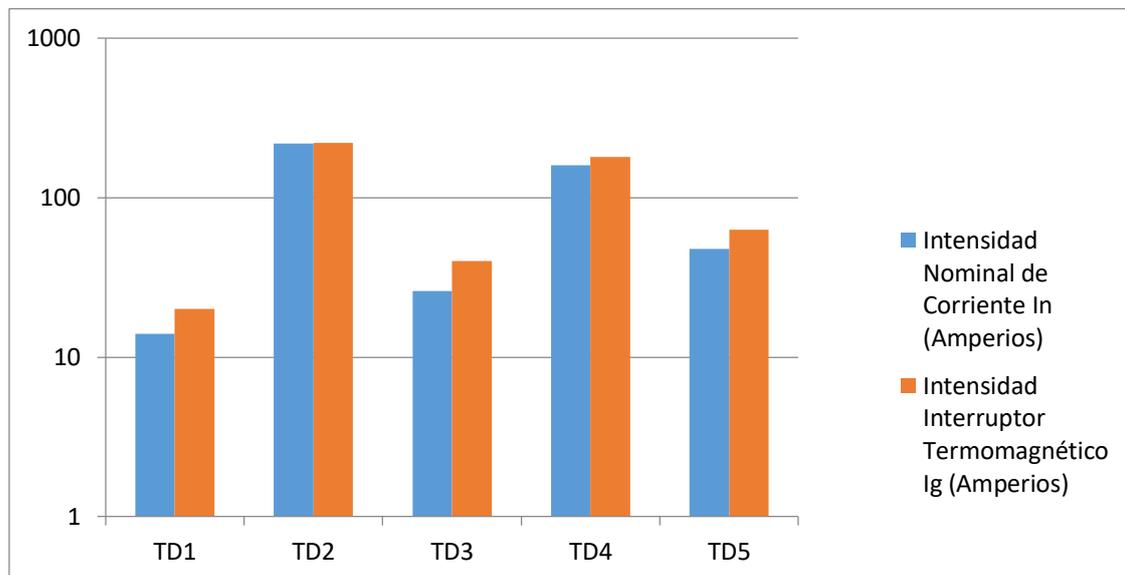


Figura 09. Intensidad Nominal de corriente e Intensidad de activación de Corriente de Interruptor Termomagnético.

Con el valor de la corriente del dispositivo protector del circuito (Intensidad de Activación de Interruptor Termomagnético Ig), se determina el valor de la resistencia de la puesta a tierra.

$$RTP = \frac{Vs}{2.5 * Ig}$$

El área de cancha de materiales se encuentra dentro de un entorno muy contaminado por sólidos en el ambiente, por lo tanto, le corresponde un valor de tensión de seguridad de 65 voltios. Se realizó el cálculo del valor de la resistencia que requiere el sistema para proteger a cada uno de los tableros de distribución del área de cancha de materiales. Con dichos resultados de resistencia de puesta a tierra, se realizó el diseño de las instalaciones de puesta a tierra. Los resultados de resistencia de puesta a tierra, se evidenciaron que varían en función a las cargas eléctricas que controlan y accionan los tableros de distribución eléctrica del área de cancha de materiales de Cementos Pacasmayo.

En la tabla 11, se muestra el cálculo del valor de resistencia de puesta a tierra, por la carga eléctrica de cada tablero de distribución, con un valor de 0.12 Ohmios para el tablero de distribución 3 que es la que tiene mayor potencia instalada. Para el tablero de distribución 1, se calculó un valor de 1.3 Ohmios para el tablero de distribución de menor potencia instalada.

Tabla 11. Cálculo de Resistencia de puesta a tierra

Tablero de Distribución	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)	Resistencia de Puesta a Tierra (Ohmios)	Intensidad Interruptor Termomagnético Ig (Amperios)
TD1	8.4	1.30	20.00
TD2	101.9	0.12	220.00
TD3	15.6	0.65	40.00
TD4	71.8	0.14	180.00
TD5	26.5	0.41	63.00

Fuente: Autoría Propia.

El valor de la resistencia de puesta a tierra es inverso al valor de la potencia instalada en cada tablero de distribución. El diseño de cada sistema de puesta a tierra de cada uno de los tableros se realizó teniendo como referencia el valor máximo del valor calculado de resistencia de puesta a

tierra; y con ello se seleccionó el tipo de configuración para sistema de puesta a tierra.

4.2.4. Tensión de Contacto (Toque).

Es aquella que se produce mediante un evento de fuga de corriente por puesta a tierra, estas corrientes normalmente aparecen en las partes conductoras accesibles. Las tensiones de contacto aparecen entre una mano y uno o dos pies de una persona rozando temporalmente una parte conductora mientras está de pie en la superficie conductora o a un metro de la estructura.

Se determina por la expresión:

$$E_c = (1000 + 1.5C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{T_s}}$$

Dónde:

E_c : Tensión de Contacto, en voltios.

C_s : Factor de decremento de la capa superficial.

ρ_s : Resistividad de la capa superficial del terreno (Ohmio – m).

T_s : Tiempo de despeje de la falla.

El valor del Tiempo de falla, para circuitos de baja tensión, oscila entre 0.2 a 1 segundo. En los sistemas de protección eléctrica con interruptores diferenciales, a baja tensión, el tiempo de respuesta es de 0.80 segundos.

El valor C_s , depende de las características del material del pavimento o de relleno de la superficie, de la resistividad del terreno, y se determina con la expresión:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09}$$

Dónde:

Cs: Factor de decremento de la capa superficial.

hs: Espesor de la capa superficial, en metros.

ρ : Resistividad del terreno.

Reemplazando valores, teniendo en cuenta que el área de cancha de materiales de la empresa Cementos Pacasmayo S.A, la superficie es de loza de concreto ciclópeo (Cemento + Hormigón), de 15 cm de espesor, la resistividad eléctrica del concreto es de 30 Ohmio – m, la resistividad eléctrica del terreno de 22 Ohmio – m (terreno limoso)

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{22}{30}\right)}{2(0.15) + 0.09} = 1 - \frac{0.024}{0.39} = 0.93$$

$$E_c = (1000 + 1.5 * 0.93 * 30) * \frac{0.116}{\sqrt{0.8}} = 1041 * 0.13 = 135.4 V$$

4.2.5 Tensión de Paso.

Es aquella tensión a la que se vería sometida una persona que transite cerca o encima del electrodo del pozo a tierra al momento de que se produzca una fuga de corriente por defecto o falla. Este paso de tensión es la tensión entre dos puntos que es considerado 1 metro de distancia uno de otro ya que se considera la distancia del paso de las personas.

Se determina por la expresión:

$$E_p = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{T_s}}$$

Dónde:

Ep: Tensión de Paso, en voltios.

Cs: Factor de decremento de la capa superficial.

ρ_s : Resistividad de la capa superficial del terreno (Ohmio – m).

Ts: Tiempo de despeje de la falla.

El valor del Tiempo de falla, para circuitos de baja tensión, oscila entre 0.2 a 1 segundo. Los sistemas de protección eléctrica con interruptores diferenciales, a baja tensión, el tiempo de respuesta es de 0.35 segundos.

El valor Cs, depende las características del material del pavimento o de relleno de la superficie, de la resistividad del terreno, y se determina con la expresión:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2hs + 0.09}$$

Dónde:

Cs: Factor de decremento de la capa superficial.

hs: Espesor de la capa superficial, en metros.

ρ : Resistividad del terreno.

Reemplazando valores, se tiene:

$$E_p = (1000 + 6 * 0.93 * 30) * \frac{0.116}{\sqrt{0.8}} = 1167 * 0.13 = 151.7 V$$

4.3. Seleccionar los materiales electromecánicos que conforman el sistema de puesta a tierra

4.3.1 Configuraciones de Sistemas de Protección de Puesta a Tierra.

El sistema de protección puesta a tierra, que se instalan en el área de cancha materiales, protege contra las corrientes de fuga a tierra, en el sector industrial se emplea la configuración del sistema de protección (configuración de malla), el cual debe requerir con una resistencia de puesta a tierra de 25 ohmios, y la descarga de corriente de fuga en todas y cada una de conexiones en los sistemas de protección.

La malla de tierra es un conjunto de conductores desnudos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso la tierra.

4.3.2 Procedimiento de cálculo del sistema de puesta a tierra.

el sistema de malla de puesta a tierra se calculó mediante un procedimiento, el cual está de acuerdo a norma IEEE Sst-80. El cálculo se basó respecto a la potencia activa de la carga eléctrica, calculando la corriente de corto circuito de falla a tierra de cada uno de los 5 tableros, los cuales están conectados a puesta tierra. Mediante el análisis del factor de decremento, se ajustó el valor de la corriente falla. Ya con el valor corregido, Se escogió un tipo de mallas de puesta a tierra con sus respectivas dimensiones, a la vez se calculó el radio equivalente de la sección del conductor de puesta a tierra, longitud del conductor y cálculo de numero de varillas.

a) Cálculo de la corriente de corto circuito de falla a tierra.

Calculo de la corriente de corto circuito, nos da a conocer cuando tienen contacto dos nodos con diferentes potencias. Se ocasiona cuando una fase entra en contacto con neutral, o la fase R entre en contacto con la fase Y, o alguna de las fases entra en contacto con la tierra. Hecho que puede ser debido a una falla de aislamiento. Este cortocircuito ocasiona el aumento repentino de la corriente, a esa corriente se le conoce como corriente de falla de cortocircuito.

La determinación de la corriente de cortocircuito se determina a partir de la expresión:

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3}V}$$

Dónde:

I_{cc}: Corriente de corto circuito de falla a tierra

P_{cc}: Potencia de cortocircuito de motores eléctricos.

V: Tensión Nominal, en Voltios.

Tabla 12. Corriente de cortocircuito de falla a tierra.

Tablero de Distribución	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)	Potencia de Cortocircuito alcanzable (KVA)	Corriente de cortocircuito (Amperios)
TD1	8.4	30	45.63
TD2	101.9	200	304.23
TD3	15.6	50	76.06
TD4	71.8	120	182.54
TD5	26.5	70	106.48

Fuente: CPSAA.

b) Ajuste del valor de corriente de falla.

Según lo establecido por la Norma IEEE Sst-80, el valor de la corriente de cortocircuito de falla a tierra, se debe ajustar con el factor de decremento, debido al tiempo en que permanece la falla.

El valor del ajuste de la corriente de falla, se determina por la expresión:

$$I_{cc'} = D * I_{cc}$$

Dónde:

$I_{cc'}$: Corriente de cortocircuito de falla a tierra por tiempo de duración.

D: Factor de decremento. Al ocurrir la falla a tierra, los interruptores operan eliminando la falla del sistema, por lo cual existe un tiempo de duración de la falla, el cual debe ser menor a 0.1 segundos. La frecuencia eléctrica de 60 Hertz, tiene la duración de 1/60 segundos cada ciclo, por lo cual para valores inferior a 0.1 segundos, se tiene 6 ciclos; en la tabla 13, se determina el factor D, con un valor de 1.25.

Tabla 13. Factor de decremento.

Duración de la falla (Ciclos)	Factor de Decremento (D)
0.5	1.65
6	1.25
15	1.1
30 o mas	1.1

Fuente: Norma IEEE Sst-80

Es decir, el valor de la Corriente de cortocircuito de falla a tierra por tiempo de duración, se calculó en la tabla 14.

Tabla 14. Corriente de cortocircuito de falla a tierra por tiempo de duración.

Tablero de Distribución	Corriente de cortocircuito	Factor de decremento	Corriente de cortocircuito de falla a tierra por tiempo de duración (Amperios)
TD1	45.63	1.25	57.0
TD2	304.23	1.25	380.3
TD3	76.06	1.25	95.1
TD4	182.54	1.25	228.2
TD5	106.48	1.25	133.1

Fuente: Norma IEEE Sst-80

c) Diseño de malla propuesta.

El diseño de la malla consiste en dimensionar el tamaño, el tipo de material, longitud, material de relleno del pozo a tierra, y en función a ello, calcular los valores de resistencia de puesta a tierra, comprobando con los valores de resistencia de puesta a tierra que se determinó para cada uno de los tableros de distribución eléctrica (Ver Tabla 11). En la figura 10, se tiene las dimensiones de la malla propuesta de 1.80 m x 1.80m. Esta propuesta de dimensiones luego se verifica si cumple los valores de resistencia de puesta a tierra de cada uno de los pozos a tierra que se diseñó

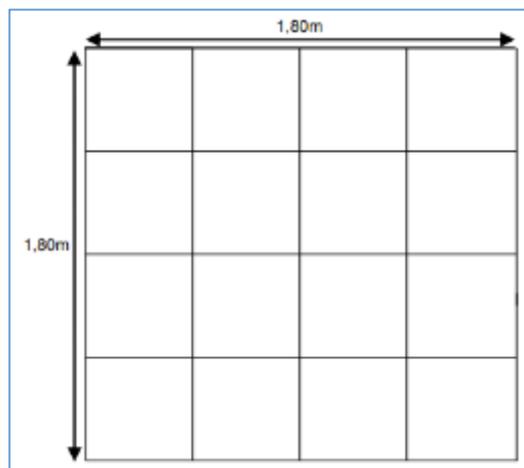


Figura 10. Dimensiones de malla propuesta

Número de filas: 5

Número de columnas: 5

Profundidad: 1.20 m.

Material de relleno: 5% de bentonita y 95% tierra de cultivo.

d) Cálculo de radio equivalente.

El radio equivalente, es el radio de un círculo que tiene la misma área que otra figura geométrica. En el caso del radio equivalente de la malla, es el radio del círculo con la misma área del rectángulo de la malla.

El radio equivalente de la malla de puesta a tierra, se determinó con la expresión:

$$R = \sqrt{\frac{Ar}{\pi}}$$

Dónde:

R: Radio equivalente, en metros.

Ar: Área total encerrada por la malla propuesta.

El área total encerrada de la malla propuesta es de $1.8m \times 1.8m = 3.24 m$

Reemplazando valore se tiene:

$$R = \frac{\sqrt{3.24}}{\pi} = 0.57m$$

e) Cálculo de la sección del conductor.

Está dado por el área del conductor eléctrico, por el cual circula la corriente de cortocircuito de falla, el área de la sección del conductor, expresado en mm², determina la capacidad de transporte de dicha corriente.

Considerando conexiones soldables y una falla con duración menor a los 0.1 segundos, tenemos que el calibre mínimo recomendado para evitar la fusión

del cable se determina con la constante 6.5 c.m./amp., por lo que la sección mínima del conductor se calculó:

$$S = ICC \times Kon$$

S = Sección del conductor en cm. Este sistema, conocido por las iniciales cm ("Circular Mil"), utiliza como medida el área de la sección recta del conductor expresada en milésimas circulares. Esta unidad es el área de un círculo de una milésima de pulgada de diámetro.

Kon = Constante de Onderdonk.

Reemplazando valores, se tiene:

Tabla 15. Cálculo de sección de conductor de malla, en mm².

Tablero de Distribución	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)	Kon	Sección del conductor en "cm"	Sección del conductor en mm ²
TD1	8.4	6.5	3707.79	1.88
TD2	101.9	6.5	24718.59	12.53
TD3	15.6	6.5	6179.65	3.13
TD4	71.8	6.5	14831.15	7.52
TD5	26.5	6.5	8651.51	4.38

Fuente: Norma IEEE Sst-80.

Se utilizó el mínimo recomendable por la norma de Calibre 4/0 AWG.

f) Cálculo de la longitud del conductor.

Se determinó con la expresión:

$$Lc = \frac{Km * Ki * \rho * Icc * \sqrt{t}}{116 + 0.17x \rho m}$$

Dónde:

L: Longitud del conductor enterizado para mantener voltaje de malla dentro de los límites de seguridad.

Km: Factor que depende del dimensionamiento de la malla. Menores a 4m², Km=0.024

Ki: Factor de corrección, para $r < 1\text{m}$, $K_i = 1.1$

ρ : Resistividad del terreno. 22 Ohmios – metro

t: Duración máxima de la falla.

ρ_m : Resistividad de la superficie del terreno. 30 Ohmios – metro.

En la tabla 16, se muestra el cálculo del valor mínimo de la longitud del conductor de la malla de cada uno de los pozos a tierra.

Tabla 16. Cálculo de la longitud mínima del conductor de la malla de pozo a tierra.

Tablero de Distribución	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)	Corriente de cortocircuito de falla a tierra por tiempo de duración (Amperios)	Sección del conductor en mm ²	Longitud mínima del conductor de la malla
TD1	8.4	570.4	1.88	0.865
TD2	101.9	3802.9	12.53	5.768
TD3	15.6	950.7	3.13	1.442
TD4	71.8	2281.7	7.52	3.461
TD5	26.5	1331.0	4.38	2.019

Fuente: Norma IEEE Sst-80

De la tabla 16, se determinó que la longitud mínima del conductor de la malla del pozo a tierra para el tablero de distribución 2, es de 5.76 metros; por lo tanto, la configuración de 1.80 m x 1.80 m, de la malla propuesta (5 filas y 5 columnas), corrobora el cálculo de la longitud mínima.

g) Cálculo del número de electrodos

El número de electrodos de cobre (5/8" diámetro con pureza 99% de cobre), se determinó con la expresión:

$$N = 0.60 * \sqrt{Ar}$$

Dónde:

N: Número de electrodos.

Ar: Área total encerrada por la malla: 3.24m²

Reemplazando valores, se tiene:

$$N = 0.60 * \sqrt{3.24} = 1.08$$

Se utilizó una varilla de cobre 5/8" de diámetro, para hacerse de electrodo principal, el mismo que fue conectada a la malla construida con el conductor 4/0 AWG.

4.3.3 Materiales electromecánicos que conforman el sistema de puesta a tierra.

En la tabla 17, se muestra la cantidad de los materiales que se requieren para la construcción de los 5 pozos a tierra en el área de cancha de materiales de Cementos Pacasmayo.

Tabla 17. Metrado de materiales para protección puesta a tierra.

N°	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Electrodo Coperwell 5/8" 1.20m.	Varilla	5
2	Cable TH 4/0 AWG	Metros Lineales	100
3	Conector 5/8" Cu	Unidad	5
4	Cable TH 10 AWG	Metros Lineales	45
5	Cable TH 8 AWG	Metros Lineales	55
6	Cable TH 4 AWG	Metros Lineales	85
7	Tubería PVC SAP 1" 3.00 m	Unidad	25
8	Bentonita	Bolsa 25 Kg	22
9	Caja de concreto 0.8x0.6x0.6 m	Unidad	5
10	Interruptor temo magnético 20 A, 380 V	Unidad	1
11	Interruptor temo magnético 220A, 380 V	Unidad	1
12	Interruptor temo magnético 40A, 380 V	Unidad	1
13	Interruptor temo magnético 180A, 380 V	Unidad	1
14	Interruptor temo magnético 6A, 380 V	Unidad	1

Fuente: Autoría Propia

4.4 Realizar una evaluación económica del sistema de puesta a tierra mediante los indicadores VAN y TIR

4.4.1 Inversión Inicial de la Propuesta.

Se determinó el costo de la inversión de la propuesta, para lo cual se hizo las cotizaciones de los precios de los materiales a emplear como del costo de la mano de obra y del costo de las mediciones de resistividad de los pozos a tierra; en la tabla 18 se muestra de manera detallada los costos unitarios, el cual asciende a 13519 Soles.

Tabla 18. Inversión de la Propuesta

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/.
Trabajos Preliminares					
1	Excavación de Pozos a tierra: 1.80x1.80x1.20m	Unidad	5	240	1200
2	Excavación para tuberías de puesta a tierra	Metros cuadrados	75	8.5	637.5
2	Instalación Tuberías de cable de puesta a tierra	Metros Lineales	75	12.5	937.5
Subtotal 1					2775
Materiales Eléctricos					
					0
1	Electrodo Coperwell 5/8" 1.20m.	Varilla	5	220	1100
2	Cable THW 4/0 AWG	Metros Lineales	100	3.4	340
3	Conector 5/8" Cu	Unidad	5	12.5	62.5
4	Cable THW 10 AWG	Metros Lineales	45	3.4	153
5	Cable THW 8 AWG	Metros Lineales	55	3.4	187
6	Cable THW 4 AWG	Metros Lineales	85	3.4	289
7	Tubería PVC SAP 1" 3.00 m	Unidad	25	7.5	187.5
8	Bentonita 25Kg	Unidad	22	45	990
9	Interruptor temo magnético 20 A, 380 V	Unidad	1	280	280
10	Interruptor temo magnético 220A, 380 V	Unidad	1	320	320
11	Interruptor temo magnético 40A, 380 V	Unidad	1	280	280
12	Interruptor temo magnético 180A, 380 V	Unidad	1	280	280
13	Interruptor temo magnético 6A, 380 V	Unidad	1	280	280
Subtotal 2					4749
Otros materiales					
1	Caja de concreto 0.8x0.6x0.6 m	Unidad	5	90	450
2	Cemento	Bolsas 42 Kg	7	25	175
3	Arena Amarilla Gruesa	m3	2	50	100
4	Yeso	Bolsas 10 Kg	10	12	120
Subtotal 3					845
Mano de Obra					
1	Instalación de Pozo a Tierra	Unidad	5	450	2250
2	Soldeo de Malla	Unidad	5	210	1050
Subtotal 4					3300
Pruebas					
1	Medición de puesta a tierra	Unidad	5	220	1100
2	Certificación de Puesta a tierra	Unidad	5	150	750
Subtotal 5					1850
TOTAL, S/.					13519

Fuente: INGESA, 2020

4.4.2 Ingresos estimados del proyecto.

Los ingresos del proyecto propuesto, se cuantifica por la disminución de los peligros que fueron evaluados en la tabla 7 de la Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos, es decir que, con el sistema de protección de puesta a tierra, la probabilidad de ocurrencia de un peligro es menor, desde un grado de riesgo 20 hasta un grado de riesgo 8. Esta reducción del grado de riesgo, disminuye la labor de los técnicos electricistas que realizan el mantenimiento del sistema eléctrico.

Actualmente 3 técnicos electricistas realizan la labor de mantenimiento del sistema eléctrico, al tener el sistema eléctrico con menos grado de riesgo, solo se requiere la labor de 2 técnicos electricista, es decir el ingreso económico está dado por el ahorro en el pago de 1 técnico electricista, que equivale a 2000 Soles mensuales.

4.4.3 Egresos del Proyecto.

Los egresos del proyecto, está dado por el mantenimiento al sistema de protección eléctrica de puesta a tierra, y se estima en 2% del costo de la inversión inicial, es decir $0,02 * 13519 = 270.38$ Soles mensuales.

Se consideró 2% del costo de la inversión, para proyectos eléctricos de corto plazo en el cual se realiza labores de verificación y ajuste de conexiones, de acuerdo a lo estipulado en el Sustento de los Porcentajes para determinar el Costo Anual Estándar de Operación y Mantenimiento, de proyectos eléctricos, establecidos por OSINERGMIN, 2015.

4.4.4 Flujo de Caja.

Tabla 19. Inversión de la Propuesta

Item	Mes									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inversión (S/.)	10219									
Ingresos (S/.)		2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Egresos (S/.)		270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38
Utilidades (S/.)		1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62

Fuente: Autoría Propia.

- El personal técnico que dará mantenimiento a los pozos a tierra propuestos esta considero en los egresos y el costo será de S/ 270.38.

4.4.5 Análisis con indicadores económicos.

Valor Actual Neto

Los valores de los ingresos y egresos anuales, llevándolas al mes cero, donde se inicia el proyecto, con una tasa de interés del 1.0% Mensual, que es la tasa de interés para proyectos de inversión del sector privado a corto plazo.

Utilidad actualizada al tiempo 0:

$$Ia = \frac{In * [(1 + i)]^n - 1}{[i * (1 + i)^n]}$$

Dónde:

Ia: Utilidad actualizada al mes 0

In: Utilidad Mensual (Ingresos – Egresos)

i: Tasa de Interés:1.0% Mensual. Es la tasa actualizada del sistema financiero nacional, el cual varía entre 0.8 y 1.2 % mensual, dependiendo del tiempo y la cantidad de la inversión.

n: Número de meses: 9

Reemplazando valores, para lo cual utilizamos el comando VNA, del Software Microsoft Excel.

Tabla 20. Cálculo del Valor Actual Neto

ITEM	MES										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Inversión (S/.)	13519										
Ingresos (S/.)		2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Egresos (S/.)		270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	
Utilidades (S/.)		1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	5/14,815.96
											VNA(0.01;D8:L8)

Fuente: Autoría Propia

Se obtiene: Ia = S/. 14815.96

Por lo tanto, el valor actual neto es la diferencia entre la utilidad actualizada del proyecto (Ia) y el valor de la inversión: 14,815.96 – 13,519= S/. 1,296.96

Tasa Interna de Retorno

Para calcular la tasa interna de retorno, se determina haciendo que los ingresos actualizados con una tasa de interés a determinar son igual a la inversión inicial del proyecto.

$$Inv = \frac{Ia * [(1 + TIR)] ^n - 1}{[TIR * (1 + TIR)^n]}$$

Dónde:

Inv: Inversión Inicial S/. 13,519

Ia: Utilidades Mensuales

TIR: Tasa Interna de Retorno.

n; Número de Meses: 9

Tabla 21. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno

ITEM	MES										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Inversión (S/.)	13519										
Ingresos (S/.)		2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Egresos (S/.)		270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	270.38	
Utilidades (S/.)	-13519	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	1729.62	2.92%
											TIR(C8:L8)

Fuente: Autoría Propia.

Reemplazando valores, y mediante una metodología de aproximaciones o utilizando el software Microsoft Excel, se calcula el valor del TIR, siendo este igual a 2.92% mensual, que representa un valor superior a la tasa de interés mensual de 1.0 % para proyectos de inversión a corto plazo en el sector privado.

Relación Beneficio Costo

La relación beneficio / costo está dado por:

B/C = Utilidades Actualizadas al mes 0 / Inversión inicial del Proyecto

Reemplazando valores: 14815.96 / 13519, es de 1.09.

V. DISCUSIÓN

El empleo del sistema de puesta a tierra con malla, en los sistemas eléctricos de las instalaciones industriales, garantiza que la corriente de cortocircuito de fuga a tierra, sea absorbida por el valor de la resistencia del terreno y la combinación de la malla de puesta a tierra, con valores de acuerdo a la potencia de cortocircuito de todas las cargas eléctricas conectadas a los tableros de distribución eléctrica del área de cancha de materiales, de Cemento Pacasmayo.

El funcionamiento actual de las instalaciones eléctricas, presenta problemas de dimensionamiento y de mantenimiento de las instalaciones de puesta a tierra. El problema del dimensionamiento, se basa en que, en el transcurso de los años, se han ido incorporando nuevas cargas eléctricas, sin embargo, no se ha realizado estudios de los sistemas de protección ante el incremento de las cargas.

En cuanto al seguimiento de las mediciones de los sistemas de puesta a tierra, se tiene solo reportes de mediciones que se realizaron cuando por motivos de remodelación de las instalaciones, se tuvo que trasladar la ubicación de los pozos a tierra, con valores de resistencia de puesta a tierra que no tienen un marco referencial. No se han reportado accidentes de electrocución, debido a que existe personal de seguridad que realiza la verificación de las actividades de los operarios, con señalización de zonas de alto peligro.

En la presente investigación, con el diseño del sistema de puesta a tierra propuesto, éstos presentan valores de resistencia de puesta a tierra óptimos, con respecto a los que fueron determinados a partir de las cargas eléctricas de cada tablero de distribución del área de cancha de materiales, siendo la configuración en malla del sistema de puesta a tierra, la que se fue diseñada para el sistema de protección.

En el diagnóstico realizado, se evidenció que actualmente el sistema de protección eléctrica de puesta a tierra, presenta deficiencias en su funcionamiento. La potencia eléctrica total instalada en el área de cancha de materiales es de 465.4 kW, conectados a cinco tableros de distribución eléctrica, siendo el tablero de distribución 2 la de mayor potencia instalada con 217.7 kW, siendo este pozo a tierra el que se encuentra en malas condiciones; y en las mediciones de resistencia

de puesta a tierra, tiene valor superior a los 25 ohmios, valor que es el reglamentado por el código nacional de electricidad para instalaciones industriales.

Se hizo el diagnóstico de las condiciones de operación actual del área de cancha de materiales en cuanto al sistema de protección eléctrica existente, de las mediciones realizadas por el método de las dos puntas equidistantes, a los 5 pozos de puesta a tierra existentes, los pozos 2 y 4 tienen valores inferiores a los 25 ohmios, el valor mínimo aceptable para una instalación industrial, los pozos 1,3 y 5 no cumplen con dicha normativa, por lo cual, ante una eventualidad de descarga eléctrica, éstos sistemas no realizarían una protección adecuada

En la investigación realizada por Ordoñez, 2010, denominada ““Minimización del efecto de acoplamiento de medición de resistencia de puesta a tierra en una malla de una sub estación eléctrica en zonas urbanas”, se logró obtener valores de resistencia de puesta a tierra de 0.075 ohmios por cada 100 metros de longitud, y el diseño de malla propuesto de dimensiones 2.20 m x 2.20 m, determinó que la corriente de corto circuito de fuga a tierra, se calcule con la potencia de cortocircuito de cada uno de los dispositivos de la sub estación, como es el caso del transformador de potencia de 500 KVA. Al comparar estos resultados con los obtenidos en el área de cancha de materiales, de la fábrica de Cementos Pacasmayo, están en la misma proporción, al utilizar la metodología de diseño que establece la norma IEEE Sst-80.

El diseño planteado de puesta a tierra en malla, se hizo debido a que, en el cálculo de la intensidad de corriente de fuga a tierra debido a la intensidad de corto circuito, se obtenía valores de resistencia de puesta a tierra entre 1 y 4 Ohmios. Así mismo con el cálculo de la tensión de toque y de paso, se logró verificar que este valor de resistencia de puesta a tierra, satisface el valor de la intensidad de corriente de fuga, calculado para cada uno de los cinco tableros de distribución eléctrica.

En el procedimiento de cálculo, se utilizó el que establece la norma IEEE Sst-80, para sistemas de protección eléctrica, y está en función a la potencia instalada en cada sistema a proteger, siendo el dato de inicio del diseño la corriente de corto circuito de falla a tierra de cada uno de los 5 tableros eléctricos a los cuales se hizo la conexión a puesta a tierra.

Mediante el análisis del factor de decremento, se hizo el ajuste al valor de la corriente de falla. El pozo a tierra 2, es el que tiene mayor dimensionamiento, debido a que el tablero de distribución al cual protege, tiene mayor potencia instalada, en el cálculo del radio equivalente, fue de 0.57 metros para una malla de forma cuadrada de 1.80 metros de lado, con 5 filas y 5 columnas, utilizándose la proporción de 5% de bentonita y 95% tierra de cultivo.

La alternativa de uso del sistema de puesta a tierra en malla, en el área de cancha de materiales, a diferencia del uso de sistema de puesta a tierra con diferentes configuraciones con electrodos verticales u Horizontales, es porque el terreno de la zona de la fábrica es de alto valor de resistencia eléctrica, son terrenos con diferentes materiales de relleno, que, en el transcurso de los años, han ido combinándose con material propio para la elaboración de cemento.

VI. CONCLUSIONES

1. Se realizó el diagnóstico del sistema de puesta a tierra del área de cancha de materiales de cementos Pacasmayo, el cual tuvo como valor mínimo de resistencia de puesta a tierra de 16 Ohmios en el pozo 2 y de 28 ohmios en el pozo a tierra 1.
2. Se determinó los parámetros de diseño, en función a la carga eléctrica de cada tablero de distribución del área de cancha de materiales, siendo la resistencia de puesta a tierra RPT, el valor que determinó el tipo de puesta a tierra. Un valor de 0.12 Ohmios para el tablero de distribución 3 que es la que tiene mayor potencia instalada. Para el tablero de distribución 1, se calculó un valor de 1.3 Ohmios de resistencia de puesta a tierra. Así mismo se hizo el análisis de las tensiones de toque y de paso de cada uno de los tableros eléctricos.
3. Se hizo el diseño de la protección eléctrica, la configuración del sistema de protección, que se proyectó es la de pozo a tierra en configuración de malla para el sector industrial, el cual requiere una resistencia del sistema de puesta a tierra de 25 ohmios, y la descarga de la corriente de fuga, de cada una de las conexiones a los sistemas de protección.
4. Se hizo la selección de los materiales de acuerdo a los parámetros de diseño, realizando el Metrado del proyecto.
5. Se realizó la evaluación económica del proyecto, con un valor actual neto de S/. 6,659.24, la Tasa Interna de Retorno de 11.29% mensual, que representa un valor superior a la tasa de interés mensual de 2.0 % para proyectos de inversión a corto plazo en el sector privado. La Relación Beneficio Costo fue de 1.65, valor que hace viable la ejecución del proyecto.

VII. RECOMENDACIONES.

1. Realizar el análisis del efecto de las condiciones climatológicas en los dispositivos de protección eléctrica.
2. Monitorear el sistema de puesta a tierra, con la instalación de sensores que realicen la medición constante de la corriente de fuga en las instalaciones.
3. Capacitación del personal operario en el mantenimiento de los sistemas de protección eléctrica de puesta a tierra.

REFERENCIAS

- González. Sistemas de protección eléctrica de instalaciones industriales, Lima Perú, 2018, 99pp.
- International Cooper Asociación Latín América. Estado Actual de sistemas eléctricos en la industria manufacturera, 2015, 76pp
- SUNAFIL. Inspecciones de condiciones laborales de trabajadores en la industria. Lima Perú, 2017, 56pp.
- Gamboa, Mejoramiento de Puesta a Tierra en la Subestación de Transformación de la Compañía Minera Quiruvilca S.A., Santiago de Chuco, La Libertad, 2018, 67pp.
- ORDÓÑEZ. Minimización del efecto de acoplamiento de medición de resistencia de puesta a tierra en una malla de una sub estación eléctrica en zonas urbanas, 2010, 56pp.
- FLORES. Evaluación Del Comportamiento De Puestas A Tierra Tratadas Con Cemento Conductor Para La Red De Datos En Varias Instituciones Educativas De La Región Puno, 2017, 67pp.
- TELESUP. Sistemas de Protección de puesta a tierra de uso industrial, 2015,, 55pp.
- Palacios. Electrodo para sistemas de protección de puesta a tierra, 2010, 45pp.
- Ruelas. Procedimientos de mediciones de conductividad de pozos a tierra en la región del Bio Bio, Chile, 2014, 67pp.
- Santos. Proyectos de protecciones eléctricas en fábrica de cementos Yura. Arequipa, 2018. 59pp.
- AGUILAR, P. Diseño y construcción de puestas a tierra para el colegio técnico industrial gualaceo, basado en la srecomendaciones practicas para el aterrizamiento en sistemas electricos comerciales e industriales de la IEEE . CUENCA: UPS. 2010
- BOCANCHA, W. Q. (). Diseño y ejecución de una puesta a tierra de baja. LIMA PERU: UNMSM. 2005, 56pp

- Cuenca. Evaluacion y diagnóstico de la malla de puesta a tierra de la subestacion obrapia con niveles de tensión de 69 kv y 13.8 kv perteneciente a E.E.R.S.S.A, para cumplir con los parametros establecidos por la NORMA IEEE. CUENCA ECUADOR: UPS. 2011
- HARPER, E. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión (Segunda ed.). Mexico: LIMUSA... 2015, 77pp
- Harper, E Manual del tecnico en subestaciones electricas. Industriales y comerciales . (Primera Edición ed.). México: LIMUSA. Monroy, 2017, 79pp

ANEXOS

ANEXO1 - Tabla de Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Independiente Diseño de un sistema de Puesta a Tierra	Es el dimensionamiento de los elementos del sistema, que tienen la función de conducir la corriente eléctrica, con gran facilidad, a fin de evitar que genere accidentes por electrocución.	Comprende el análisis de las variables eléctricas que actúan en los elementos de protección de puesta a tierra, en el área de cancha de materiales CPSAA	Resistividad Eléctrica. Tensión. Intensidad de corriente eléctrica. Longitud de conductor Sección de conductor	Ohmios – metro Voltios Amperios. Metros mm2
Dependiente: Conductividad del terreno en el área cancha de materiales CPSAA	Son los estándares de operación de un proceso productivo a condiciones normales del área cancha de materiales	Son los parámetros de índole eléctrico que favorece el funcionamiento en el área de cancha de materiales CPSAA.	Nivel de tensión Potencia energía	Voltios Watt Kilovatio/hora

ANEXO2

GUIA DE OBSERVACION 1

Potencia Instalada en área Cancha de Materiales

Instrucciones: Realice el registro de las cargas eléctricas instaladas en cada uno de los tableros eléctricos, así como de la intensidad de corriente nominal (Amperios). Tensión Nominal de operación. 440 Voltios

Tablero de Distribución	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	Potencia Instalada de cargas Eléctricas (Kw)	Potencia Instalada (Kw)	Intensidad de Corriente Nominal (Amperios)
TD1	Vibrador túnel A-1 túnel de descarga	8.40	0.60	1.00
	Vibrador túnel A-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel B-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel B-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel C-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel C-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel D-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel D-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel E-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel E-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel F-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel F-2 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel G-1 túnel de descarga		0.60	1.00
	Vibrador túnel G-2 túnel de descarga		0.60	1.00
TD2	Faja Descarga de camiones	101.90	14.92	24.00
	Faja inclinada a Tripper		26.86	63.00
	Faja Tripper		26.86	63.00
	TRIPPER 1		16.56	40.00
	TRIPPER 2		1.79	3.20
TD2	Zaranda para CAL	14.92	24.50	
TD3	Vibrador túnel A-1 Cancha de materiales	15.60	0.60	1.00
	Vibrador túnel A-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel B-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel B-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel D-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel D-2 Cancha de materiales		0.60	1.00

	Vibrador túnel E-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel E-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel G-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel G-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel H-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel H-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel I-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel I-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel J-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel J-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel K-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel K-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel L-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel L-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel M-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel M-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel N-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel N-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel P-1 Cancha de materiales		0.60	1.00
	Vibrador túnel P-2 Cancha de materiales		0.60	1.00
TD4	Faja de descarga a túnel	71.80	17.30	31.00
	Faja inclinada a Tripper		44.50	81.00
	Faja del separador Magnético		4.80	8.80
	Separador Magnético 01		3.00	35.00
	Separador Magnético 02		2.20	4.00
TD5	Compuerta desvió de caliza	26.50	4.80	8.80
	Faja a molino Crudo 2		6.30	11.10
	Faja transportadora		13.20	24.00
	Limpiador de Faja 150 - 275		2.20	4.00

GUÍA DE OBSERVACIÓN 2

MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Instrucciones: Realice la medición de la resistencia eléctrica de los 5 sistemas de protección eléctrica del área de cancha de materiales de Cementos Pacasmayo.

Instrumento de medición: La medición de los pozos a tierra existentes se realizó haciendo uso del Teluometro MTD20kWe – (MEGABRAS)

Procedimiento: Método caída de potencial con dos puntas de medición las cuales son ubicadas equidistantemente, tres mediciones a diferentes distancias:

4. Distancia 1: de 5 y 10 metros.
5. Distancia 2: de 3 y 6 metros
6. Distancia 3: de 2 y 4 metros.

POZO	CARACTERÍSTICAS	MEDICIONES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA (ohmios)		
		5m/10m	3m/6m	2m/4m
1	Varilla cobre vertical 5/8"	21	31	16
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			
2	Varilla cobre vertical 5/8"	16	17	21
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			
3	Varilla cobre vertical 5/8"	27	17	22
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			
4	Varilla cobre vertical 5/8"	16	13	17
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			
5	Varilla cobre vertical 5/8"	26	21	28
	Conector 5/8"			
	Conector sólido 35mm ²			
	Caja de registro			

ANEXO3

Estado Actual Del Sistema De Protección Eléctrica – Cancha De Materiales



Sub estación eléctrica – Cancha de materiales



Buzones de conductores de alimentación a motores eléctricos. Área Cancha de materiales



Pozos de puesta a tierra existentes



Pozo de puesta a tierra – parte eléctrica.