



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Análisis correlacional de resistividad y capacitancia con contenido de humedad en arcilla, arena y material base de pavimento, Cusco 2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Palomino Vásquez, Elvis (ORCID: 0000-0002-2522-6327).

ASESORA:

Mgtr.Ing. Poma Gonzales, Carla Griselle (ORCID: 0000-0001-5486-7302)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

HUARAZ - PERÚ

2021

Dedicatoria

En primera dedico a Dios por permitirme tener vida, salud y poder realizar uno más de mis propósitos que es ser Ingeniero civil.

A mis padres Rene y Filomena, por brindarnos su amor, apoyo, comprensión y educación en esta larga y hermosa carrera.

A mis hermanos Mayda, Rene, Hugo por los buenos consejos y la compañía en muchas vivencias hasta el día de hoy.

A mi pareja Alexssandra y mi hija Khalesy quien me motiva día a día para poder cumplir mis metas.

Y por último a toda mi familia y amistades por el cariño, comprensión y apoyo brindado.

Elvis.

Agradecimiento

A Dios todo poderoso a la Virgen Asunta, por darme la bendición de cada día, la vida y la fuerza por luchar por este proyecto.

A mi familia por estar a mi lado incondicionalmente en los momentos difíciles que tuve que pasar en este trayecto y que siempre me motivaron a seguir adelante.

Así mismo agradecer de manera muy especial a mi asesor por el apoyo en este trabajo.

Al Mgtr. Ing. Cesar Arbulu Jurado por su dedicación en la colaboración de este trabajo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|-----------------------------------------------------------|------|
| Caratula..... | i |
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimiento..... | iii |
| Índice de contenidos..... | iv |
| Índice de tablas..... | v |
| Índice de gráficos y figuras..... | vi |
| Resumen..... | vii |
| Abstract..... | viii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION..... | 12 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación..... | 12 |
| 3.2. Variables y operacionalización..... | 12 |
| 3.3. Población..... | 14 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 15 |
| 3.5. Procedimientos..... | 17 |
| 3.6. Método de análisis de datos..... | 19 |
| 3.7. Aspectos éticos..... | 20 |
| IV. RESULTADOS..... | 21 |
| V. DISCUSIÓN..... | 32 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 35 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 36 |
| REFERENCIAS..... | 37 |
| ANEXOS..... | 41 |

Resumen

La investigación consiste en utilizar sensores resistivos y capacitivos para medir la relación de contenido de humedad presente en los distintos tipos de suelos.

El objetivo de la investigación es analizar las correlaciones de los métodos resistivo y capacitivo con la humedad en distintos tipos de suelos. Las variables son: Método de medición y Precisión del método.

El alcance y enfoque es de nivel correlación cuantitativo. Por el uso de una programación arduino es de tipo aplicada. La población para la investigación es: arcilla o limo industrial, arena de río de Huambutio; y material base para pavimento de la zona de Sencca.

En las conclusiones se afirma: tanto el sensor resistivo y sensor capacitivo tienen una baja correlación con la humedad en arcillas; además, ambas estrategias de medición, tienen una correlación para medir la humedad de una arena; y se determina que la mejor y más alta correlación de los métodos estudiados es cuando se trata de un material de base. Por ello, se afirma con base estadística que ambos sensores se prestan mejor para la medición del contenido de humedad en materiales de base, presuponiéndose que este ajuste de correlación está relacionado a la granulometría compacta del material estudiado.

Palabras clave: contenido de humedad, sensor resistivo, sensor capacitivo, pavimento, arduino.

Abstract

The research consists of using resistive and capacitive sensors to measure the relationship of moisture content present in different types of soils.

The objective of the research is to analyze the correlations of the resistive and capacitive methods with humidity in different types of soils. The variables are: Measurement method and Precision of the method.

The scope and focus is quantitative correlation level. By using an arduino programming it is applied type. The population for the research is: clay or industrial limits, sand from the Huambutio river; and base material for paving in the Sencca area.

In the conclusions it is stated: both the resistive sensor and the capacitive sensor have a low correlation with the humidity in clays; Furthermore, both measurement strategies have a correlation to measure the humidity of a sand; and it is determined that the best and highest correlation of the studied methods is when it comes to a base material. Therefore, it is stated on a statistical basis that both sensors are better suited for the measurement of the moisture content in base materials, assuming that this correlation adjustment is related to the compact granulometry of the studied material.

Keywords: moisture content, resistive sensor, capacitive sensor, pavement, arduino.

I. INTRODUCCIÓN

La construcción de pavimentos urbanos en el Perú es una de las actividades de la ingeniería civil que más presupuesto concentra en el área de transportes, además de ser una actividad dinamizadora de la economía, es una actividad que permite el progreso de las ciudades al brindarle superficies de tránsito cómodas y seguras, lo cual impacta también en la economía nacional y local.

En este sentido, la construcción de pavimentos merece un especial cuidado en cuanto a su control de calidad, siendo que, el control de calidad puede ser dividido en sus materiales y los métodos de construcción, así como en los productos terminados como son una base o su base compactada o una carpeta de rodadura terminada.

En la actualidad en el mundo y en Perú, existen métodos tradicionales para la determinación del contenido de humedad de un suelo, siendo los dos grandes grupos de ensayos los gravimétricos y los volumétricos; el uso de esta tecnología es poco aplicada en nuestra zona por su necesidad de conocimientos en programación arduino y montaje y la capacidad adquisitiva de estos productos.

En la actualidad, el desarrollo de la electrónica en el Perú ha alcanzado niveles nunca antes vistos de difusión y acceso, ahora es posible encontrar sensores de buena calidad a un costo realmente accesible. En el Cusco, se ha visto que las obras carecen de un control de calidad satisfactorio y que no se aprovecha la tecnología existente para mejorar dicho control, lo cual permite la facilidad de la investigación, además que los investigadores están cada vez conociendo más el uso de diferentes tipos de sensores y también se evidencia el desarrollo de tecnologías de bajo costo y fácil acceso que se han difundido, sensores eléctricos capaces de determinar el contenido de humedad de un suelo a través de una técnica volumétrica.

La necesidad de la investigación es debido a que se necesita herramientas tecnológicas más económicas, portátiles y de uso simplificado para la ingeniería y ayudará en futuras investigaciones a conocer mejor el uso de sensores arduino para su aplicación en el control de calidad en obra.

Sin embargo, los sensores mencionados, ya sea por su bajo costo o por su nivel de producción no suelen ser calibrados para la determinación precisa de un

contenido de humedad, sino más bien para la estimación de si existe o no humedad en un suelo.

Se planteó entonces el **problema general** cuestionando: ¿En qué medida se correlacionan los métodos resistivos y capacitivos con la humedad presente en distintos suelos? Con el **objetivo general** de analizar las correlaciones de los métodos resistivo y capacitivo con la humedad en distintos tipos de suelos, los **objetivos específicos**: 1) analizar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una arcilla; 2) analizar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una arena; 3) analizar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en un suelo de base; 4) Analizar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en una arcilla; 5) analizar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en una arena; 6) Analizar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en un suelo de base.

La justificación de la investigación es conveniente porque permite brindar a los ingenieros civiles vinculados a obras de pavimentación y carreteras nuevas herramientas de control de calidad para asegurar que sus vías cumplan los requisitos normativos, ahorrándoles, por lo tanto, presupuesto y re manufacturado de tramos esto que permitirá una mejor ejecución de los presupuestos públicos destinados a la construcción de pavimentaciones y carreteras en el ámbito de la ciudad del Cusco.

El valor teórico de la investigación será su capacidad de recopilar el estado del arte de los sensores resistivos y capacitivos, así como el estado del arte del control de calidad de compactación a través de contenido de humedad en las obras de pavimentación.

La utilidad metodológica de la presente investigación está en que determinará un proceso novedoso de control de calidad en la construcción de pavimentos, el cual puede ser replicado en otras áreas de la ingeniería Civil.

También se planteó la hipótesis general: los métodos resistivo y capacitivo tienen una correlación significativa con la humedad en distintos tipos de suelos.

II. MARCO TEÓRICO

En los **antecedentes** de la investigación tenemos las siguientes: En el ámbito internacional se tiene: Okasha & otros en 2021 proponen: Designing Low-Cost Capacitive-Based Soil Moisture Sensor and Smart Monitoring Unit Operated by Solar Cells for Greenhouse Irrigation Management, es este estudio se establece que las estimaciones precisas y rápidas del contenido de humedad del suelo con el propósito de programar el riego son de fundamental importancia. Se pueden lograr mediante el monitoreo continuo del contenido de humedad en el área de la zona de la raíz, lo que se puede lograr a través de sensores automáticos de humedad del suelo. Los sensores comerciales de humedad del suelo siguen siendo costosos para que los utilicen los agricultores, especialmente en los países en desarrollo, como Egipto. Esta investigación tuvo como objetivo diseñar y calibrar un sensor de humedad del suelo de bajo costo fabricado localmente conectado a una unidad de monitoreo inteligente operada por Solar Photo Voltaic Cells (SPVC). El sensor diseñado fue evaluado en suelos de textura **arcillosa** tanto en laboratorio como en ambientes de invernadero controlados. Los resultados de la calibración demostraron una **fuerte correlación entre las lecturas del sensor y el contenido volumétrico de agua del suelo (qV)**. Un mayor contenido de humedad del suelo se asoció con una disminución del voltaje de salida del sensor con un **coeficiente de determinación promedio (R²) de 0.967** y un **error cuadrático medio (RMSE) de 0.014**. Se realizó una prueba de variabilidad de sensor a sensor que arrojó un **coeficiente de variación de 0.045**. Los resultados obtenidos de las condiciones reales demostraron que el sistema de monitoreo para la detección en tiempo real de la humedad del suelo y las condiciones ambientales dentro del invernadero podría ser una herramienta robusta, precisa y rentable para la gestión del riego.

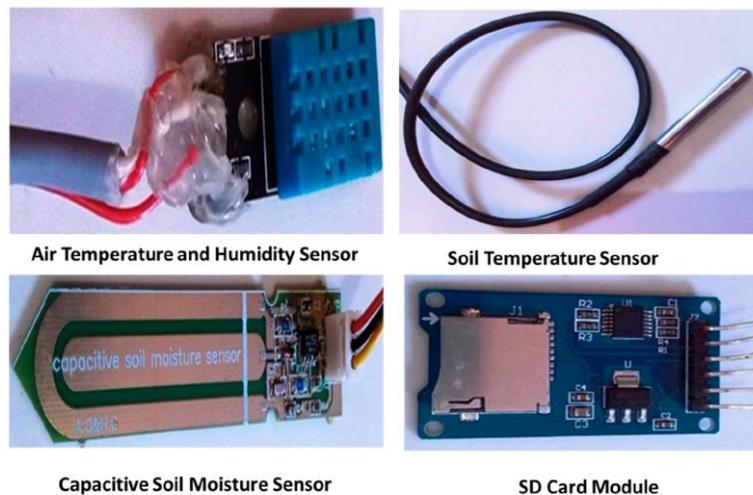


Figure 2. Different hardware components of the smart monitoring unit.

Fuente: Okasha & otros, 2021.

Por otro lado, Jusoh & otros (2021) publican su artículo: “Efficacy of Arduino based low-cost Resistive Sensor in evaluating Soil Moisture from different Soil types collected in the Kelantan-Terengganu plain of Malaysia”, en él se presenta Este artículo presenta un estudio experimental sobre la efectividad del uso de sensores resistivos de bajo costo basados en Arduino para medir el contenido de humedad del suelo de cinco tipos diferentes de suelo. En este experimento, las muestras de suelo se llenaron en los jarrones y se dispusieron de forma completamente aleatoria con tres repeticiones. Las muestras de suelo de los jarrones se tomaron para evaluar la humedad del suelo durante 28 días. El experimento comenzó con muestras de suelo en condiciones de saturación total, seguidas de condiciones de capacidad de campo y terminó en condición seca. Los sensores usados en este estudio fueron calibrados con un método gravimétrico usando un horno. Los resultados revelan que el sensor resistivo de bajo costo basado en Arduino es altamente capaz de medir el contenido de humedad del suelo adecuado de arena fina, suelo arcilloso y tipos de **suelo franco arcilloso arenoso (limo)**. Sin embargo, este tipo de sensor tiene un rendimiento deficiente para los tipos de suelo franco arenoso y franco arcilloso debido al alto contenido de materia orgánica y la baja densidad aparente. El rendimiento de este sensor en suelos de turba y humedales se puede mejorar aún más mediante el uso de una fórmula empírica claramente desarrollada. El sistema desarrollado en este trabajo permite emplear una red de medición de la humedad del suelo a gran escala para el seguimiento y control del riego en futuras investigaciones debido a su bajo costo y gran sencillez. Los suelos utilizados fueron tipo A, B, C, D y E clasificados

como limo, arena limosa, arcilla, arena fina, y, arcilla con arena y limo, respectivamente, se obtuvieron los siguientes parámetros:

Table 3. Parameters to examine the performance of resistive soil moisture sensor

| Characteristics | Soil Type | | | | |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | A | B | C | D | E |
| Equation | $Y=1.4361x-6.3362$ | $Y=0.7203x-25.0010$ | $Y=0.7862x-17.2930$ | $Y=3.0027x-3.0708$ | $Y=2.4638x-6.6156$ |
| R ² | 0.9477 | 0.5970 | 0.8217 | 0.9800 | 0.9765 |
| r | 0.9735 | 0.7727 | 0.9065 | 0.9899 | 0.9881 |
| Accuracy | 128.34 ±57.61 | 102.98 ±33.52 | 111.94 ±49.67 | 241.98 ±261.12 | 117.63 ±39.93 |
| DR | 0.94 ±0.43 | 1.11 ±0.49 | 1.03 ±0.37 | 0.87 ±0.80 | 0.99 ±0.52 |
| MAE | 3.74 ±3.32 | 19.87 ±17.86 | 13.34 ±11.42 | 1.15 ±1.31 | 1.58 ±1.57 |
| RMSE | 3.61 | 19.26 | 12.67 | 1.25 | 1.61 |

Note: R² = Coefficient of Determination, r = Correlation Coefficient, DR = Discrepancy Ratio, MAE = Mean Absolute Error

Otras investigaciones de menos importancia son: Marco Israel Martínez Inca; año 2021; con el tema: “análisis comparativo entre la humedad gravimétrica y la humedad determinada con sensores electrónicos en suelos granulares del Cantón Ambato, provincia de Tungurahua.”, el objetivo general del antecedente mencionado es: Comparar la humedad gravimétrica y la humedad determinada con sensores electrónicos en suelos granulares del cantón Ambato (Martínez, 2021). Provincia de Tungurahua, y los objetivos específicos del antecedente mencionado son: determinar la humedad natural en sitio mediante sensores electrónicos para diferentes suelos granulares del cantón Ambato, determinar la humedad gravimétrica y densidad en sitio, granulometría, densidad seca máxima, humedad óptima y permeabilidad de las muestras de suelo, determinar la humedad óptima mediante los sensores electrónicos de probetas de suelo obtenidas en el ensayo Proctor modificado, contrastar numérica y gráficamente los resultados de los dos métodos utilizados para la medición tanto de la humedad in situ, como de la humedad óptima de las muestras de suelo estudiadas, analizar la relación de la granulometría, permeabilidad y densidad de los suelos con su humedad en sitio, obtenida mediante los métodos indicados. La metodología establecida en el proyecto de titulación se describe como investigación experimental y detalla los siguientes niveles de investigación como: exploratorio, explicativo, descriptivo y analítico. La población de estudio se delimita a suelos granulares del cantón Ambato, provincia de Tungurahua, explícitamente en 15 parroquias rurales. La

muestra son las 15 muestras tomadas en campo en las parroquias rurales, se elaboraron pozos a cielo abierto para la extracción del suelo, eligiéndose una vía por cada parroquia para la ejecución del proyecto. Para georreferenciar cada muestra se fundamenta en el sistema UTM (Universal Transversal de Mercator), detallando que para la provincia de Tungurahua pertenece un DATUM (WGS 84 Zona 17 Sur). En las técnicas de recolección se procede a retirar la capa vegetal y se realiza el ensayo de Densidad de Campo por el método de Cono de Arena bajo la norma AASHTO T 191-14 (2018), a la par de ello se toman lecturas con los sensores electrónicos, detallando que ambos ensayos son realizados en situ. Entonces se toman las muestras de suelo, 50 kg generalmente para los ensayos de laboratorio (Martínez, 2021). Pasar la muestra de suelo a través del tamiz #4 y colocarla en una bandeja para su secado. En cuanto al análisis granulométrico se toma una muestra representativa de suelo, está debiendo estar seca para ser colocada en el juego de tamices en forma descendente, después se coloca la muestra en la tamizadora como se establece en la norma AASHTO T 88 (2019). En sus conclusiones se aprecia que: al comparar la humedad gravimétrica y la humedad determinada con sensores electrónicos, se concluye que el sensor resistivo genera un coeficiente de correlación muy bueno, con un valor $R^2 = 76.63\%$, con un rango de trabajo entre 300 – 1000 en sus lecturas en campo; al comparar la humedad gravimétrica y la humedad determinada con sensores electrónicos, se concluye que el sensor capacitivo genera un rango de trabajo que bordea un valor de 800 con mayor frecuencia, esto permite calificar dicha correlación como aceptable, en un estimado cualitativo para las lecturas en campo. (Universidad César Vallejo, 2017). (Martínez, 2021).

También se tiene como **otro antecedente** la investigación internacional: Jhonny Wbeimar Perea Palacios, 2016; “Diseño De Un Sistema De Monitoreo, Registro Y Control De Temperatura Y Humedad Para Un Cultivo De Invernadero”, objetivo general: Desarrollar un sistema automático que permita el monitoreo de las variables físicas, temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y luminosidad, así como el control de la temperatura y la humedad relativa de un sistema de invernadero con

registro de variables en una base de datos online con lenguaje SQL; objetivos específicos: diseñar un sistema de instrumentación y medida para variables de Temperatura, humedad relativa y humedad del suelo y luminosidad, diseñar un sistema de gestión de datos que permita el almacenamiento y consulta en internet del historial de las medidas, realizar pruebas de control con el fin de verificar el correcto funcionamiento del registro de las variables medidas utilizando el sistema de gestión de datos, validar estadísticamente el sistema de instrumentación y medida. La metodología establecida en el proyecto de titulación se describe como investigación experimental descriptiva cuantitativo (Perea, 2016). La población y muestra será definido por el uso de los sensores empleados en la gama arduino en la práctica de un pequeño invernadero de cultivo. La técnica de recolección de datos es: Implementar el sistema de control, Implementar la base de datos en internet, Conectar el sistema de medidas con la base de datos, Diseño de una interfaz de consulta, gráficas y descargas. Sus conclusiones son: Se desarrolló un sistema de bajo costo y fácil implementación que permite el monitoreo, registro y control de variables físicas (Temperatura, humedad del ambiente, luminosidad y humedad del suelo) de un cultivo de invernadero (Perea, 2016)

También se hace referencia a Luisa Elvira Martínez Acosta; 2018; “estudio del comportamiento de una arena contaminada con metales pesados usando un sensor de humedad”; objetivo general del antecedente fue: Estudiar el comportamiento de suelos contaminados con metales pesados, utilizando sensores de humedad para medir cambios en la frecuencia y resistividad del suelo como resultado de la contaminación; objetivos específicos: identificar las variaciones en la frecuencia del suelo (arena), dependiendo de la concentración de contaminante; observar si la frecuencia del suelo cambia por la cantidad de contaminante acumulado dentro de los poros del suelo; determinar la posibilidad de utilización del sensor para estimar la cantidad de contaminante presente en un suelo; analizar los cambios que se puedan dar dependiendo del grado de saturación de la muestra en estudio (Martínez, 2018). El manejo y montaje del sensor es sencillo. Sólo se debe tener en cuenta el sellamiento del sensor, debido a que este sello se daña con facilidad en la presencia de grandes cantidades de agua. Es decir, cuando se trabaja con humedades volumétricas altas, cercanas al grado de saturación del suelo.

Dependiendo del metal pesado que se vaya a estudiar, se debe realizar una calibración del sensor para obtener los cambios que se necesiten realizar (cambiar

las resistencias y condensadores para poder obtener mejores resultados y disminuir los errores que se puedan presentar). Es importante mantener el grado de compactación del suelo de acuerdo a la humedad volumétrica con que se esté trabajando, pues las variaciones en el grado de compactación hacen aumentar o disminuir las lecturas de frecuencia proporcionalmente al mismo. Se puede concluir que los sensores de humedad podrían ser de útil ayuda para la determinación de concentraciones de un metal pesado que contamine un suelo, debido a los cambios en la resistividad que sufre el suelo, siempre que se trabajen humedades superiores al 28% (Martínez, 2018)

Como siguiente antecedente nacional tenemos: Arnold Alfonso Ramirez Flores, 2017, "Evaluación por métodos no convencionales de caracterización de suelos del distrito de morales, provincia de san Martín - región de san Martín". Objetivo general, en las propiedades físicas, analizar de disímiles tipologías de suelos limitada dentro del sitio de Morales, en la periferia de los jirones: jr. Oxapampa, jr. José gálvez, jr. Callao, psje. Las flores, a través del empleo de técnicas de resistividad eléctrica, en el Morales distrito y provincia de san Martín – en la región de San Martín. Objetivos específicos: situar y ejecutar los muestreos del suelo en el espacio de estudio definida dentro de la localidad de Morales, en el perímetro de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores, en el distrito de Morales – provincia de San Martín – de la región San Martín, examinar la similitud entre la resistividad eléctrica y el contenido humedad de los disímiles tipos de suelo del espacio de estudio, utilizando el método de cotejo de ondas de cortante, analizar la analogía entre la resistividad eléctrica y el peso específico de los distintos tipos de suelo del espacio de estudio, El tipo de indagación fue descriptivo, sobre la que se buscó detallar y analizar las tipologías geológicas y geotécnicas de los suelo (Martínez, 2018). El diseño no fue experimental, es decir, fue de tipo no experimental y lo que se hace en este tipo de investigación no experimental es estar a la mira d ellos fenómenos tal y como se dan en su contexto nativo como: geológicos, hidrológicos e hidráulicos y geológicos-climáticos, la población incumbe a los suelos Morales del distrito, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín, en el sector delimitado en el plano anexo. la muestra incumbe a los suelos de los perímetros de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores Morales distrito, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín, en el sector delimitado adjunto. Los instrumentos para la recolección de datos y pesquisa son:, Análisis Granulométrico por Tamizado Contenido de

Humedad, Límite Líquido y Límite, , Peso Específico del Sólido Clasificación Unificada de Suelos, Sólidos y su gravedad Específica, además, Peso Volumétrico, y también Corte Directo, destinada para la elaboración de cálculos en la capacidad portante del suelo en ensayo. En conclusión: se ha sido concluyentes al afirmar que la zona de investigación para la indagación, limitada por los: Jrs. Jose Gálvez, Oxapampa, Santa Lucía, en la localidad de Morales. En conclusión: se ha confirmado con este trabajo, que a través de prospección geoelectrica y mediante el registro de resistividad real, se puede concernir la calidad geomecánica de los materiales para disímiles planes de ingeniería. Sobre las Bases teóricas se explica la información necesaria y más importante para considerar en la investigación, como: Método resistivo; se basa en la variación de la intensidad de corriente que circula por un material según su contenido de humedad, es decir, se mide de manera indirecta la variable en cuestión. Se tiene un voltaje determinado entre dos electrodos, por los cuales circula una corriente que permite calcular la resistencia y, por lo tanto, la conductividad eléctrica del cuerpo sensado. La variación de la resistencia eléctrica en materiales sólidos es distinta según su contenido de humedad; para materiales con bajo contenido de humedad, la resistencia cambia de manera muy brusca, en contraste con lo que sucede cuando la humedad es muy alta, donde las variaciones son mínimas, en consecuencia, la precisión de un sensor resistivo será mayor mientras menor sea el contenido de humedad del cuerpo medido. En términos prácticos, y para distintos materiales, este método arroja resultados con una precisión cercana al $\pm 3\%$ para valores de humedad no mayores al 30%. Las teorías aplicadas durante la investigación fueron: la resistividad eléctrica, la capacitancia eléctrica, el contenido de humedad de suelo. En primera instancia, se toma como referencia un electrodo hemisférico enterrado a ras del material (para nuestro caso en un fardo) y se asume al material como un medio homogéneo conductor (semi-infinito) de resistividad ρ . El principio de medición con dos electrodos, se basa exactamente en el mismo principio que se ha planteado anteriormente, esto quiere decir que mientras una distancia D sea mucho mayor al radio a de un electrodo A ($D \gg a$) o una distancia D sea mucho mayor al radio b de un electrodo B ($D \gg b$), la distribución de corriente se hace más uniforme, donde, según el principio de superposición si entonces la resistencia mutua entre los electrodos. Sensores e instrumentos resistivos, un elemento o dispositivo es un sensor que es capaz de accionar ante permutas en una variable determinada, comúnmente

transmutandola en cambios sobre una variable segunda, que es menos difícil de ser interpretada como un valor de medida (Lekić, 2018).

Para concebir mejor esta enunciación, un ejemplo a examinar: un sensor de temperatura es un termómetro de mercurio. Lo que forja este elemento es reaccionar ante cambios en esta variable (el mercurio se dilata o contrae como la temperatura cambia, en eso reside la reacción) y convirtiéndose en permutas en otra variable (una columna que alcanza cierta altura en el elemento). Al través de esta segunda variable logramos “leer” o descifrar en un instante dado, el valor de la temperatura.

Para el caso de este libro (Jyostsna, 2018), en el que tratamos con sistemas de medida mediados por la electrónica, un sensor como el termómetro que acabamos de describir no es tan útil. En su lugar nos interesan particularmente aquellos sensores en el que pueden “traducir” una determinada variable a medir en una variable de carácter eléctrico, como voltaje, resistencia o corriente, entre otros. Nos concentraremos, por lo tanto, en sensores con esta característica. Sobre los tipos de sensores, para explicar un poco más en detalle el funcionamiento de los sensores, es de utilidad hacer alguna clasificación de estos. Sin embargo, es posible clasificar los sensores de acuerdo a diferentes criterios: la variable que miden (temperatura, presión, humedad, distancia, velocidad, etc.), la naturaleza de la variable de salida (digitales y analógicos) o el tipo de variable que se tiene a la salida (resistivos, capacitivos e inductivos). Este último criterio es de utilidad, porque según la variable de salida, la forma de uso del sensor y el acondicionamiento que él puede requerir varía. Por este motivo analizaremos esta última clasificación (Kang, 2017).

En caso de los Sensores resistivos. El Sensor SH-6/120, Measure Instruments, es un instrumento tipo lanza, su zona sensible para medir humedad es entre la punta y el cuerpo de la sonda. Posee un solo lector y distintos sensores intercambiables para determinar humedad en productos como en forraje, heno, alfalfa, fardos y rollos de pasto; también se tiene; el lector MI-7, Measure Instruments que almacena en la memoria las 25 últimas mediciones y éstas no se pierden al sacar la batería. Además, es programable para algodón, papel, tierras, maderas y mediciones superficiales y por último el sensor Digital TDT, Acclima (Khattab, 2016). El sensor de humedad de suelo Acclima Digital TDT es el primer sensor de humedad en incorporar la precisión de transmisiometría de dominio de tiempo digitalizada en un instrumento de bajo costo,

proporcionando lecturas absolutas de gran precisión en humedad de suelo bajo cualquier condición de temperatura y química de suelo bajo cualquier cultivo. Acerca del enfoque conceptual en el que enmarca esta investigación es la mecánica de suelos, particularmente aplicada a los pavimentos urbanos (Ramírez, 2017).

III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y Diseño de la Investigación

Tipo de investigación

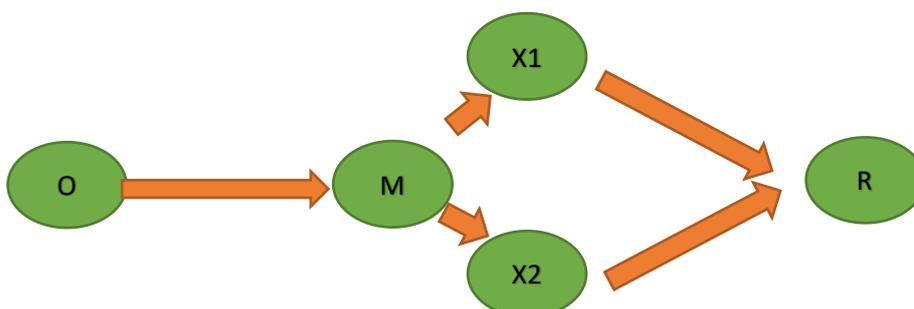
Se comprende de la investigación es de tipo aplicada porque se usará una programación para el manejo de los sensores con el arduino y su interacción con los tipos de suelos mencionados; de esta forma medir los datos evidenciados en tiempo real del contenido de humedad de las muestras de suelo lo cual define sé cómo la utilización de los conocimientos en la práctica, para aplicarlos en nivel de investigación igualmente es explicativa la cual tiene como finalidad explicar que se utilizó en los ensayos de laboratorio y la influencia del mejoramiento para luego determinar el contenido de humedad con los distintos materiales, arena, arcilla, material base. Con la finalidad de encontrar la humedad correspondiente para el diseño de un material base para pavimento. Según lo expresado por la (Universidad César Vallejo, 2017) dado que comprende el conjunto de actividades que tienen por finalidad el descubrir o aplicar conocimientos científicos nuevos, que puedan realizarse en productos y en procesos nuevos utilizables (National Science Foundation, 2018).

Diseño de Investigación:

La presente investigación tiene como diseño experimental. Es aquel en el que se maneja una o varias variables independientes para prestar atención a sus permutas en las variables dependientes en una situación controlada, es decir que, se utilizan diseños experimentales cuando el científico intenta instituir el potencial efecto de una causa que se maneja.

El estudio presento un diseño experimental pura ya que se controlarán las variables exógenas que no se pretenden estudiar, este proceso se desarrolló en un laboratorio particular (Hernández-Sampieri, 2018).

Ideograma Del Diseño De Investigación



Fuente propia.

Donde:

- O : Observación
- M : Muestra de suelos: arena, arcilla. Material base
- X1,X2 : Analizar y determinar el diseño del contenido de humedad, con los diferentes materiales las diferencias de cada material con sus distintas mediciones y las anomalías que presentan y su condición para el contenido de humedad para un material base de pavimento.
- R : Resultados

3.2. Variable y Operacionalización

Variable dependiente: Coeficiente de correlación.

Concepto de variable dependiente: La variable dependiente es aquella que sufrirá efectos y/o consecuencias de la modificación de la variable independiente. La variable dependiente es aquella que sufre las modificaciones (esperadas o no esperadas) siempre que la variable independiente cambia, provoca una repercusión en a variable dependiente. También se puede definir como la propiedad o característica que se modifica mediante la manipulación de la variable independiente (Muñoz, 2011).

Concepto de definición conceptual. Es la definición ampliamente aceptada sobre el fenómeno y la base sobre la cual se hará la racionalización (Hernández, 2018).

Concepto de definición operacional. Es la forma en que se medirá una variable, las expresiones matemáticas o los constructos y sus respectivas transformaciones matemáticas (Hernández, 2018).

Concepto de indicador: Los indicadores son datos cuantitativos, producto de los instrucciones establecidas por el investigador, quien forma resultados que todos pueden observar del mismo modo, pero son hallazgos del investigador, no del objeto (Hernández, 2018).

Concepto de escala de medición: Es el tipo de número real que se asigna a los niveles de medición de la variable (Hernández, 2018).

Para la presente tesis se han determinado los siguientes indicadores:

- Humedad
- Coeficiente de correlación
- Coeficiente de determinación

Variable independiente. - método de medición

Concepto de variable independiente: es aquella que al ser manipulada influye directamente sobre el comportamiento y/o reacción de la variable dependiente. Refiere que la variable independiente es aquella que produce ciertas modificaciones en otra variable con la cual está relacionada. Es aquella propiedad característica o circunstancia que se supone será la causa directa de la modificación en el comportamiento del fenómeno de estudio (Muñoz, 2011).

3.3 Población, muestra y muestreo

Población: La población la constituyeron todos los ensayos realizados con diferentes proporciones de material las cuales nos dieron cada una de ellas, se trabajó con diversas humedades (127 especímenes) cada una con proporciones distintas para llegar al diseño ideal de acuerdo a los resultados como la humedad la porosidad y el acabado del material, se trabajó con 3 materiales que son la arcillas, arena, y material base.

Está constituida por un conjunto de personas o elementos que poseen características comunes (criterios de selección: inclusión y exclusión), que son estudiadas por el investigador, las mismas que permitan realizar las generalizaciones a partir de la observación de la muestra. En caso de trabajarse con toda la población, se eliminará el rubro correspondiente a la muestra (Universidad César Vallejo, 2017).

Criterios de exclusión: No se consideró excluir ningún elemento de la investigación ya que todos nos fueron de utilidad para tener un mejor resultado.

Muestra: La muestra es una porción extraída mediante métodos específicos que representan los resultados de una totalidad de 127 especímenes. cada una con proporciones distintas para llegar al diseño ideal de acuerdo a los resultados como la humedad la porosidad y el acabado del material, se trabajó con 3 materiales que son la arcillas, arena, y material base.

Muestreo: El muestreo ha sido por conveniencia, ya que se ha obtenido muestras de suelo de los lugares donde ha sido posible acceder con facilidad a esta obtención y posterior transporte, cabe mencionar que tanto el muestreo como la obtención de muestras es una actividad costada por el investigador, sin apoyo económico externo de ninguna entidad.

3.4 Técnicas e Instrumento de Recolección de Datos

La técnica es análisis documentario del documento formal emitido por un laboratorio local, debidamente suscrito por un ingeniero civil colegiado y habilitado. En dicho documento remito por el laboratorio están todos los ensayos consignados en la presente tesis.

El instrumento de recolección es la ficha de investigación que toma como insumo el informe de los ensayos de laboratorio.

La validación de los resultados viene dada por el documento emitido por el laboratorio, de manera que no se hace necesaria una validación ni estadística ni por expertos.

El coeficiente de confiabilidad se utiliza en encuestas psicológicas y no es aplicable a estudios de ingeniería en que manipulan y evalúan objetos inertes que no cambian su estado de ánimo, ya que además de depender del número de reactivos, la varianza y la confiabilidad de una prueba son afectadas por la heterogeneidad de la muestra de personas que la presentan. Entre mayor sea el rango de diferencias individuales en cierta característica, mayor será la varianza de las calificaciones en una medida de esa característica. En consecuencia, el coeficiente de confiabilidad de una prueba u otro instrumento de evaluación será mayor en un grupo más heterogéneo con una varianza más grande en la calificación de la prueba (Aiken, 2003).

Infograma 29.2. Tipos de validez y confiabilidad: criterios y técnicas de cálculo

| Cualidad del instrumento | Tipo de validez o de confiabilidad | Criterio en el que se basa la validez | | Procedimiento | Técnica de cálculo |
|-------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Mide el evento que se quiere medir | Validez de constructo | Correspondencia teórica | Entre sinergias y concepto. | Validez por jueces o expertos | Proporción de acuerdos |
| | | | Entre ítems y concepto. | Validez convergente Validez discriminante | Correlación Correlación |
| | | Correspondencia empírica | Entre ítems y la experiencia presente. | Validez de criterio o empírica concurrente | Correlación instrumento criterio |
| | | | Entre ítems y la experiencia futura. | Validez de criterio o empírica predictiva | Correlación instrumento criterio |
| | | | Entre sinergias y evento observado. | Validez estructural | Correlación ítem-sinergia Análisis factorial |
| Mide todo el evento de estudio | Validez de contenido | Exhaustividad de los contenidos | Abarca las áreas, los contenidos, o los contextos. | Validez por jueces o expertos | Proporción de acuerdos |
| Mide sólo el evento que se pretende medir | Confiabilidad | Consistencia interna entre los ítems | Los ítems se correlacionan entre sí en una misma aplicación. | Pruebas paralelas División por mitades Alfa de Crombach | Correlación Correlación Alfa de Crombach |
| | | | Los ítems se correlacionan entre sí en aplicaciones sucesivas. | Test-retest | Correlación |
| | | | Los ítems correlacionan entre sí en aplicaciones simultáneas de dos evaluadores distintos. | Acuerdo entre evaluadores | Proporción de acuerdo |
| Parece medir el evento que mide | Validez aparente | Redacción y diagramación | | Revisión de estilo y diagramación | |

Esquema original de Jacqueline Hurtado de Barrera, 2009

Definición de confiabilidad. Un instrumento es confiable cuando las mediciones hechas no varían significativamente, ni en el tiempo, ni por la aplicación de **diferentes personas**. Así por ejemplo si un **test de inteligencia** se aplica hoy y arroja determinados resultados y el mes entrante se aplica el mismo instrumento a las mismas personas, en situaciones similares; y arroja resultados diferentes ello significaría que el instrumento no es confiable. Confiabilidad deriva de la palabra fiable y esta a su vez de fe. La confiabilidad significa pues que una pueba, instrumento, merece confianza porque al aplicarse en condiciones iguales o similares los resultados siempre serán los mismos (Mejía,137).

La confiabilidad se expresa y mide mediante el coeficiente de confiabilidad. El coeficiente de confiabilidad perfecto es 1, y los que oscilan entre 0.66 y 0.71 son aceptables, siendo el mínimo 0.66 (Ñaupán, 2013).

Conforme se desprende de lo anterior, la presente tesis trabaja con objetos inertes, arena, arcilla, material de base y sensores electrónicos, por lo que la aplicación de encuestas no es viable, y por lo tanto, exigir un coeficiente de confiabilidad está fuera de lugar.

3.5 Procedimientos.

Cabe resaltar en este punto que, las normas técnicas NO son bases científicas, sin embargo, en la presente tesis la única norma que se ha utilizado es la Mtc-E-108 – 2000 para la determinación del contenido de humedad. Cabe señalar que no existe norma técnica para la aplicación de sensores resistivos, debido a que es una propuesta nueva e innovadora que la presente tesis expone.

Las bases científicas aplicadas en la presente tesis son: Mecánica de suelos. Es una parte del área de la ingeniería que está dedicada a estudiar las fuerzas o cargas que son establecidas en la superficie terrestre (MTL, 2021). Además la resistividad, que es la resistencia proporcional de un material conductor según su longitud y anchura (Collins, 2021). Asimismo, la capacitancia que permite a un componente o circuito recoger y almacenar energía en forma de carga eléctrica (Fluke, 2021). El contenido de humedad en suelos, que es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas (UNI, 2021).

- Búsqueda de la cantera

- Se efectuó la primera visita a campo en la zona de estudio, para realizar la recolección de datos con el método de observación directa y así tener en cuenta los materiales que se utilizara para la investigación.
- Identificación de la población y muestra mediante el muestreo
- Determinación del lugar donde se ejecutara la investigación
- Búsqueda del laboratorio de mecánica de suelos y determinar la disponibilidad de los ambientes y equipos para la ejecución de los ensayos.
- Primero, se realizó la extracción del material de la cantera indicada (cantera de Sencca) para poder realizar las pruebas en el laboratorio.
- Ejecución de los ensayos con los distintos materiales y las normativas vigentes para cada caso.
- Extracción de cantidad necesaria de muestra de la cantera para la ejecución de los ensayos de laboratorio.
- Traslado de la muestra hacia el laboratorio de mecánica de suelos en la ciudad del Cusco.
- Inicio de la ejecución de los ensayos de laboratorio para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas (contenido de humedad, granulometría, proctor modificado) del suelo.
- Se procede a realizar el pesaje del material para continuar con los ensayos de cada uno de los tipos de material a usar:
 - ✓ Arena.
 - ✓ Material base.
 - ✓ Arcilla.
- Adición de agua destilada 1.5%, 3.0% y 4.5% como agente de estabilizador a la muestra patrón.
- Humedecemos el material con agua destilada teniendo un control de tiempo de mezclado
- Procedemos con el compactado con el instrumento Proctor en el recipiente (3 golpes)
- Seguidamente se saca una proporción de material para su pesaje y luego de ello para introducirlo en el horno de secado (24 horas)

- Una vez nos arroja los datos requeridos lo ingresamos al software Neural Designer para poder procesar las variables y encontrar el contenido de humedad ideal.
- Así mismo seguimos el mismo procedimiento para el material base y el material arcilla.

3.6 Métodos de análisis de datos

A nivel descriptivo el método utilizado es la estadística descriptiva básica. Para el caso del análisis inferencial de los resultados se han aplicado regresiones lineales y no lineales cuya bondad de ajuste se ha medido mediante el coeficiente de determinación R². El trabajo de investigación se realizó con un estudio descriptivo, considerando los procedimientos básicos para la elaboración del proyecto de investigación de la siguiente manera: no existen normas actuales para el instrumento propuesto en la presente tesis, dado que es la primera vez en la ingeniería que se aplica estos métodos electrónicos para la determinación del contenido de humedad, sin embargo, para la determinación de la correlación se han comparado los resultados del sensor con los resultados del método MTC-E-108 2000 Humedad y Agua en suelos.

Primero, se recolectaron los datos en los formatos estándar. Luego, se tabularon en una hoja electrónica de cálculo con el software Microsoft Excel 2019. Los cálculos intermedios se realizaron con fórmulas en las celdas.

Cada tipo de suelo tuvo su hoja electrónica de cálculo con las siguientes columnas: N° Ensayo W Molde Vacío W Molde + SH L Resistivo L Capacitativo Cod. Capsula W Cap. W cap. + SH W Cap. + SH W%.

Seguidamente **se calcularon los coeficientes de correlación Pearson** entre las medidas del sensor y la humedad reportada por el horno, este cálculo se hizo mediante el módulo de análisis de datos del propio Excel, el cual se encuentra en las herramientas de análisis VBA.

Los gráficos se presentarán también con el propio Excel, se insertó en cada hoja de cálculo una nube de puntos de dispersión para luego insertar una línea de ajuste, en todos los casos se utilizó el ajuste polinomial de grado dos. La misma herramienta gráfica del Excel proporciona tanto la ecuación de la curva como el

valor de coeficiente de determinación R². **Se presentarán las gráficas de correlación con sus respectivas formulas.**

3.7 Aspectos éticos:

Durante la formulación de la presente tesis se han respetado los resultados fidedignos que arrojan los ensayos tomados en laboratorio con los sensores nombrados para de estar forma conocer su contenido de humedad; se ha utilizado el conocimiento de programación internacional y antecedentes nacionales para adecuarla a las necesidades de la investigación, siendo en las mediciones lo más objetivos posibles para alcanzar los objetivos de la investigación. Dado que esta investigación no utiliza seres vivos ni seres humanos como objetos de estudio, no es necesario el permiso de un Comité de ética para llevarla a cabo.

La presente investigación se registrará siguiendo los artículos mencionados en la Resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017, de fecha 23 de mayo del 2017, de la Universidad Cesar Vallejo. Teniendo en cuenta los 4 principios éticos, que se mencionaran a continuación: beneficencia, es decir que todo se hace para el bien de la humanidad y esta investigación lo es, no maleficencia, es decir que no hay una mala fe al hacer la investigación y en esta investigación no ha habido mala fe, autonomía, que quiere decir que los resultados de la investigación no están motivados por fines de beneficio a terceros y justicia, que quiere decir que algunos abogados han redactado la Resolución de Consejo Universitario de UCV y del manual de investigación de la UCV, obviando la manera de investigar de los ingenieros civiles, y que, se sobreentiende que todo acto humano debe ser justo. Estos principios se mencionan aquí como **simple formalismo**, primero, porque no contribuyen a una mejor investigación en el Perú y, segundo, porque el aspecto ético en la investigación originalmente se concibió para la aplicación en investigaciones cuyo objeto de estudio son **seres humanos o animales vivos o muertos**, siendo que **los ingenieros civiles usualmente trabajan con materiales inertes (arcilla, arena, material de base) a los cuales no hay que “hacer justicia” o pedir permiso.**

IV. RESULTADOS

La demostración de la hipótesis se fundamenta en lo siguiente:

Hipótesis general:

“Los métodos resistivo y capacitivo tienen una correlación significativa con la humedad en distintos tipos de suelos”

Hechos los cálculos se han obtenido las siguientes correlaciones:

| | Resistivo | Capacitivo |
|---------|-----------|------------|
| Arcilla | 0.42 | -0.63 |
| Arena | -0.77 | -0.83 |
| Base | -0.91 | -0.98 |

Por lo tanto se puede afirmar que la hipótesis principal se ha cumplido, ya que en todos los casos tenemos un R de Pearson mayor o igual a 0.4 que es considerada una correlación moderada.



Esto se puede afirmar gracias al valor p-value muy pequeño (menores a 0.10) que se reportan en los cálculos:

valores-p (Pearson):

| Variabes | Arcilla W% |
|----------------------|--------------|
| Arcilla L Resistivo | 0.106* |
| Arcilla L Capacitivo | 0.009 |

| Variabes | Arena W% |
|--------------------|-------------------|
| Arena L Resistivo | <0.0001 |
| Arena L Capacitivo | <0.0001 |

| Variabes | Base W% |
|-------------------|-------------------|
| Base L Resistivo | <0.0001 |
| Base L Capacitivo | <0.0001 |

Como P-values de todas las correlaciones son menores a 0.1 se concluye que las correlaciones son estadísticamente significativas.

El principal objetivo general de la presente tesis es demostrar la correlación el contenido de humedad para la obtención de un diseño de mezcla con indicadores cualitativos, se han realizado 127 ensayos de distintos materiales, variando los siguientes materiales: arena, material base, arcilla. Los resultados procesados y su interpretación se aprecian en las siguientes tablas.

Bondad de ajuste de las correlaciones

Para la correlación del sensor **capacitivo** con la humedad en **arcilla**.

| | |
|---------------------------------|----------|
| R cuadrado | 0.71358 |
| R cuadrado ajustado | 0.687542 |
| Raíz del error cuadrático medio | 0.672894 |
| Media de respuesta | 23.79891 |
| Observaciones (o suma de pesos) | 13 |

Para la correlación del sensor resistivo con la humedad en arcilla.

| | |
|---------------------------------|----------|
| R cuadrado | 0.562514 |
| R cuadrado ajustado | 0.518766 |
| Raíz del error cuadrático medio | 0.678518 |
| Media de respuesta | 23.71815 |
| Observaciones (o suma de pesos) | 12 |

Para la correlación del sensor resistivo con la humedad en arena.

| | |
|---------------------------------|----------|
| R cuadrado | 0.900593 |
| R cuadrado ajustado | 0.895361 |
| Raíz del error cuadrático medio | 15.53851 |
| Media de respuesta | 1.669516 |
| Observaciones (o suma de pesos) | 48726 |

Para la correlación del sensor capacitivo con la humedad en arena.

| | |
|---------------------------------|----------|
| R cuadrado | 0.952271 |
| R cuadrado ajustado | 0.950681 |
| Raíz del error cuadrático medio | 10.91926 |
| Media de respuesta | 2.121747 |
| Observaciones (o suma de pesos) | 75020 |

Para la correlación del sensor capacitivo con la humedad en suelo de base.

| | |
|---------------------------------|----------|
| R cuadrado | 0.966639 |
| R cuadrado ajustado | 0.964072 |
| Raíz del error cuadrático medio | 1.042225 |
| Media de respuesta | 10.12369 |

Para la correlación del sensor resistivo con la humedad en suelo de base.

| | |
|---------------------------------|----------|
| R cuadrado | 0.975783 |
| R cuadrado ajustado | 0.973361 |
| Raíz del error cuadrático medio | 0.746061 |
| Media de respuesta | 8.3554 |
| Observaciones (o suma de pesos) | 12 |

Objetivo específico 1) analizar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una **arcilla**; y **Objetivo específico 4)** Determinar las correlaciones existentes entre los métodos resistivo y capacitivo con la humedad en distintos tipos de suelos.; A continuación, se observan las distintas combinaciones experimentales utilizadas en la presente investigación.

Tabla 1.

Resultados de laboratorio por método MTC E 108 – 2000 para una **arcilla**.

Fuente: ensayos de laboratorio, elaboración: consultor.

| N° Ensayo | W Molde Vacío (g) | W Molde + SH (g) | L Resistivo (mV) | L Capacitivo (mV) | Cod. Capsula | W Cap (g) | W Cap + SH (g) | W Cap + SS (g) | W% |
|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 | 1746 | 122 | 303 | 327 | W-4 | 7.2 | 51.8 | 42.9 | 24.9 |
| 2 | 1746 | 132 | 283 | 332 | A-6 | 11 | 49.9 | 42.1 | 25.1 |
| 3 | 1746 | 138 | 262 | 323 | A-14 | 10.6 | 56.6 | 47.3 | 25.3 |
| 4 | 1746 | 134 | 256 | 323 | A-20 | 10.9 | 61.6 | 51.5 | 24.9 |
| 5 | 1746 | 116 | 269 | 327 | H-6 | 10.7 | 55.8 | 47.1 | 23.9 |
| 6 | 1746 | 136 | 267 | 326 | W-1 | 11 | 60.4 | 51.1 | 23.2 |
| 7 | 1746 | 142 | 272 | 329 | A-7 | 10.9 | 59 | 49.5 | 24.6 |
| 8 | 1746 | 136 | 229 | 324 | A-17 | 10.9 | 59.9 | 49.9 | 25.6 |
| 9 | 1746 | 136 | 228 | 324 | R-4 | 10.9 | 57.7 | 48.7 | 23.8 |
| 10 | 1746 | 112 | 231 | 329 | A-4 | 10.8 | 48.7 | 41.6 | 23.1 |
| 11 | 1746 | 130 | 253 | 335 | H-1 | 11 | 58.5 | 49.6 | 23.1 |
| 12 | 1746 | 138 | 207 | 333 | Q-3 | 10.8 | 56.9 | 48.2 | 23.3 |
| 13 | 1746 | 130 | 260 | 348 | A-3 | 10.9 | 52.4 | 44.9 | 22.1 |
| 14 | 1746 | 116 | 190 | 337 | A-8 | 10.7 | 55 | 47 | 22.0 |
| 15 | 1746 | 118 | 250 | 339 | A-18 | 11.2 | 53.2 | 45.4 | 22.8 |
| 16 | 1746 | 110 | 242 | 331 | PQ-7 | 10.8 | 46.3 | 40.2 | 20.7 |

Conforme se observa para el caso de la arcilla el sensor resistivo reportó valores desde los 190 hasta los 303 mV; por otro lado, el sensor capacitivo reportó valores desde los 323 hasta los 348 mV; asimismo, el contenido de humedad de la arcilla estuvo en el rango de entre 20.5 y 25.5 por ciento. Cabe señalar que se ensayaron 16 muestras de arcilla.

Objetivo específico 2) Analizar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una arena.; y **objetivo específico 5)** analizar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en una arena. A continuación, se muestran los resultados de las mediciones para la arena.

Tabla 2.

Resultados de laboratorio por método MTC E 108 – 2000 para una arena. Fuente: ensayos de laboratorio, elaboración: consultor.

| N° Ensayo | W Molde Vacío (g) | W Molde + SH (g) | L Resistivo (mV) | L Capacitivo (mV) | Cod. Capsula | W Cap. (g) | W cap. + SH (g) | W Cap. + SS (g) | W% |
|-----------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------|------------|-----------------|-----------------|------|
| 1 | 1746 | 2272 | 1022 | 651 | 18 | 21.3 | 50.6 | 50.5 | 0.3 |
| 2 | 1746 | 2286 | 1015 | 623 | 7 | 21.8 | 53.9 | 53.6 | 0.9 |
| 3 | 1746 | 2290 | 986 | 579 | 8 | 20.8 | 61.2 | 60.6 | 1.5 |
| 4 | 1746 | 2294 | 898 | 528 | 25 | 20.8 | 56.7 | 55.9 | 2.3 |
| 5 | 1746 | 2270 | 766 | 513 | 37 | 21.3 | 55.8 | 54.9 | 2.7 |
| 6 | 1746 | 2290 | 646 | 486 | 35 | 21.9 | 69.8 | 68.2 | 3.5 |
| 7 | 1746 | 2302 | 542 | 456 | 33 | 20.9 | 63.7 | 62 | 4.1 |
| 8 | 1746 | 2308 | 489 | 427 | 17 | 21 | 66.3 | 64.2 | 4.9 |
| 9 | 1746 | 2308 | 399 | 423 | 38 | 21 | 65.2 | 63.1 | 5.0 |
| 10 | 1746 | 2316 | 425 | 404 | 24 | 20.3 | 65.2 | 62.8 | 5.6 |
| 11 | 1746 | 2310 | 339 | 399 | 4 | 20.3 | 66.4 | 63.7 | 6.2 |
| 12 | 1746 | 2318 | 335 | 391 | 20 | 21.7 | 73.7 | 70.1 | 7.4 |
| 13 | 1746 | 2330 | 315 | 391 | 1 | 21 | 91.7 | 86.3 | 8.3 |
| 14 | 1746 | 2322 | 308 | 370 | 32 | 21.5 | 81.7 | 76.7 | 9.1 |
| 15 | 1746 | 2336 | 292 | 381 | 3 | 24.4 | 71.9 | 67.4 | 10.5 |
| 16 | 1746 | 2340 | 266 | 383 | 23 | 20.4 | 75.5 | 70.3 | 10.4 |
| 17 | 1746 | 2340 | 255 | 369 | 14 | 20.6 | 83.4 | 76.4 | 12.5 |
| 18 | 1746 | 2366 | 261 | 371 | 30 | 20.7 | 74.2 | 68 | 13.1 |
| 19 | 1746 | 2376 | 233 | 366 | 6 | 20.4 | 84.3 | 76 | 14.9 |
| 20 | 1746 | 2388 | 238 | 363 | 9 | 20.5 | 70.8 | 63.9 | 15.9 |
| 21 | 1746 | 2396 | 251 | 339 | 15 | 20.9 | 88.7 | 78.4 | 17.9 |
| 22 | 1746 | 2402 | 256 | 334 | 11 | 20.5 | 94.3 | 81.8 | 20.4 |
| 23 | 1746 | 2364 | 270 | 372 | 34 | 20.8 | 95.2 | 85.3 | 15.3 |
| 24 | 1746 | 2374 | 266 | 371 | 19 | 21.3 | 74.7 | 67.1 | 16.6 |
| 25 | 1746 | 2374 | 256 | 369 | 13 | 20.6 | 92.3 | 81.8 | 17.2 |
| 26 | 1746 | 2384 | 247 | 349 | 31 | 20.8 | 92.4 | 81.5 | 18.0 |
| 27 | 1746 | 2390 | 246 | 337 | 21 | 21.3 | 110.1 | 95.1 | 20.3 |
| 28 | 1746 | 2398 | 290 | 339 | 5 | 20.9 | 90.4 | 78.6 | 20.5 |
| 29 | 1746 | 2384 | 249 | 354 | M-02 | 11.8 | 76.2 | 66.7 | 17.3 |
| 30 | 1746 | 2386 | 258 | 356 | B-01 | 14.4 | 65 | 57 | 18.8 |
| 31 | 1746 | 2396 | 281 | 338 | 703 | 21.6 | 83.9 | 72.8 | 21.7 |
| 32 | 1746 | 2410 | 315 | 333 | 26 | 20.8 | 89.1 | 75.4 | 25.1 |

Conforme se aprecia, el sensor resistivo en el caso de la arena reportó valores de entre 233 y 1022 mV; seguidamente, el sensor capacitivo reportó lecturas desde 333 a 651 mV; por su parte, el contenido de humedad de las arenas ensayadas

estuvo entre 0.3 y 25.1 por ciento. Se debe mencionar que para este caso se hicieron 32 ensayos.

Objetivo específico 3) analizar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en un **suelo de base**; y **objetivo específico 6)** Analizar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en un **suelo de base**.

Tabla 3.

Resultados de laboratorio por método MTC E 108 – 2000 para **suelo de base**

| N° Ensayo | W Molde Vacío | W Molde + SH | L Resistivo | L Capacitivo | Cod. Capsula | W Cap | W Cap + SH | W Cap + SH | W% |
|-----------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------|------------|------------|------|
| 1 | 1746 | 2334 | 964 | 547 | 20 | 21.9 | 61.3 | 60.4 | 2.3 |
| 2 | 1746 | 2326 | 888 | 518 | 26 | 21.1 | 58.9 | 57.7 | 3.3 |
| 3 | 1746 | 2318 | 899 | 518 | 13 | 20.7 | 60.6 | 59.3 | 3.4 |
| 4 | 1746 | 2316 | 811 | 514 | 8 | 20.9 | 58.4 | 56.8 | 4.5 |
| 5 | 1746 | 2316 | 690 | 477 | 25 | 20.8 | 66.1 | 63.6 | 5.8 |
| 6 | 1746 | 2346 | 598 | 464 | 4 | 20.4 | 74 | 70.3 | 7.4 |
| 7 | 1746 | 2360 | 450 | 451 | 19 | 21.5 | 80.9 | 76.1 | 8.8 |
| 8 | 1746 | 2394 | 361 | 397 | 23 | 20.5 | 91.2 | 84.3 | 10.8 |
| 9 | 1746 | 2418 | 326 | 388 | 33 | 20.9 | 88.1 | 81.2 | 11.4 |
| 10 | 1746 | 2432 | 305 | 364 | 35 | 22 | 81.3 | 74.5 | 13.0 |
| 11 | 1746 | 2474 | 283 | 338 | 14 | 20.8 | 101.1 | 91.2 | 14.1 |
| 12 | 1746 | 2468 | 144 | 343 | LL-2 | 21.6 | 111 | 99 | 15.5 |
| 13 | 1746 | 2458 | 303 | 335 | B-4 | 12.3 | 71.1 | 63.2 | 15.5 |
| 14 | 1746 | 2450 | 344 | 329 | M-02 | 11.8 | 78.1 | 68.4 | 17.1 |
| 15 | 1746 | 2462 | 353 | 327 | N-04 | 12.1 | 85.6 | 73.9 | 18.9 |

Fuente: Fuente: ensayos de laboratorio, elaboración: consultor.

Para el caso del material de base, las lecturas del sensor resistivo estuvieron en el rango de 144 a 964 mV; en lo que respecta al sensor capacitivo, sus lecturas estuvieron en el rango de 327 a 547 mV; en lo referente al contenido de humedad del suelo de base este estuvo en el rango de 2.3 a 18.9 por ciento. Para el caso del suelo de base se ensayaron 15 muestras.

En el resultado según objetivo específico con la finalidad de probar la hipótesis planteada por la presente investigación se calcularon los coeficientes de correlación para las distintas lecturas de los sensores versus el contenido de humedad reportado por el horno de tiro forzado; los resultados se resumen en las siguientes tablas.

Objetivos específicos 1 y 4.

Tabla 4.

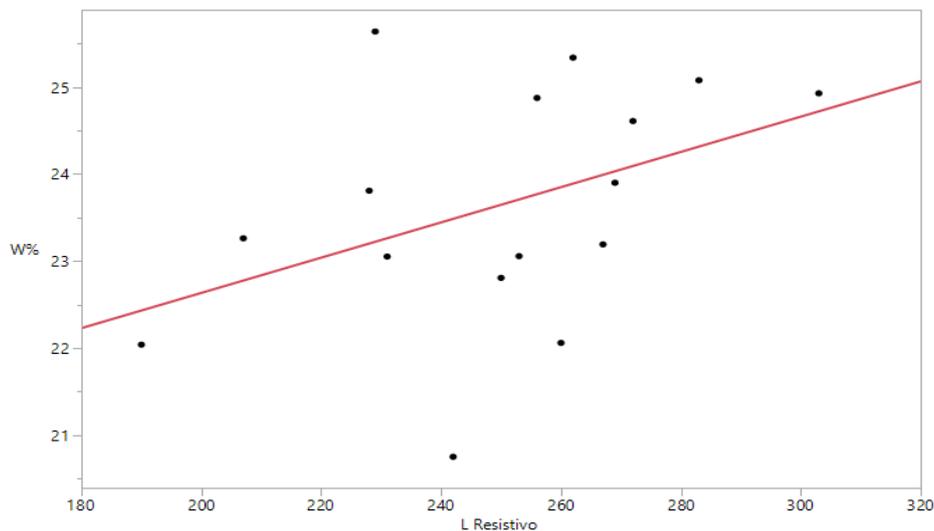
Coefficientes de correlación para la arcilla.

| | <i>Arcilla L Resistivo</i> | <i>Arcilla L Capacitivo</i> |
|------------|----------------------------|-----------------------------|
| Arcilla W% | 0.42 | -0.63 |

Fuente propia.

Conforme se aprecia, el contenido de humedad de la arcilla tiene una correlación positiva débil de 0.42 con la lectura del sensor resistivo; por otro lado, se observa que la lectura del sensor capacitivo tiene una correlación negativa media que asciende a -0.63.

Con la finalidad de incluir los resultados obtenidos se ha procedido al gráfico de dispersión y ajuste de la curva respectiva, cuyo resultado se muestran a continuación.



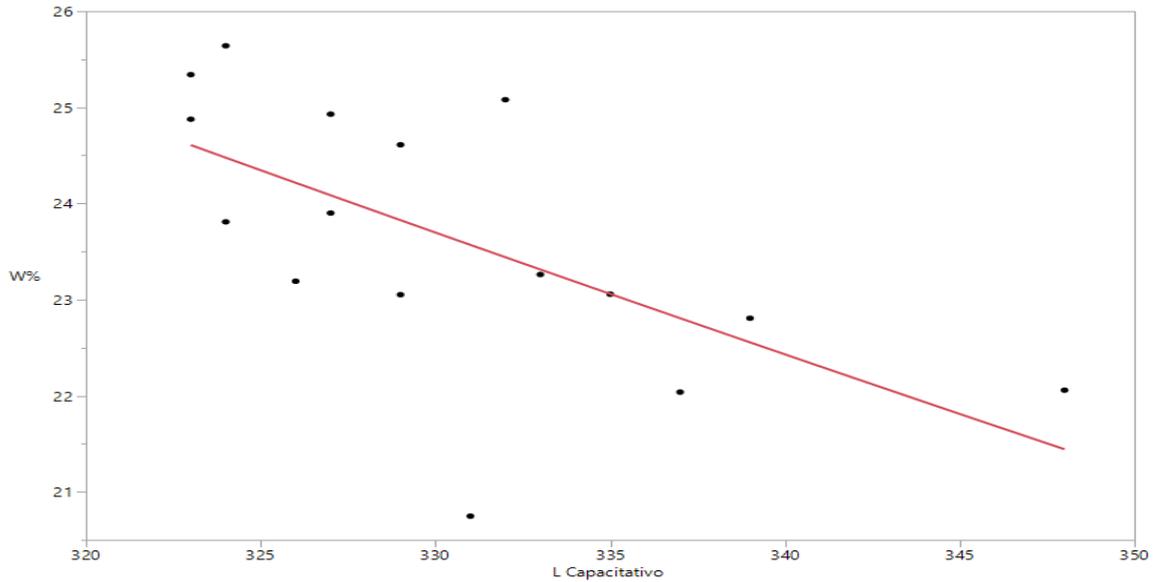
$$W\% = 17.995246 + 0.0228232 * L \text{ Resistivo}$$

Fig. 9.

Correlación del contenido de humedad en la arcilla con el sensor resistivo.

Fuente propia.

Asimismo, se plantea la gráfica para el sensor capacitivo.



$$W\% = 286.79101 - 45.337821 * \text{Log}(L \text{ Capacitivo})$$

Fig. 10.

Correlación del contenido de humedad en la arcilla con el sensor capacitivo.

Fuente propia.

Objetivos específicos 2 y 5.

Para el caso de la arena se ha repetido el mismo análisis y los resultados se entregan a continuación.

Tabla 5.

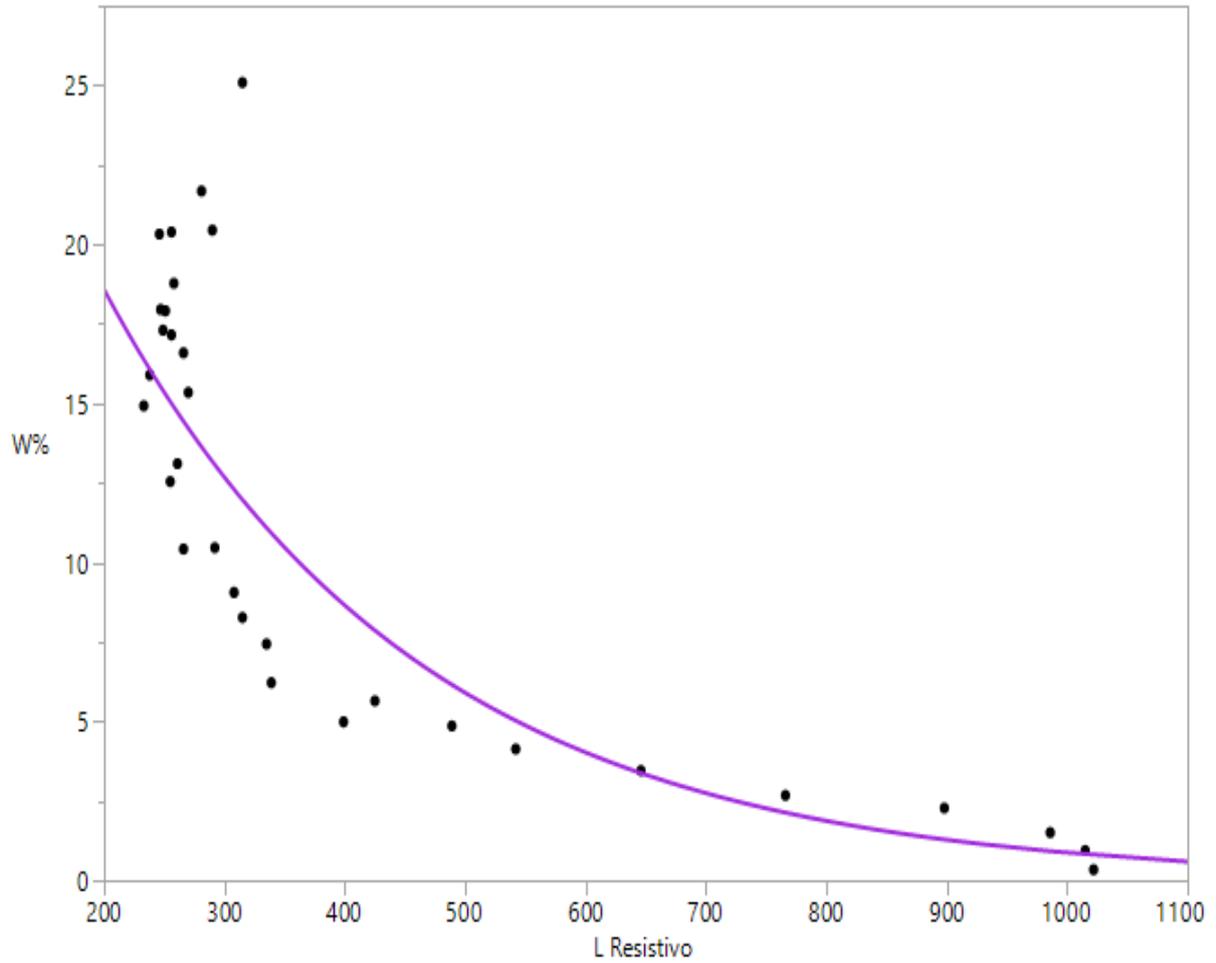
Coefficientes de correlación para la arena.

| | <i>Arena L Resistivo</i> | <i>Arena L Capacitivo</i> |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| <i>Arena W%</i> | -0.77 | -0.83 |

Fuente propia.

Conforme se aprecia, el contenido de humedad de la arena tiene una correlación negativa fuerte de -0.77 con la lectura del sensor resistivo; por otro lado, se observa que la lectura del sensor capacitivo tiene una correlación negativa fuerte que asciende a -0.83.

Con la finalidad de incluir los resultados obtenidos se ha procedido al gráfico de dispersión y ajuste de la curva respectiva, cuyo resultado se muestran a continuación.



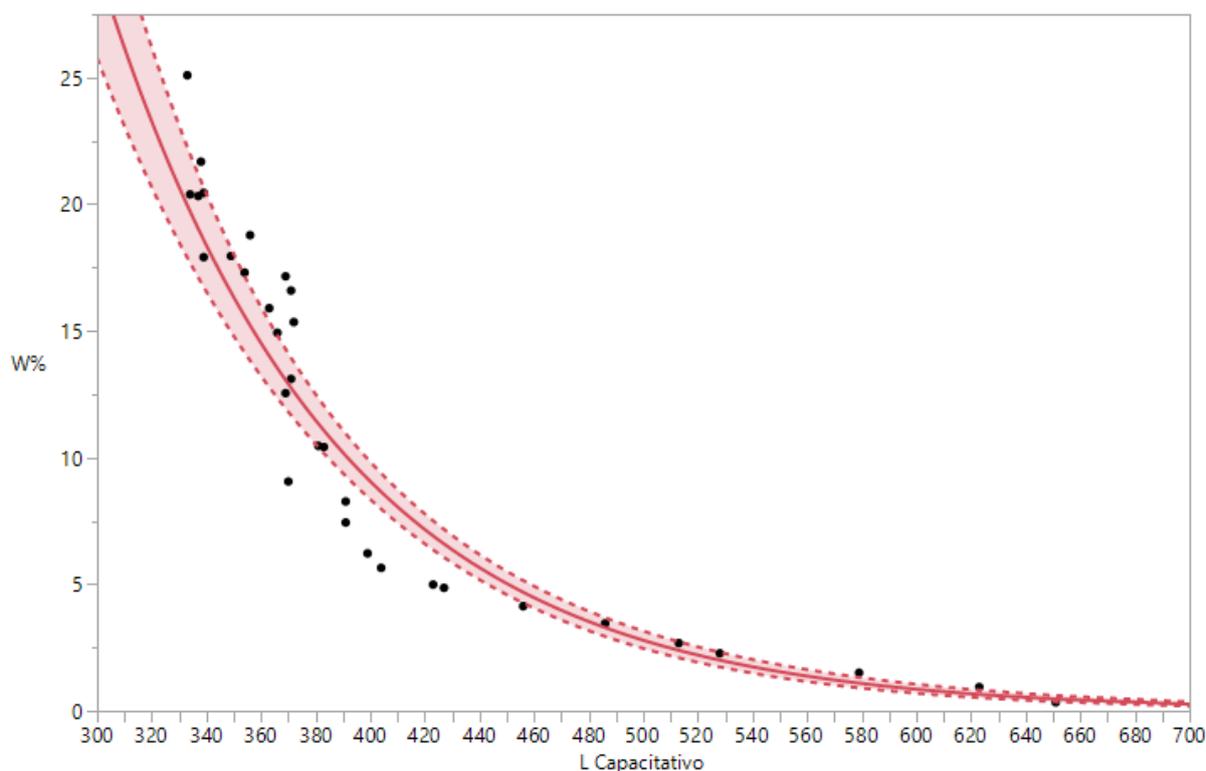
$$\text{Log}(W\%) = 3.3200489 - 0.0033866 \cdot \text{L Resistivo}$$

Fig. 11.

Correlación del contenido de humedad en la arena con el sensor resistivo.

Fuente propia.

Asimismo, se plantea la gráfica para el sensor capacitivo.



$$\text{Log}(W\%) = 6.9165796 - 0.0117806 * L \text{ Capacitivo}$$

Fig. 12.

Correlación del contenido de humedad en la arena con el sensor capacitivo.

Fuente propia.

Objetivos específicos 3 y 6.

Para el caso del suelo de base se ha repetido el mismo análisis y los resultados se redactan a continuación.

Tabla 6.

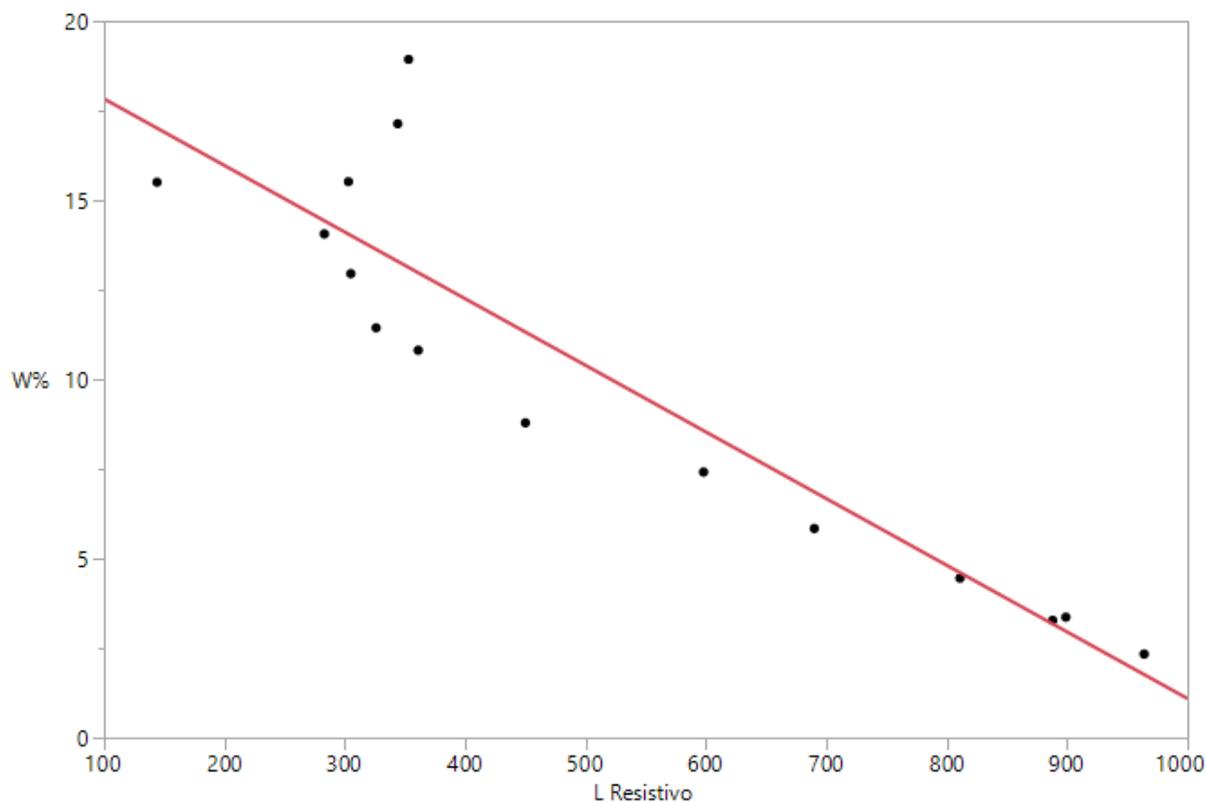
Coefficientes de correlación para el suelo de base.

| | <i>Base L Resistivo</i> | <i>Base L Capacitivo</i> |
|---------|-------------------------|--------------------------|
| Base W% | -0.91 | -0.98 |

Fuente propia.

Conforme se aprecia, el contenido de humedad del suelo de base tiene una correlación negativa muy fuerte de -0.91 con la lectura del sensor resistivo; por otro lado, se observa que la lectura del sensor capacitivo tiene una correlación negativa muy fuerte que asciende a -0.98.

Con la finalidad de incluir los resultados obtenidos se ha procedido al gráfico de dispersión y ajuste de la curva respectiva, cuyo resultado se muestran a continuación.

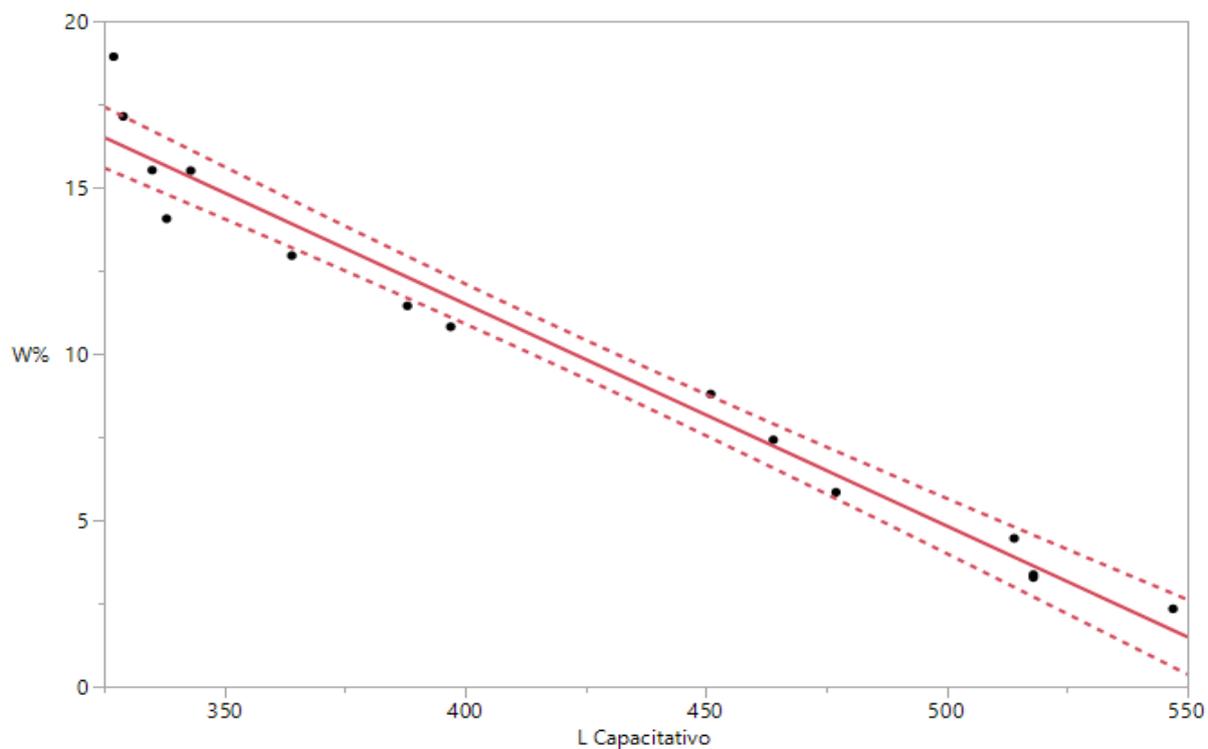


$$W\% = 17.252065 - 0.0158893 * L \text{ Resistivo}$$

Fig. 13.
Correlación del contenido de humedad en el suelo de base con el sensor resistivo.

Fuente propia

Asimismo, se plantea la gráfica para el sensor capacitivo.



$$W\% = 38.206382 - 0.0667576 * L \text{ Capacitivo}$$

$$R^2 = 0.97$$

Fig. 14.

Correlación del contenido de humedad en el suelo de base con el sensor capacitivo.

Fuente propia.

Tabla 7.

Resumen de correlaciones.

| | Resistivo | Capacitivo |
|---------|-----------|------------|
| Arcilla | 0.42 | -0.63 |
| Arena | -0.77 | -0.83 |
| Base | -0.91 | -0.98 |

Fuente y elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

Objetivo específico 1: analizar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una arcilla.

Resultados: 1. En la presente investigación, se ha logrado demostrar que el método **resistivo** tiene una correlación positiva débil con la humedad en una **arcilla**, dado que este alcanza a un valor de 0.42. En el trabajo de Martínez, 2021, se encontró un coeficiente de correlación $R^2 = 76.63\%$, si bien este valor es mayor respecto del hallado en esta investigación, es porque el suelo que Martínez investigo fue de tipo granular. Los otros antecedentes encontrados solo dan valores cualitativos y no reportan estadística de correlación de los sensores. A este respecto, en el trabajo de Jusoh & otros (2021) se determinó que para una arcilla el sensor resistivo alcanzó un R^2 de 82.17% con un coeficiente de correlación r de 0.907 y un RMSE 12.67, esto en contraste con el coeficiente de correlación bajo hallado en la presente tesis puede verse al tipo de suelo y al tipo de sensor utilizados. Cabe mencionar que la investigación de referencia midió el pH y la temperatura de las muestras de suelo.

Objetivo específico 2: analizar en qué medida se correlacionan el método **resistivo** con la humedad en una **arena**.

Resultado: En la presente tesis se ha demostrado que el método resistivo tiene una correlación negativa considerable con la humedad en una arena pues su correlación llega a -0.77 . Este último valor se asemeja mucho al coeficiente de correlación hallado por Martínez, 2021 $R^2 = 76.63\%$, aunque estrictamente hablando no tienen la misma interpretación estadística. Algo similar a la anterior discusión sucede con los otros autores, pues no reportan valores. Jusoh & otros (2021) encontraron para la arena

fin a un R^2 de 98.0% y un coeficiente de correlación r de 0.99, esta diferencia puede deberse al tipo de sensor empleado y al método de medición.

Objetivo específico 3: analizar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en un suelo de base.

Resultado: En la presente pesquisa ha quedado evidenciado que el método resistivo tiene una correlación negativa muy fuerte con la humedad en un material de base, alcanzando un coeficiente de correlación Pearson de -0.90 . Cabe mencionar que ninguno de los antecedentes ha trabajado con suelo de base de pavimento, ya que sus áreas de investigación están en agricultura y medio ambiente, debido principalmente que estas áreas hacen uso intensivo de sensores, pero la ingeniería civil, por algún extraño motivo no ha mirado el potencial de estos recursos electrónicos.

Objetivo específico 4: Analizar en qué medida se correlacionan el método **capacitivo** con la humedad en una **arcilla**.

Resultado: se determina en forma concluyente que el método capacitivo tiene una correlación negativa media con la humedad en una arcilla, puesto que, la correlación alcanza un valor de -0.63 . Este valor es cercano al $R^2 = 76.63\%$ hallado por Martínez, aunque algo menor. Se estima que la arcilla tiene componentes minerales adicionales que hacen menos precisa la correlación con este tipo de sensores. A este respecto, Okasha (2021) realiza la calibración de un sensor similar en su investigación, llegando a un R^2 de 96.7%, a comparación del 76.63% de la presente tesis y con un RMSE de 0.014 en contraste con el RMSE de 0.673 de la presente tesis. Esta variación de hallazgos se debe probablemente al tipo de sensor utilizado que es diferente en la investigación de Okasha y en esta tesis, además este último autor realizó durante la calibración la medición de la temperatura del suelo, cosa que no se hizo en la presente

tesis, por último, el tipo de arcilla y su mineralogía influyen en el resultado, ya que mientras más actividad tenga la arcilla, más capacidad de transmitir la electricidad se prevé.

Objetivo específico 5: analizar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en una arena.

Resultado: existe sustento estadístico que demuestra que el método capacitivo tiene una correlación negativa considerable con la humedad en una arena, puesto que, el coeficiente de correlación r Pearson alcanza un valor de -0.83 . Este coeficiente es menor que para el suelo de base, pero mayor que para la arcilla, sin embargo es superior al $R^2 = 76.63\%$ hallado por Martínez, se recalca que los demás antecedentes no han hallado coeficientes de correlación o determinación para sus sensores.

Objetivo específico 6: analizar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en un suelo de base.

Resultado: en lo que respecta a las correlaciones, se tiene un sustento contundente de que el método capacitivo tiene una correlación negativa muy fuerte con la humedad en un material de base, puesto que, la correlación alcanza un valor casi perfecto de -0.98 . Este valor es el más alto encontrado en los ensayos, además tiene un R^2 ajustado igual 97.0% el cual es muy superior al encontrado por Martínez, 2021 que asciende a $R^2 = 76.63\%$, se presume que la causa es que se controló la densidad de los especímenes en la presente investigación, cosa que no se evidencia en el antecedente.

V. CONCLUSIONES

1. Se ha logrado demostrar que el método resistivo tiene una correlación positiva débil con la humedad en una arcilla, dado que este alcanza a un valor de 0.42.
2. Asimismo, se ha demostrado que el método resistivo tiene una correlación negativa considerable con la humedad en una arena pues su correlación llega a -0.77 .
3. Por otro lado, ha quedado evidenciado que el método resistivo tiene una correlación negativa muy fuerte con la humedad en un material de base, alcanzando un coeficiente de correlación Pearson de -0.90 .
4. Del mismo modo, se determina en forma concluyente que el método capacitivo tiene una correlación negativa media con la humedad en una arcilla, puesto que, la correlación alcanza un valor de -0.63 .
5. Seguidamente, existe sustento estadístico que demuestra que el método capacitivo tiene una correlación negativa considerable con la humedad en una arena, puesto que, el coeficiente de correlación r Pearson alcanza un valor de -0.83 .
6. Finalmente, en lo que respecta a las correlaciones, se tiene un sustento contundente de que el método capacitivo tiene una correlación negativa muy fuerte con la humedad en un material de base, puesto que, la correlación alcanza un valor casi perfecto de -0.98 .

VII. RECOMENDACIONES

1. No se recomienda aplicar el sensor resistivo en arcilla por su baja correlación.
2. Se recomienda usar el sensor resistivo en arena por su correlación fuerte, pero su uso se vera limitado por la corrosión del sensor.
3. El método resistivo es muy útil para determinar el contenido de humedad en material de base por su alta correlación por lo que se recomienda su uso.
4. No se recomienda el uso del método capacitivo para determinar la humedad en una arcilla dado su baja correlación.
5. El método capacitivo es altamente recomendado para la determinación de la humedad en una arena.
6. Finalmente, el método capacitivo es el método mejor recomendado para la determinación del contenido de la humedad en un material de base dada su altísima correlación que llega casi a la perfección.

REFERENCIAS

- ACI. (2002). *Diseño y construcción de pisos y pavimentos de concreto*. Lima: CAPITULO PERUANO ACI.
- Barboza, F., Cabañas, O., Cáceres, F., & Riveros, A. (2007). *PAVIMENTO DE BAJO COSTO CON BASE DE SUELO CEMENTO – TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE EN CALZADA Y SIMPLE EN BANQUINAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS RR2C MODIFICADAS CON POLÍMEROS SBS*. Cerro León: ASISTENCIA INTEGRAL DE INGENIERÍA S.R.L.
- Braja, D. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México D.F.: Cengage Learning Editores.
- Brante, G. (2015). *RIEGOS ASFÁLTICOS*. Laboratorio Regional Vialidad Va. Región.
- Comisión Federal de Electricidad. (1994). *Manual de Tecnología del Concreto - sección 3 tres*. Ciudad de México: CFE.
- Gonzales, D. M. (2003). *Guía introductoria a la durabilidad del concreto*.
- MACCAFERRI. (2007). *Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón*. Jundiaí: Maccaferri Do Brasil Ltda.
- Olivera, B. F. (1999). *Estructuración de vías terrestres*. Delegación Azcapotzalco: COMPAÑÍA EDITORIAL CONTPJENTAL, S.A. de C.V.
- Rao, S. (2009). *Engineering Optimization*. New Jersey: Wiley.
- ARANGO, Antonio. Manual de laboratorio de mecánica de suelos. 1997.
- ANTONIADIS and MCKINLEY. Leaching test in a laboratory centrifuge on zinc migration London clay.
- CULLIGAN-HENSLEY and SAVVIDOU. Environmental geomechanics and transport processes. 1999.
- ESPINOSA SILVA, Augusto, GONZALEZ GARCIA, Álvaro. “La acumulación de basuras como material geotécnico”, Artículo de la revista No 14 de la Universidad de los Andes, Noviembre de 2001, Bogotá, Colombia.
- GARCIA, Inés, DONONRROSO, Carlos. Contaminación por metales pesados. 2001.

GONZALEZ, Luz. "Estudio de la contaminación de suelos en la sábana de Bogotá por metales pesados". Tesis Uniandes. 1997.

SARRIÁ MOLINA, Alberto. "Métodos geofísicos con aplicaciones a la ingeniería civil". Ediciones Uniandes. Mayo 1996. 371p.

ARANGO, Antonio. Manual de laboratorio de mecánica de suelos. 1997.

ANTONIADIS and MCKINLEY. Leaching test in a laboratory centrifuge on zinc migration London clay.

CULLIGAN-HENSLEY and SAVVIDOU. Environmental geomechanics and transport processes. 1999.

ESPINOSA SILVA, Augusto, GONZALEZ GARCIA, Álvaro. "La acumulación de basuras como material geotécnico", Artículo de la revista No 14 de la Universidad de los Andes, Noviembre de 2001, Bogotá, Colombia.

GARCIA, Inés, DONONRROSO, Carlos. Contaminación por metales pesados. 2001.

GONZALEZ, Luz. "Estudio de la contaminación de suelos en la sábana de Bogotá por metales pesados". Tesis Uniandes. 1997.

SARRIÁ MOLINA, Alberto. "Métodos geofísicos con aplicaciones a la ingeniería civil". Ediciones Uniandes. Mayo 1996. 371p.

Otín, F., Artigas, D., Recolons, J., Comerón, A. & Tejero, F., Canal Bienzobal, "Campos Electromagnéticos", Ed. UPC 1998.

Córdova, R., Informe de Ingeniería: "Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación del proyecto de la I.E N° 0101 Luis Walter Alvarado Bartra, Distrito - Chazuta", 2010, Perú.

Herrera, J., Informe de Ingeniería: " Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación de una vivienda unifamiliar ", 2010, Perú.

Jiménez, J., Tesis de grado: "Zonificación de la capacidad portante del suelo del distrito de la Banda de Shilcayo", 2011, Perú.

Juárez, E. & Rico, A., "Mecánica de Suelos", Tomo I, Editorial Limusa, tercera edición, 2005, México.

Lambe, W. & Whitman, R., "Mecánica de Suelos", Editorial Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), México/Buenos Aires, 1972.

Otín, F., Artigas, D., Recolons, J., Comerón, A. & Tejero, F., Canal Bienzobal, "Campos Electromagnéticos", Ed. UPC 1998.

Rocha, C., Tesis de grado: "Zonificación de la capacidad portante del suelo del distrito de Morales ", 2010, Perú.

Concepto definicion. (22 de Mayo de 2011). Definición de Linux [Mensaje de Blog] Recuperado de <http://concepto definicion.de/linux/>

Corona, L., Abarca, G., y Mares, J. (2014). *Sensores y Actuadores - Aplicaciones con Arduino*. Azcapotzalco, Mexico: Grupo Editorial Patria.

Dorronsoro, C. (2018). Introducción a la Edafología [Mensaje de Blog]. Recuperado de:

<http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm#anchor618597>

Fundación Wikimedia, I. (2018). *PHP*. Wikipedia. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/PHP>

Fundación Wikimedia, I. (2018). *Servidor HTTP Apache*. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Servidor_HTTP_Apache

Fundación Wikimedia, I. (2018). *Ubuntu*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ubuntu&oldid=110313666>

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F., México: McGraw-Hill.

INIA. (2004). *Frijol Canario 2000 – Variedad del Frijol Arbustivo para la Costa del Perú*. Recuperado de <http://www.inia.gob.pe/wpcontent/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/frijol/jol%2FCanario-2000.pd>

Jyostsna K., Aala, S., Vijay K., y Bharath M., (2018). IoT based Agriculture System Using NodeMCU. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(3), 3025 - 3028.

Kalathas J., Bandekas D., Kosmidis A., y Kanakaris V., (2016). Seedbed based on IoT: A case Study. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 9(2), 1-6.

Kang, M., Kang, D.-I., Walters, J., & Crago, S. (2017). A Comparison of System Performance on a Private OpenStack Cloud and Amazon EC2. *IEEE 10th International Conference on Cloud Computing*, 311-317. doi: 10.1109/CLOUD.2017.47

Khattab, A., Abdelgawad, A., y Yelmarthi, K. (2016). Design and Implementation of a Cloud-based IoT Scheme for Precision Agriculture. *28th International Conference on Microelectronics (ICM)*, 201-204. doi: 10.1109/ICM.2016.7847850

Lekić, M., y Gardašević G.,(2018). IoT sensor integration to Node-RED platform. *17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, 1-5. doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345544

Liñan, A., Vives, A., Bagula, A., Zennaro, M., y Pietrosemoli, E. (2015). *Internet de las Cosas*. Recuperado de <http://wireless.ictp.it/Papers/InternetdelasCosas.pdf>

Llamas, L. (11 de Marzo de 2019). NodeMCU tutorial paso a paso desde cero[Mensaje en un Blog]. Recuperado de: <https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>

Mendez , C. (2001). *Metodología, Diseño y Desarrollo del Proceso*

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN: "Análisis correlacional de resistividad y capacitancia con contenido de humedad en arcilla y arena como base de pavimento, Cusco 2021"

| PROBLEMAS | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLES DE ESTUDIO | MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿En qué medida se correlacionan los métodos resistivo y capacitivo con la humedad en distintos tipos de suelos?</p> | <p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar las correlaciones existentes entre los métodos resistivo y capacitivo con respecto a la humedad en distintos tipos de suelos.</p> | <p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>Los métodos resistivo y capacitivo tienen una correlación significativa con la humedad en distintos tipos de suelos.</p> | <p>1.1. VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Método de medición INDICADOR:</p> <ul style="list-style-type: none"> Contenido de humedad por método gravimétrico <p>2.1. VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Precisión del método INDICADOR:</p> <ul style="list-style-type: none"> Contenido de humedad por método Capacitivo | <p>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.</p> <p>Cuantitativo.</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.</p> <p>Experimental.</p> <p>ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>Correlacional</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>La población la constituyeron todos los ensayos realizados con diferentes proporciones de material las cuales nos dieron cada una de ellas, se trabajó con diversas humedades (127 especímenes).</p> <p>La muestra en la presente investigación es una porción extraída mediante métodos específicos que representan los resultados de una totalidad de 127 especímenes.</p> <p>TÉCNICA E INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Ficha de recolección de datos de ensayos de laboratorio.</p> <p>PROCESAMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS</p> <p>Excel.</p> |
| <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>A. ¿En qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una arcilla?</p> <p>B. ¿En qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una arena?</p> <p>C. ¿En qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en un suelo de base?</p> <p>D. ¿En qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en una arcilla?</p> <p>E. ¿En qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en una arena?</p> <p>F. ¿En qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en un suelo de base?</p> | <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Determinar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una arcilla.</p> <p>b) Determinar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en una arena.</p> <p>c) Determinar en qué medida se correlacionan el método resistivo con la humedad en un suelo de base.</p> <p>d) Determinar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en una arcilla.</p> <p>e) Determinar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en una arena.</p> <p>f) Determinar en qué medida se correlacionan el método capacitivo con la humedad en un suelo de base.</p> | <p>HIPOTESIS ESPECÍFICOS</p> <p>A. El método resistivo tiene una correlación positiva débil con la humedad en una arcilla ($r > 0.25$).</p> <p>B. El método resistivo tiene una correlación negativa considerable con la humedad en una arena ($r > -0.75$).</p> <p>C. El método resistivo tiene una correlación negativa muy fuerte con la humedad en un material de base ($r > -0.90$).</p> <p>D. El método capacitivo tiene una correlación negativa media con la humedad en una arcilla ($r > -0.50$).</p> <p>E. El método capacitivo tiene una correlación negativa considerable con la humedad en una arena ($r > -0.75$).</p> <p>F. El método capacitivo tiene una correlación negativa muy fuerte con la humedad en un material de base ($r > -0.90$).</p> | | |

ANEXO 02: MATRÍZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | Escala |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| Método Resistivo Capacitivo | El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el material mediante un sensor resistivo y la determinación, mediante otro par de sensor capacitivo, de la diferencia de potencial | Se medirá la resistividad en milivoltios de un sensor comercial. La electricidad pasa a través del suelo, el cambio en la magnitud de la electricidad entre dos polos del sensor es relacionado al contenido de humedad del suelo. | Gravimétrico Capacitivo | Contenido de humedad por los métodos gravimétrico, capacitivo | Intervalo |
| Contenido de Humedad | La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades y la capacitancia de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los sensores y de la corriente inyectada. | Se capacitancia en milivoltios de un sensor comercial. La pérdida de electricidad reportada por el sensor es correlacionada con el contenido de humedad del suelo. | Coefficiente de correlación Coefficiente de determinación | Porcentaje de agua contenida en la muestra | Intervalo |

ANEXO 03: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y SU PROCESO

Sensor resistivo YL-69, con comparador LM393 SMD: Este sensor tiene la capacidad de medir la humedad del suelo. Aplicando una pequeña tensión entre los terminales del módulo YL-69 hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y ésta depende mucho de la humedad. Por lo tanto, al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye. Consiste en una sonda YL-69 con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital.

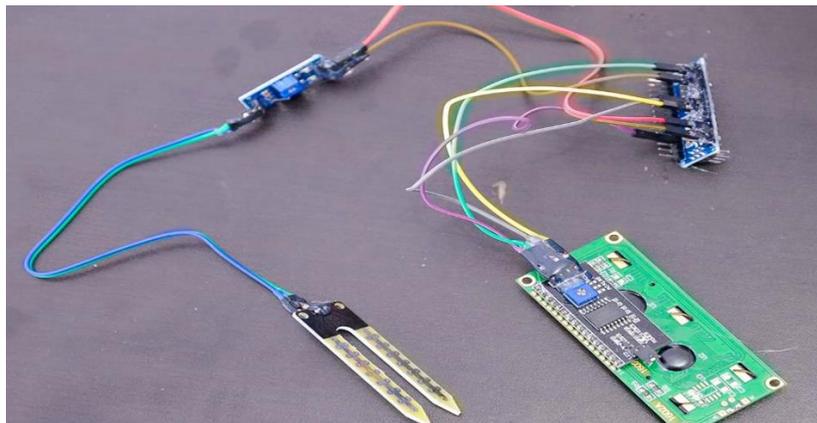


Fig. 1.

Sensor YL-69 usado en la tesis

Fuente propia.

Sensor de humedad del suelo capacitivo V1.2.: Este sensor capacitivo de humedad del suelo V1.2 mide los niveles de humedad del suelo mediante la detección capacitiva en lugar de la detección resistiva como otros sensores en el mercado. Está hecho de material resistente a la corrosión que le da una excelente vida útil



Fig. 2. Sensor capacitivo en la tesis.

Fuente propia.

Horno estufa de tiro forzado: Se utilizó un horno calibrado, el cual se puede apreciar en la siguiente figura.



Fig. 3. Horno de tiro forzado usado en la tesis.

Fuente propia.

Balanza electrónica con sensibilidad a 0,1 g.

Se utilizó la balanza calibrada, que se aprecia en la siguiente figura.



Fig. 4. Balanza electrónica usada en la tesis.

Fuente propia.

Resultado de medir el cambio en la resistividad en una arcilla: Con la finalidad de determinar el cambio en la resistividad de un suelo tipo arcilla se hicieron distintas pruebas con arcillas cuyo contenido de humedad era variado. Se utilizó para tal fin una arcilla caolinita homogeneizada que reposó 24 horas antes de los ensayos con distintos grados de humedad. Para medirlo simplemente se introdujo la sonda del sensor resistivo dentro del arcilla y se esperó la lectura después de 60 segundos conforme se aprecia en la siguiente imagen.



Fig. 5. Medición de la resistividad en arcilla.

Fuente propia.

Resultado de medir el cambio en la capacitancia en una arcilla: Con la finalidad de determinar el cambio en la capacitancia se utilizó un procedimiento similar al descrito en la anterior sección. Dicho procedimiento se aprecia en la siguiente figura.

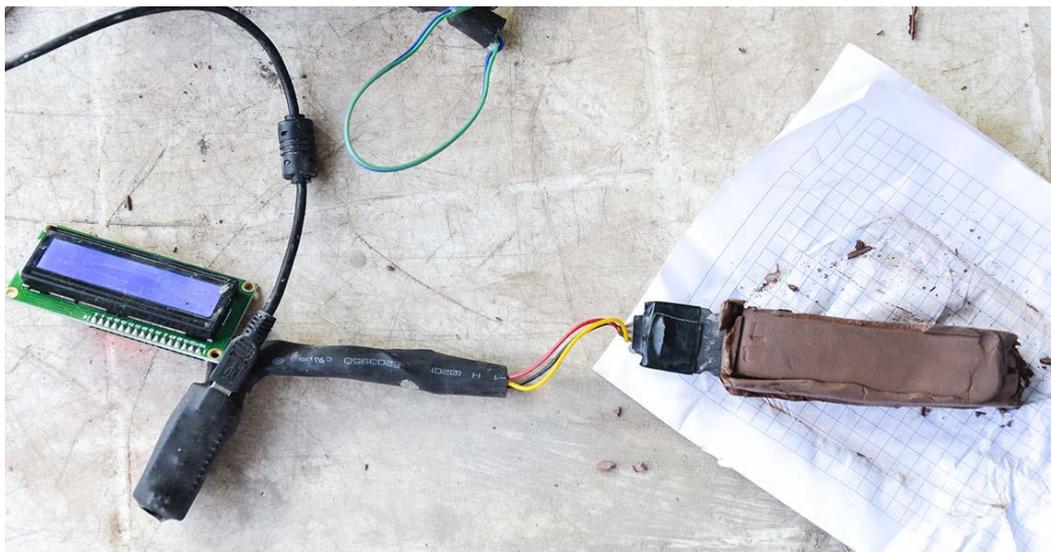


Fig. 6. Medición de la capacitancia en arcilla.

Fuente propia.

Resultado de medir el cambio en la resistividad en una arena; para este fin se introdujo la sonda del sensor dentro de la arena compactada con distintos contenidos de

humedad en un recipiente metálico. Este procedimiento se observa en la siguiente imagen.



Fig. 7. Medición de la resistividad en arena.
Fuente propia.

Resultado de medir el cambio en la capacitancia en una arena: Con la finalidad de determinar el cambio en la capacitancia se utilizó un procedimiento similar al descrito en la anterior sección. Dicho procedimiento se aprecia en la siguiente figura.



Fig. 8. Medición de la capacitancia en arena.
Fuente propia.

Procedimiento de medición del cambio en la resistividad en un material de base: Para este fin se introdujo la sonda del sensor dentro del suelo de base compactado con

distintos contenidos de humedad en un recipiente metálico. Este procedimiento se observa en la siguiente imagen.

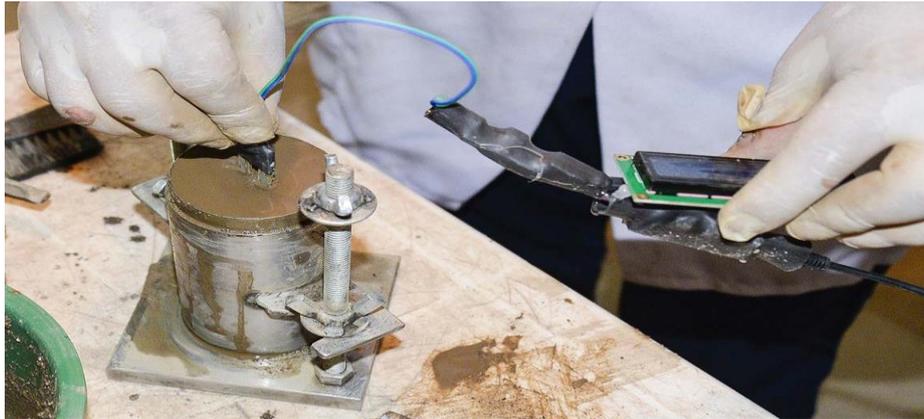


Fig. 9. Medición de la resistividad en un suelo de base.
Fuente propia.

Procedimiento de medición del cambio en la capacitancia en material de base. Con la finalidad de determinar el cambio en la capacitancia se utilizó un procedimiento similar al descrito en la anterior sección. Dicho procedimiento se aprecia en la siguiente figura.



Fig. 10. Medición de la capacitancia en suelo de base.
Fuente propia.

ANEXO 04: MANUAL DEL SENSOR CAPACITATIVO

Capacitive Soil Moisture Sensor SKU:SEN0193



Capacitive Soil Moisture Sensor

Contents

- 1 Introduction
- 2 Specification
- 3 Tutorial
 - [3.1 Requirements](#)
 - [3.2 Connection Diagram](#)
 - [3.3 Calibration Code](#)
 - [3.4 Calibration](#)
 - [3.4.1 Calibration Range](#)
 - [3.4.2 Section Settings](#)
 - [3.5 Test Code](#)
- 4 FAQ

Introduction

Our soil moisture sensor measures soil moisture levels by capacitive sensing rather than resistive sensing like other sensors on the market. It is made of corrosion resistant material which gives it an excellent service life.

Insert it in to the soil around your plants and impress your friends with real-time soil moisture data! This module includes an on-board voltage regulator which gives it an operating voltage range of 3.3

~ 5.5V. It is perfect for low-voltage MCUs, both 3.3V and 5V. For compatibility with a Raspberry Pi it will need an ADC converter.

This sensor is compatible with our 3-pin "Gravity" interface, which can be directly connected to the Gravity I/O expansion shield.

Specification

- Operating Voltage: 3.3 ~ 5.5 VDC
- Output Voltage: 0 ~ 3.0VDC
- Operating Current: 5mA
- Interface: PH2.0-3P
- Dimensions: 3.86 x 0.905 inches (L x W)
- Weight: 15g

Tutorial

Requirements

- **Hardware**

UNO x1

Capacitive Soil

Moisture Sensor

x1 Jumper Cable

x3

- **Software**

Arduino IDE V1.6.5 [Click to Download Arduino IDE](#)

Connection

Diagram



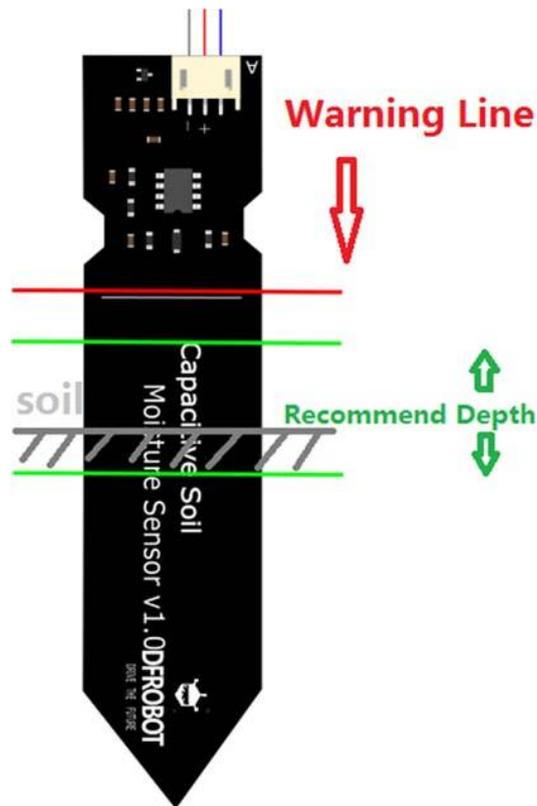
```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate as 9600 bps  
}  
void loop() {  
  int val;  
  
  val = analogRead(0); //connect sensor to Analog 0  
  Serial.print(val); //print the value to serial port  
  delay(100);  
}
```

Calibration

Code

Calibration

Calibration Range



1. Open the serial port monitor and set the baud rate to 9600
2. Record the sensor value when the probe is exposed to the air as "Value 1". This is the boundary value of dry soil "Humidity: 0%RH"
3. Take a cup of water and insert the probe into it no further than the red line in the diagram
4. Record the sensor value when the probe is exposed to the water as "Value 2". This is the boundary value of moist soil "Humidity: 100%RH"

 The components on this board are NOT waterproof, do not expose to moisture further than the red line. (If you want to protect components from the elements, try using a length of wide heat shrink tubing around the upper-section of the board.)

There is an inverse ratio between the sensor output value and soil moisture.

Section Settings

The final output value is affected by probe insertion depth and how tight the soil packed around it is. We regard "value_1" as dry soil and "value_2" as soaked soil. This is the sensor detection range.

For example: Value_1 = 520; Value_2 = 260.

The range will be divided into three sections: dry, wet, water. Their related values are:

- Dry: (520 430]
- Wet: (430 350]
- Water: (350 260]

Test Code

```
/******  
***** This example reads Capacitive Soil  
Moisture Sensor.  
  
Created 2015-10-21  
By berinie Chen <bernie.chen@dfrobot.com>  
  
GNU Lesser General Public License.  
See <http://www.gnu.org/licenses/> for  
details. All above must be included in any  
redistribution  
  
*****/  
  
/******Notice and Trouble shooting*****  
  
1.Connection and Diagram can be found here:  
https://www.dfrobot.com/wiki/  
index.php?title=Capacitive\_Soil\_Moisture\_Sensor\_SKU:SEN01  
93  
  
2.This code is  
tested on Arduino  
Uno. 3.Sensor is  
connect to Analog 0  
port.  
*****/  
  
const int AirValue = 520; //you need to replace this  
value with Value_1 const int WaterValue = 260;  
//you need to replace this  
value with Value_2 int intervals = (AirValue -  
WaterValue)/3;
```

```

int
soilMoist
ureValue
= 0; void
setup() {

    Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate to 9600
    bps

}

void loop() {

soilMoistureValue = analogRead(A0); //put Sensor insert into soil
if(soilMoistureValue > WaterValue && soilMoistureValue <
(WaterValue + int ervals))

{

    Serial.println("Very Wet");

}

else if(soilMoistureValue > (WaterValue + intervals) &&
soilMoistureValue
< (AirValue - intervals))

{

    Serial.println("Wet");

}

else if(soilMoistureValue < AirValue && soilMoistureValue >
(AirValue - in tervals))

{

    Serial.println("Dry");

}

delay(100);

}

```

ANEXO 05: MANUAL DEL SENSOR

Moisture Sensor User Manual

| | |
|-------------------|---------------|
| Operating voltage | 2.0V-5.0V |
| Output type | Analog output |
| Detectable depth | 38mm |
| Dimensions | 20.0mm*51.0mm |
| Fixing hole size | 2.0mm |

Operating principle:

This module is an application of the current amplification by a transistor. When the water in the soil is sufficient enough to conduct the current between the base and the positive power supply, a certain amount of current is generated between the base and the emitter. And in a mean while, an electric current is produced in a certain amplification factor between the collector and the emitter, and applied to the resistant in the emitter to produce a voltage. Then, this voltage will be collected by an AD converter.

Applications

This module can be applied to automatic watering system, soil moisture detection, Automatic irrigation system, etc.

Interfaces

| Pin No. | Symbol | Descriptions |
|---------|--------|-----------------------------------|
| 1 | AOUT | Analog output |
| 2 | GND | Power ground |
| 3 | VCC | Positive power supply (2.0V-5.0V) |

How to use

We will illustrate the usage of the module with an example of soil moisture detection by connecting a development board.

- ① Download the relative codes to the development board.
- ② Connect the development board to a PC via a serial wire and the module to the development board. Then, power up the development board and start the serial debugging software.

Here is the configuration of the connection between the module and the development board.

| Port | STM32 MUC pin |
|------|---------------|
| AOUT | GPIOA.6 |

| | |
|-----|------|
| GND | GND |
| VCC | 3.3V |

| Port | Arduino pin |
|------|-------------|
| AOUT | A0 |
| GND | GND |
| VCC | 5V |

Here is the configuration of the serial port.

| | |
|------------|--------|
| Baud rate | 115200 |
| Data bits | 8 |
| Stop bit | 1 |
| Parity bit | None |

- ③ Insert the sensor into the soil.
- ④ Water the soil little by little, and you may find the serial output changes from *I'm thirsty!* to *I had enough!*

ANEXO 06

CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO

MBA. Ing. Civil CIP 115764

RUC 10239763681

Consultor en geotecnia, con laboratorio propio.

Informe 099-CEAJ-2021

Informe de resultado de laboratorio:
Contenido de humedad - MTC E 108 - 2000.

Datos generales:

Solicitante: Palomino Vásquez, Elvis (ORCID: 0000-0002-2522-6327).

Fecha del ensayo: 07 de junio al 12 de julio de 2021

Dirección del laboratorio: Av. Micaela Bastidas 258, Wanchaq, Cusco, Perú.

Muestreo, procedencia y manipulación del suelo hasta llegar al laboratorio: hecha por el solicitante.

Objetivo:

Determinar el contenido de humedad de diversas muestras.

Resultados:

Tabla 1.

Resultados de laboratorio por método MTC E 108 - 2000 para una arcilla.

| N° Ensayo | W Molde Vacío (g) | W Molde + SH (g) | L Resistivo (mV) | L Capacitivo (mV) | Cod. Capsula | W Cap (g) | W Cap + SH (g) | W Cap + SS (g) | W% |
|-----------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------|-----------|----------------|----------------|------|
| 1 | 1746 | 122 | 303 | 327 | W-4 | 7.2 | 51.8 | 42.9 | 24.9 |
| 2 | 1746 | 132 | 283 | 332 | A-6 | 11 | 49.9 | 42.1 | 25.1 |
| 3 | 1746 | 138 | 262 | 323 | A-14 | 10.6 | 56.6 | 47.3 | 25.3 |
| 4 | 1746 | 134 | 256 | 323 | A-20 | 10.9 | 61.6 | 51.5 | 24.9 |
| 5 | 1746 | 116 | 269 | 327 | H-6 | 10.7 | 55.8 | 47.1 | 23.9 |
| 6 | 1746 | 136 | 267 | 326 | W-1 | 11 | 60.4 | 51.1 | 23.2 |
| 7 | 1746 | 142 | 272 | 329 | A-7 | 10.9 | 59 | 49.5 | 24.6 |
| 8 | 1746 | 136 | 229 | 324 | A-17 | 10.9 | 59.9 | 49.9 | 25.6 |
| 9 | 1746 | 136 | 228 | 324 | R-4 | 10.9 | 57.7 | 48.7 | 23.8 |
| 10 | 1746 | 112 | 231 | 329 | A-4 | 10.8 | 48.7 | 41.6 | 23.1 |
| 11 | 1746 | 130 | 253 | 335 | H-1 | 11 | 58.5 | 49.6 | 23.1 |
| 12 | 1746 | 138 | 207 | 333 | Q-3 | 10.8 | 56.9 | 48.2 | 23.3 |
| 13 | 1746 | 130 | 260 | 348 | A-3 | 10.9 | 52.4 | 44.9 | 22.1 |
| 14 | 1746 | 116 | 190 | 337 | A-8 | 10.7 | 55 | 47 | 22.0 |
| 15 | 1746 | 118 | 250 | 339 | A-18 | 11.2 | 53.2 | 45.4 | 22.8 |
| 16 | 1746 | 110 | 242 | 331 | PQ-7 | 10.8 | 46.3 | 40.2 | 20.7 |

Fuente: ensayos de laboratorio, elaboración: consultor.

CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO
INGENIERO CIVIL
Reg. CP. N° 115764

Tabla 2.

Resultados de laboratorio por método MTC E 108 - 2000 para una arena.

| N° Ensayo | W Molde Vacío (g) | W Molde + SH (g) | L Resistivo (mV) | L Capacitativo (mV) | Cod. Capsula | W Cap. (g) | W cap. + SH (g) | W Cap. + SS (g) | W% |
|-----------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------|------------|-----------------|-----------------|------|
| 1 | 1746 | 2272 | 1022 | 651 | 18 | 21.3 | 50.6 | 50.5 | 0.3 |
| 2 | 1746 | 2286 | 1015 | 623 | 7 | 21.8 | 53.9 | 53.6 | 0.9 |
| 3 | 1746 | 2290 | 986 | 579 | 8 | 20.8 | 61.2 | 60.6 | 1.5 |
| 4 | 1746 | 2294 | 898 | 528 | 25 | 20.8 | 56.7 | 55.9 | 2.3 |
| 5 | 1746 | 2270 | 766 | 513 | 37 | 21.3 | 55.8 | 54.9 | 2.7 |
| 6 | 1746 | 2290 | 646 | 486 | 35 | 21.9 | 69.8 | 68.2 | 3.5 |
| 7 | 1746 | 2302 | 542 | 456 | 33 | 20.9 | 63.7 | 62 | 4.1 |
| 8 | 1746 | 2308 | 489 | 427 | 17 | 21 | 66.3 | 64.2 | 4.9 |
| 9 | 1746 | 2308 | 399 | 423 | 38 | 21 | 65.2 | 63.1 | 5.0 |
| 10 | 1746 | 2316 | 425 | 404 | 24 | 20.3 | 65.2 | 62.8 | 5.6 |
| 11 | 1746 | 2310 | 339 | 399 | 4 | 20.3 | 66.4 | 63.7 | 6.2 |
| 12 | 1746 | 2318 | 335 | 391 | 20 | 21.7 | 73.7 | 70.1 | 7.4 |
| 13 | 1746 | 2330 | 315 | 391 | 1 | 21 | 91.7 | 86.3 | 8.3 |
| 14 | 1746 | 2322 | 308 | 370 | 32 | 21.5 | 81.7 | 76.7 | 9.1 |
| 15 | 1746 | 2336 | 292 | 381 | 3 | 24.4 | 71.9 | 67.4 | 10.5 |
| 16 | 1746 | 2340 | 266 | 383 | 23 | 20.4 | 75.5 | 70.3 | 10.4 |
| 17 | 1746 | 2340 | 255 | 369 | 14 | 20.6 | 83.4 | 76.4 | 12.5 |
| 18 | 1746 | 2366 | 261 | 371 | 30 | 20.7 | 74.2 | 68 | 13.1 |
| 19 | 1746 | 2376 | 233 | 366 | 6 | 20.4 | 84.3 | 76 | 14.9 |
| 20 | 1746 | 2388 | 238 | 363 | 9 | 20.5 | 70.8 | 63.9 | 15.9 |
| 21 | 1746 | 2396 | 251 | 339 | 15 | 20.9 | 88.7 | 78.4 | 17.9 |
| 22 | 1746 | 2402 | 256 | 334 | 11 | 20.5 | 94.3 | 81.8 | 20.4 |
| 23 | 1746 | 2364 | 270 | 372 | 34 | 20.8 | 95.2 | 85.3 | 15.3 |
| 24 | 1746 | 2374 | 266 | 371 | 19 | 21.3 | 74.7 | 67.1 | 16.6 |
| 25 | 1746 | 2374 | 256 | 369 | 13 | 20.6 | 92.3 | 81.8 | 17.2 |
| 26 | 1746 | 2384 | 247 | 349 | 31 | 20.8 | 92.4 | 81.5 | 18.0 |
| 27 | 1746 | 2390 | 246 | 337 | 21 | 21.3 | 110.1 | 95.1 | 20.3 |
| 28 | 1746 | 2398 | 290 | 339 | 5 | 20.9 | 90.4 | 78.6 | 20.5 |
| 29 | 1746 | 2384 | 249 | 354 | M-02 | 11.8 | 76.2 | 66.7 | 17.3 |
| 30 | 1746 | 2386 | 258 | 356 | B-01 | 14.4 | 65 | 57 | 18.8 |
| 31 | 1746 | 2396 | 281 | 338 | 703 | 21.6 | 83.9 | 72.8 | 21.7 |
| 32 | 1746 | 2410 | 315 | 333 | 26 | 20.8 | 89.1 | 75.4 | 25.1 |

Fuente: ensayos de laboratorio, elaboración: consultor.

Tabla 3.

Resultados de laboratorio por método MTC E 108 - 2000 para material de base.

| N° Ensayo | W Molde Vacío (g) | W Molde + SH (g) | L Resistivo (mV) | L Capacitativo (mV) | Cod. Capsula | W Cap (g) | W Cap + SH (g) | W Cap + SS (g) | W% |
|-----------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------|-----------|----------------|----------------|------|
| 1 | 1746 | 2334 | 964 | 547 | 20 | 21.9 | 61.3 | 60.4 | 2.3 |
| 2 | 1746 | 2326 | 888 | 518 | 26 | 21.1 | 58.9 | 57.7 | 3.3 |
| 3 | 1746 | 2318 | 899 | 518 | 13 | 20.7 | 60.6 | 59.3 | 3.4 |
| 4 | 1746 | 2316 | 811 | 514 | 8 | 20.9 | 58.4 | 56.8 | 4.5 |
| 5 | 1746 | 2316 | 690 | 477 | 25 | 20.8 | 66.1 | 63.6 | 5.8 |
| 6 | 1746 | 2346 | 598 | 464 | 4 | 20.4 | 74 | 70.3 | 7.4 |
| 7 | 1746 | 2360 | 450 | 451 | 19 | 21.5 | 80.9 | 76.1 | 8.8 |
| 8 | 1746 | 2394 | 361 | 397 | 23 | 20.5 | 91.2 | 84.3 | 10.8 |
| 9 | 1746 | 2418 | 326 | 388 | 33 | 20.9 | 88.1 | 81.2 | 11.4 |

CESAR EDILBERTO ARBULLU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 11574

| N° Ensayo | W Molde Vacío (g) | W Molde + SH (g) | L Resistivo (mV) | L Capacitivo (mV) | Cod. Capsula | W Cap (g) | W Cap + SH (g) | W Cap + SS (g) | W% |
|-----------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------|-----------|----------------|----------------|------|
| 10 | 1746 | 2432 | 305 | 364 | 35 | 22 | 81.3 | 74.5 | 13.0 |
| 11 | 1746 | 2474 | 283 | 338 | 14 | 20.8 | 101.1 | 91.2 | 14.1 |
| 12 | 1746 | 2468 | 144 | 343 | LL-2 | 21.6 | 111 | 99 | 15.5 |
| 13 | 1746 | 2458 | 303 | 335 | B-4 | 12.3 | 71.1 | 63.2 | 15.5 |
| 14 | 1746 | 2450 | 344 | 329 | M-02 | 11.8 | 78.1 | 68.4 | 17.1 |
| 15 | 1746 | 2462 | 353 | 327 | N-04 | 12.1 | 85.6 | 73.9 | 18.9 |

Fuente: ensayos de laboratorio, elaboración: consultor.

Es todo cuanto se informa al respecto.

Cusco, 24 de julio de 2021


CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 115764