



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de un sensor para la determinación del contenido de la humedad in-situ como parte de control de calidad en la construcción de pavimentos en el distrito de Checacupe, Canchis, Cusco, 2021

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Huallpa Pucapuca, Gueryn Yulder ([ORCID: 0000-0001-5785-331X](#))

ASESOR:

Mg. Olarte Pinares, Jorge Richard ([ORCID: 0000-0001-5699-1323](#))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios padre todopoderoso que me dio la vida y la fuerza que necesite para seguir y levantarme después de tantas caídas.

A mis padres Sr. Clemente, Madre Sra. Adriana y hermanos quienes con todo el apoyo y paciencia confiaron en mí, y fueron parte de esta constante lucha del día a día que al final se convirtió en victoria.

A mi Abuelo y tíos, por su apoyo fe y confianza en mí que motivaron mi lucha para seguir adelante y lograr las metas anheladas que aunque parecía inalcanzable es una realidad.

Agradecimiento

A la Universidad César Vallejo - Facultad de Ingeniería - Escuela Profesional de Ingeniería Civil por darnos la acogida para poder concretar nuestro sueño del ansiado título profesional.

A nuestro Asesor de Tesis de Tesis Ing. por su apoyo profesional en la elaboración de esta tesis de investigación.

A nuestros familiares, quienes creyeron y confiaron en nuestra tenacidad y ganas de superación personal en el largo camino de la vida universitaria y posteriormente al dar nuestros primeros pasos como bachilleres.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	10
3.2. Variables y operacionalización	11
3.3. Población, muestra y muestreo	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.5. Procedimientos.....	13
3.6. Método de análisis de datos	14
3.7. Aspectos éticos	15
IV. RESULTADOS	16
V. DISCUSIÓN	22
VI. CONCLUSIONES	29
VII. RECOMENDACIONES	29
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS	35

Índice de tablas

<i>Tabla1. Muestra</i>	12
<i>Tabla2. Muestra de contenido</i>	16
<i>Tabla3. Porcentaje de humedad método horno</i>	17
<i>Tabla4. Porcentaje de humedad método sensor</i>	18
<i>Tabla5. Porcentaje de humedad método Speedy</i>	18
<i>Tabla6. Descriptivos y Correlaciones Pearson</i>	19
<i>Tabla7. Descriptivo Correlaciones de Pearson</i>	20
<i>Tabla8. Descriptivos y Correlaciones de Pearson</i>	21

Índice de figuras

<i>Figura 1. Recta para interpretar el coeficiente R de Pearson.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2. Correlación entre método de sensor y de horno</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3. Correlación entre método de speedy y de horno</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4. Correlación entre método de sensor y de speedy.....</i>	<i>28</i>

Resumen

El presente trabajo de investigación plantea el diseño de un sensor para determinar el contenido de humedad de un suelo in situ como parte de Control de Calidad en la Construcción de Pavimentos en el distrito de Chacacupe, Canchis, Cuzco 2021, con el propósito de facilitar las mediciones de este parámetro poniendo a la disposición de los profesionales de la ingeniería un equipo de bajo costo con el que se pueden tomar varios puntos y obtener resultados precisos en corto tiempo, sin la necesidad de trasladar las muestras a un laboratorio. Para lograrlo se tomaron muestras de suelo en una cantera y se les caracterizaron las propiedades físicas, posteriormente se utilizó la porción del pasante del tamiz # 4 clasificada como Limo. Se procedió a la adición de agua en el suelo seco iniciando con un 0,6% hasta alcanzar al 16%, se determinó el contenido de humedad en el laboratorio, identificado como (horno), el método de succión mátrica y el sensor diseñado. El tipo de investigación fue aplicada apoyada en un diseño cuasiexperimental, se analizaron 26 muestras, para la confiabilidad de los resultados se utilizó el coeficiente de Pearson, obteniendo un coeficiente de correlación se clasifica moderado/alto.

Palabras clave: Contenido de humedad, método de capacitancia, método gravimétrico, medición in situ.

Abstract

The present research work proposes the design of a sensor to determine the moisture content of a soil in situ as part of Quality Control in Pavement Construction in the district of Chacacupe, Canchis, Cuzco 2021, with the purpose of facilitating the measurements of this parameter by making low-cost equipment available to engineering professionals with which it is possible to take several points and obtain precise results in a short time, without the need to transfer the samples to a laboratory. To achieve this, soil samples were taken in a quarry and their physical properties were characterized, later the portion of the # 4 sieve pass-through classified as Silt was used. Water was added to the dry soil starting with 0.6% until reaching 16%, the moisture content was determined in the laboratory, identified as (oven), the matric suction method and the designed sensor. The type of research was applied supported by a quasi-experimental design, 26 samples were analyzed, for the reliability of the results the Pearson coefficient was used, obtaining a correlation coefficient classified as moderate / high.

Keywords: Moisture content, capacitance method, gravimetric method, in situ measurement.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha venido observando cómo ha influido el desarrollo tecnológico en el quehacer diario de la humanidad, dentro de las áreas del conocimiento donde se han observado mayores cambios es la relacionada con la construcción de obras civiles que ha evolucionado no solo en la forma y los materiales que se utilizan, sino, además, en la manera de realizar la medición de parámetros, pasando de ensayos realizados en laboratorios a ensayos realizados in situ.

Asimismo se ha visto como Latinoamérica ha sido testigo de esta evolución tecnológica, como se ha podido observar en los avances tecnológicos de esta parte del mundo donde paso a paso se han realizado actualizaciones en tecnología de punta para ir de la mano con países desarrollados, un ejemplo de ello es la aplicación de metodologías que han servido como herramientas para mejorar los tiempos de respuesta, sin perjudicar la precisión de mediciones realizadas en campo, esto ha permitido el avance en los proyectos desarrollados dentro del campo de la ingeniería civil.

Por ello, se hace imperioso que los profesionales del sector de la construcción que hacen vida en esta región tengan conocimiento de estas tecnologías, las adopten como propias a fin de aplicarlas y no quedar rezagados en cuanto a nuevos conocimientos se refiere, tales como el diseño de instrumentos necesarios para la realización de proyectos civiles.

Por su parte, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú considera que el progreso en la construcción está alrededor al 7% en el año en curso ya que se han dedicado para la mejora de este sector más de 70.000 millones de euros desde 2010 en Latinoamérica. (Structuralia, 2019). De acuerdo a este señalamiento y con las proyecciones que existen a nivel mundial referidas a soluciones viales, las expectativas laborales de los ingenieros de la región son esperanzadoras.

Un ejemplo de ello son los estudios de suelo, que dan acceso a la cognición de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la superficie que se va a utilizar para ejecutar el proyecto, es decir, el perfil edáfico con cada uno de los estratos que conforman este elemento y su espesor, esta información es necesaria tanto al momento de calcular las fundiciones en una como al momento de proyectar una vialidad (Cárdenas, 2019).

Debe señalarse que en “los planes de vialidad es importante tener información de las características mecánicas de los suelos, debido a que ello permite tomar las decisiones correctas al momento de realizar el diseño del pavimento” (Castillo & Porta, 2021). Uno de los parámetros que reviste gran relevancia a la hora de proyectar una obra civil y más específicamente una vialidad, es el denominado contenido de humedad.

El contenido de humedad del suelo, brinda una información valiosa para conocer el comportamiento del pavimento, la base y la sub-base. Cuando existen fallas en el pavimento bajo condiciones de tráfico, éstas son proporcionales a la variabilidad del contenido de agua en el suelo y almacenamiento en la base, en ocasiones el agua depositada entre el riego de adherencia y la carpeta de rodamiento (Bastos, 2013).

La supervisión e inspección del cambio de contenido de agua de la subrasante es esencial ya que de ello depende la vida útil del pavimento (Pizarro & L de Almeida, 2020), un ejemplo de ello lo representa el grado de compactación de los suelos en la construcción de carreteras donde deben alcanzarse los resultados técnicos exigidos por el proyecto, de aquí que el propósito de la investigación es realizar el diseño de un sensor para la determinación del contenido de humedad del suelo in situ, que permita alcanzar resultados más confiables que los obtenidos por el método de succión mátrica (Speedy) y aun menor costo, sin los riesgos de contaminación por el uso de químicos, que supone el método antes mencionado.

Parte de la contraloría llevada a cabo en el Perú para la ejecución de proyectos viales consiste en verificar el grado de compactación en todas las capas granulares

del pavimento, es así que, para este proceso es necesario conocer la humedad del suelo in-situ de varios puntos del terreno al momento de verificar la densidad de campo, siendo comúnmente estimada la humedad con métodos poco precisos o lentos.

Como se mencionó, existen varios métodos para la medición de este parámetro entre los que se puede mencionar: el método gravimétrico, que debe ser aplicado en un laboratorio con las restricciones que esto conlleva y métodos de campo tales como: Método de resistencia eléctrica, Método neutrónico, Métodos dieléctricos, Reflectometría, Teledetección, Método tensiométrico y el Método de succión mátrica, que aunque permiten efectuar mediciones in situ, los equipos desarrollados son costosos, esto limita la posibilidad de acceder a ellos de manera sencilla, es imprescindible estudiar una forma de construir un sensor de humedad que esté al alcance de un constructor promedio (Betancourth, 2016, pág. 17).

De las afirmaciones anteriores, surgen las siguientes interrogantes: ¿Mediante que metodología se podría obtener la humedad del suelo de manera rápida y eficiente?, ¿Que metodología garantizaría una confiabilidad mayor al método de Succión Mátrica o Speedy?, ¿Qué metodología podría reemplazar al método de Succión Mátrica o Speedy que sea no contaminante?, ¿Qué método de medición de humedad sería competente económicamente frente a los métodos tradicionales?

Las acciones desarrolladas para responder las interrogantes antes señaladas, fueron: como objetivo general, Obtener la humedad in situ del suelo de forma rápida y precisa para fines del control del grado de compactación y como objetivos específicos: Implementar metodologías que garanticen alta confiabilidad en los resultados en tiempos reducidos, Evitar el uso de productos contaminantes y que ocasionen daño al ser manipulados por el ser humano, y Reducir los costos para la evaluación o estimación de la humedad del suelo en el proceso de compactación.

II. MARCO TEÓRICO

A continuación se indican los antecedentes internacionales:

Afirman Ren-Peng, Han-Lin y Peng-yun (2017) en la investigación realizada sobre. Efectos del grado de compactación y el contenido de finos de la capa inferior de la subrasante sobre la migración de humedad en la subestructura de los ferrocarriles de alta velocidad. En este estudio, se estableció un modelo numérico de un lecho de vía sin balasto de doble línea que consta de una subestructura (capa superficial de subrasante, capa inferior de subrasante y subsuelo) y una superestructura (que incluye dos bases de concreto justo encima de la subestructura) se analizaron los efectos del grado de compactación y el contenido de finos de la capa inferior debido a la migración de humedad, durante un período de tres años. Los resultados muestran que las zonas de saturación se desarrollan en la subrasante, luego de un período de tres años, aumentando el tamaño con el aumento en el grado de compactación o contenido de finos por mayor capacidad de retención de agua y menor permeabilidad del suelo.

De igual manera Iwata y Kameyama (2017) en investigación titulada: Efecto de la instalación del sensor en la medición precisa del contenido de agua del suelo, evaluaron los efectos de diferentes métodos de instalación de un sensor de humedad del suelo por capacitancia en la salida del sensor con seis tipos de suelo y tres métodos de instalación del sensor, los resultados les permitieron observar una relación lineal significativa entre las diferencias máximas en θ (que podrían resultar de los diferentes métodos de instalación de sensores) y el volumen de poro grueso determinado a partir de las curvas características del agua del suelo. La compactación alrededor del sensor inducida por la instalación del sensor, que podría ser considerable para suelos con muchos poros gruesos, se consideró la razón principal de un aumento en el valor de salida del sensor de humedad del suelo.

Al mismo tiempo, Ekanayaka y Takeshi (2019) presentaron una investigación titulada: Calibración y validación de un sensor de humedad capacitivo de bajo costo para integrar el sistema automatizado de monitoreo de humedad del suelo, que tuvo como objeto desarrollar un prototipo para el monitoreo automatizado de la humedad del suelo utilizando un sensor capacitivo de humedad del suelo de bajo costo (SKU: SEN0193) para adquisición de datos, conectado a Internet, obteniendo como resultado que la repetibilidad de las mediciones registradas con la función de calibración desarrollada respalda el uso potencial del sensor SKU: SEN0193 para minimizar el riesgo de estrés por humedad del suelo o aplicación excesiva de agua.

Además, Gutierrez (2018) en su investigación titulada: Evaluación del uso potencial del sensor veris Ph manager considerando la influencia de la humedad del suelo y de la fracción arcilla en sus lecturas. El presente trabajo tuvo como objetivo general evaluar el uso potencial del sensor Veris pH Manager TM en suelos de la ciudad de Piracicaba – en el estado de Sao Paulo, considerando el efecto de la humedad del suelo y de la fracción arcilla en sus lecturas, las técnicas de sensoramiento del suelo para evaluar esa variabilidad están siendo desarrolladas, buscando el aumento de la densidad de mediciones. La muestra estuvo compuesta por 208 lecturas realizadas por el equipo, en los 27 puntos seleccionados y los resultados de laboratorio fueron comparados con las lecturas del sensor. Los valores de pH medidos con el sensor fueron mayores que los obtenidos por los métodos de laboratorio. Los datos se representaron con precisión mediante el método de regresión lineal, se concluyó que la influencia de la humedad del suelo en los valores de pH fueron proporcionalmente crecientes con el aumento de la cantidad de agua en el rango de 0% a 30%, el valor de pH a partir de 30% se estabiliza.

Para la realización de la investigación, fueron revisados algunos estudios que se indican seguidamente como antecedentes nacionales a saber:

Según Condori & Rodríguez (2019) presentaron una investigación titulada: El contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplástico de los suelos, Huancayo 2016, con el propósito de resolver fallas, agrietamientos, diferenciales en desplazamientos horizontales por ejemplo en fundaciones, y de la

misma manera el nivel freático correspondiente al lugar de la obra, la investigación estuvo basada en el método deductivo, tipo aplicada, nivel explicativo, diseño experimental, se realizaron pruebas para tener conocimiento de las características de los grupos control y experimental, la humedad hallada fue de 13% a 31.43% con elasticidades de 3.30 MPa a 9.20 MPa, con una proporcionalidad inversa entre el contenido de agua y el módulo de elasticidad, por lo que se concluye que el contenido de humedad ocasiona cambios significativos en las tres propiedades analizadas en la caracterización, especialmente la conducta elastoplástica del suelo.

Así mismo, Huaman y Zanabria (2020) en su investigación titulada: Influencia del índice de plasticidad y grado de compactación en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra, que tuvo como objetivo general determinar de qué manera el índice de plasticidad y el grado de compactación influyen en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra, la metodología empleada se correspondió con una investigación de tipo aplicada con nivel explicativo, para lo cual se fabricaron nueve prototipos en tierra a una escala de 1/150 con tres índices de Plasticidad diferentes, adicionalmente se utilizaron otros tres prototipos presas en los que se usó la compactación, a través de estas se pudo conocer la energía de compactación y el grado de compactación correspondiente. Los resultados obtenidos de los experimentos realizados respecto al grado de compactación, fue una relación de proporcionalidad invertida en este parámetro y el nivel de agua almacenada poniendo en riesgo la vida útil de la estructura.

En este orden de ideas Hernández, Arriola, y Farias (2020) desarrollaron una investigación que se titula: Propuesta metodológica para verificación del grado de compactación de suelos con un deflectómetro de impacto liviano (LWD), el objeto de la investigación fue estudiar la relación existente, de haberla entre el grado de compactación y el módulo del equipo LWD para diseños posteriores relacionados con edificaciones y/o pavimentación. A los suelos se le realizaron ensayos que permiten conocer las propiedades del suelo y el módulo del LWD en diferentes zonas como: los distritos de Surco y Puente Piedra, se llegó a la conclusión de que al planificar una obra en el distrito de Surco si se desea lograr un grado de

compactación de al menos 99%, se requiere un módulo entre los valores de 86 a 106 MPa, por otro lado en el terreno de Puente Piedra el incremento de los módulos del LWD, tuvo un comportamiento similar con respecto a el grado de compactación.

Al respecto Berrocal (2019) en su investigación titulada: Comparación del control de grado de compactación In Situ, utilizando el deflectómetro de peso liviano (LWD) comparado a los resultados del método nuclear y método del cono de arena para un tramo del proyecto Tocache - Juanjuí, en la región San Martín, el objeto de la investigación fue dar uso al Deflectómetro de Peso Liviano (LWD). A esta herramienta se quiere realizar una adaptación para utilizarla en el control de calidad de materiales, por medio de los datos obtenidos de Módulos Resilientes del paquete estructural del pavimento, todo esto para por medio de los resultados, pueda servir como control de la calidad del suelo, la metodología empleada fue investigación aplicada correlacional, de acuerdo a los datos obtenidos se concluyó que existen diferencias significativas en los valores encontrados luego de la aplicación de cada uno de los 3 métodos, por lo que se considera que el uso del equipo LWD no es factible para el control de calidad de grados de compactación por la forma como se ejecutó el trabajo de campo de esta investigación.

Con el objeto de ampliar la revisión bibliográfica se presentan las Teorías y enfoques conceptuales que guardan relación estrecha con el tema y en los que se apoyó el investigador para la realización de este estudio. La secuencia estuvo guiada por las variables identificadas en la investigación. Se entiende por presupuesto de operación, al instrumento operativo que permite registrar las entradas y salidas frecuentes correspondientes de una empresa, es decir, un registro que da una idea del costo de los insumos para la elaboración de un producto (Llamas, 2020).

Para Angulo (2018) "El presupuesto de operación tiene un alcance de todos los movimientos registrados en una empresa, donde parte de ellos van de la mano con los datos que componen el presupuesto financiero". Para otros autores, da cuenta de los movimientos que permiten a una organización manufacturar, facturar y gestionar, que es el ejercicio propio por medio del cual una empresa efectúa la tarea

de poner a la orden de su clientela los bienes y/o servicios, dependiendo de cuál sea su rama en el mercado (González M. , 2021).

En la presente investigación la dimensión considerada para el presupuesto de operación fueron los insumos, estos se definen como las unidades que pueden ocasionar cambios al brindar actividades comerciales y reducir las insuficiencias percibidas los clientes, en este caso se referiría a los elementos necesarios para el diseño de un sensor, en este sentido son todos los elementos utilizados en el área de elaboración de productos (Pacheco, 2021).

Continuando con la secuencia antes señalada, se hace referencia al término contaminación, más específicamente a la contaminación del suelo, la cual en palabras de Juste (2021) La contaminación del suelo es el impacto negativo o modificación de una extensión terrestre con sustancias que pudiendo resultar tóxicas dañen a los habitad, la salud humana u otras formas de vida.

No existe un enunciado con aceptación global en relación a la contaminación de suelos, conforme se concibe como una alteración de sus características, es importante conocer qué ocasionó este cambio, es decir, si la fuente contaminan es natural o es antrópica, por lo general es de origen es antropogénico por ejemplo la ocasionada por productos tóxicos (Jimenez, 2017).

Ahora bien, los productos tóxicos son sustancias dañinas tanto para la salud humana como para el medioambiente. Los tres elementos naturales que conforman la biósfera son expuestos continuamente a estas sustancias en magnitudes que superan el poder homeostático de la naturaleza, por lo tanto pueden permanecer por siglos en los ambientes contaminados (desde una bacteria a un humano). Estas sustancias causan millones de muertes de organismos vivientes, cada año (Ecocitas, 2020).

Es importante mencionar que dentro de este tipo de tóxicos se encuentra el Carburo de Calcio, utilizado en el método de succión mátrica (Speedy), este producto es clasificado por el New Jersey Department of Health, como una sustancia peligrosa, ya que puede afectar por inhalación ya que causa irritación pulmonar, es un irritante

de la piel, puede producir graves irritaciones y quemaduras en los ojos, además es inflamable y reactivo, presenta un grave riesgo de incendio y explosión; al exponerlo al agua o a la humedad se forma acetileno gaseoso inflamable (New Jersey Department of Health, 2011).

Con respecto a la siguiente variable en estudio, denominada confiabilidad, es un máximo de la precisión de una investigación, por lo que es preciso que el investigador sea cuidadoso en la medición de las variables a fin de obtener resultados confiables (Manterola, y otros, 2018). Luego señalan, que la exactitud en la recolección de datos puede verse afectada por el que recolecta los datos, con lo que los recolecta (instrumento de medición); y por lo que es recolectado, ya sea sujeto o variable/s en estudio. (Manterola, y otros, 2018).

Como complemento se hace necesario definir los ensayos realizados en la investigación para determinar el contenido de humedad en un suelo, a saber: El método gravimétrico es el único procedimiento directo que permite medir la humedad del suelo. El mismo se fundamenta en captar una porción de suelo, conocer su peso antes y después de secarla en un horno a temperatura de 105 grados hasta que su peso sea constante. Este método es el más preciso para medir el contenido de humedad del suelo y su uso es obligatorio para calibrar los equipos utilizados en los demás métodos. A pesar de ello, tiene como limitante la cantidad de muestras a analizar, porque es necesario realizar los análisis en el laboratorio (Barsallo, Loor, & Panimboza, 2018).

Además, existen otros métodos para determinar el contenido de humedad de un suelo in situ, tales como: el método de capacitancia, cuyo principio es parte del método dieléctrico, este permite realizar varias mediciones en grandes extensiones de terreno o en pavimentos con suelo radiante (pce-iberica.es, 2014) y entre los métodos conocidos se realizó la comparación con el de succión mátrica (Speedy) que se utiliza para determinar el contenido de humedad de suelos, por lo general de finos, in situ pero utiliza carburo de calcio (producto tóxico) como indicador de la cantidad de agua contenida en la muestra (Pérez, 2014).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, este tipo de investigación es aplicada en donde se investigan técnicas, procesos y métodos que desde el punto de vista metodológico de la investigación se aplican para recolectar información acerca de una situación, uso, problema o fenómeno, que puede ser utilizada para otro propósito (Kumar, 2018). A través de este tipo de investigación, se logra mejorar la inventiva tal como el diseño de un sensor para determinar in situ el contenido de humedad de un suelo.

Afirma Dawson (2020) Una nueva idea o conocimiento fundamental no se genera solo mediante la investigación básica. La investigación aplicada también puede generar nuevos conocimientos. En este sentido, el estudio permitió realizar el diseño de un sensor aplicando las nociones aprendidas de mecánica de suelos para beneficiar al personal técnico de la rama de ingeniería civil en relación a los trabajos de campo, garantizando menores costos y tiempo.

En cuanto al diseño de investigación se consideró cuasi-experimental ya que utilizó un método calibrado que se basó en el uso de un sensor capacitivo con mayor confiabilidad que el método de Succión Mátrica.

González y Delgado (2015) afirman que: “se caracteriza porque no se puede tener control de todas las variables de la investigación”. “Los diseños cuasi experimentales se emplean en contextos reales en los que es imposible constituir grupos aleatorizados, pero pueden manipular la variable experimental (Hernández, Bravo, & Morales, 2017).

Adicionalmente, la investigación tuvo un enfoque cuantitativo ya que las interrogantes de la investigación son contestadas con el análisis de los datos recolectados.

Desde la técnica metodológica, permite examinar los datos basado en las variables de la investigación y en las características que estas poseen, pudiendo utilizar estadística descriptiva o inferencial (Creswell, 2014, pág. 110).

3.2. Variables y operacionalización

Para Espinoza (2019)

Las variables son componentes que dependiendo del papel que juegan en un estudio o un proceso de experimentación, serán consideradas como de causa o de efecto, valga decir independiente o dependiente, constituyendo parte fundamental de la organización del experimento. La operacionalización de estas variables se entiende como la descomposición de los elementos que constituyen las partes de la hipótesis y donde están explícitamente plasmadas las variables. Ya que, a partir de la identificación de cada una de ellas se formulan las hipótesis, es decir, el autor indica que la operacionalización se consigue cuando se disgregan las variables en dimensiones y estas a su vez, en indicadores que admitan la observación directa y la medición.

En función al concepto anterior, se definió como variable dependiente: Método de Medición de Humedad y como variables independientes: Confiabilidad, Contaminación y Presupuesto de operación.

3.3. Población, muestra y muestreo

Con referencia a la población desde el punto de vista estadístico es definida como: “un grupo de elementos del que se extrae una muestra estadística para un estudio. Es decir, que un conjunto de elementos aglomerados de acuerdo a las propiedades que todos posean son una población (Momoh, 2021), considerando el título de la investigación, la población fue conformada por las muestras de base. Para lo que se tomaron en consideración:

- Criterios de inclusión: Las muestras incluídas fueron las de finos pasante del Tamiz # 4, identificadas como Limo
- Criterios de exclusión: En el presente estudio las porciones de suelo que no poseen estas características (pasante del Tamiz # 4) no fueron consideradas como parte de la muestra manejada en la investigación.

En este mismo contexto “la muestra es considerada como un subgrupo de la población” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, págs. 7-21), la misma estuvo constituida por 26 elementos. Además, el tipo de muestreo utilizado fue no probabilístico, también llamado muestras dirigidas, las cuales, “admiten una forma de elección dirigido por las particulares de la investigación, por encima de un juicio detallado de generalidad” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, págs. 7-21).

De la porción que cumplía con el criterio de inclusión establecido, se tomaron muestras de suelo con peso de 90 gr en estado seco, a esa cantidad de suelo se le fue agregando agua destilada en distintos porcentajes, tal como se indica en la tabla 1 y luego se determinó el contenido de humedad por los tres (03) métodos antes mencionados.

Tabla1.
Muestra

Nro de muestra	Suelo seco (g)	Agua destilada %	Agua destilada (g)
1	90	0,6%	0,5
2	90	1,2%	1,1
3	90	1,9%	1,7
4	90	2,5%	2,3
5	90	3,2%	2,9
6	90	3,8%	3,4
7	90	4,5%	4,0
8	90	5,1%	4,6
9	90	5,8%	5,2
10	90	6,4%	5,8
11	90	7,1%	6,3
12	90	7,7%	6,9
13	90	8,3%	7,5
14	90	9,0%	8,1
15	90	9,6%	8,7
16	90	10,3%	9,2

Nro de muestra	Suelo seco (g)	Agua destilada %	Agua destilada (g)
17	90	10,9%	9,8
18	90	11,6%	10,4
19	90	12,2%	11,0
20	90	12,9%	11,6
21	90	13,5%	12,2
22	90	14,1%	12,7
23	90	14,8%	13,3
24	90	15,4%	13,9
25	90	16,1%	14,5
26	90	16,7%	15,1

Elaborado por el autor

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas se pueden definir como la vía por la que se construye una relación entre el investigador y lo investigado para conseguir la información precisa que le permita lograr los objetivos del estudio realizado (Bastis-Consultores, 2020). La técnica que se utilizó en la presente investigación fue, la observación directa, “en este el procedimiento empleado es observar a los elementos del estudio sin manipulación de variables es recomendado en investigaciones de campo” (American Psychological Association, s.f.).

En relación a los instrumentos “son objetos con identidad independiente y externa (Gil, 2016), en tal sentido, los instrumentos son las herramientas físicas que se emplearon en la investigación para el acopio de la información, a saber, formatos de laboratorio y ensayos realizados.

3.5. Procedimientos

Para el logro de los objetivos planteados en el presente estudio se procedió a efectuar un muestreo en una cantera para seleccionar el material que se utilizó en la investigación, el mismo se trasladó al laboratorio donde se le realizaron

ensayos de granulometría, límite de consistencia, determinación de la humedad natural del suelo, límite líquido y límite plástico. Una vez que determinaron las propiedades físicas de material de la cantera, se procedió a separar el material entre lo retenido y el pasante del tamiz # 4, para la investigación se utilizó el pasante del mencionado tamiz, este material fue identificado como Limo.

Seguidamente, este material fue secado en horno hasta mantener su peso constante a temperatura de 105 grados centígrados para tener la certeza de que estaba totalmente seco y se procedió a humedecerlo con cantidades conocidas de agua con el fin de contrastar las mediciones conseguidas mediante la utilización de los tres (03) métodos contemplados en la investigación (gravimétrico, capacitancia y succión mátrica). Se trabajó para cada caso con 90 gr de material fino seco y se fue humedeciendo con un porcentaje de 0,6% de agua destilada, consecutivamente la cantidad de agua se fue incrementando en un 5% sobre el valor inicial hasta el 16% de porcentaje de agua destilada, donde se consideró que el suelo estaba completamente saturado.

Como se puede inferir a cada una de las muestras humedecidas se le aplicaron los tres (03) métodos antes mencionados, y los resultados obtenidos (datos) fueron procesados utilizando métodos de análisis de datos.

3.6. Método de análisis de datos

Por método de análisis de datos se entiende, Por método de análisis de datos se entiende la evaluación del conjunto de datos recolectados, con el propósito de solucionar una interrogante, en este contexto los datos pueden ser tabulados, graficados y analizados por métodos estadísticos (Martinez, 2014)

En este orden de ideas, se elaboraron tablas en hojas de cálculo de Excel con los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y los recolectados en los formatos que fueron elaborados para tal fin. La confiabilidad de los resultados fue analizada aplicando el coeficiente de correlación de Pearson y el análisis de regresión lineal, entre los datos Horno-Sensor, Horno-Speedy y Sensor-Speedy.

Con respecto al coeficiente de correlación de Pearson, Lalinde, y otros (2018) afirman que “es una medida ampliamente manejada en diversos trabajos científicos, comprendiendo distintas formas de conocimiento especializado en áreas como la ingeniería; investigaciones relacionadas con el aspecto social, estudio de la conducta o de la salud, etc.”.

3.7. Aspectos éticos

Toda las consultas efectuadas en fuentes secundarias realizadas en la web, fueron en sitios especializados que guardan relación con el tema de investigación a fin de que la información recolectada tuviera veracidad y las afirmaciones realizadas fueran confiables, tal como se refleja en la bibliografía donde se resume cada una de las citas, respetando lo establecido en las Normas APA 6ta edición, asimismo, el laboratorio donde se realizaron los ensayos antes mencionados, está debidamente certificado ante el Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú.

Como complemento, es importante señalar que los ensayos se realizaron apegados a lo establecido en el Manual de Carreteras publicado en portal web del mencionado Ministerio, identificado con el código MC-06-16, Ensayo de Materiales, aprobado por RD N° 18-2016-MTC/14 el (03.06.2016).

IV. RESULTADOS

4.1. Objetivo general - Determinar el contenido de humedad por los siguientes métodos: gravimétrico, capacitivo y de succión mátrica, en material lastre de la cantera Ccorca de la ciudad de Cuzco.

Con el fin de determinar la cantidad de humedad existente en los suelos de Cuzco, fueron utilizados diferentes métodos de medición, estos métodos consideraron la relación, expresada en porcentaje, entre el peso del agua en el suelo y el peso de las partículas sólidas; cada uno de ellos utilizan diferentes principios de medición, equipos y técnicas. Las muestras fueron realizadas de acuerdo a los siguientes porcentajes:

Tabla2.
Muestra de contenido

N	Suelo seco (g)	Agua destilada %	Agua destilada (g)	N	Suelo seco (g)	Agua destilada %	Agua destilada (g)
1	90	0,6%	0,5	14	90	9,0%	8,1
2	90	1,2%	1,1	15	90	9,6%	8,7
2	90	1,9%	1,7	16	90	10,3%	9,2
3	90	2,5%	2,3	17	90	10,9%	9,8
5	90	3,2%	2,9	18	90	11,6%	10,4
6	90	3,8%	3,4	19	90	12,2%	11,0
7	90	4,5%	4,0	20	90	12,9%	11,6
8	90	5,1%	4,6	21	90	13,5%	12,2
9	90	5,8%	5,2	22	90	14,1%	12,7
10	90	6,4%	5,8	23	90	14,8%	13,3
11	90	7,1%	6,3	24	90	15,4%	13,9
12	90	7,7%	6,9	25	90	16,1%	14,5
13	90	8,3%	7,5	26	90	16,7%	15,1

Elaborado por el autor

4.2. Objetivo No 01 - Determinar la confiabilidad de la medición del contenido de humedad de una base de pavimento rígido por el método gravimétrico.

De acuerdo con lo experimentado, una vez tomadas las 26 muestras, y realizadas las mediciones de la cantidad de humedad por el método gravímetro (horno), se muestran los siguientes resultados:

Tabla3.
Porcentaje de humedad método horno

N	W% (horno)	N	W% (horno)
1	2,39	14	26,5
2	2,76	15	21,32
3	3,24	16	12,43
4	3,92	17	15,13
5	5,76	18	12,4
6	5,52	19	21,79
7	5,71	20	16,31
8	7,38	21	15,47
9	8,03	22	14,74
10	8,19	23	18,65
11	9,94	24	15,28
12	12,22	25	15,54
13	12,62	26	18,55

Elaborado por el autor

Los porcentajes de humedad obtenidos con el método de gravímetro (horno) indican algunos valores un poco dispares en las muestras 14, 15 y 19; sin embargo, se debe mencionar que este es el método más tradicional y es el único que se realiza directamente.

4.3. Objetivo No 02 - Determinar la confiabilidad de la medición del contenido de humedad de una base de pavimento rígido por el método capacitivo.

De acuerdo con lo experimentado, una vez tomadas las 26 muestras, y realizadas las mediciones del contenido de humedad por el método de sensor capacitivo, se muestran los siguientes resultados:

Tabla4.
Porcentaje de humedad método sensor

N	H% (Sensor)	Temp (Sensor)	N	H% (Sensor)	Temp (Sensor)
1	1,28	22,86	14	9,58	21,73
2	2,52	22,09	15	9,36	20,42
3	3,53	23,13	16	9,47	20,72
4	3,71	22,19	17	9,63	25,25
5	4,43	22,21	18	9,87	24,77
6	5,82	21,24	19	9,63	24,58
7	5,58	19,61	20	9,33	27,45
8	8,44	22,16	21	9,65	23,04
9	8,45	21,91	22	10,63	25,6
10	8,34	26,46	23	10,61	22,17
11	9,24	22,58	24	12,63	27,87
12	9,47	27,36	25	12,65	27,87
13	9,26	21,95	26	12,84	21,48

Elaborado por el autor

Los porcentajes de humedad obtenidos con el método de sensor capacitor indican que los valores para las muestras desde la uno a la quince, tienen valores parecidos en el rango de 80,52 % y 83,44 % y para las muestras desde la dieciséis a la veintiséis, tiene valores similares que varían en rango de 93,47 % a 96,84 %. Por lo tanto, éste método es más controlado.

4.4. Objetivo No 03 - Determinar de medición del contenido de humedad de una base de pavimento por el método de succión mátrica.

De acuerdo con lo experimentado, una vez tomadas las 26 muestras, y realizadas las mediciones de la cantidad de humedad por el método de succión mátrica (speedy), se muestran los siguientes resultados:

Tabla5.
Porcentaje de humedad método Speedy

N	W% (Speedy)	N	W% (Speedy)
1	2,1	14	12,5
2	2,2	15	12,8
3	3,1	16	13,6
4	3,2	17	14,4
5	4,6	18	14,6
6	5,2	19	14,9
7	5,5	20	15,3
8	7,2	21	15,6
9	8,5	22	16,5
10	7,2	23	17,2
11	9,6	24	17,6
12	11,1	25	18,4
13	11,4	26	18,9

Elaborado por el autor

Los porcentajes de humedad obtenidos con el método de succión mátrica (speedy) indican que existe una variación linealmente conforme a los valores de agua que poseen las muestras. Este método es más controlado.

4.5. Objetivo No 04 - Determinar la correlación de los métodos.

Una vez determinadas las mediciones de humedad, realizadas en cada muestra, y con cada uno de los métodos mencionados en capítulos anteriores; se procedió a realizar la correlación entre los resultados obtenidos. Basado en el nivel de confianza en la estadística, se ha considerado utilizar un método de correlación entre variables cuantitativas y continuas; para tal propósito, fue escogido el coeficiente R de Pearson.

A continuación, el detalle de los resultados obtenidos para la correlación entre los métodos de gravímetro (horno) y de sensor capacitivo:

Intervalo para confiabilidad de la medida (95%).

Tabla6.

Descriptivos y Correlaciones Pearson

Estadístico	Error estándar
-------------	----------------

horno	Media	11,9919	1,26988
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9,3766
		Límite superior	14,6073
sensor	Media	87,8058	1,24546
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	85,2407
		Límite superior	90,3709
		horno	sensor
horno	Correlación de Pearson	1	,835**
	Sig. (bilateral)		,002
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	1048,180	587,749
	Covarianza	41,927	23,510
sensor	Correlación de Pearson	,835**	1
	Sig. (bilateral)	,002	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	587,749	1008,267
	Covarianza	23,510	40,331

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

N por muestras=26

Elaborado por el autor

Ho.= no existe correlación existente entre el porcentaje de humedad con respecto al sensor y horno.

Hi. = existente entre el porcentaje de humedad con respecto al sensor y horno.

Nivel de significación (alfa = 0,05)

Valor de $p = 0.002$ R de Pearson= 0.835 = 83.5%

Con una probabilidad de error de 2% existente entre el porcentaje de humedad con respecto al sensor y horno. A continuación, el detalle de los resultados obtenidos para la correlación entre los métodos de gravímetro (horno) y de succión mátrica (speedy): Intervalo para confiabilidad de la medida (100%). Con una probabilidad de error de 0% existente entre el porcentaje de humedad con respecto al speedy y horno.

Tabla7.
Descriptivo Correlaciones de Pearson

		Estadístico	Error estándar
Horno	Media	11,9919	1,26988
		Límite inferior	9,3766

	95% de intervalo de confianza para la media	Límite superior	14,6073	
Speedy	Media		10,8923	1,06897
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8,6907	
		Límite superior	13,0939	
			horno	speedy
Horno	Correlación de Pearson		1	,959**
	Sig. (bilateral)			,000
	N		26	26
Speedy	Correlación de Pearson		,959**	1
	Sig. (bilateral)		,000	
	N		26	26

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Elaborado por el autor

Ho.= no existe correlación existente entre el porcentaje de humedad con respecto al speedy y al horno.

Hi. = existente entre el porcentaje de humedad con respecto al censor y horno.

Nivel de significación (alfa = 0.05)

Valor de p = 0.000 R de Pearson= 0.959= 959%

Con una probabilidad de error de 0% existente entre el porcentaje de humedad con respecto al speedy y horno. A continuación, el detalle de los resultados obtenidos para los métodos de sensor capacitivo y de succión mátrica (speedy): Intervalo para confiabilidad de la medida (95%). Con una probabilidad de error de 2% existente entre el porcentaje de humedad con respecto al sensor y horno.

Tabla8.
Descriptivos y Correlaciones de Pearson

		Estadístico	Error estándar
Speedy	Media	10,8923	1,06897
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8,6907
		Límite superior	13,0939
Sensor	Media	87,8058	1,24546

95% de intervalo de		Límite inferior	85,2407
confianza para la media		Límite superior	90,3709
		speedy	sensor
Speedy	Correlación de Pearson	1	,877**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	26	26
Sensor	Correlación de Pearson	,877**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	26	26

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Elaborado por el autor

Ho.= no existe correlación existente entre el porcentaje de humedad con respecto al sensor y speedy.

Hi. = existente entre el porcentaje de humedad con respecto al sensor y horno.

Nivel de significación (alfa = 0.05)

Valor de $p = 0.000$ R de Pearson = $0.877 = 87.7\%$

Con una probabilidad de error de 0% existente entre el porcentaje de humedad con respecto al sensor y speedy.

V. DISCUSIÓN

Como parte del objetivo general del proyecto, se ha buscado la manera de obtener el porcentaje de humedad existente en una base de suelo, de forma rápida y precisa, para este propósito se ha realizado el procedimiento mediante

el método capacitivo, que consta de un sensor, el cual mide el contenido de humedad y la temperatura en un tiempo reducido.

Los métodos más utilizados en la actualidad son:

El método gravimétrico (horno), que es el más tradicional y es el único método directo de medición de la humedad del suelo, este se aplica tomando una porción de suelo, una vez determinado su volumen, se procede a pesarlo en una balanza analítica, para posteriormente someterlas al proceso de secado (generalmente en horno), luego son tasadas de nuevo, este procedimiento permite calcular el contenido de humedad por diferencia de peso entre la muestra original y la muestra seca. La muestra de suelo se considera seca cuando su peso permanece constante a una temperatura de 105°C, la ventaja de este método es la precisión, pero su principal desventaja es que el procedimiento es lento y resulta oneroso. A pesar de ser preciso y utilizado de manera obligatoria para calibrar los equipos utilizados en los demás métodos, tiene como limitante la cantidad de muestras a analizar, porque es necesario realizar los análisis en el laboratorio (Barsallo, Loor, & Panimboza, 2018).

De igual manera, se dispone del método de Succión Mátrica (Speedy), este método es la succión equivalente obtenida mediante la medición de la presión parcial del vapor de agua en equilibrio con el agua del suelo respecto a la presión parcial del vapor de agua en equilibrio con una solución idéntica en composición al agua del suelo, el mismo requiere de insumos costosos y poco accesibles en proyectos alejados de la ciudad; incrementando por tanto los presupuestos de proyectos que requieren de estudios de suelo. Además, este método trabaja con carburo de calcio, el mismo que es un producto tóxico y de riesgo al manipular por el ser humano, acarreando consecuencias para la salud humana al momento de ser manipulados.

El carburo de calcio está clasificado por el New Jersey Department of Health, como una sustancia peligrosa, ya que puede afectar por inhalación y causa irritación pulmonar, es un irritante de la piel, puede producir graves irritaciones y quemaduras en los ojos, además es inflamable y reactivo, presenta un grave riesgo de incendio y explosión; al exponerlo al agua o a la humedad se forma acetileno gaseoso inflamable (New Jersey Department of Health, 2011).

Por otra parte, se tiene el método capacitivo, que permite obtener la humedad en una base de suelo determinada de forma rápida y precisa, ya que consta de un sensor que mide el contenido de humedad en un tiempo reducido, al ser un método calibrado tiene un alto grado de precisión, y por lo tanto mayor confiabilidad que el método de Succión Mátrica. Su proceso de medición no es contaminante y no requiere de elementos o insumos costosos, por lo que se vuelve un método muy viable al momento de realizar proyectos que requieren medición de humedad en suelos, especialmente en lugares alejados de las ciudades; por tanto, desde el punto de vista económico también es ventajoso frente a los métodos tradicionales.

De acuerdo a González, Torres, Blaya, & otros (2019), en su investigación titulada: Design and Calibration of a Low-Cost SDI-12 Soil Moisture Sensor, presentan el diseño, desarrollo y calibración de un nuevo sensor capacitivo de humedad del suelo de bajo costo, el mismo se calibró en tres suelos diferentes y se evaluó su variabilidad y precisión. Se observó una precisión menor pero compensada al compararlo con los sensores comerciales.

De acuerdo a Gutierrez (2019) en su investigación titulada: Evaluación del uso potencial del sensor veris Ph manager considerando la influencia de la humedad del suelo y de la fracción arcilla en sus lecturas, estudio realizado en en suelos de la ciudad de Piracicaba – en el estado de Sao Paulo donde considera el efecto de la humedad del suelo y de la fracción arcilla en sus lecturas y las técnicas de sensoramiento del suelo para evaluar esa variabilidad buscando el aumento de la densidad de mediciones. Se seleccionaron 27 puntos y los resultados de laboratorio fueron comparados con las lecturas del sensor. Los datos se representaron con precisión mediante el método de regresión lineal. De ahí la importancia de haber tomado 26 muestras en la presente investigación, lo que permite realizar diferentes calibraciones del sensor y dar más precisión en los resultados.

Para realizar la medición por éstos tres métodos, se simularon diferentes muestras de suelo, en total 26 muestras, añadiendo a cada muestra de suelo

seco de 90 gr el 0,6% de Agua destilada, de manera escalonada hasta llegar al 16%. En lo que respecta a la correlación de los métodos como ya se manifestó en el capítulo anterior se utilizó el método de coeficiente R de Pearson.

Una correlación estadísticamente significativa quiere decir que en una muestra semejante se encontraría una correlación entre las dos variables distinta de cero (pero no necesariamente de una magnitud parecida). Indica que se puede extrapolar el hecho de la relación, no su magnitud.

Para llevar a cabo la correlación de Pearson es necesario cumplir lo siguiente:

- La escala de medida debe ser una escala de intervalo o relación.
- Las variables deben estar distribuidas de forma aproximada.
- La asociación debe ser lineal.
- No debe haber valores atípicos en los datos.



Figura 1. Recta para interpretar el coeficiente R de Pearson

Para la interpretación del índice R de Pearson el valor del índice de correlación varía en el intervalo $[-1, 1]$, indicando el signo el sentido de la relación:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$, entonces existe una correlación positiva.

- Si $r = 0$, entonces no existe relación lineal, pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

5.1. Correlación entre mediciones de gravímetro (horno) y sensor capacitivo

Utilizando las variables de porcentaje de humedad de la medición de gravímetro (horno), y medición por sensor, se encontró que existe una correlación en el límite moderada/alta ($r = 0,913$) entre los valores ponderados de humedad con respecto al sensor y horno.

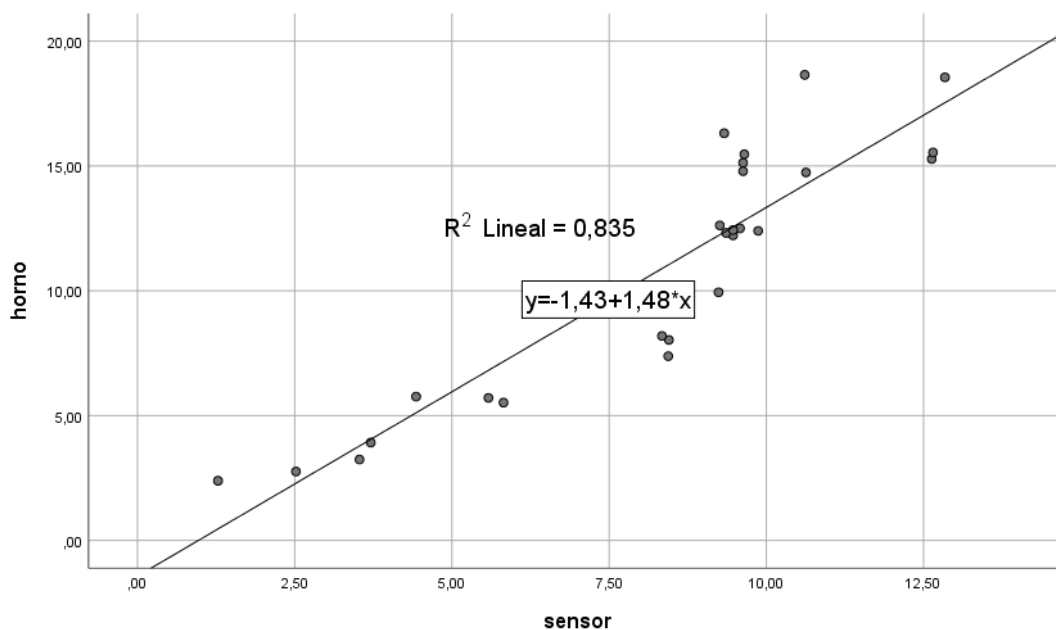


Figura 2. Correlación entre método de sensor y de horno

Interpretando el coeficiente de R de Pearson y analizando la gráfica anterior, se tiene que existe una correlación positiva moderada. El índice de 83% esto indica que existe una correlación positiva que está en el límite entre moderada y fuerte.

5.2. Correlación entre mediciones de gravímetro (horno) y succión mátrica (speedy)

Utilizando las variables de: porcentaje de humedad de la medición de gravímetro (horno), y medición succión mátrica (speedy). Se encontró que existe una correlación muy alta ($r= 0,979$) entre los valores ponderados de humedad con respecto a speedy y horno.

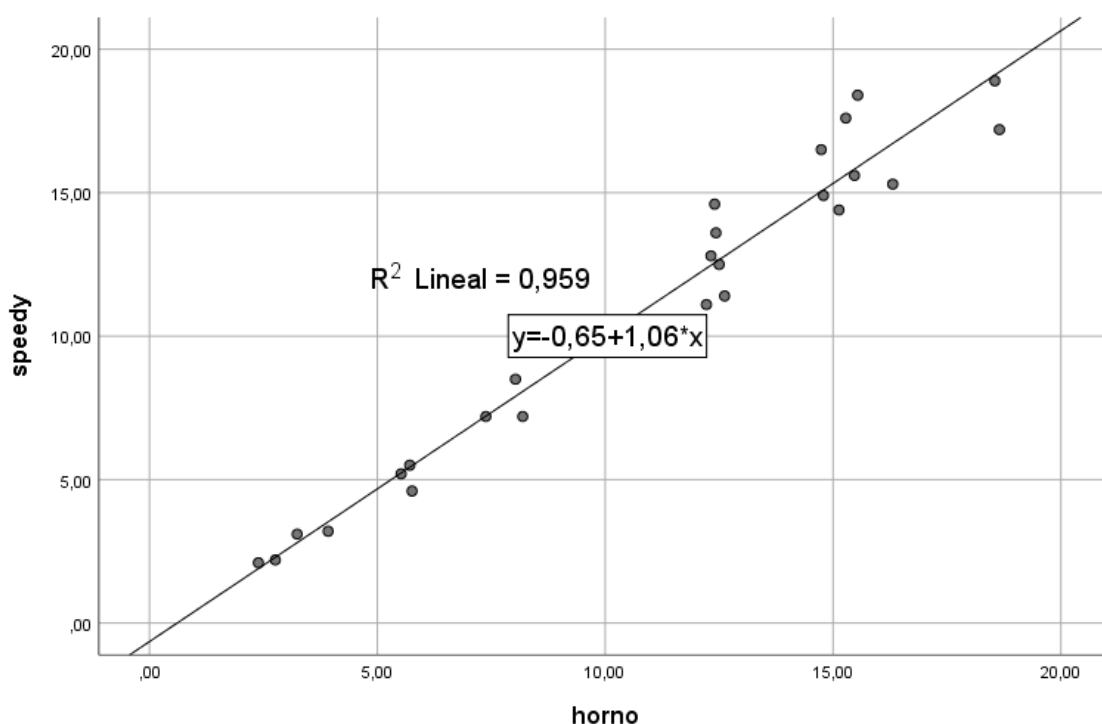


Figura 3. Correlación entre método de speedy y de horno

Interpretando el coeficiente de R de Pearson y analizando la gráfica anterior, se tiene que existe una correlación positiva fuerte, exceptuando tres valores porcentuales que no están alineados. El índice de 69% nos indica que existe una correlación positiva alta.

5.3. Correlación entre mediciones de sensor y succión mátrica (speedy)

Utilizando las variables de: porcentaje de humedad de la medición de sensor capacitador y medición succión mátrica (speedy). Se encontró que existe una

correlación en el límite muy alta ($r= 0,936$) entre los valores del ponderados de humedad con respecto a speedy y sensor.

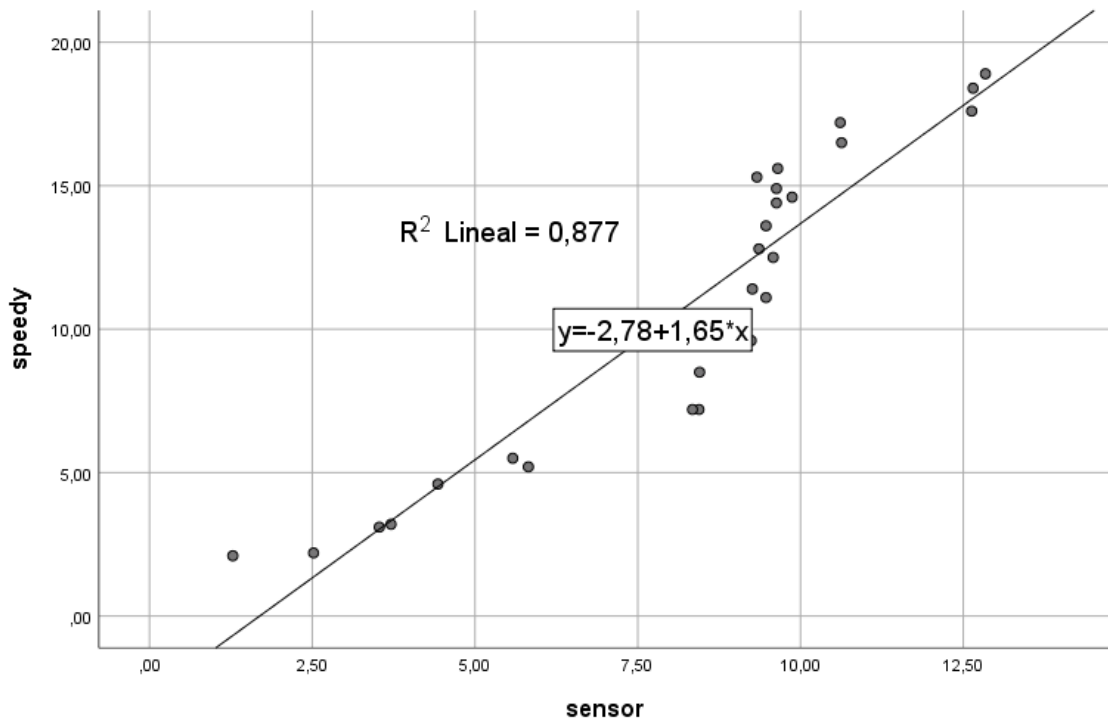


Figura 4. Correlación entre método de sensor y de speedy

Interpretando el coeficiente de R de Pearson y analizando la gráfica anterior, se tiene que existe una correlación positiva fuerte, exceptuando tres valores porcentuales que no están alineados. El índice de 97% indica que existe una correlación positiva alta entre ambas variables.

VI. CONCLUSIONES

1. En este punto se concluye que las muestras que se han tomado con exhaustiva precisión, definiendo las cantidades exactas de agua por el peso de toma de suelo, garantizan la clasificación de las muestras cumpliendo con las normas ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487, lo que ha sido validado por un laboratorio con el informe respectivo, el mismo que está debidamente certificado como lo indican los anexos correspondientes.
2. Para el método de medición por gravímetro (horno) que es el método tradicional, se concluye que los resultados obtenidos tienen gran similitud con los datos obtenidos con el método de succión matricial (speedy) y en cuanto a la correlación basada en coeficiente R de Pearson tiene una determinación positiva que va entre el límite de moderada a fuerte con respecto al método de sensor capacitivo y una determinación positiva fuerte con respecto al método de succión matricial (speedy).
3. Para el método de medición por sensor capacitivo que es el método objeto de este proyecto, que la correlación basada en coeficiente R de Pearson tiene una determinación positiva que va entre el límite de moderada a fuerte con respecto al método de gravímetro (horno) y una determinación positiva fuerte con respecto al método de succión matricial (speedy).
4. Para el método de medición por succión matricial (speedy), se concluye que los resultados obtenidos tienen gran similitud con los datos obtenidos con el método de gravímetro (horno) y en cuanto a la correlación basada en coeficiente R de Pearson tiene una determinación positiva fuerte con respecto al método de sensor capacitivo y una determinación positiva fuerte con respecto al método de gravímetro (horno).

VII. RECOMENDACIONES

1. Es muy importante que, para este tipo de análisis, las simulaciones de las muestras escogidas para realizar las mediciones de humedad con los diferentes métodos deben estar siempre determinadas por un proceso controlado y posteriormente debidamente validadas por un laboratorio certificado; esto permitirá que los resultados nos indiquen parámetros muy precisos y alineados con la realidad, evitando de esta manera conclusiones equivocadas.
2. En lo que respecta al propósito de medir la humedad por el método de sensor capacitivo, si bien al ser un equipo controlado es muy importante que el mismo esté debidamente calibrado; las partes electrónicas como lo es un sensor, siempre nos darán resultados con bastante exactitud; si embargo si su rango de operación no es el adecuado, los resultados pueden ser desalentadores, de ahí la importancia de calibrar y encerrar adecuadamente para la medición que se vaya a realizar en cada muestra a ser analizada.

REFERENCIAS

- American Psychological Association. (s.f.). Recuperado el 07 de Diciembre de 2021, de <https://dictionary.apa.org/direct-observation>
- Angulo, R. (01 de Julio de 2018). *Clickbalance*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://clickbalance.com/blog/contabilidad-y-administracion/el-presupuesto-de-operacion/>
- Arteaga, G. (19 de Octubre de 2020). ¿Qué es el análisis de datos? Métodos, técnicas y herramientas. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://www.testsiteforme.com/tecnica-de-procesamiento-y-analisis-de-datos/>
- Barsallo, M., Loor, A., & Panimboza, S. (Febrero de 2018). (UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA VIDACARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIASANTO DOMINGO) Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://es.scribd.com/document/371719527/Determinacion-de-La-Humedad-Del-Suelo-Metodo-Gravimetrico>
- Bastis-Consultores. (02 de Marzo de 2020). *Metodología*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://online-tesis.com/tecnicas-de-recoleccion-de-datos-para-realizar-un-trabajo-de-investigacion/>
- Bastos, J. (5 de Octubre de 2013). *Revista Ingeniería de la construcción*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2021, de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=0718-5073&script=sci_serial
- Berrocal, C. (2019). *Comparación del control de grado de compactación In Situ, utilizando el deflectómetro de peso liviano (LWD) comparado a los resultados del método nuclear y método del cono de arena para un tramo del proyecto Tocache - Juanjuí, en la región San Martín*. [Tesis de pregrado], Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- Betancourth, L. (2016). *SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO TIPO SONDA CON SISTEMA DE MONITOREO PARA APLICACIONES EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN*. [Tesis de pregrado], UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS, VILLAVICENCIO.
- Cárdenas, N. (15 de Noviembre de 2019). *UTPL*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2021, de <https://noticias.utpl.edu.ec/cual-es-la-importancia-de-realizar-un-estudio-de-suelo-para-construir>
- Castillo, L., & Porta, D. (2021). *Redes neuronales artificiales para la predicción de propiedades mecánicas de los suelos*. [Tesis de pregrado], Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima.
- Cesar, G., & Emilsen, D. (18 de Octubre de 2015). *ISSUU*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de https://issuu.com/piwigd/docs/la_inv_experimental_y_cuasiexperiem
- Condori Quispe, B. M., & Rodríguez Rodríguez, C. (2019). *El contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplástico de los suelos, Huancayo en el año 2016*.

- [Tesis Doctoral], Universidad Nacional Federico Villarreal. Escuela Universitaria de Posgrado.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4ta ed.). New Delhi: SAGE.
- Dawson, A. (2020). *Research Methods and Statistics in Physical Education*. United Kingdom: ETP ED-Tech Press.
- De Aguiar, M. (2016). *Saber Metodología*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://sabermetodologia.wordpress.com/2016/02/15/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>
- Ecocitas. (05 de Mayo de 2020). *Servicios en comunicación Intercultural*. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <http://movil.ecoticias.com/medio-ambiente/176275/10-contaminantes-medioambientales-muy-peligrosos>
- Ekanayaka, & Takeshi, I. y. (2019). *Calibration and Validation of a Low-Cost Capacitive Moisture Sensor to Integrate the Automated Soil Moisture Monitoring System*. [Journal], MDPI, Japón.
- Espinoza, E. (02 de Diciembre de 2019). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Segunda parte. *Conrado*, 15(69), 23. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v15n69/1990-8644-rc-15-69-171.pdf>
- García, F. (07 de Septiembre de 2020). *La-Respuesta.com*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://la-respuesta.com/preguntas-comunes/Cual-es-la-observacion-directa/>
- García, L. (2021). *Centro de Lectura y Escritura*. Recuperado el 01 de Diciembre de 2021, de <https://celee.uao.edu.co/antecedentes-de-investigacion/>
- Gil, J. (2016). *Técnicas e instrumentos para la recogida de información*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a distancia.
- González, M. (26 de Abril de 2021). *Getiópolis*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://www.gestiopolis.com/presupuesto-que-es-importancia-elementos-tipos/>
- González, Torres, Blaya, & otros, T. y. (2019). *Design and Calibration of a Low-Cost SDI-12 Soil Moisture Sensor*. [Journals], Technical University of Cartagena.
- Gutierrez, A. (2018). *Evaluación del uso potencial del sensor veris Ph manager considerando la influencia de la humedad del suelo y de la fracción arcilla en sus lecturas*. [Tesis de pregrado], Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Piracicaba – en el estado de Sao Paulo.
- Hernández, Arriola, & Farias. (2020). *Propuesta metodológica para verificación del grado de compactación de suelos con un deflectómetro de impacto liviano (LWD)*. [Tesis de Pregrado], Universidad San Ignacio de Loyola, Lima.
- Hernández, Bravo, & Morales. (Diciembre de 2017). Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Hernández, Bravo, & Morales. (Diciembre de 2017). *QUASI-EXPERIMENTAL DESIGN FOR THE FORMATION OF PROFESSIONAL*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <http://rus.ucf.edu.cu/>

- Hernández, Fernández, & Baptista. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). México: McGraw-Hill.
- Huaman, J., & Zanabria, J. (2020). *INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACIÓN EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NÚCLEO DE PRESA DE TIERRA*. [Tesis de Pregrado], Universidad Nacional de Huancavelica.
- IBERO Tijuana. (08 de Octybre de 2020). Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://blogposgrados.tijuana.iberomx.com/investigacion-aplicada/>
- Iwata, Y., & Kameyama, K. (2017). *Effect of sensor installation on the accurate measurement of soil water content*. [Journal], European Journal of Soil Science.
- Jimenez, R. (2017). *Introducción a la Contaminación de Suelos*. Madrid, España.
- Juste, I. (02 de Septiembre de 2021). *Ecología Verde*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-suelo-causas-consecuencias-y-soluciones-285.html>
- Kumar, R. (2018). *Research Methodology: A Step-by-Step Guide for Beginners* (Fifth Edition ed.). SAGE.
- Lalinde, J. D., Castro, J. F., Mariana, Rodriguez, J. E., Rangel, J. G., Sierra, C. A., & Torrado, M. K. (2018). On the proper use of the Pearson correlation coefficient: definitions, properties and assumptions. *37*(5), 587. Obtenido de https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso_adequado_coeficiente.pdf
- Llamas, J. (09 de Diciembre de 2020). *Economipedia*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://economipedia.com/definiciones/presupuesto-operativo.html>
- Manterola, C., Grande, L., Otzen, T., García, N., Salazar, P., & Quiroz, G. (20 de Noviembre de 2018). Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rci/v35n6/0716-1018-rci-35-06-0680.pdf>
- Martinez, C. (19 de Octubre de 2014). *Técnicas e instrumentos de recogida y Análisis de datos en investigación*. Madrid. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://www.testsiteforme.com/tecnica-de-procesamiento-y-analisis-de-datos/>
- Mata, L. (21 de Mayo de 2019). *Investigalia*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://investigaliacr.com/investigacion/el-enfoque-cuantitativo-de-investigacion/>
- Momoh, O. (17 de Marzo de 2021). *Fundamental Analysis*. *Investopedia*.
- Moreno, E. (21 de Marzo de 2021). Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/que-es-la-poblacion.html>
- Navarro, M. (17 de Febrero de 2016). Recuperado el 01 de Noviembre de 2021, de <https://es.Lizardo Carvajal Rodrigues .net/FabiolaNava4/investigacin-bsica-y-aplicada-58356533>
- New Jersey Department of Health. (Junio de 2011). *Derecho a saber*. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0312sp.pdf>
- Pacheco, J. (12 de Noviembre de 2021). *Web y Empresas*. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.webyempresas.com/cual-es-la-definicion-de-insumos/>

- pce-iberica.es. (30 de Septiembre de 2014). Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/explicacion-metodos-medicion-humedad.htm>
- Pérez, R. (24 de Abril de 2014). Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.utest.com.tr/es/25725/Medidor-de-Humedad-Tipo-Speedy>
- Pizarro, F., & L de Almeida, M. (Diciembre de 2020). *Revista ingeniería de construcción*, versión On-line ISSN 0718-5073. Recuperado el 29 de Noviembre de 2021, de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732020000300275
- Ren-Peng, Han-Lin, & Peng-yun. (2017). *Effects of degree of compaction and fines content of the subgrade bottom layer on moisture migration in the substructure of high-speed railways*. [Journal], Institution of Mechanical Engineers.
- Structuralia. (25 de Febrero de 2019). *El futuro de la Ingeniería en Latinoamérica*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2021, de <https://blog.structuralia.com/el-futuro-de-la-ingenieria-en-latinoamerica>

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Diseño de un sensor para la determinación del contenido de la humedad in situ como parte de control de calidad en la construcción de pavimentos en el distrito de Chacacupe, Canchis, Cuzco 2021

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
V. DEPENDIENTE	MÉTODO DE MEDICIÓN DE HUMEDAD	Constituye los distintos métodos para definir al contenido de humedad presente, es decir la relación, expresada con porcentaje, del peso de agua en una masa de suelo y el peso de las partículas sólidas con un margen de incertidumbre mínimo	Existen distintos métodos para precisar el contenido e humedad en suelos entre estos se encuentra el gravimétrico, el de succión mátrica y el capacitivo. Cada uno de estos lleva el mismo fin pero considerando principios de medición diferentes, equipos y técnicas	MÉTODO GRAVIMÉTRICO	HUMEDAD DEL SUELO	RAZÓN	Método: Científico
				SUCCIÓN MATRICA	HUMEDAD DEL SUELO	RAZÓN	Tipo de Investigación: Tipo Aplicada
				MÉTODO CAPACITIVO	HUMEDAD DEL SUELO	RAZÓN	Nivel de Investigación: Descriptivo - correlacional
V. INDEPENDIENTE	CONFIABILIDAD	La confiabilidad en el contexto estadístico se tiene cuando no hay sesgos y los resultados tienen validez, es decir no hay errores sistemáticos. Se define estadísticamente como la probabilidad de que un equipo o componente funcione apropiadamente por al menos un tiempo específico bajo condiciones experimentales específicas y en la que se puede asegurar que se dispone de la probabilidad máxima con la que se puede afirmar que el parámetro a estimar o medir se encuentra dentro del intervalo de confianza	La confiabilidad estadísticamente precisando el nivel de confianza estadística, siendo los valores más comunes los mayores a 90% o también precisando el coeficiente de confiabilidad. Algunos métodos específicos es el de confiabilidad por mitades en la que la puntuación se calcula dividiéndolas a la mitad determinando la correlación entre los valores, empleándose la fórmula de Spearman-Brown para determinar la confiabilidad general del instrumento. Otra manera en que se analiza estadísticamente la confiabilidad es a través del Alfa de Cronbach cuyo cálculo considera todas las lecturas o valores obtenidos. Otra manera es a través de la correlación de Kuder-Richardson la cual brinda la confiabilidad tipo consistencia interna permitiendo conocer además el grado en que los ítems de una escala se correlacionan entre ellos.	COMPARACIÓN CON MÉTODO GRAVIMÉTRICO	ERROR	RAZÓN	Diseño de Investigación: Experimental (Cuasi)
							Enfoque: Cuantitativo
							Población: Muestras de base
							Muestra: 6 Muestra Para cada ensayo
							Muestreo:
							No Probabilístico

Cont. Operacionalización de variables

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
V. INDEPENDIENTE	CONTAMINACIÓN	Esta representado por la acción invasiva y contaminante de químicos que son requeridos como contraste o para el establecimiento de condiciones que permitan la determinación del contenido de humedad, tal como el caso de el método de Succión Matrica (Speedy) trabaja con Carburo de Calcio, el mismo que es un producto toxico y de riesgo al manipular por el ser humano.	La determinación del nivel de contaminación asociado al uso de agentes tóxico empleados en ciertos métodos de determinación de la humedad, así como la exposición por parte del operador o trabajador puede conocerse con base en la composición y concentración de este	PRODUCTOS TÓXICOS	DAÑO	NOMINAL	Técnica:
							Observación Directa
							Instrumento de la investigación:
							Formatos de laboratorio
							Ensayos Realizados
V. INDEPENDIENTE	PRESUPUESTO DE OPERACIÓN	Consiste en el elemento financieros que determinan los recursos económicos relacionados con la aplicación de un método para la determinación de humedad en suelos, contempla los insumos y equipos relacionados, así como el pago al personal que ejecuta la medición.	El presupuesto relacionado con la actividad operativa de medición de humedad de suelos a través de un determinado método se puede precisar con base a los costos unitarios de equipos, insumos y demás elementos necesarios para ejecutar la medición	INSUMOS	COSTO UNITARIO	RAZÓN	

Anexo 2. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general				
Durante el control de calidad en la construcción de Carreteras en el Perú es necesario verificar el grado de compactación en todas las capas granulares del pavimento, es así que, para este proceso es necesario conocer la humedad del suelo insitu al momento de verificar la densidad de campo, siendo comúnmente estimada la humedad con métodos poco precisos y lentos ¿Mediante que metodología se podría obtener la humedad del suelo de manera rápida y eficiente?	Obtener la humedad insitu del suelo de forma rápida y precisa para fines del control del grado de compactación	Una forma de obtener la humedad de forma rápida y precisa sería mediante el Método Capacitivo que consta de un sensor que mide el contenido de humedad en un tiempo reducido.	VD1: MÉTODO DE MEDICION DE HUMEDAD	METODO GRAVIMETRICO	HUMEDAD DEL SUELO	RAZÓN
				SUCCION MATRICA	HUMEDAD DEL SUELO	RAZÓN
				MÉTODO CAPACITIVO	HUMEDAD DEL SUELO	RAZÓN

Cont. Matriz de consistencia

PROBLEMA ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICOS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Uno de los métodos mas comunes para la estimación de la humedad insitu es el ensayo denominado Speedy, este ensayo demora aproximadamente 20 minutos en dar resultados de humedad y comparado con el método mas preciso (Gravimétrico) tiene un error de 4 a 6%. ¿Que metodología garantizaría una confiabilidad mayor al método de Succión Matrica o Speedy?	implementar metodologías que garanticen alta confiabilidad en los resultados en tiempos reducidos	Un método calibrado y que se basa en el uso de un sensor capacitivo tendría mayor confiabilidad que el método de Succión Matrica	VI1: CONFIABILIDAD	COMPARACIÓN CON METODO GRAVIMETRICO	ERROR	RAZÓN
El método de Succión Matrica (Speedy) trabaja con Carburo de Calcio, el mismo que es un producto toxico y de riesgo al manipular por el ser humano. ¿Que metodología podría reemplazar al método de Succión Matrica o Speedy que sea no contaminante?	Evitar el uso de productos contaminantes y que ocasionen daño al ser manipulados por el ser humano.	El método capacitivo al no usar productos químicos en su procedimiento sería 100% NO contaminante a comparación de otros ensayos	VI2: CONTAMINACIÓN	PRODUCTOS TOXICOS	DAÑO	NOMINAL
La forma tradicional de evaluar la humedad de un suelo es obteniendo muestras en campo y trasladando a laboratorio para ser ingresadas al horno eléctrico, este método es lento y oneroso; por su parte, el método de Succión Matrica (Speedy) requiere de insumos costosos poco accesibles en proyectos alejados de la ciudad. ¿Que método de medición de humedad sería competente económicamente frente a los métodos tradicionales?	Reducir los costos para la evaluación o estimación de la humedad del suelo en el proceso de compactación	El método capacitivo no requiere de insumos costosos, por lo que, desde el punto de vista económico sería competente frente a los métodos tradicionales	VI3: PRESUPUESTO DE OPERACIÓN	INSUMOS	COSTO UNITARIO	RAZÓN

Anexo 3. Instrumento

Resultados de Laboratorio

CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO

MBA. Ing. Civil CIP 115764RUC 10239763681

Consultor en geotecnia, con laboratorio propio.

Informe 104-CEAJ-2021

Informe de resultado de laboratorio:

Datos generales:

Solicitante: GUERYN YULDER HUALLPA PUCAPUCA.

Fecha del ensayo: del 15 al 22 de noviembre 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.

Resultados:

N	W% (horno)	W% (Speedy)	H% (Sensor)	Temp (Sensor)
1	2,39	2.1	1,28	22.86
2	2,76	2.2	2,52	22.09
3	3,24	3.1	3,53	23.13
4	3,92	3.2	3,71	22.19
5	5,76	4.6	4,43	22.21
6	5,52	5.2	5,82	21.24
7	5,71	5.5	5,58	19.61
8	7,38	7.2	8,44	22.16
9	8,03	8.5	8,45	21.91
10	8,19	7.2	8,34	26.46
11	9,94	9.6	9,24	22.58
12	12,22	11.1	9,47	27.36
13	12,62	11.4	9,26	21.95
14	26,5	12.5	9,58	21.73
15	21,32	12.8	9,36	20.42
16	12,43	13.6	9,47	20.72
17	15,13	14.4	9,63	25.25
18	12,4	14.6	9,87	24.77
19	21,79	14.9	9,63	24.58
20	16,31	15.3	9,33	27.45
21	15,47	15.6	9,65	23.04
22	14,74	16.5	10,63	25.6
23	18,65	17.2	10,61	22.17
24	15,28	17.6	12,63	27.87
25	15,54	18.4	12,65	27.87
26	18,55	18.9	12,84	21.48

Resultados de ensayos múltiples en la fase de experimentación.

Fuente: ensayos de laboratorio, elaboración: consultor responsable.

Donde:

N: nombre de la muestra.

W% (horno): Contenido de humedad reportado por el horno de tiro forzado.

W% (Speedy): Contenido de humedad reportado por el medidor de humedad Speedy.

H% (Sensor): Lectura de humedad del sensor reportada por el sistema Arduino.

Temp (Sensor): Lectura de temperatura del sensor reportada por el sistema Arduino.

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

Coeficientes de correlación de las mediciones.

Correlation Coefficients		Correlation Coefficients		Correlation Coefficients	
Pearson	0.83477533	Pearson	0.57172392	Pearson	0.862411739
Spearman	0.85587281	Spearman	0.63508895	Spearman	0.847535672
Kendall	0.69029358	Kendall	0.38331169	Kendall	0.29721505
Spearman's coefficient (test)		Spearman's coefficient (test)		Spearman's coefficient (test)	
Alpha	0.05	Alpha	0.05	Alpha	0.05
Tails	2	Tails	2	Tails	2
rho	0.86	rho	0.64	rho	0.84
t-stat	8.10714216	t-stat	4.027875	t-stat	7.72617805
p-value	2.4918E-08	p-value	0.00049106	p-value	5.8132E-08
Horno vs Speedy		Horno vs Sensor		Speedy vs Sensor	

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

Pruebas de normalidad de las mediciones:

Shapiro-Wilk Test

	W% (horno)	W% (Speedy)	H% (Sensor)	Temp (Sensor)
W-stat	0.888012923	0.946103483	0.553556674	0.90420473
p-value	0.008537455	0.187701401	8.98815E-08	0.019459109
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	yes	no	no

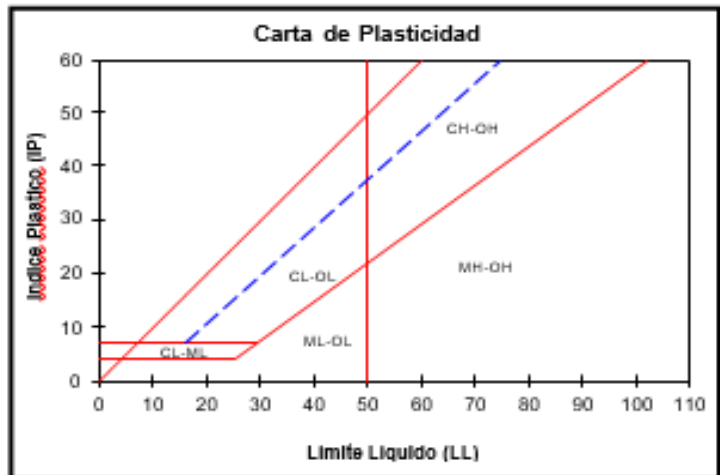
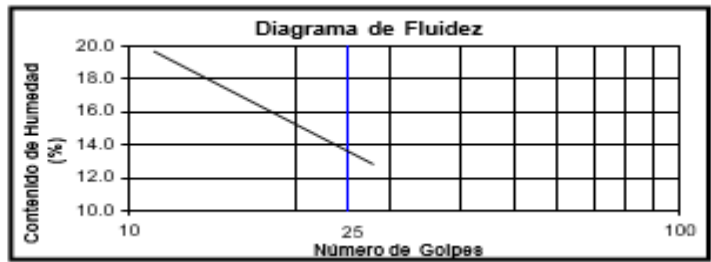
d'Agostino-Pearson

	W% (horno)	W% (Speedy)	H% (Sensor)	Temp (Sensor)
DA-stat	7.124655539	3.192996006	41.83728224	2.877216195
p-value	0.028372703	0.202604799	8.22526E-10	0.237257769
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	yes	no	yes

Clasificación de la muestra de suelo.

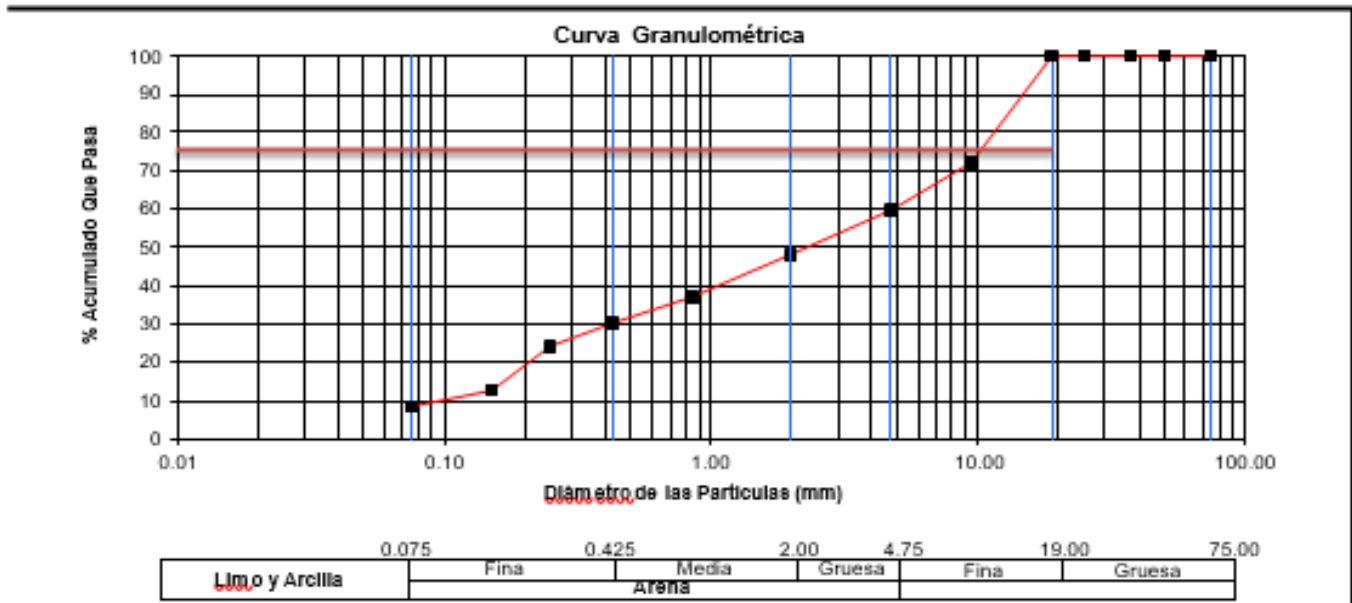
ENSAYOS : ESTANDAR DE CLASIFICACION
 NORMAS : ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487
 SOLICITANTE : 0.00
 FECHA : 12-oct-2019

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	% ACUMULADO QUE PASA	75.000	3"	100.00
		50.000	2"	100.00
		37.500	1 1/2"	100.00
		25.000	1"	100.00
		19.000	3/4"	100.00
		9.500	3/8"	72.30
		4.750	No 004	59.76
		2.000	No 010	48.23
		0.850	No 020	37.17
		0.425	No 040	30.39
		0.250	No 060	24.26
		0.150	No 100	12.64
		0.075	No 200	8.74
D10 (mm)	0.0939	Cu	51.28	
D30 (mm)	0.4109	Cc	0.37	
D60 (mm)	4.8138			



PESO ESP. RELATIVO DE SÓLIDOS (Gs)	#¡REF!
PESO ESPECÍFICO NATURAL (γ) (gr/cc)	#¡REF!
HUMEDAD NATURAL (ω) (%)	0.00
LÍMITE LÍQUIDO (LL) (%)	27.37
LÍMITE PLÁSTICO (LP) (%)	10.34
ÍNDICE PLÁSTICO (IP) (%)	17.03
LÍMITE DE CONTRACCIÓN (LC) (%)	-

CLASIFICACION S.U.C.S. : GP-



Es todo cuanto se informa al respecto.

Cusco, 30 de noviembre de 2021

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

Anexo 4. Carta de presentación del Laboratorio



Metrotest E.I.R.L.
LABORATORIO DE METROLOGÍA

Página 1 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CLM-575-2018

Solicitante : ARBULU JURADO CESAR EDILBERTO

Dirección : AV. MICAELA BASTIDAS 258 OF. 704 -
WANCHAQ - CUSCO

Instrumento de Medición : COPA CASA GRANDE

Marca : PINZUAR

Modelo : PS11

Serie : 1846

Identificación : NO INDICA

Procedencia : COLOMBIA

Contador : ANALOGO

División mínima : 1

Lugar de Calibración : Lab. Longitud de Metrotest E.I.R.L.

Fecha de Calibración : 2018-08-20

Fecha de Emisión : 2018-08-20

Misión:

Prestar servicios con política de mejoramiento continuo y cumplimiento con las normas y especificaciones técnicas requeridas en máquinas y equipos para medición y ensayos.

Visión:

Lograr la confianza de nuestros clientes en el desarrollo de sus empresas a través de nuestros servicios. Tenemos como objetivo alcanzar el liderazgo en el mercado, y de esta manera obtener para nuestros empleados la consecución de ideales en el plano intelectual y personal, con constante investigación e innovación, en la búsqueda de la máxima exactitud en la medición de ensayos.

Método de Calibración Empleado

La calibración se realizó por comparación directa usando un tacómetro y un Cronómetro Patrón certificados, empleando el método de comparación entre las indicaciones de lectura del equipo Casagrande a calibrar versus las revoluciones por minuto medidas con el tacómetro patrón en un tiempo determinado.

Tomando Como referencia la Norma ASTM D 4318 y el Manual de Ensayos de Materiales (EM2000) Determinación de Limite Líquido de los Suelos MTC E 110 - 2000.

Observaciones:

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- Base endurecida Cumple con su referencia a rebote Seco

Los errores encontrados son menores a los Errores Máximos Permitidos (e.m.p) para su Clase de Exactitud. Los resultados indicados en el presente documentos son validos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto. METROTEST EIRL. No se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento. El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes. El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

- (*) Código inscrito en una etiqueta adherida al instrumento.



Luigi Asenjo G.
Jefe de Metrología



Metrotest

E.
I.
R.
L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CHM-101-2019

Solicitante : ARBULU JURADO CESAR
EDILBERTO

Dirección : AV. MICAELA BASTIDAS 258 OF.
704 - WANCHAQ - CUSCO

Instrumento de Medición : MEDIDOR DE HUMEDAD

Marca : METROTEST

Modelo : MS-15

Serie: : MH-699

Identificación : NO INDICA

Procedencia : PERÚ

Alcance máximo : 20 % HR

Tipo de indicación : Analógica

Lugar de Calibración : Lab. Humedad de Metrotest
E.I.R.L.

Fecha de Calibración : 2019-04-24

Fecha de Emisión : 2019-04-24

Misión:
Prestar servicios con política de mejoramiento continuo y cumplimiento con las normas y especificaciones técnicas requeridas en máquinas y equipos para medición y ensayos.

Visión:
Lograr la confianza de nuestros clientes en el desarrollo de sus empresas a través de nuestros servicios.
Tenemos como objetivo alcanzar el liderazgo en el mercado, y de esta manera obtener para nuestros empleados la consecución de ideales en el plano intelectual y personal, con constante investigación e innovación, en la búsqueda de la máxima exactitud en la medición de ensayos.

Método de Calibración Empleado

La calibración se efectuó con patrones que tienen trazabilidad al INACAL-DM
Agregado al método de comparación indirecta utilizando una muestra de humedad de referencia.

Observaciones

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La calibración se realizó con 26 g de muestra.
- Se verificó y ajustó la balanza digital de 500 g (BM-031-19)

El resultado de cada uno de las mediciones en el presente documento es de un promedio de dos valores de un mismo punto.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe usarse como certificado de conformidad de producto.

METROTEST E.I.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documentos.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes. El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

(*) Código asignado por METROTEST E.I.R.L.




Luigi Aserjo G.
Jefe de Metrología



Metrotest ^{E.I.R.L.}

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Certificado de Calibración CHM-101-2019

Página 2 de 2

TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa del Servicio Nacional de Metrología SNM – INDECOPI en concordancia con el sistema Internaciones de Unidades de Medida (SI) y el sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

PATRONES DE REFERENCIA:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de
Patrones de referencia de INMETRO S.A.C.	Manómetro De Deformación Elástica	LPI-00365-2017
Patrones de referencia del DM-INACAL	Juego de Pesas (Exactitud F1)	LM-416-2018 LM-415-2018
METROTEST EIRL	Balanza Clase II	CMM-002-2019

Resultados:

Ensayo comparativo con muestra

Humedad Patron %	Humedad de Indicación del Instrumento %	Humedad Error %	Humedad Incertidumbre %
5,0	5,8	0,8	0,2
10,0	10,8	0,8	0,2
15,0	15,8	0,8	0,2
18,0	19,0	1,0	0,2

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con la guía OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100:2008) y OIML g1-104-en: 2009 (JCGM 104:2009) "Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo

La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%




Luigi Esenjo G.
Jefe de Metrología

INFORME DE INSPECCIÓN

Fecha Date	2018 - 06 - 22
Instrumento Instrument	TAMIZ PARA ENSAYO TEST SIEVE
Fabricante Manufacturer	PINZUAR LTDA.
Serie No. Serial No.	64256
Malla No. Mesh No.	4

NORMA DE ENSAYO: ASTM E 11-15

Trazabilidad : Sus especificaciones se han verificado en el laboratorio de Control de calidad de Pinzuar Ltda. Por medio de instrumentos de medición calibrados con trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI).

Resultados : Las dimensiones del marco fueron evaluadas de acuerdo al numeral 6,3 de la Norma ASTM E 11 - 15. La abertura de la malla cumple con lo establecido en el numeral 6,1 de la Norma ASTM E 11 - 15. El diámetro del alambre cumple con lo establecido en el numeral 6,2 de la Norma ASTM E 11-15.

PINZUAR LTDA

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

**TAMIZ CERTIFICADO PARA ENSAYO
TEST SIEVE CERTIFICATED**

GRAN TEST

Manufactured by **PINZUAR LTDA**

CONFORME CON LA NORMA
IN ACCORDANCE WITH NORM

ASTM E 11:2015

ABERTURA PROMEDIO AVERAGE APERTURE	250,24	µm
ABERTURA MÁXIMA MAXIMUM APERTURE	258,66	µm
DIÁMETRO PROMEDIO AVERAGE DIAMETER	156,66	µm
MALLA No. MESH No.	60	
SERIE No. SERIAL No.	59915	
INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN UNCERTAINTY OF MEASUREMENT	± 3,93	µm

FECHA 2017 - 09 - 29
DATE

FIRMA
SIGN



ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

PINZUAR LTDA
TELS: (571) 7454555
Calle 18 # 103 B 72
www.pinzuar.com.co
BOGOTÁ - COLOMBIA



INFORME DE INSPECCIÓN

Fecha Date	2017 - 09 - 29
Instrumento Instrument	TAMIZ PARA ENSAYO TEST SIEVE
Fabricante Manufacturer	PINZUAR LTDA.
Serie No. Serial No.	59915
Malla No. Mesh No.	60

NORMA DE ENSAYO: ASTM E 11-15

Trazabilidad : Sus especificaciones se han verificado en el laboratorio de Control de calidad de Pinzuar Ltda. Por medio de instrumentos de medición calibrados con trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI).

Resultados : Las dimensiones del marco fueron evaluadas de acuerdo al numeral 6.3 de la Norma ASTM E 11 - 15. La abertura de la malla cumple con lo establecido en el numeral 6,1 de la Norma ASTM E 11 - 15. El diámetro del alambre cumple con lo establecido en el numeral 6,2 de la Norma ASTM E 11-15.

PINZUAR LTDA

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

**TAMIZ CERTIFICADO PARA ENSAYO
TEST SIEVE CERTIFICATED**

GRAN TEST

Manufactured by **PINZUAR LTDA**

CONFORME CON LA NORMA
IN ACCORDANCE WITH NORM

ASTM E 11:2015

ABERTURA PROMEDIO 426,47 μm
AVERAGE APERTURE

ABERTURA MÁXIMA 439,12 μm
MAXIMUM APERTURE

DIÁMETRO PROMEDIO 276,28 μm
AVERAGE DIAMETER

MALLA No. 40
MESH No.

SERIE No. 63845
SERIAL No.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN $\pm 4,59 \mu\text{m}$
UNCERTAINTY OF MEASUREMENT

FECHA 2018 - 05 - 28
DATE

FIRMA
SIGN

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

PINZUAR LTDA
TELS: (571) 7454555
Calle 18 # 103 B 72
www.pinzuar.com.co
BOGOTÁ - COLOMBIA

ASTM E 11 - 15
BUREAU VERIT
Certification



N° CP5632 - 2016

AC-P-11-F-01 Rev4

**TAMIZ CERTIFICADO PARA ENSAYO
TEST SIEVE CERTIFICATED**

GRAN TEST

Manufactured by **PINZUAR LTDA**

CONFORME CON LA NORMA
IN ACCORDANCE WITH NORM

ASTM E 11:2015

ABERTURA PROMEDIO 25,03 mm
AVERAGE APERTURE

ABERTURA MÁXIMA 25,68 mm
MAXIMUM APERTURE

DIÁMETRO PROMEDIO 3,59 mm
AVERAGE DIAMETER

MALLA No. 1"
MESH No.

SERIE No. 59758
SERIAL No.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN ± 10,56 µm
UNCERTAINTY OF MEASUREMENT

FECHA 2017 - 09 - 26
DATE

FIRMA
SIGN

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

PINZUAR LTDA
TELS: (571) 7454555
Calle 18 # 103 B 72

www.pinzuar.com.co
BOGOTÁ - COLOMBIA

ASTM E 11 - 15

BUREAU VERI
Certification

N° 09-5633 - 2016



INFORME DE INSPECCIÓN

Fecha Date	2018 - 05 - 28
Instrumento Instrument	TAMIZ PARA ENSAYO TEST SIEVE
Fabricante Manufacturer	PINZUAR LTDA.
Serie No. Serial No.	63845
Malla No. Mesh No.	40

NORMA DE ENSAYO: ASTM E 11-15

Trazabilidad : Sus especificaciones se han verificado en el laboratorio de Control de calidad de Pinzuar Ltda. Por medio de instrumentos de medición calibrados con trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI).

Resultados : Las dimensiones del marco fueron evaluadas de acuerdo al numeral 6.3 de la Norma ASTM E 11 - 15. La abertura de la malla cumple con lo establecido en el numeral 6,1 de la Norma ASTM E 11 - 15. El diámetro del alambre cumple con lo establecido en el numeral 6,2 de la Norma ASTM E 11-15.

PINZUAR LTDA

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

INFORME DE INSPECCIÓN

Fecha Date	2017 - 09 - 26
Instrumento Instrument	TAMIZ PARA ENSAYO TEST SIEVE
Fabricante Manufacturer	PINZUAR LTDA.
Serie No. Serial No.	59758
Malla No. Mesh No.	1"

NORMA DE ENSAYO: ASTM E 11-15

Trazabilidad : Sus especificaciones se han verificado en el laboratorio de Control de calidad de Pinzuar Ltda. Por medio de instrumentos de medición calibrados con trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI).

Resultados : Las dimensiones del marco fueron evaluadas de acuerdo al numeral 6.3 de la Norma ASTM E 11 - 15. La abertura de la malla cumple con lo establecido en el numeral 6,1 de la Norma ASTM E 11 - 15. El diámetro del alambre cumple con lo establecido en el numeral 6,2 de la Norma ASTM E 11-15.

PINZUAR LTDA

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.



PINZUAR LTDA
ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVIDO DEL MUNDO

INSPECTION CERTIFICATE CERTIFICADO DE INSPECCIÓN

CAZUELA CASAGRANDE MANUAL


CONFORME CON LA NORMA

NORMA: INV E-125 REFERENCIA: PS11

CERTIFICA QUE CUMPLE CON
LOS SIGUIENTES REQUERIMIENTOS

CARACTERISTICAS	RESULTADO	UNIDAD
Peso de la copa y el soporte	203,80	g
Espesor de la copa	2,01	mm
Profundidad de la copa.	26,94	mm
Altura de la base	50,84	mm
Ancho de la base	124,91	mm
Longitud de la base	149,80	mm

No Serie / Lote: 1846 / N.P.

FECHA: 2018-02-06 FIRMA: 

PINZUAR LTDA

AC-P-01-F-14//Rev 0// Válido desde 2017-11-15

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

Pinzuar Ltda. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

TEL: (571) 7454555 | Calle 18 No. 103 B 72
www.pinzuar.com.co Bogotá - Colombia



Certificate of Compliance

to specifications of
ASTM — American Society for Testing and Materials
ANSI — American National Standards Institute
ISO — International Standards Organization

This is to certify that the openings in the wire cloth of this test sieve have been checked through advanced optical technology to ensure conformity to ASTM Specification E-11. The dimensions of the test sieve frame have also been checked with precision gauges to ensure conformity to these same specifications.

Humboldt Mfg. Co. — 1.800.544.7220 • www.humboldtmfg.com • hmc@humboldtmfg.com

©GOES 455

LITHO. IN U.S.A.

Care and Cleaning suggestions for care of 8" and 12" Sieves:

1. Brush sieves from the **Bottom** side with a brush. Use extreme care to avoid screen damage.
2. Washing with a solution of detergent and warm water will produce good results. For a more thorough cleaning, use the same warm water and detergent solution in a small ultrasonic cleaner.
3. **CAUTION:** Do not expose sieves to temperatures above 261°F. The solder holding the sieve material in place will begin to soften at this point.
4. Do not dry 100 mesh and finer sieves with forced air. This may result in screen damage.
5. Store sieves in a clean and dry place when not in use.



Humboldt Mfg. Co. — 1.800.544.7220 • www.humboldtmfg.com • hmc@humboldtmfg.com

**TAMIZ CERTIFICADO PARA ENSAYO
TEST SIEVE CERTIFICATED**

GRAN TEST

Manufactured by **PINZUAR LTDA**

CONFORME CON LA NORMA
IN ACCORDANCE WITH NORM
ASTM E 11:2015

ABERTURA PROMEDIO AVERAGE APERTURE	19,05	mm
ABERTURA MÁXIMA MAXIMUM APERTURE	19,16	mm
DIÁMETRO PROMEDIO AVERAGE DIAMETER	3,02	mm
MALLA No. MESH No.	¾"	
SERIE No. SERIAL No.	63968	
INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN UNCERTAINTY OF MEASUREMENT	± 10,55	µm
FECHA DATE	2018 - 06 - 07	FIRMA SIGN 

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

PINZUAR LTDA
TELS: (571) 7454555
Calle 18 # 103 B 72
www.pinzuar.com.co
BOGOTÁ - COLOMBIA



INFORME DE INSPECCIÓN

Fecha Date	2018 - 06 - 07
Instrumento Instrument	TAMIZ PARA ENSAYO TEST SIEVE
Fabricante Manufacturer	PINZUAR LTDA.
Serie No. Serial No.	63968
Malla No. Mesh No.	3/4"

NORMA DE ENSAYO: ASTM E 11-15

Trazabilidad: Sus especificaciones se han verificado en el laboratorio de Control de calidad de Pinzuar Ltda. Por medio de instrumentos de medición calibrados con trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI).

Resultados: Las dimensiones del marco fueron evaluadas de acuerdo al numeral 6,3 de la Norma ASTM E 11 - 15. La abertura de la malla cumple con lo establecido en el numeral 6,1 de la Norma ASTM E 11 - 15. El diámetro del alambre cumple con lo establecido en el numeral 6,2 de la Norma ASTM E 11-15.

PINZUAR LTDA

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

**TAMIZ CERTIFICADO PARA ENSAYO
TEST SIEVE CERTIFICATED**

GRAN TEST

Manufactured by **PINZUAR LTDA**

CONFORME CON LA NORMA
IN ACCORDANCE WITH NORM

ASTM E 11:2015

ABERTURA PROMEDIO 4,78 mm
AVERAGE APERTURE

ABERTURA MÁXIMA 4,88 mm
MAXIMUM APERTURE

DIÁMETRO PROMEDIO 1,71 mm
AVERAGE DIAMETER

MALLA No. 4
MESH No.

SERIE No. 64256
SERIAL No.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN ± 10,55 µm
UNCERTAINTY OF MEASUREMENT

FECHA 2018-06-22
DATE

FIRMA
SIGN

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

PINZUAR LTDA
TELS: (571) 7454555
Calle 18 # 103 B 72

www.pinzuar.com.co
BOGOTÁ - COLOMBIA



**TAMIZ CERTIFICADO PARA ENSAYO
TEST SIEVE CERTIFICATED**

GRAN TEST

Manufactured by **PINZUAR LTDA**

CONFORME CON LA NORMA
IN ACCORDANCE WITH NORM

ASTM E 11:2015

ABERTURA PROMEDIO 9,49 mm
AVERAGE APERTURE

ABERTURA MÁXIMA 9,58 mm
MAXIMUM APERTURE

DIÁMETRO PROMEDIO 2,30 mm
AVERAGE DIAMETER

MALLA No. 3/8"
MESH No.

SERIE No. 63657
SERIAL No.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN ± 10,55 µm
UNCERTAINTY OF MEASUREMENT

FECHA 2018 - 05 - 16
DATE

FIRMA
SIGN



ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

PINZUAR LTDA
TELS: (571) 7454555
Calle 18 # 103 B 72
www.pinzuar.com.co
BOGOTÁ - COLOMBIA

ASTM E 11 - 15
BUREAU VERIT
Certification

N° CP5633 - 2016



Anexo 5. Panel Fotográfico



Foto. N° 01.- En la imagen se muestra es cuarteo del material.



Foto. N° 02.- En la imagen se muestra proceso descarte dos porciones de muestra



Foto. N° 03.- En la imagen se muestra proceso de lavado material determinar el porcentaje de finos.



Foto. N° 04.- En la imagen se muestra proceso de granulometría.



Foto. N° 06.- En la imagen se muestra los material retenidola los tamiz retenidos.



Foto. N° 07.- En la imagen se muestra la separación de material por la malla N° 4 para realizar los ensayos de límite de consistencia.

Cont. Panel Fotográfico



Foto. N° 08.- En la imagen se muestra el proceso de límite líquido.

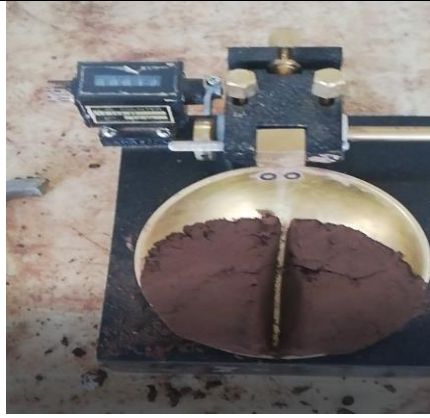


Foto. N° 09.- En la imagen se muestra el ensayo de límite líquido método Casagrande.



Foto. N° 10.- En la imagen se muestra el proceso de ensayo límite plástico.



Foto. N° 11.- En la imagen se muestra el proceso de ensayo límite de consistencia.



Foto. N° 12.- En la imagen se muestra el proceso de secado en el horno tipo tiro forzado de una temperatura de 110 ± 5 °C. durante un tiempo de 24 horas.



Foto. N° 13.- En la imagen se muestra el material pasante por el tamiz de 4,760 mm (N° 4). para realizar el ensayo de contenido de humedad por los métodos

Cont. Panel Fotográfico



Foto. N° 14.- En la imagen se muestra la agregado de agua destilada para muestra y obtener una humedad.



Foto. N° 15.- En la imagen se muestra pesos de muestra humedad.



Foto. N° 16.- En la imagen se muestra proceso del ensayo método capacitivo.



Foto. N° 17.- En la imagen se muestra proceso del ensayo método capacitivo (sensor).



Foto. N° 18.- En la imagen se muestra proseso de secado por el metodo sucion matrica (speedy)



Foto. N° 19.-En la imagen se muestra el secado por el metodo grabimetrico (tipo tiro forzado) de una temperatura de 110 ± 5 °C. durante tiempo de 24 horas.