



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial  
aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil

**AUTORES:**

Mamani Mamani, Hector (ORCID: 0000-0003-3829-9418)

Paz Guillen, Sandro (ORCID: 0000-0002-5428-0285)

**ASESOR:**

Dr. Tello Malpartida, Omart Demetrio (ORCID: 0000-0002-5043-6510)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA — PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

A nuestro señor creador por permitir que logre este sueño.

A mí familia por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mis hijas Alexandra y Qorianka me impulsan a lograr mis propósitos.

**Hector**

A mis padres Eduardo y Georgina por su amor infinito e incondicional, a mis hermanas por su apoyo y aliento para concretar mis objetivos personales y profesionales.

**Sandro.**

## **Agradecimientos**

A mi maestra Magister Guisela Martínez Holguin y asesor Doctor Omart Demetrio Tello Malpartida por sus sugerencias y orientaciones que contribuyeron a la realización de la presente investigación.

**Hector**

A Dios por la vida, por darme unos padres maravillosos, a mi familia por su cariño y apoyo para seguir adelante, a mis seres queridos y amigos, al Dr. Omart Demetrio Tello Malpartida por su importante guía en el desarrollo de la presente investigación.

**Sandro.**

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento. ....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	vii
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	6
III. METODOLOGÍA .....	24
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	24
3.2. Variables y operacionalización .....	25
3.3. Población muestra y muestreo .....	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	26
3.5. Procedimiento. ....	26
3.6. Método de análisis de datos.....	62
3.7. Aspectos éticos .....	62
IV. RESULTADOS.....	63
V. DISCUSIÓN.....	92
VI. CONCLUSIONES .....	95
VII. RECOMENDACIONES .....	97
REFERENCIAS.....	98
ANEXOS.....	102

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Selección del espécimen de ensayo. ....	14
<b>Tabla 2.</b> Características de Arduino ATMEGA328. ....	20
<b>Tabla 3.</b> Interpretación del coeficiente de correlación. ....	22
<b>Tabla 4.</b> Análisis granulométrico para suelo limoso. ....	35
<b>Tabla 5.</b> Límites de consistencia y clasificación del suelo. ....	36
<b>Tabla 6.</b> Análisis granulométrico para suelo arenoso. ....	36
<b>Tabla 7.</b> Límites de consistencia y clasificación del suelo. ....	37
<b>Tabla 8.</b> Análisis granulométrico para suelo de afirmado. ....	38
<b>Tabla 9.</b> Límites de consistencia y clasificación del suelo. ....	39
<b>Tabla 10.</b> Análisis granulométrico para suelo de cantera de Sencca. ....	40
<b>Tabla 11.</b> Límites de consistencia y clasificación del suelo. ....	41
<b>Tabla 12.</b> Mediciones de humedad con sensor y mediante método gravimétrico para un suelo limoso ML. ....	47
<b>Tabla 13.</b> Mediciones de humedad con sensor y mediante método gravimétrico para un suelo arenoso SM. ....	50
<b>Tabla 14.</b> Mediciones de humedad con sensor y mediante método gravimétrico para un suelo de afirmado GC. ....	56
<b>Tabla 15.</b> Requerimientos granulométricos para base granular. ....	57
<b>Tabla 16.</b> Pesos retenidos en gramos para la conformación de un suelo de base con gradación A. ....	58
<b>Tabla 17.</b> Pesos retenidos en gramos para la conformación de un suelo de base con gradación D. ....	58
<b>Tabla 18.</b> Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo tipo ML. ....	63
<b>Tabla 19.</b> Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo ML. ....	64
<b>Tabla 20.</b> Resumen del modelo cuadrático para suelo ML. ....	65
<b>Tabla 21.</b> Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo limoso ML. ....	65
<b>Tabla 22.</b> Prueba de normalidad para suelo limoso ML. ....	66
<b>Tabla 23.</b> Prueba estadística para validación de hipótesis. ....	68
<b>Tabla 24.</b> Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo SM. ....	69
<b>Tabla 25.</b> Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo SM. ....	70

<b>Tabla 26.</b> Resumen del modelo cuadrático para suelo arena limosa SM. ....	70
<b>Tabla 27.</b> Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo SM. ....	71
<b>Tabla 28.</b> Prueba de normalidad para suelo SM. ....	71
<b>Tabla 29.</b> Prueba estadística para validación de hipótesis. ....	73
<b>Tabla 30.</b> Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo de afirmado GC. ....	74
<b>Tabla 31.</b> Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo de afirmado GC. ....	75
<b>Tabla 32.</b> Resumen del modelo cuadrático para suelo de afirmado GC. ....	76
<b>Tabla 33.</b> Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo de afirmado GC. ....	76
<b>Tabla 34.</b> Prueba de normalidad para suelo de afirmado GC. ....	77
<b>Tabla 35.</b> Prueba estadística para validación de hipótesis. ....	78
<b>Tabla 36.</b> Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo de base gradación A. ....	80
<b>Tabla 37.</b> Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo de base gradación A. ....	80
<b>Tabla 38.</b> Resumen del modelo cuadrático para suelo de base gradación A. ....	81
<b>Tabla 39.</b> Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo de base gradación A. ....	81
<b>Tabla 40.</b> Prueba de normalidad para suelo de base gradación A. ....	81
<b>Tabla 41.</b> Prueba estadística para validación de hipótesis. ....	83
<b>Tabla 42.</b> Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo de base gradación D. ....	84
<b>Tabla 43.</b> Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo de base gradación D. ....	84
<b>Tabla 44.</b> Resumen del modelo cuadrático para suelo de base gradación D. ....	85
<b>Tabla 45.</b> Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo de base gradación D. ....	85
<b>Tabla 46.</b> Prueba de normalidad para suelo de base gradación D. ....	85
<b>Tabla 47.</b> Prueba estadística para validación de hipótesis. ....	87
<b>Tabla 48.</b> Cuadro comparativo de gradaciones de suelo A y D respecto al R2. ....	87
<b>Tabla 49.</b> Tiempo de ejecución del ensayo con método gravimétrico y sensor de humedad en minutos. ....	89
<b>Tabla 50.</b> Costo de ejecución del del ensayo con método gravimétrico y sensor de humedad en minutos. ....	90

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Relación de suelo-fase.....	11
<i>Figura 2.</i> Horno de tiro forzado.....	13
<i>Figura 3.</i> Sensor de humedad.....	19
<i>Figura 4.</i> Microprocesador Arduino.....	20
<i>Figura 5.</i> IDE (entorno de desarrollo integrado) para Arduino.....	21
<i>Figura 6.</i> Coeficiente de correlación muestral y grado de asociación lineal.....	23
<i>Figura 7.</i> Esquema de conexión del sensor capacitivo de humedad de suelo.....	27
<i>Figura 8.</i> Sensor capacitivo de humedad de suelo.....	28
<i>Figura 9.</i> Pines de conexión del sensor capacitivo.....	28
<i>Figura 10.</i> Profundidad de medición recomendada del sensor capacitivo (zona verde).....	29
<i>Figura 11.</i> Ensamblaje de los componentes del sensor de humedad.....	30
<i>Figura 12.</i> Plataforma IDE de Arduino para cargar el código fuente al sensor de humedad.....	30
<i>Figura 13.</i> Medición de humedad del sensor en el aire 3%.....	31
<i>Figura 14.</i> Medición de humedad del sensor en el agua 97%.....	31
<i>Figura 15.</i> Medición de humedad del sensor en arena 14%.....	32
<i>Figura 16.</i> Medición de humedad del sensor en suelo orgánico 16%.....	32
<i>Figura 17.</i> Recolección de muestra de suelo limoso en APV Los Reales del Bosque-Alto Qosqo, distrito de San Sebastián.....	34
<i>Figura 18.</i> Recolección de muestra de suelo de la cantera de Sencca, distrito de Poroy.....	35
<i>Figura 19.</i> Curva granulométrica para suelo limoso.....	36
<i>Figura 20.</i> Curva granulométrica para suelo arenoso.....	37
<i>Figura 21.</i> Curva granulométrica para suelo de afirmado.....	38
<i>Figura 22.</i> Curva granulométrica para suelo de afirmado.....	40
<i>Figura 23.</i> Tamizado del suelo limoso en malla Nro 10.....	43
<i>Figura 24.</i> Adición de agua y mezclado para homogenizar el suelo.....	43
<i>Figura 25.</i> Llenado de la probeta con suelo húmedo.....	44
<i>Figura 26.</i> Colocación del sensor de humedad en la probeta.....	44
<i>Figura 27.</i> Toma de lectura del sensor de humedad.....	45
<i>Figura 28.</i> Medición del peso de la capsula y toma de espécimen de suelo.....	46
<i>Figura 29.</i> Medición del peso de la capsula más peso de suelo húmedo y colocación en horno de tiro forzado durante 24 horas a 110°C.....	46

<i>Figura 30.</i> Medición del peso de la capsula más peso de suelo seco.....	46
<i>Figura 31.</i> Preparación de los equipos para las pruebas de laboratorio. ....	48
<i>Figura 32.</i> Llenado de la probeta y colocación del sensor de humedad. ....	48
<i>Figura 33.</i> Medición y toma de lectura del sensor de humedad.....	49
<i>Figura 34.</i> Medición de pesos de capsula sola y capsula más suelo húmedo. ....	49
<i>Figura 35.</i> Ubicación calle los Sauces de la APV los Reales del Bosque de alto Qosqo, distrito de San Sebastián – Cusco .....	51
<i>Figura 36.</i> Trazado de cuadrículas para ubicación de puntos de medición.....	52
<i>Figura 37.</i> Excavación de puntos de medición. ....	53
<i>Figura 38.</i> Extracción de muestra de suelo y tamizado con malla 4 mm. ....	54
<i>Figura 39.</i> Mediciones de humedad con sensor capacitivo. ....	54
<i>Figura 40.</i> Extracción de muestras en bolsas herméticas para ensayos de humedad en laboratorio. ....	55
<i>Figura 41.</i> Pesaje de muestras húmedas en laboratorio.....	55
<i>Figura 42.</i> Colocación de muestras en horno de tiro forzado, extracción luego del secado a 110°C durante 24 horas y pesaje de muestras secas. ....	55
<i>Figura 43.</i> Tamizaje del suelo de la cantera de Sencca. ....	59
<i>Figura 44.</i> Suelo preparado para la gradación de material de base de la cantera de Sencca.....	59
<i>Figura 45.</i> Preparación de equipos para ensayos de humedad con sensor capacitivo y método gravimétrico. ....	60
<i>Figura 46.</i> Preparación de la probeta con el suelo y medición con sensor capacitivo. ....	60
<i>Figura 47.</i> Adición de 16.40 g de agua y mezcla con suelo para cada medición ..	61
<i>Figura 48.</i> Medición con el sensor capacitivo y pesaje de muestra de suelo húmedo. ....	61
<i>Figura 49.</i> Colocación de muestras húmedas en el horno, pesaje de muestras luego del secado en horno de tiro forzado. ....	62
<i>Figura 50.</i> Gráfico de la regresión no lineal para suelo limoso ML. ....	67
<i>Figura 51.</i> Gráfico de la regresión no lineal para suelo arenoso SM.....	72
<i>Figura 52.</i> Gráfico de la regresión no lineal para suelo de afirmado GC.....	78
<i>Figura 53.</i> Gráfico de la regresión no lineal para suelo de base gradación A. ....	82
<i>Figura 54.</i> Gráfico de la regresión no lineal para suelo de base gradación D. ....	86

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la efectividad del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. El tipo de investigación aplicado, nivel de investigación explicativo, diseño de investigación cuasi experimental transversal. Población la infraestructura vial en la provincia de Cusco. Muestra la calle Los Sauces, sector alto Qosqo, Distrito de San Sebastián. Mediante el uso del sensor capacitivo de humedad se obtuvieron valores de  $r^2$  de 0.910 para suelo ML, 0.973, para suelo SM, 0.942 para suelo de afirmado, 0.884 para suelo de base con gradación A y 0.975 para suelo de base con gradación D, con rango de confiabilidad entre 88.4% y 97.5%, el tiempo de obtención de resultados con el sensor representa el 0.17% del tiempo con el método gravimétrico, el costo de ejecución del ensayo con el sensor representa 6.05% del costo incurrido con el método gravimétrico. Finalmente se concluye que la aplicación del sensor capacitivo para el control de humedad de suelos heterogéneos presenta una adecuada efectividad con un apreciable grado de confiabilidad, además de ventajas en el reducido de tiempo de obtención de resultados y el bajo costo.

**Palabras clave:** Sensor capacitivo, control de humedad del suelo, confiabilidad.

## Abstract

Present investigation aimed at determining the effectiveness of the control of humidity at heterogeneous soil of road infrastructure applying capacitive sensor, Cusco, 2021. The kind of investigation is applied, level of explanatory investigation, design of investigation is quasi experimental and transverse. Population the road infrastructure at Cusco's province. The sampling Los Sauces Street, Alto Qosqo, District of San Sebastián. The results  $r^2=0,973$  for SM soil,  $r^2 = 0,910$  for SM soil,  $r^2= 0,942$  for GC soil,  $r^2=0,884$  for soil of base with gradation A and  $r^2=0,975$  for soil of base with gradation D, with range of reliability between 88,4 % and 97,5 %, the time of obtaining of results with the sensor represents 0,17 % of the time with the gravity method, the cost of execution of the essay with the sensor represents 6,05 % of the cost with the gravity method. Finally it is concluded that the application of the capacitive sensor for the control of humidity of heterogeneous soil presents an adequate effectiveness with an appreciable grade of reliability, in addition to advantages in the reduced one belonging to time of obtaining of results and the low cost for the essay.

**Keywords:** Capacitive sensor, soil humidity control, reliability.

## I. INTRODUCCIÓN

La resiliencia de infraestructura PIARC (2020), indica que las carreteras son infraestructuras que coadyuvan de manera importante al bienestar social y económico, por tanto, resulta esencial garantizar la seguridad, disponibilidad y fiabilidad de la infraestructura de transporte por carretera. COMEXPERÚ (2019), Las condiciones de la infraestructura en el rubro de transporte y servicios básicos expresa en gran magnitud el nivel de competitividad de un país. En el índice de competitividad global el Perú se situó en la ubicación 88, asimismo respecto al nivel de infraestructura en transporte, nuestro país se ubicó en el puesto 97. Frente a ello es preocupante que el Perú este ubicado dentro del grupo inferior respecto a conectividad de vías y calidad de infraestructura en carreteras. Estos indicadores tienen relación directa con el acceso a oportunidades de salud, económicas y educativas en las zonas rurales y más alejadas del país. En el ámbito internacional como nacional las carreteras son de vital importancia porque posibilitan la conectividad física entre regiones geográficas, ciudades, zonas urbanas y rurales, permitiendo el transporte terrestre de pasajeros y bienes, facilitando a su vez el desarrollo de actividades económicas. Nuestro país por su naturaleza geográfica posee una diversidad de suelos sobre los cuales se desarrolla infraestructura vial; siendo de vital importancia que el suelo sobre el cual se asientan las obras viales cumpla las prestaciones técnicas y normativas de funcionalidad y sostenimiento. Entre las cuales se encuentra la compactación que consiste en la densificación del suelo mediante la reducción de espacios vacíos entre partículas que la constituyen, para ello se requiere aplicar energía mecánica adecuada con un nivel de contenido de humedad óptimo que proporcionara al suelo características de cohesión, mayor capacidad de carga, resistencia a la corte, estabilidad, etc. En tal sentido la **realidad problemática** se plantea en la necesidad de alcanzar y asegurar un adecuado nivel de compactación en las obras de infraestructura vial, cumpliendo con los procedimientos técnicos y normas para asegurar tal fin. En caso contrario crece el riesgo de que las obras viales no lleguen a cumplir su vida útil proyectada, se presenten problemas de asentamiento o deterioro prematuro, genere sobrecostos y afectación de los limitados recursos del Estado.

Castro (2005), El mayor problema se presenta debido a una mala aplicación de los procedimientos de compactación y el control deficiente del mismo. Una carretera puede disponer de buenos materiales en las capas que la constituyen, sin embargo, si estas no se compactan en forma adecuada, la obra de ingeniería será susceptible a sufrir deterioros y en consecuencia se producirán retrasos en la ejecución de obra, gastos adicionales en refacciones y retraso en el desarrollo del país.

Auccahuaqui y Corahua (2016), evaluación del sistema de pavimentos flexibles en la prolongación de la av. la cultura; los valores de CBR obtenidos en base 30% y sub base 7% son bajos por tanto la compactación es inadecuada, produciendo inestabilidad en la base y sub base y en consecuencia desplazamiento lateral de los materiales del pavimento, debido a que no se satisfacen las prestaciones de las cargas vehiculares.

Por otro lado, medir las características de los materiales durante el diseño de las vías terrestres implica un costo alto, aun cuando las técnicas usadas para tales mediciones no han sido modernizadas por los actores de la ingeniería civil moderna, como es el caso de la medición del contenido de humedad, siendo el método gravimétrico la manera directa de su determinación. El método en mención consiste en extraer una muestra de suelo, medir su peso húmedo, proceder al desecado en horno y por diferencia de pesos determinar el contenido de humedad; sin embargo, este método no permite un registro continuo de valores de humedad del suelo de un espacio determinado, siendo necesario extraer muestras del suelo para su procesamiento en laboratorio (Ideam, 2018).

Ahora bien, con el valor de mercado de los sensores en el mundo, que se prevé superará los \$ 190 mil millones para 2021 y la cantidad de sensores implementados en todo el mundo se prevé que alcance la marca de un millón de millones para el año 2025, una revisión de vanguardia de varios dispositivos de sensores comercialmente viables, y su uso se hace inevitable para todas las ramas del conocimiento humano Hayat et al., (2019). La aparición de nuevos sensores facilita la solución de problemas reales existentes, este es el caso del control de calidad de la humedad en la construcción de infraestructura vial.

Los aspectos técnicos del diseño y la aplicación de redes de sensores de bajo costo ahora se comprenden relativamente bien, gracias al rápido avance de las

tecnologías de comunicación e información. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que los desafíos restantes se centran en gran medida en factores no técnicos, como la participación de las partes interesadas, los contextos socioeconómicos, los mecanismos financieros y operativos Mao et al., (2018). Estos problemas no técnicos ya han comenzado a obstaculizar los beneficios potenciales que estas redes de sensores pueden brindar a la sociedad. Por ejemplo, con frecuencia se pasa por alto el potencial para la reducción de riesgos, el desarrollo de la resiliencia y la gestión adaptativa (Paul et al., 2018). Estos puntos son sobresalientes dado el potencial de las redes de sensores de bajo costo para abordar la cobertura de datos inadecuada en los países de bajos y medianos ingresos y por ejemplo, Strigaro et al., (2019), particularmente porque esta falta de información sigue siendo un desafío importante para las políticas de optimización de los recursos de los países en camino a lograr el desarrollo (ONU, 2015). Por lo tanto, existe una necesidad urgente de comprender mejor estos desafíos emergentes e identificar posibles oportunidades para futuras investigaciones Mao et al., (2018).

En concordancia a lo expuesto, el problema de la investigación se formula como:

**Problema general:** ¿Cuál será la efectividad del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021?

La **justificación** de la investigación se sostiene en la posibilidad de aprovechar las innovaciones tecnológicas como es la utilización de sensores de humedad para la medición rápida y continua de la humedad del suelo en infraestructura vial, teniendo además la posibilidad de contar con equipos de costo relativamente bajo, comparado con el método convencional de medición de la humedad del suelo.

**Objetivo general,** Determinar la efectividad del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Objetivo específico 1,** Cuantificar el valor del coeficiente de determinación en suelo limoso en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Objetivo específico 2,** Calcular el valor del coeficiente de determinación en suelo arenoso en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco,

2021. **Objetivo específico 3**, Hallar el resultado del coeficiente de determinación para suelo de afirmado en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Objetivo específico 4**, Definir el valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A, en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Objetivo específico 5**, Calcular la dimensión del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D, en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Objetivo específico 6**, Analizar la influencia de la gradación del suelo de base en la precisión del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Objetivo específico 7**, Medir el tiempo obtención de resultados en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Objetivo específico 8**, Calcular el costo del ensayo en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Hipótesis general**, La efectividad del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021, es satisfactoria.

**Hipótesis específica 1**, El coeficiente de determinación en suelo limoso es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Hipótesis específica 2**, El valor del coeficiente de determinación en suelo arenoso es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Hipótesis específica 3**, El coeficiente de determinación para suelo de afirmado resulta cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Hipótesis específica 4**, El valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Hipótesis específica 5**, El coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Hipótesis específica**

**6,** La gradación del suelo de base influye de manera importante en la precisión del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Hipótesis específica 7,** El tiempo de obtención de resultados influye favorablemente en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021. **Hipótesis específica 8,** El costo del ensayo incide favorablemente en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

## II. MARCO TEÓRICO

González (2020), La investigación tiene el **objetivo** validar, evaluar un sensor de humedad de bajo costo, que permita almacenar y entregar datos de manera sencilla, en suelos presentes en la región de Maule de Talca, Chile, 2020, considera para el estudio tres tipos de suelo tales como suelo trumao, suelo franco arenoso y suelo arcilloso, se recolecto una muestra de 5 kg de cada tipo de suelo, se procedió a poner dos sensores capacitivos y uno comercial en suelo de las tres muestras, luego se extrajeron los datos de la memoria de los sensores para realizar las comparaciones entre sensor capacitivo y comercial, en este proceso se realiza la comparación entre las lecturas analógicas de los sensores capacitivos de bajo costo y las lecturas de contenido volumétrico (VWC m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) del sensor comercial de referencia y las obtenidas por gravimetría teniendo resultado como: en suelo de característica franco limosa (52% de limo, 36.1% de arena, 11.5% de arcilla y 8.15% de materia orgánica), mediante sensor capacitivo y el método gravimétrico, al comparar ambos valores obtiene un coeficiente de determinación r<sup>2</sup> de 0.9466, En suelo arenoso el sensor capacitivo es menos sensible en detectar los cambios de humedad de suelo, presentando un r<sup>2</sup> de 0,8378 con el sensor de referencia y de 0,7828 con el método gravimétrico; es posible que el espacio poroso afecta la sensibilidad de los sensores capacitivos, y el valor de r<sup>2</sup> en el suelo arcilloso es de 0,9122 con el sensor capacitivo y de 0,9346 con el método gravimétrico.

Betancourth (2016), El estudio tiene **objetivo** de implementar sensor tipo sonda para la medición de humedad del suelo, en procesos agrícolas para uso de agua eficiente en los riegos y cuidado del suelo, se extrae la muestra de suelo de la universidad de los Llanos – Colombia, se toma 1 Kg de suelo para pruebas de muestra, se agrega agua 1 litro, luego drena por un periodo de 24 horas se sacan pequeñas porciones de muestras en capsulas con registro de peso y enumerado que serán llevados al horno a 105 °C un tiempo de 120 horas, transcurrido el tiempo se pesa la muestra para determinar porcentaje de humedad gravimétrico del suelo, que se define masa del agua y masa de suelo seco de la estufa hasta que la masa se hace constante, teniendo un promedio de porcentaje de humedad gravimétrica de 72.39%. se realiza con el sensor diseñado la medida de humedad, aplicando

métodos numéricos para la conversión de voltaje a porcentaje de humedad volumétrica, alcanzando valores en los coeficientes de determinación  $r^2$  de 0.868 para el sensor superior y de 0.961 para el inferior.

Martínez (2021), el trabajo experimental comprende la implementación de un método alternativo para el cálculo del contenido de humedad de suelos granulares en la zona de Ambato, por medio de la utilización de sensores electrónicos resistivos y capacitivos, el **objetivo** es comparar la humedad del suelo por el método gravimétrico y mediante sensores electrónicos. **Población** los suelos granulares del cantón de Ambato, **Muestra**, 15 muestras de parroquias rurales en la provincia de Tungurahua. Diseño de **investigación experimental**. Como **resultado** obtiene un  $r^2$  de 0.7663 para un sensor resistivo, con una ecuación modelo  $W\% = 3E-5 X^2 - 0.0636X + 42.19$ , luego realiza una correlación entre sensores resistivo y capacitivo para contenidos de humedad promedio obteniendo un  $r^2$  de 0.9607 con una ecuación modelo  $W_{promSC} = 0.0001(W_{promSR})^2 - 0.0835(W_{promSR}) + 875.63$ . Considera que el valor de  $r^2$  de 76.63% es muy bueno al comparar los métodos gravimétrico y mediante sensores electrónicos.

Llanos y Reyes (2017), La investigación estudia el grado de confianza sobre los efectos del ensayo PDC in situ, comparado con el ensayo CBR que se realiza en laboratorio. El **tipo de investigación** es cuantitativo, **diseño de investigación** cuasi experimental. Se excavaron calicatas a nivel de subrasante para la toma de muestras y la ejecución de ensayos; una vez efectuado el ensayo PDC in situ, se llevaron muestras al laboratorio para determinar las propiedades del suelo como: granulometría, **contenido de humedad**, límites de consistencia. Al concluir los ensayos PDC in situ y el CBR obtenido se construyó una gráfica utilizando regresión polinómica para generar una **ecuación de correlación** entre ambos métodos estudiados y obtener la ecuación de CBR de diseño. **Resultados**, de acuerdo a las ecuaciones de correlación se determinó el grado de confiabilidad; siendo de 99%, para suelos del tipo SM y de 97.27% para suelos CL y CL-ML. Para un total de 9 calicatas estudiadas, el **costo de ensayo** para PDC in situ fue de S/. 1370.00 y para el CBR resultó S/. 3295.00 siendo el primero un 42% más económico.

Placidi et al, (2020), Se enfoca en la caracterización **experimental** de un **sensor capacitivo de humedad de suelo**, de bajo costo, con el **objetivo** de validar su rendimiento y solidez en la determinación de las propiedades físicas del suelo. se vertieron 950 g de arena de sílice en la probeta graduada y se añadieron ocho pesos diferentes de agua destilada, espaciados al 2,5%, partiendo del 2,5% hasta el 20,0%. La mezcla de suelo y agua se obtuvo a mano. Luego, en cada muestra se introdujeron dos sensores capacitivos en la muestra de suelo en dos posiciones diferentes y se adquirieron mediciones repetidas. Se obtuvo un coeficiente de correlación de -0,945, con un polinomio de ajuste de segundo grado  $V_{fuera} = A \cdot (W\%)^2 + B \cdot (W\%) + C$ . Los **resultados** experimentales muestran claramente que esa porosidad afecta severamente las mediciones capacitivas de humedad del suelo. Si no se tiene debidamente en cuenta, este efecto indudablemente podría invalidar los resultados de este tipo de mediciones.

Mamani (2020), La investigación tiene el **objetivo** de definir la **variabilidad de la humedad** específicamente en la base del pavimento estudiado mediante la utilización de un sistema informático, el lugar en estudio corresponde a la calle Roberto Acosta, distrito de Wanchaq, Cusco, 2020. Para la muestra se consideraron 6 puntos ubicados en el eje del pavimento de 70 m de longitud, distanciados a 10 metros para efectuar mediciones del contenido de humedad a través del sistema informático compuesto por un microcontrolador Bolt con conexión a un **sensor de humedad** y también por medio de un ensayo de laboratorio geotécnico. El **tipo de investigación** es **descriptiva** con **diseño no experimental** de característica **transversal**. Se utilizó el procedimiento estadístico de correlación para este caso el de Karl Pearson, obteniéndose como **resultado** un error porcentual inferior al 10% entre ambas opciones de medición. Los **tiempos de ensayo** promedio fueron 1044 minutos para la medición geotécnica y 4.26 minutos para la medición con microcontrolador y sensor para humedad.

Buitrón y Castañeda (2020), La investigación tiene como **objetivo** hacer una **evaluación técnica económica** del pavimento flexible aplicando la Geomalla Triax TX-160 en la avenida 11 de enero entre la avenida Grau, en el distrito de Ancón,

asimismo definir el grado de influencia de la geomalla triaxial en la resistencia de suelo del pavimento flexible, evaluar la incidencia de costo de la malla triaxial sobre el pavimento flexible. Para ello en primer lugar se realiza el diseño del pavimento flexible tradicional y posteriormente en un segundo caso se aplica geomalla triaxial TX-160. La **investigación es del tipo aplicada**, a **nivel** explicativo, en cuanto al **tipo de diseño** el estudio es experimental, con **enfoque** cuantitativo, respecto a la **población** se considera el suelo de pavimento circunscrito al departamento de Lima, siendo la **muestra** el suelo de la Av. 11 de enero entre Av. Grau, comprendido en el distrito de Ancón. Los **resultados** demuestran que la aplicación de la malla triaxial presenta ventajas técnicas como la reducción del espesor de subbase de 30 a 25 cm y la disminución de espesor de la base granular de 30 a 10 cm. En cuanto a la incidencia de carácter económico se tiene un **costo** de S/809,625.60 para un pavimento convencional mientras que el **costo** con malla triaxial es de S/. S/796,385.76 En conclusión se tiene que la aplicación de la geomalla triaxial en el diseño del pavimento flexible, brinda un mejoramiento en la estructura del pavimento optimizando la capacidad de soporte del suelo, reduciendo significativamente el espesor de las capas que integran el pavimento flexible y logrando un ahorro económico en el presupuesto del proyecto.

Alulema (2021), La tesis comprende la Implementación de un sistema automatizado de riego por goteo controlado mediante Arduino UNO y un **sensor de humedad de suelo** tipo higrómetro para un invernadero de producción de tomate. El sistema consta de una placa Arduino, un sensor de humedad de suelo, sensor de temperatura ambiente, así también de un módulo relé el cual permite el accionamiento de la bomba de acuerdo a la cantidad de humedad del suelo que se necesita. **Resultado** se implementó la programación del microcontrolador **Arduino** en forma correcta para el seguimiento de la **humedad del suelo**, cuando la magnitud de humedad es igual o inferior al 80% la bomba de agua se activa y cuando se alcance un valor superior a 80% la bomba se apaga, de esta manera se logra un control adecuado de la demanda de agua del cultivo.

Cruz (2020), En su trabajo de investigación el autor evalúa dos métodos que permiten calcular la densidad producto de la compactación de campo, los métodos utilizados son el cono de arena y el método del densímetro nuclear, cuyo **objetivo** es efectuar una **evaluación técnica económica** que permita contrastar ambos métodos. El **Tipo de investigación** para este caso es experimental con un enfoque cuantitativo. En la tesis no se especifica a la **población y muestra**, se menciona que el estudio comprende un suelo de grava arenosa y grava triturada procedentes de la cantera Satipo utilizada en el proyecto: “Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera Mazamari- Pangoa- Cubantia”. Ambos métodos se someten a pruebas con muestras de suelos para la conformación de la sub base (grava arenosa) y base (grava triturada) presentes en el proyecto; teniendo como **resultados**: haciendo 30 mediciones, con el método de cono de arena se obtuvo niveles de compactación al 100%, mientras que con el densímetro nuclear se obtuvo rangos de compactación de hasta 98%, otro parámetro evaluado fue el **tiempo de prueba** implicado en cada alternativa para el cono de arena la prueba tiene una duración entre 35 a 40 minutos y para el densímetro la prueba se puede efectuar en 5 minutos. Asimismo, se definieron los **costos por punto de medición** para cada prueba, teniendo para el cono de arena un costo de prueba de S/. 41.83 y para el densímetro nuclear un costo de S/. 11.44. de esta manera se concluye que el método del densímetro nuclear es más ventajoso porque tiene un menor costo por prueba y también es de menor costo, siendo adecuado para obras que requieren gran número de pruebas de campo.

La base teórica utilizada en la investigación se presenta a continuación:

### **Suelo**

Según define Das (2015), el suelo es el material no consolidado contenido por granos minerales y partículas sólidas de material orgánico descompuesto con gas y líquido presentes en los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se utiliza como material de soporte en la construcción para una diversidad de proyectos de ingeniería civil, siendo importante para el sostenimiento de los elementos estructurales.

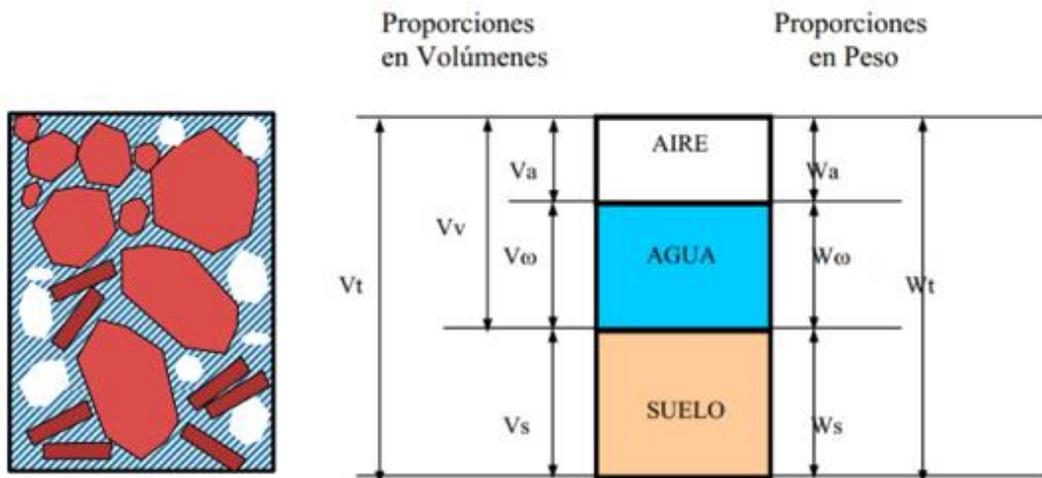


Figura 1. Relación de suelo-fase.

### Compactación de suelos

Según Das (2015), en la construcción de estructuras de ingeniería, los suelos no consolidados deben ser compactados para acrecentar sus pesos específicos. La compactación aumenta las características de resistencia de los suelos, ampliando así la capacidad de carga de las cimentaciones que serán construidas sobre ellas. La compactación sirve también para evitar asentamientos no deseados en las estructuras y para incrementar la estabilidad de taludes en terraplenes.

En términos generales, la compactación implica la consolidación del suelo mediante la eliminación de aire, siendo para ello necesario la aplicación de energía mecánica. Así mismo el grado o nivel de compactación de un suelo se cuantifica en función del peso unitario seco. Durante la compactación al añadir agua al suelo, éste se comporta como agente suavizante actuando sobre las partículas del suelo las mismas que se mueven una sobre la otra hasta alcanzar una conformación densa en empaque. Cuando el contenido de humedad se aumenta gradualmente y se utiliza la misma fuerza de compactación, el peso de los sólidos del suelo por una unidad de volumen se eleva gradualmente.

Por encima de un determinado contenido de humedad, cualquier aumento en éste propende a disminuir el peso unitario seco. En razón de que el agua llena los espacios anteriormente ocupados por las partículas sólidas. El contenido de humedad en el cual se presenta el peso unitario seco máximo se conoce como contenido de humedad óptimo.

Proctor (1933), citado por Das, menciona que la prueba de laboratorio empleada con el fin de conseguir el peso unitario seco máximo de compactación y el contenido óptimo de humedad es denominado como prueba Proctor de compactación, Das (2015).

**Método de ensayo para establecer el contenido de humedad de un suelo**  
(MTC E 108-2016, ASTM D-2216), Comprende:

Objetivo. - Establecer el contenido de humedad de un suelo.

Definición. - El contenido de humedad de un suelo es la proporción entre el peso del agua presente en una porción de suelo y el peso de las partículas sólidas del mismo, representado en porcentaje.

Aparatos. - Se tienen:

- Horno de secado. - Se requiere un horno de secado con control de temperatura por termostato, preferentemente de tiro forzado, con capacidad de mantener constante una temperatura de 110 °C con tolerancia de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Balanzas. - Con capacidad adecuada para las muestras de suelo, con escala mínima de 0.01 g en caso de muestras menores de 200 g y de 0. 1 g en caso de muestras mayores a 200 g.
- Recipientes. - Manufacturados con propiedades de resistencia a la corrosión, y a la variación de peso cuando se somete al frío y calor en forma continua, exposición a materiales de tengan la propiedad de variar su pH, y también resistentes a la limpieza.
- Utensilios para manejo de recipientes. - Es necesario el empleo de guantes, tenazas para poder manipular sin problema los recipientes que están calientes posterior al secado, también es recomendable el uso de otros enseres como: cucharas, espátulas, cuchillos, divisores de muestras, lona para cuarteo, etc.

Principio del método. -Se procede a secar una muestra de suelo húmedo hasta que mantenga un peso constante en un horno temperatura de 110 °C con tolerancia de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . De esta manera el peso del suelo seco es considerado como el peso de las partículas en estado sólido. La merma de peso a causa del secado es considerada el peso del agua.



*Figura 2. Horno de tiro forzado.*

Muestras. - Para la preservación y transporte de las muestras de suelo se debe tomar en cuenta la Norma ASTM D-4220, agrupaciones B, C ó D. En caso de tener muestras almacenadas antes de efectuar los ensayos se deben colocar en contenedores herméticos a prueba de corrosión, a temperatura entre 3 °C y 30 °C y en un área que no esté expuesta directamente a los rayos solares. En caso de poseer muestras alteradas, su almacenamiento se hará en recipientes cerrados que eviten o reduzcan la presencia de humedad condensada al interior del recipiente contenedor.

Para la hallar el contenido de humedad, el proceso de secado en horno se debe realizar lo más pronto posible después de obtener las muestras, sobre todo si se utilizan contenedores susceptibles a la corrosión (acero tubular de espesor fino, envases de pintura, etc.), envases de plástico como bolsas.

Espécimen para ensayo. - En caso de no utilizar la totalidad de la muestra, se debe seleccionar la cantidad mínima de espécimen de muestra húmeda de tal modo que sea característico respecto al total de la muestra, teniendo en cuenta lo siguiente:

**Tabla 1.** Selección del espécimen de ensayo.

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla Estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1\%$	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1\%$
2 mm o menos	2.00 mm (N° 10)	20 g	20 g*
4.75 mm	4.760 mm (N° 4)	100 g	20 g*
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.1 mm (1½")	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: MTC, Manual de ensayo de materiales.

Si se emplea la totalidad de la muestra para el ensayo, omitir los requisitos mínimos consignados en la tabla anterior.

El empleo de un espécimen de ensayo inferior al mínimo valor consignado en la tabla necesita obtenerse con sumo cuidado, así sea conforme al objeto del ensayo o prueba. En el reporte que contiene los resultados debe señalarse si algún espécimen utilizado no ha satisfecho con los requerimientos de peso solicitados.

En caso se proceda con una muestra menor de 200 gramos con partículas de grava de tamaño relativamente grande, no es adecuado considerarlas dentro de la muestra, debiendo reportar su exclusión del ensayo.

En caso de que las muestras estén compuestas íntegramente de roca intacta, se debe considerar una muestra con un peso de 500 gramos. Es adecuado partir la muestra representativa en porciones más pequeñas, que sean adecuadas al tamaño del recipiente y la capacidad de la balanza empleada, así como para simplificar el secado de la muestra a peso constante.

Selectividad del espécimen para el ensayo. - Para ello se define:

En caso de que el espécimen seleccionado sea parte de una cuantía más grande de material, es necesario que la humedad del espécimen represente la condición de humedad de total del material. La manera de seleccionar el espécimen va a depender la finalidad y aplicación objeto del ensayo, la condición de humedad, la característica del material y la clase de muestra.

Para el caso de muestras caracterizadas como alteradas tales como las desbastadas, en bolsa, el espécimen de ensayo se consigue por medio de los métodos siguientes:

- Cuando el material tiene la posibilidad de manipularse sin ocasionar pérdida considerable de humedad, se procede a la mezcla del material para luego disminuirse al tamaño necesario mediante división o cuarteo.
- Cuando no se puede realizar la mezcla y/o división, formar una columna de material, realizando la mezcla en la medida de lo posible. Luego extraer como mínimo 5 porciones de ubicaciones diferentes utilizando para ello un tubo de muestreo, cuchara, pala o algún utensilio símil adecuado para la partícula de mayor dimensión dentro del material. La totalidad de porciones serán mezcladas para constituir el espécimen que se someterá a ensayo.
- Si el material no se puede apilar, en este caso se deberán las cantidades necesarias de porciones localizadas aleatoriamente que representen de mejor manera la situación de humedad. La totalidad de porciones se mezclarán para conformar el espécimen que será sometido a ensayo.

En caso que las muestras se mantengan intactas como son: bloques, muestreadores divididos, tubos, otros, en función de la finalidad y potencial utilización de la muestra, la extracción del espécimen de ensayo se efectuará a través de los métodos siguientes:

- Desbastar cuidadosamente al menos 3 milímetros de material procedente de la capa externa de la muestra para observar si se presentan estratos en la conformación del material y para realizar la remoción del material con condición de mayor sequedad o humedad que la fracción principal de la muestra. Posteriormente se procederá a desbastar como mínimo 5 milímetros, o sino el grosor similar al máximo tamaño de partícula que se presenta, de la totalidad de la superficie expuesta o del sector que sea sometido a ensayo.
- Seccionar la muestra en partes iguales. Si se observa la presencia de estratos en el material o se presenta material de más de un tipo, elegir un espécimen representativo, individuales, o de ambas condiciones. La identificación de especímenes se efectuará en formatos adecuados, respecto a su localización, o características representativas.

Posteriormente se procede al desbastado de manera cuidadosa por lo menos 5 milímetros, o un grosor idéntico a la partícula de tamaño mayor, del área expuesta de una mitad o sino del intervalo sujeto a ensayo. Se debe excluir el material de los bordes que sea propenso a quedar más húmedo o más seco respecto al fragmento más importante de la muestra.

Procedimiento. - Es el que se detalla a continuación:

- Medir y anotar el peso de un recipiente limpio y seco (incluir la tapa en caso de ser utilizada).
- Elegir los especímenes de ensayo más representativos conforme a lo señalado con anterioridad.
- Colocar el espécimen de ensayo húmedo dentro del recipiente, en caso de usar su tapa asegurarla en su lugar. Medir el peso del recipiente y el material húmedo utilizando la balanza adecuada acorde al peso del espécimen. Anotar el peso registrado.
- Retirar la tapa (en caso haya sido usada) y colocar en el horno el contenedor con material húmedo. Proceder al secado del material en horno hasta lograr un peso constante. La temperatura del horno de secado se debe mantener en 110 °C con tolerancia de  $\pm 5$  °C a menos que se señale otro nivel de temperatura. La cantidad de tiempo necesario para lograr un peso constante difiere en función del tipo o la clase de material, de las dimensiones de los especímenes, del tipo de horno y su capacidad, así como otras condiciones. La influencia que puedan tener estos factores depende del buen criterio aplicado, el grado de experiencia con los materiales supeditados a ensayo y también los equipos empleados.
- Una vez alcanzado el secado del material a peso constante, retirar el recipiente del horno (poner la tapa si se usó). Dejar que el material y su recipiente se enfríen a temperatura del ambiente o hasta que su manipulación sea posible de fácilmente en forma manual y la acción de balance en ningún momento sea afectado por corrientes de propagación y/o se esté calentado. Medir el peso del recipiente y el material secado al horno utilizando para ello el mismo aparato de medición es decir la balanza. Anotar su valor. El uso de las tapas de los recipientes será necesario en caso se presuma que el espécimen pueda absorber humedad del entorno o medio ambiente antes de realizar la medición o pesaje del material.

Cálculos. - Para hallar el contenido de humedad se emplea la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

W: Contenido de porcentaje de humedad, (%)

WW: Peso del agua

WS: Peso seco del suelo o material

W1: Peso del recipiente más el suelo húmedo, (g).

W2: Peso del recipiente más el suelo secado al horno, (g).

Wt : Peso del recipiente, (g).

Reporte. - Comprende lo siguiente:

- Identificación del material ensayado, consignando numeración de calicata, muestra, ensayo, contenedor, etc.
- Consignar el porcentaje de contenido de agua del espécimen con precisión al 1% ó al 0.1%, más adecuado en función de la muestra mínima utilizada. Si se utiliza este método como parte de otro método, el valor del contenido de humedad obtenido debe referenciarse con el requerido por el método de ensayo principal.
- Precisar si el peso del espécimen ensayado fue menor que el indicado en Tabla N° 1.
- Precisar si el espécimen ensayado presenta estratos, es decir capas de dos o más tipos de material.
- Indicar si la metodología para el secado es diferente al empleado con horno a 110 °C con tolerancia de +- 5 °C.
- Registrar sí se descartó algún material comprendido en el espécimen sujeto a ensayo.

Exactitud. - Para este método de ensayo no se cuenta con un valor de precisión definido; por tanto, no se puede determinar la exactitud.

Precisión. – La relación de variación para un operador cualquiera se ubicó en 2.7%. Entonces, dos resultados de ensayos realizados adecuadamente por el mismo operador utilizando además el mismo equipo, no deberán ser sujetos de sospecha en caso haya una variación menor a 7.8 % de su valor medio.

La relación de variación entre diferentes laboratorios se precisa en 5.0%. En tal sentido, dos resultados de ensayos efectuados por distintos operadores empleando equipamiento diferente no deberán ser sujetos de sospecha siempre y cuando varíen más del 14.0 % del valor medio.

### **Sensores de humedad**

Para Sánchez et al. (2019) Los **sensores de humedad** son aquellos que identifican los valores mínimos y máximos de humedad en el suelo, estos dependen de la constante dieléctrica del suelo, para tal efecto se puede contar con diferentes técnicas, como el reflectómetro, transmisimetría, reflectimetría, sin embargo, estos resultan ser muy caros, por tanto, se considera que los sensores de humedad con **microprocesador arduino** son más económicos, según Sánchez (2014) el sistema arduino es una placa de circuitos electrónicos siendo este el medio para dar marcha a cualquier proyecto; es decir es una plataforma electrónica de código abierto la cual se fundamenta tanto en un software y un hardware, asimismo esta placa cuenta con entradas y salidas, estas pueden ser analógicas y digitales, basado en el lenguaje de programación processing, cuya finalidad es crear un todo que tiene concordancia a las necesidades del usuario, en los últimos años ha tenido mucho acogida por empresas los cuales encuentran muchas ventajas en este sistema.



Figura 3. Sensor de humedad.

#### Especificaciones técnicas de sensor de humedad

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC
- Corriente operación: 5mA
- Voltaje de la señal de salida: 0 a 5V (Analógico)
- Modelo: capacitive soil moisture sensor v1.2
- Vida útil: 3 años mín.
- Conector: PH2.0-3P
- Incluye: Electrodo y cable jumper hembra
- Dimensiones: 98\*23 mm
- Peso: 15 gramos

- 
- **GND:** Tierra (GND 0V)
  - **VCC:** Voltaje de alimentación (3.3V - 5V DC)
  - **AOUT:** Salida analógica

#### Arduino

Según Placidi et al, (2020), Arduino es una plataforma de prototipado de electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar, la placa nos permite llevar a cabo proyectos de electrónica de forma muy barata y fácil, ya que a la misma le podemos conectar sensores y actuadores que son muy fáciles de conseguir y de programar. La placa Arduino se programa a través de un IDE o software que es gratuito.

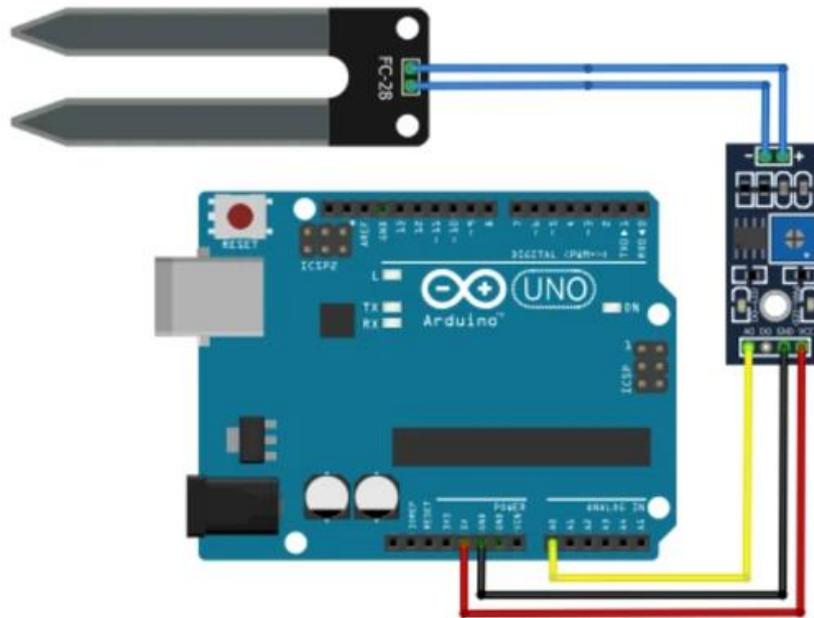


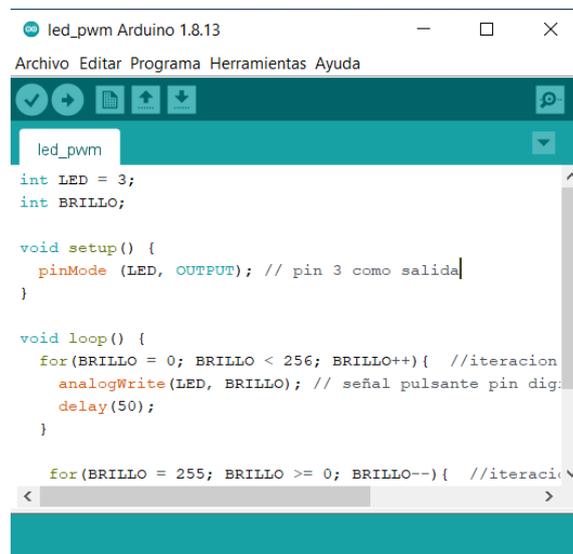
Figura 4. Microprocesador Arduino.

Tabla 2. Características de Arduino ATMEGA328.

PARÁMETROS	VALORES
Flash	32 Kbytes
SRAM	2 Kbytes
Cantidad Pines	28
Frecuencia máxima de operación	20 MHz
CPU	8-bit AVR
Número de Canales variables	16
Pines máximos de E/S	26
Interrupciones internas	24

Fuente: Bojórquez (2016)

Monk (2019), El software que se utiliza para programar una placa de Arduino se llama IDE (Entorno de Desarrollo Integrado). Es un entorno de programación muy simple con la posibilidad de acceder a librerías y comandos útiles. Una vez instalados los programas en la placa Arduino, estos programas pueden ejecutarse independientemente.



```
led_pwm Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
led_pwm
int LED = 3;
int BRILLO;

void setup() {
  pinMode(LED, OUTPUT); // pin 3 como salida
}

void loop() {
  for(BRILLO = 0; BRILLO < 256; BRILLO++){ //iteracion
    analogWrite(LED, BRILLO); // señal pulsante pin dig:
    delay(50);
  }

  for(BRILLO = 255; BRILLO >= 0; BRILLO--){ //iteraci
```

**Figura 5.** IDE (entorno de desarrollo integrado) para Arduino.

### Patrones de medición

Mendoza y Espinoza (2017), comprende herramientas prácticas para mejorar el **proceso de toma de muestras**, tales como planificación, procedimiento y manejo de muestreo del suelo; así mismo el recorrido para realizar el muestro que puede ser aleatorio simple, aleatorio estratificado, en cuadrícula, en X y en zigzag, siendo los mas comunes en uso en X y en zigzag. **Recorrido en X:** método sencillo aplicado para lugares planos y homogéneos, se recolecta las muestras en forma de X en cada lote hasta completar la muestra en campo y posteriormente mezclarlas. **Recorrido en zigzag:** consiste en recolectar las muestras en campo en zigzag procedimiento aplicado en tierras muy homogéneas y planas, recorriendo líneas de 25 a 30 pasos desde cada punto seleccionado de muestreo haciendo esto en cada lote hasta completar la recolección de muestras en campo y posteriormente mezclarlas para obtener muestra representativa.

MINAM (2014), se establecen patrones de muestreo para localizar puntos de medición en suelos, mediante distribución uniforme como **Rejillas regulares**: en el área se trazan rejillas con líneas paralelas y ortogonales equidistantes obteniendo celdas con igual magnitud, se marca punto en el centro o en las intersecciones pero en toda las celdas el punto debe quedar en el mismo lugar. Otro patron de muestreo corresponde a la distribución heterogenea como **muestreo irregular en forma W** en áreas en forma cuadrada se grafica letra W y sobre la línea se marca los puntos de muestreo equidistantes.

### Definición de coeficiente de correlación r

Según Harmonised (2015) las medidas de precisión son los que determinan diferentes parámetros, en este sentido se puede precisar al coeficiente de correlación r que es:

$$r = \frac{N\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N\sum x^2 - (\sum x)^2] [N\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

el cual permite comprobar la linealidad; para determinar la linealidad de las variables se realiza un cálculo de coeficiente de correlación múltiple y coeficiente de determinación es:  $r^2 = (r)^2$  los cuales permiten comprobar la linealidad del método analítico, por tanto es importante determinar el valor crítico del tamaño de muestra, asimismo este sirve para realizar un cálculo de coeficiente correlación.

**Tabla 3.** Interpretación del coeficiente de correlación.

<b>VALOR DEL COEFICIENTE</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
$0 < r < 1$ y $r \rightarrow 1$	<i>relación lineal positiva y fuerte.</i>
$0 < r < 1$ y $r \rightarrow 0$	<i>relación lineal positiva y débil.</i>
$r = 0$	<i>no existe relación lineal.</i>
$-1 < r < 0$ y $r \rightarrow -1$	<i>relación lineal negativa y fuerte.</i>
$-1 < r < 0$ y $r \rightarrow 0$	<i>relación lineal negativa y débil.</i>

Fuente: Lahura (2003).

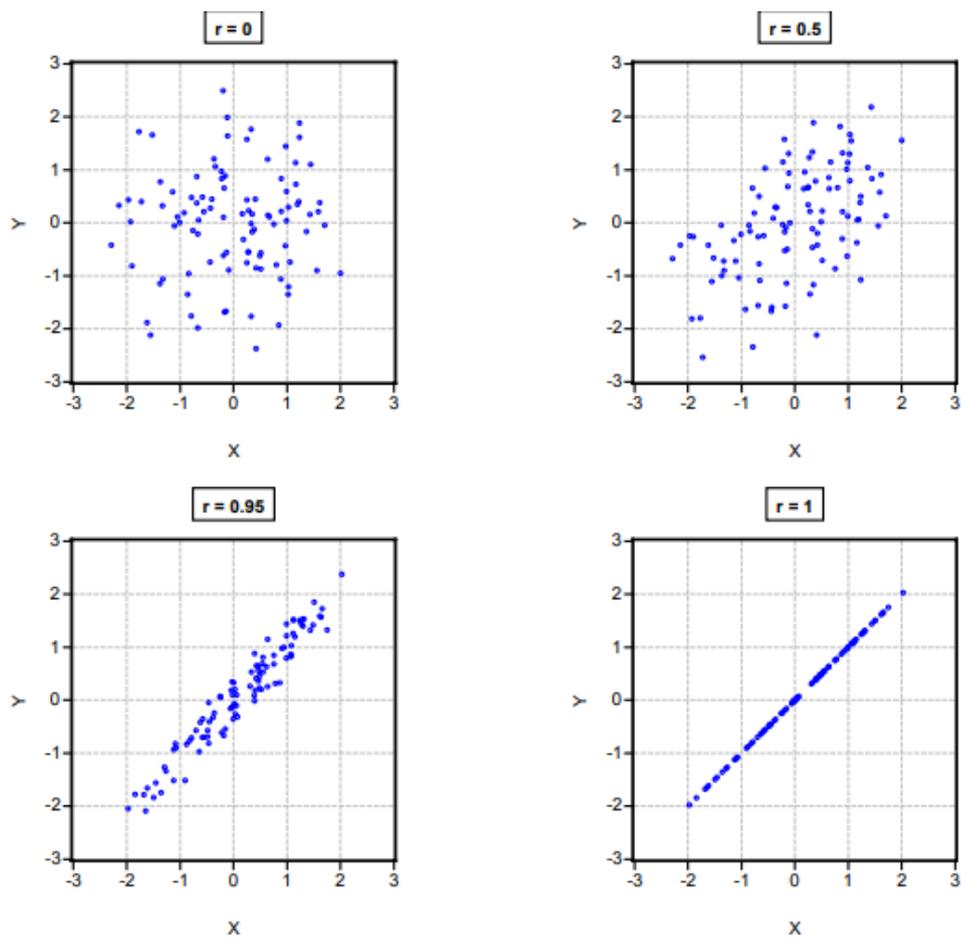


Figura 6. Coeficiente de correlación muestral y grado de asociación lineal.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1 Tipo de investigación**

Por enfoque según Hernández (2014) la investigación es del tipo cuantitativo, cuando se recopila información de datos para ser sometidos a verificación de hipótesis basados en valores numéricos, aplicando estudios estadísticos con el objetivo de determinar patrones de comportamiento para finalmente comprobar las teorías planteadas dentro de la investigación. Considerando que las variables e indicadores utilizados son de carácter numérico el enfoque cuantitativo es el que se ajusta a nuestra investigación.

Por propósito según Lozada (2014) la investigación aplicada se sustenta en los resultados obtenidos en la investigación básica con la que pretende la creación de conocimiento aplicado a situaciones reales de la sociedad o del sector productivo, se encarga de realizar una conexión entre la teoría y el producto. En nuestro caso la investigación es aplicada porque se utiliza el conocimiento de tecnología para los propósitos de la ingeniería civil, en particular la aplicación de sensores humedad para el cálculo o determinación del contenido de humedad del suelo en infraestructura vial.

##### **3.1.2 Nivel de investigación**

La investigación explicativa, Hernández (2014) va más allá de realizar definiciones de conceptos o determinar relaciones entre los mismos, están orientados a dar respuesta a las causas que originan un fenómeno o evento que se estudia, su atención se concentra en explicar la razón de la ocurrencia de un fenómeno y las particularidades con las que se llega a manifestar.

##### **3.1.3 Diseño de investigación**

Según Hernández y Mendoza (2018), investigación experimental es aquella en la cual se realiza la manipulación deliberada de una o más variables independientes (causas antecedentes) para luego analizar las consecuencias que se derivan de

dicha manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos consecuentes) dentro de una situación controlada por el investigador. Es transversal Borja (2016) porque describe el fenómeno en un determinado momento sin observar su evolución a través del tiempo. Por lo expuesto afirmamos que el diseño de investigación es cuasi experimental transversal (transeccional).

### 3.2. Variables y operacionalización

**Variable independiente:** Sensor capacitivo.

**Sensor de humedad:** Dispositivo que mide la cantidad de humedad presente en el suelo mediante la aplicación de tensión eléctrica entre sus electrodos, Bravo (2017).

**Medición:** Es el procedimiento mediante el cual se asigna valores cuantitativos o numéricos a las variables, Sánchez, Reyes y Mejía (2018).

**Variable dependiente:** Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial.

**Estudio técnico:** Conjunto de actividades que determinan las características de los elementos necesarios para posibilitar la producción de un bien o servicio, Morales (2009).

**Evaluación económica:** Se define como un proceso ordenado que identifica, mide y compara costos con resultados para la mejor toma de decisiones, Parera (2009).

En el Anexo 2 se incluye el cuadro de la matriz de operacionalización.

### 3.3. Población muestra y muestreo

Hernández y Mendoza (2018), la **población** es definida como un conjunto de elementos de los cuales se realizará el estudio; por tanto, se recogerá información acerca de las características del objeto de la investigación.

La población corresponde a la infraestructura vial dentro de la provincia de Cusco, ámbito en el cual se realiza la aplicación de la investigación como es el uso del sensor de humedad como herramienta tecnológica para contribuir al control de la humedad de diferentes tipos de suelo.

Al respecto de la definición de **muestra** de Hernández y Mendoza (2018), precisa que es un pequeño grupo de la población que será de interés del investigador, del cual se recabara información conveniente para el estudio; por eso mismo, debe ser específica que represente a la población.

La muestra tiene la característica de ser no probabilístico dirigido, se selecciona como caso de estudio de campo 90 ml de la Calle Los Sauces de APV Los Reales del Bosque, Alto Qosqo, distrito San Sebastián, provincia de Cusco. (calle los Sauces 416 ml y ancho de 10 ml).

La muestra se selecciona según el manual de carreteras especificaciones generales para construcción R.D. N° 22-2013-MTC/14, tabla 301-02, ensayos y frecuencias de densidad-humedad 1 cada 750 m<sup>2</sup>.

#### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la recopilación de evidencias convenientes a realizar la prueba de hipótesis, en el presente análisis se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

En la presente investigación se utilizó la **técnica de observación** experimental.

Martínez et al. (2016) indica que el instrumento es el recurso que utiliza el investigador para el recojo de datos, posteriormente serán procesados para convertirse en conocimientos de carácter científico.

Risquez (1999), quien indica que las **técnicas y recolección de datos**, son recursos que son utilizados para lograr adjuntar y analizar los hechos observados, los cuales son múltiples, pero con opción de variar en función de los elementos que se desea estimar.

Como instrumento se utilizó las **fichas técnicas** validados por el juicio de expertos.

#### **3.5. Procedimiento.**

El procedimiento comprende el desarrollo de las etapas para cumplir los objetivos de la presente investigación.

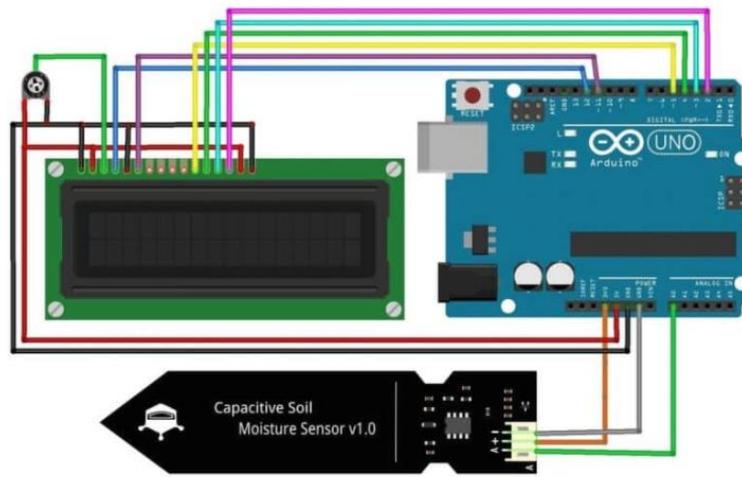
#### **ETAPA 1: DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SENSOR DE HUMEDAD**

En esta etapa se procedió a la implementación el equipo de medición de humedad mediante el sensor capacitivo, se efectuaron los siguientes pasos básicos:

**Implementación del hardware.** - Comprende el ensamblaje de los componentes del sensor de humedad de acuerdo al esquema de conexión.

El equipo de medición de humedad consta de los siguientes componentes:

- Microprocesador Arduino.
- Sensor de humedad de suelo del tipo capacitivo.
- Pantalla LCD para visualización de las mediciones.
- Fuente de alimentación en 5V.
- Accesorios como cables, fundas de protección, cinta aislante, etc.



*Figura 7.* Esquema de conexión del sensor capacitivo de humedad de suelo.



Figura 8. Sensor capacitivo de humedad de suelo.



Figura 9. Pines de conexión del sensor capacitivo.

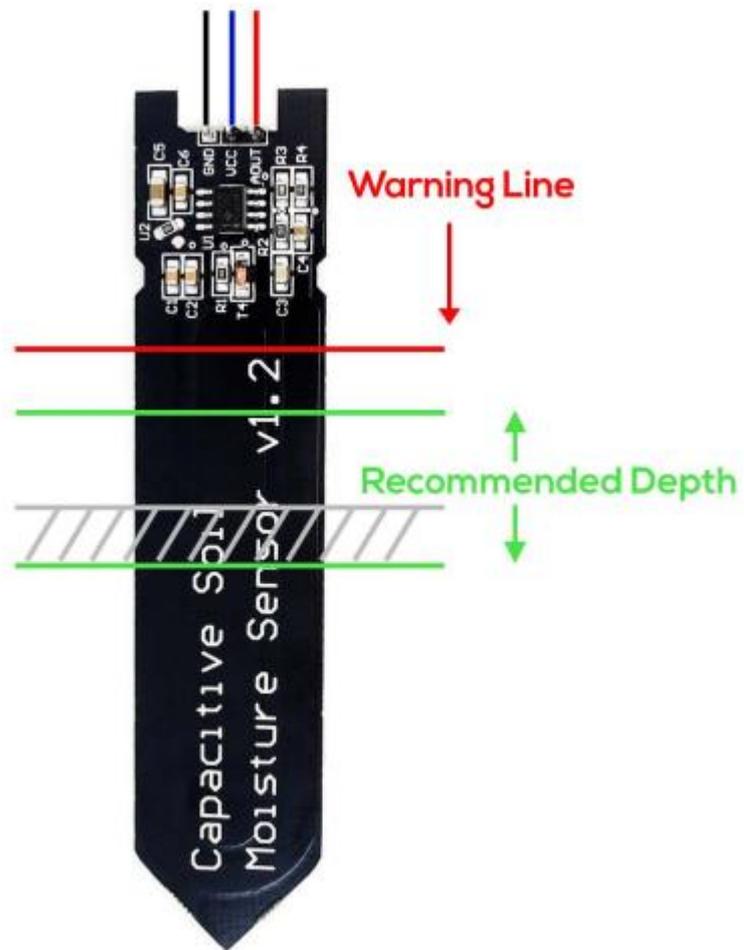


Figura 10. Profundidad de medición recomendada del sensor capacitivo (zona verde).

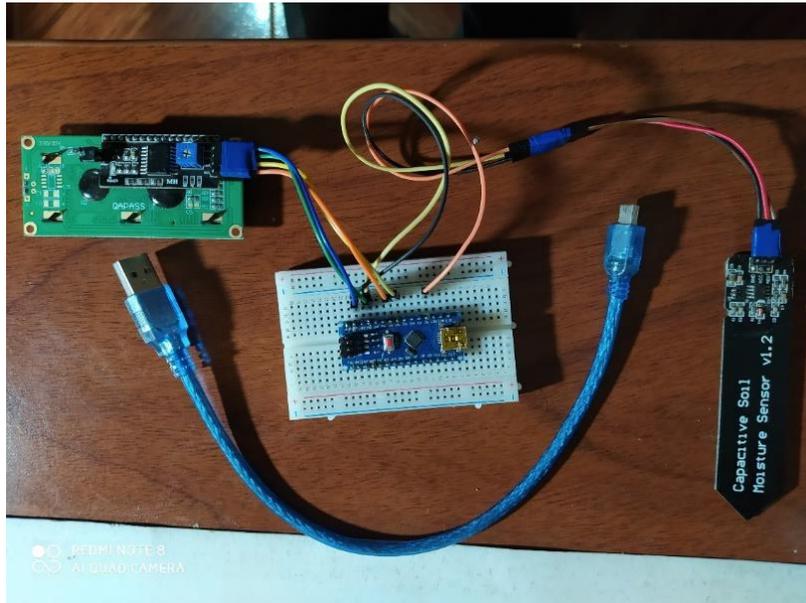


Figura 11. Ensamblaje de los componentes del sensor de humedad.

**Implementación del software.** - Comprende el desarrollo del código fuente para el funcionamiento del sensor de humedad en la plataforma de uso libre IDE de Arduino.

```

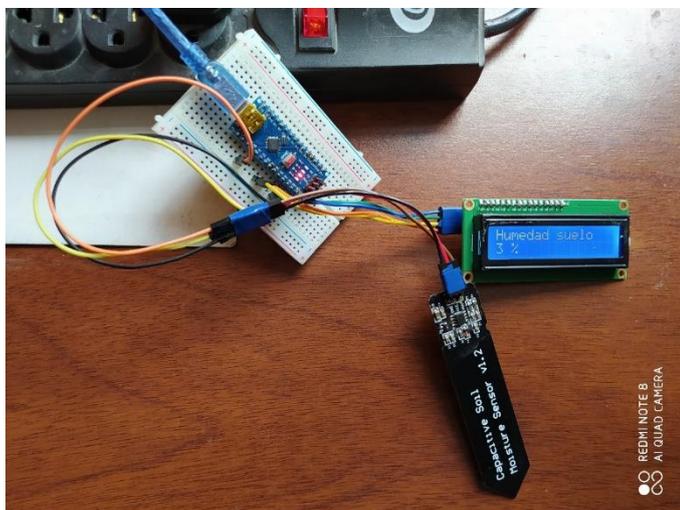
sketch_feb06a Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_feb06a $
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

const int AirValue = 600; //you need to replace this value with Value_1
const int WaterValue = 350; //you need to replace this value with Value_2
int soilMoistureValue = 0;
int soilmoisturepercent=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate to 9600 bps
  lcd.begin(16, 2);
}
void loop() {
  soilMoistureValue = analogRead(A0); //put Sensor insert into soil
  Serial.println(soilMoistureValue);
  soilmoisturepercent = map(soilMoistureValue, AirValue, WaterValue, 0, 100);
  if(soilmoisturepercent >= 100)
  {
    Serial.println("100 %");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Soil Moisture");
  }
}

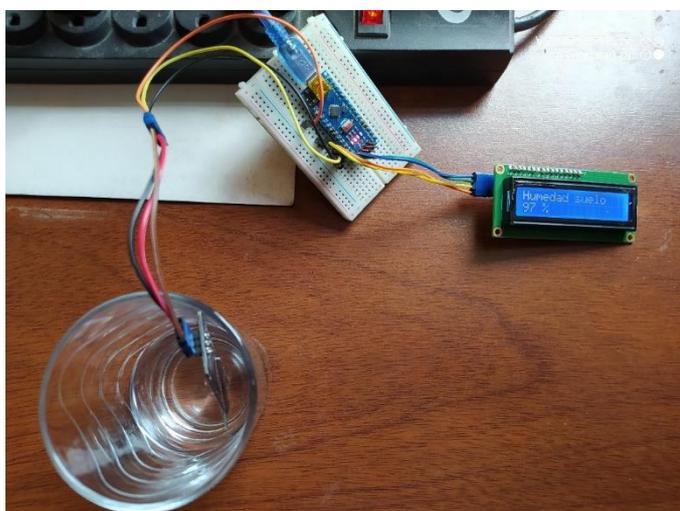
```

Figura 12. Plataforma IDE de Arduino para cargar el código fuente al sensor de humedad.

**Pruebas de funcionamiento.** - una vez cargado el programa en el equipo se procedió a las pruebas de mediciones preliminares en aire, arena y suelo orgánico como se muestra en las figuras siguientes.



*Figura 13.* Medición de humedad del sensor en el aire 3%.



*Figura 14.* Medición de humedad del sensor en el agua 97%.



*Figura 15.* Medición de humedad del sensor en arena 14%.



*Figura 16.* Medición de humedad del sensor en suelo orgánico 16%.

## ETAPA 2: RECOLECCION DE MATERIAL DE SUELO

En esta etapa se recolectaron las muestras de suelo, en primer lugar, se obtuvieron muestras de suelo natural del tipo suelo limoso y suelo arenoso para observar su comportamiento y poder comparar con el método convencional de determinación de humedad de suelo según la norma D-2216, posteriormente realizar las pruebas de campo en la vía afirmada en la calle los Sauces, APV Los Reales del Bosque, Alto Qosqo, donde también se recolecto muestras de suelo afirmado.



Figura 17. Recolección de muestra de suelo limoso en APV Los Reales del Bosque- Alto Qosqo, distrito de San Sebastián.



Figura 18. Recolección de muestra de suelo de la cantera de Sencca, distrito de Poroy.

**ETAPA 3: CARACTERIZACION DEL SUELO: GRANULOMETRIA, LIMITES DE ATTENBERG Y CLASIFICACION SEGÚN SUCS Y ASSHTO**

**Tabla 4.** Análisis granulométrico para suelo limoso.

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"	100.00
		4.750	No 004	100.00
		2.000	No 010	100.00
		0.850	No 020	100.00
		0.425	No 040	100.00
		0.250	No 060	100.00
		0.150	No 100	94.77
		0.075	No 200	61.87
D10 (mm)		0.0252	Cu	2.87
D30 (mm)		0.0383	Cc	0.81
D60 (mm)		0.0721		

Fuente: Ensayo de laboratorio.

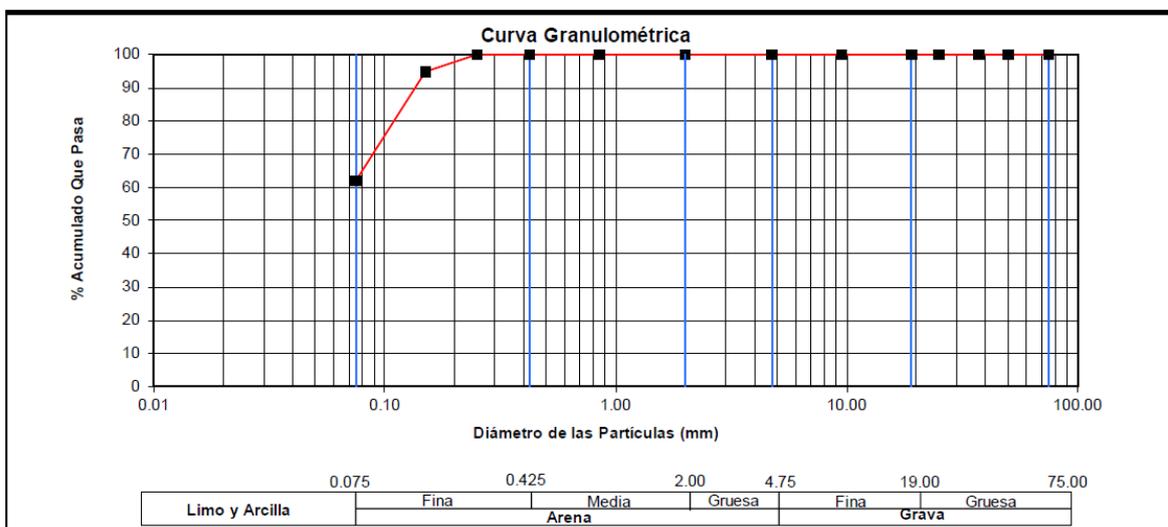


Figura 19. Curva granulométrica para suelo limoso.

**Tabla 5.** Límites de consistencia y clasificación del suelo.

HUMEDAD NATURAL ( $\omega$ )	(%)	0.00
LIMITE LIQUIDO (LL)	(%)	27.37
LIMITE PLASTICO (LP)	(%)	23.27
INDICE PLASTICO (IP)	(%)	4.10
LIMITE DE CONTRACCION (LC)	(%)	-
CLASIFICACION S.U.C.S.		ML

Fuente: Ensayo de laboratorio.

De acuerdo a las pruebas de laboratorio según la granulometría y los límites de consistencia el suelo se clasifica como limo con arena ML.

**Tabla 6.** Análisis granulométrico para suelo arenoso.

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"	98.69
		4.750	No 004	96.67
		2.000	No 010	91.13
		0.850	No 020	81.22
		0.425	No 040	68.78
		0.250	No 060	44.47
		0.150	No 100	10.12
		0.075	No 200	2.85
	D10 (mm)	0.1483	Cu	2.37
D30 (mm)	0.2016	Cc	0.78	
D60 (mm)	0.3509			

Fuente: Ensayo de laboratorio.

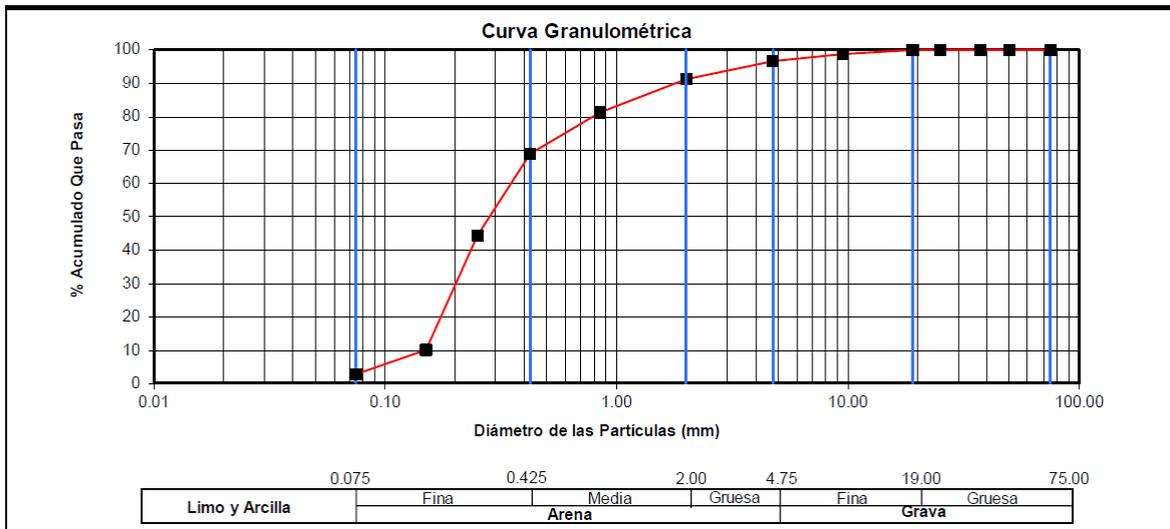


Figura 20. Curva granulométrica para suelo arenoso.

Tabla 7. Límites de consistencia y clasificación del suelo.

LIMITE LIQUIDO (LL)	(%)	18.70
LIMITE PLASTICO (LP)	(%)	10.34
INDICE PLASTICO (IP)	(%)	8.36
LIMITE DE CONTRACCION (LC)	(%)	-
CLASIFICACION S.U.C.S.		SM

Fuente: Ensayo de laboratorio.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de laboratorio según la granulometría y los límites de consistencia el suelo se clasifica como SM arena limosa.

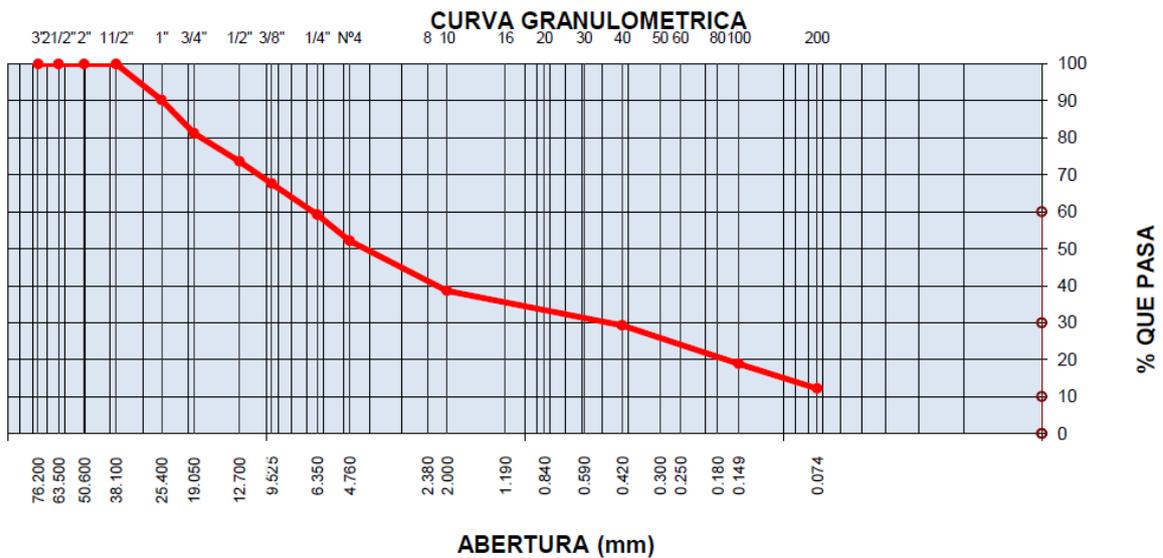
**Tabla 8.** Análisis granulométrico para suelo de afirmado.

**Granulometría (NTP 339,127)**

<b>Datos de ensayo</b>		<b>Datos de Clasificación</b>	
Peso Total :	2526.0	Grava	47.62 %
Peso de muestra lavada:	2212.0	Arena	39.94 %
Perdida por lavada:	314.0	Finos	12.43 %

Malla		Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% que Pasa	Especificaciones
Tamiz	mm.					
3"	76.200				100.00	
2 1/2"	63.500	0.0	0.00	0.0	100.00	
2"	50.600	0.0	0.00	0.0	100.00	
1 1/2"	38.100	0.0	0.00	0.0	100.00	
1"	25.400	247.0	9.80	9.8	90.20	
3/4"	19.050	224.0	8.90	18.7	81.30	
1/2"	12.700	194.0	7.70	26.4	73.60	
3/8"	9.525	151.0	6.00	32.4	67.60	
1/4"	6.350	211.0	8.40	40.8	59.20	
No4	4.760	176.0	7.00	47.8	52.20	
10	2.000	343.0	13.60	61.4	38.60	
40	0.420	234.0	9.30	70.7	29.30	
100	0.149	262.0	10.40	81.1	18.90	
200	0.074	170.0	6.70	87.8	12.20	
< 200		314.0	12.40	100.2	-0.20	
Total		<b>2526.0</b>	100.00			

Fuente: Ensayo de laboratorio.



**Figura 21.** Curva granulométrica para suelo de afirmado.

**Tabla 9.** Límites de consistencia y clasificación del suelo.

***Límite Líquido NTP 339.128***

Ensayo	1	2	3	4
Nº de Golpes	36	29	22	16
Recipiente Nº	A	B	C	D
R + Suelo Hum.	35.28	32.71	34.13	32.04
R + Suelo Seco	31.25	29.13	30.17	28.46
Peso Recip.	13.96	14.34	14.26	14.34
Peso Agua	4.03	3.58	3.96	3.58
Peso S. Seco	17.29	14.79	15.91	14.12
% de Humedad	23.31	24.21	24.89	25.35

***Límite Plástico NTP 339.128***

Ensayo	1	2	3	
Recipiente Nº	a	b	c	
R + Suelo Hum.	8.81	9.27	8.92	
R + Suelo Seco	8.58	8.98	8.68	
Peso Recip.	7.03	7.06	7.07	
Peso Agua	0.23	0.29	0.24	
Peso S. Seco	1.55	1.92	1.61	
% de Humedad	14.84	15.10	14.91	<b>14.95</b>

Clasificación SUCS :	<b>GC</b>	L.L :	<b>24.41</b>
Clasificación AASHTO:	<b>A-2-4 (0)</b>	I.P :	<b>9.46</b>

Fuente: Ensayo de laboratorio.

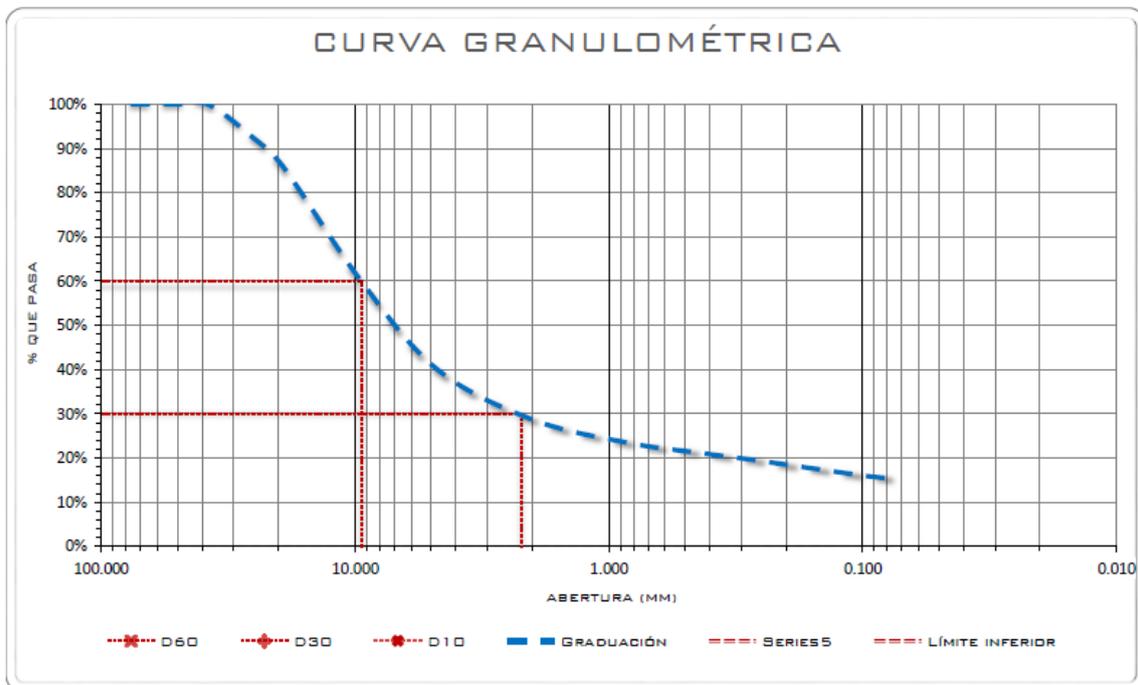
De los resultados de los ensayos de laboratorio el suelo de afirmado tiene una clasificación de grava arcillosa GC según SUCS y A-2-4(0) según AASHTO.

**Tabla 10.** Análisis granulométrico para suelo de cantera de Sencca.

Tamiz	AASHTO T-27 (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% QUE PASA	Especificaciones		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
						Superior	Inferior		
3"	76.200	0.00	0.00%	0.00%	100.00%			<b>Peso de Muestras</b>	
2"	50.800	0.00	0.00%	0.00%	100.00%			Peso Total Seco (gr.)	6502.20
1½"	38.100	0.00	0.00%	0.00%	100.00%			Peso Después de Lavar (gr.)	5528.50
1"	25.400	480.83	7.39%	7.39%	92.61%			Perdida por Lavado (gr.)	973.70
¾"	19.050	453.43	6.97%	14.37%	85.63%			<b>Datos Generales</b>	
3/8"	9.525	1648.21	25.35%	39.72%	60.28%			% de Gruesos	84.75%
Nº 4	4.760	1309.37	20.14%	59.85%	40.15%			% de Finos	15.25%
Nº 10	2.000	743.02	11.43%	71.28%	28.72%			Total	100.00%
Nº 20	0.840	342.44	5.27%	76.55%	23.45%			<b>Fraciones de Grava, Arena y Finos</b>	
Nº 40	0.425	154.54	2.38%	78.92%	21.08%			% de Grava (Ret. Tamiz Nº 4)	59.85%
Nº 60	0.260	105.32	1.62%	80.54%	19.46%			% de Arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200)	24.90%
Nº 140	0.106	207.83	3.20%	83.74%	16.26%			% de Finos (Pasa Tamiz Nº 200)	15.25%
Nº 200	0.075	65.69	1.01%	84.75%	15.25%			% que pasa el tamiz Nº 10	28.72%
< Nº 200	Cazuela	15.79	0.24%	100.00%	-			% que pasa el tamiz Nº 40	21.08%
Lavado	-	973.7	14.97%	-	-			% que pasa el tamiz Nº 200	15.25%
	Peso Total	6500.2	99.97%	Error*	0.03%			Gradación	Ninguna

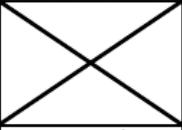
\* La variación entre el peso total y la suma de los pesos de las fracciones debe ser menor al 1% para cumplir con la precisión exigida por el MTC.

Fuente: Ensayo de laboratorio.



**Figura 22.** Curva granulométrica para suelo de afirmado

**Tabla 11.** Límites de consistencia y clasificación del suelo.

<b>LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)</b>				
Peso del Contenedor (gr.)	21.53	23.05	21.58	
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	29.59	32.12	30.04	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	28.60	30.99	29.00	
Peso del Agua (gr.)	0.99	1.13	1.04	
Peso del Suelo Seco (gr.)	7.07	7.94	7.42	
Contenido de Humedad (%)*	<b>14.0</b>	<b>14.2</b>	<b>14.0</b>	Rango* 0.23
* El rango debe ser menor al 2.6 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC.				
<b>LÍMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)</b>				
Número de Golpes	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>21</b>	<b>16</b>
Peso del Contenedor (gr.)	20.98	21.39	20.97	23.15
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	35.07	35.08	32.21	34.22
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	32.02	32.05	29.66	31.64
Peso del Agua (gr.)	3.05	3.03	2.55	2.58
Peso del Suelo Seco (gr.)	11.04	10.66	8.69	8.49
Contenido de Humedad (%)	<b>27.6</b>	<b>28.4</b>	<b>29.3</b>	<b>30.4</b>
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA</b>				
Límite Plástico (%)	<b>14</b>	Índice de Plasticidad (%)		<b>15</b>
Límite Líquido (%)	<b>29</b>	Límite de Contracción (estimado) (%)		<b>11</b>

Fuente: Ensayo de laboratorio.

De los ensayos de laboratorio la clasificación del suelo resulta: A-2-6 grava y arena limosa o arcillosa según AASHTO Y GC grava arcillosa con arena según SUCS.

## **ETAPA 4: ENSAYOS DEL SUELO MEDIANTE METODO GRAVIMETRICO Y SENSOR DE HUMEDAD**

### **Procedimiento para mediciones del sensor de humedad y su contrastación con el método convencional en laboratorio.**

Se desarrollo el procedimiento para realizar las mediciones de humedad del sensor en laboratorio para poder compararlo con el método convencional o método gravimétrico de determinación de humedad del suelo según la norma MTC E 108-2016, ASTM D-2216. Para ello se tomaron las lecturas analógicas del sensor de humedad que tienen un rango entre 0 y 1023, con la finalidad de poder comparar y correlacionar los valores de porcentaje de humedad obtenidos en laboratorio según las normas referidas en el presente párrafo.

Los pasos son los siguientes:

1. Preparación de la muestra: tamizar unos 2Kg de muestra de suelo seco en la malla Nro 10.
2. Rociar cierta cantidad de agua en la muestra de suelo y mezclar durante 1 minuto para homogenizar el suelo y el agua.
3. Colocar la muestra de suelo en la probeta hasta alcanzar el borde superior luego compactar la probeta dejándola caer tres veces de una altura promedio de 5 cm.
4. Colocar el sensor en la muestra de suelo hasta que la marca alcance el límite entre el suelo y el aire, luego presionar el suelo en ambos lados del sensor para mejorar el contacto del sensor con el suelo.
5. Encender el sensor, esperar 90 segundos y anotar la lectura.
6. Medir el peso de la capsula, tomar en la capsula una cucharada de suelo, medir su peso y colocar en el horno. Repetir el procedimiento desde el paso 2 para cada espécimen. Una vez terminado el proceso encender el horno de tiro forzado durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante.
7. Tomar medida de los pesos secos de cada capsula después del secado en horno.

**Mediciones de humedad con sensor y método convencional para suelo limoso ML.**



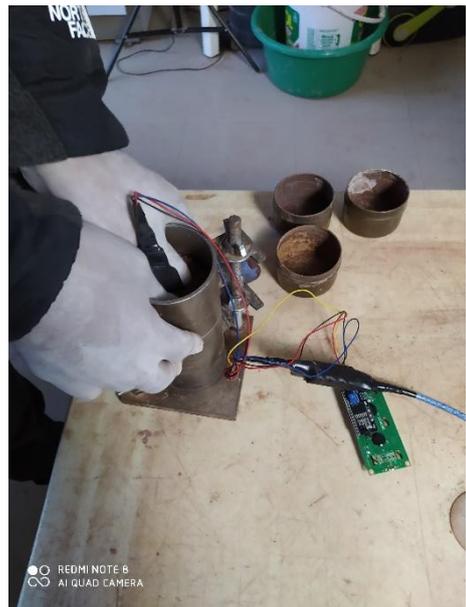
*Figura 23.* Tamizado del suelo limoso en malla Nro 10.



*Figura 24.* Adición de agua y mezclado para homogenizar el suelo.



*Figura 25. Llenado de la probeta con suelo húmedo.*



*Figura 26. Colocación del sensor de humedad en la probeta.*



Figura 27. Toma de lectura del sensor de humedad.



Figura 28. Medición del peso de la capsula y toma de espécimen de suelo.



Figura 29. Medición del peso de la capsula más peso de suelo húmedo y colocación en horno de tiro forzado durante 24 horas a 110°C.



Figura 30. Medición del peso de la capsula más peso de suelo seco.

**Tabla 12.** Mediciones de humedad con sensor y mediante método gravimétrico para un suelo limoso ML.

<b>Nro muestra</b>	<b>Lectura sensor (mV)</b>	<b>Código capsula</b>	<b>W cap (g)</b>	<b>Wcap + Wsh (g)</b>	<b>Wcap + Wseco (g)</b>	<b>W%</b>
N1	524	18	21.8	59.4	59.4	0.00
N2	502	27	21.1	60	60	0.00
N3	491	15	20.9	60.5	60.5	0.00
N4	482	37	21.2	58.5	58.4	0.27
N5	481	34	21.4	61	60.8	0.51
N6	475	11	20.9	62.9	62.8	0.24
N7	466	1	21.2	66.6	66.3	0.67
N8	459	3	20.5	55.3	55	0.87
N9	465	12	21.6	65.5	65.1	0.92
N10	467	24	20.5	63.1	62.7	0.95
N11	448	4	20.5	59.4	58.9	1.30
N12	446	35	21.7	61.2	60.7	1.28
N13	443	32	22	67	66.2	1.81
N14	470	8	20.8	60.7	60	1.79
N15	437	28	21.6	56.3	55.6	2.06
N16	443	19	21.4	59.2	58.3	2.44
N17	437	29	21.3	55.2	54.2	3.04
N18	443	25	20.9	64.3	62.9	3.33
N19	426	21	21.6	62.2	60.8	3.57
N20	412	23	20.4	65.6	63.8	4.15
N21	419	38	21.1	61	59.2	4.72
N22	425	9	20.2	70.2	67.7	5.26
N23	423	22	21.2	76.4	73.4	5.75
N24	424	20	21.6	74.8	71.6	6.40
N25	407	30	21.1	71.2	67.6	7.74
N26	392	17	20.8	70.9	66.9	8.68
N27	393	105	46.9	106.9	101.6	9.69

Fuente: Elaboración propia.

**Mediciones de humedad con sensor y método convencional para suelo arenoso SM.**



*Figura 31. Preparación de los equipos para las pruebas de laboratorio.*



*Figura 32. Llenado de la probeta y colocación del sensor de humedad.*



Figura 33. Medición y toma de lectura del sensor de humedad.



Figura 34. Medición de pesos de capsula sola y capsula más suelo húmedo.

**Tabla 13.** Mediciones de humedad con sensor y mediante método gravimétrico para un suelo arenoso SM.

<b>Nro muestra</b>	<b>Lectura sensor (mV)</b>	<b>Código capsula</b>	<b>W cap (g)</b>	<b>Wcap + Wsh (g)</b>	<b>Wcap + Wsseco (g)</b>	<b>W%</b>
N1	504	119	46.8	98.6	98.5	0.19
N2	482	108	47.6	105.7	105.5	0.35
N3	465	109	47.6	106.4	105.9	0.86
N4	478	41	47.1	117.8	117	1.14
N5	466	43	47.2	122.7	121.7	1.34
N6	454	101	47.4	142.9	141.2	1.81
N7	426	100	47.9	122.1	120.4	2.34
N8	416	114	48.2	129.7	127.6	2.64
N9	419	42	47.3	141	138.1	3.19
N10	403	118	47.9	120.6	118	3.71
N11	397	104	46.3	164.9	160.8	3.58
N12	386	112	46.9	133.5	129.5	4.84
N13	388	46	47.6	138.4	133.9	5.21
N14	379	2	20.8	86.7	83.1	5.78
N15	366	14	20.5	87.5	83.5	6.35
N16	360	10	20.7	90.8	86.3	6.86
N17	366	6	20.7	80.8	76.6	7.51
N18	352	33	21	89	83.8	8.28

Fuente: Elaboración propia.

Ubicación de la zona de estudio para ensayo de campo.



Figura 35. Ubicación calle los Sauces de la APV los Reales del Bosque de alto Qosqo, distrito de San Sebastián – Cusco.

**Mediciones de humedad con sensor y método convencional para suelo de afirmado GC. En la Calle Los Sauces en APV los Reales del bosque, Alto Qosqo, distrito de San Sebastián.**



*Figura 36.* Trazado de cuadrículas para ubicación de puntos de medición.

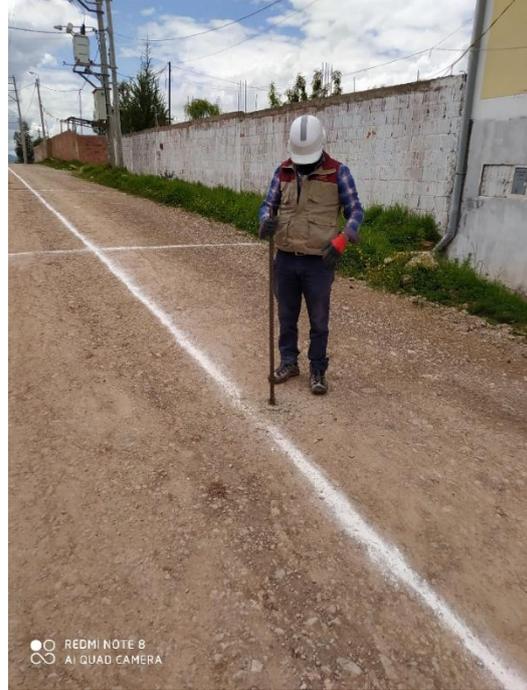
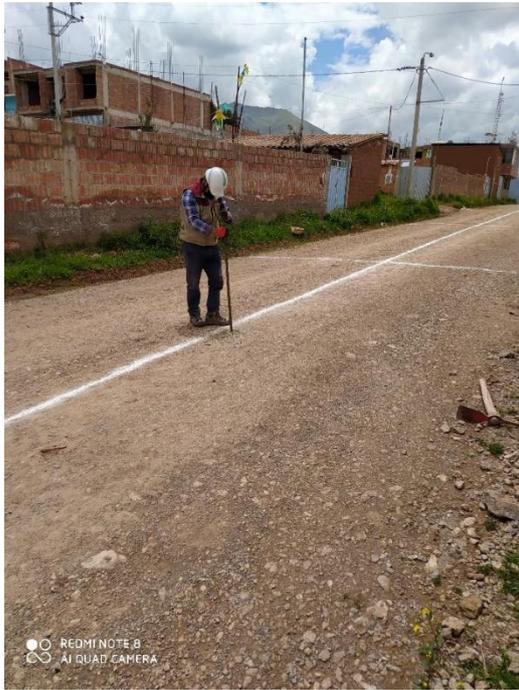


Figura 37. Excavación de puntos de medición.



Figura 38. Extracción de muestra de suelo y tamizado con malla 4 mm.



Figura 39. Mediciones de humedad con sensor capacitivo.



Figura 40. Extracción de muestras en bolsas herméticas para ensayos de humedad en laboratorio.



Figura 41. Pesaje de muestras húmedas en laboratorio.



Figura 42. Colocación de muestras en horno de tiro forzado, extracción luego del secado a 110°C durante 24 horas y pesaje de muestras secas.

**Tabla 14.** Mediciones de humedad con sensor y mediante método gravimétrico para un suelo de afirmado GC.

Nro muestra	Lectura sensor (mV)	Código capsula	W cap (g)	Wcap + Wsh (g)	Wcap + Wsseco (g)	W%
N1	416	14	20.5	86.1	81	8.43
N2	423	23	20.5	90.6	85.1	8.51
N3	434	17	20.9	91.2	85.9	8.15
N4	431	19	21.4	83.4	78.8	8.01
N5	444	24	20.5	90	86.8	4.83
N6	458	8	20.8	80.3	77.7	4.57
N7	466	11	21	90.9	87.7	4.80
N8	457	12	21.6	105.5	101.9	4.48
N9	470	35	21.8	95.4	91.4	5.75
N10	454	3	20.6	95.3	91.3	5.66
N11	451	18	21.9	104.2	99.9	5.51
N12	462	21	20.5	103.5	99.3	5.33
N13	483	9	20.3	111.8	108.6	3.62
N14	493	33	21	95.1	92.7	3.35
N15	486	1	21.3	123.4	120.1	3.34
N16	482	20	21.8	135.6	132.2	3.08
N17	451	4	20.6	130.1	124.4	5.49
N18	467	15	20.8	130.6	124.9	5.48
N19	464	37	21.2	124.1	118.8	5.43
N20	447	26	20.8	99.6	95.6	5.35
N21	440	703	21.6	82.2	78.4	6.69
N22	439	M02	11.8	82.5	78.2	6.48
N23	451	B3	11.6	82.3	78	6.48
N24	442	M04	12.1	81.4	77.2	6.45
N25	438	M03	21.2	84	79.8	7.17
N26	441	B4	12.3	80.5	75.9	7.23
N27	444	B1	11.4	79.5	75	7.08
N28	445	LL1	21.3	94.2	89.4	7.05
N29	413	W3	14.3	70.5	65.7	9.34
N30	406	M1	11.9	72.1	67	9.26
N31	417	105	46.9	153.3	144.3	9.24
N32	412	48	47.8	142.6	134.6	9.22
N33	442	111	47.9	165.4	158	6.72
N34	450	41	47.1	129.1	123.9	6.77
N35	448	44	47.7	142.4	136.6	6.52
N36	446	120	46.9	148.5	142.3	6.50

Fuente: Elaboración propia.

### **Mediciones de humedad con sensor y método convencional para suelo de la cantera Sencca, Distrito de Poroy, provincia de Cusco.**

Para efectuar las pruebas del suelo de la cantera de Sencca, en primer lugar, se realizaron las pruebas de granulometría y límites de consistencia para la clasificación del suelo extraído de la cantera, luego se procedió a realizar el tamizaje de material para preparar en laboratorio dos esquemas de gradación de suelo de base según el Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción R.D. Nro 22-2013-MTC/14. Se prepararon en laboratorio suelo con gradación A y suelo con gradación D en función a los porcentajes de suelo que pasan por los tamices definidos en la referida norma, para finalmente proceder a las mediciones de humedad de suelo con el sensor y los pesajes de las muestras de suelo para la determinación de humedad de suelo por el método gravimétrico. Se iniciaron las pruebas con el suelo secado al natural y para cada medición se incrementó agua en una cantidad constante.

**Tabla 15.** Requerimientos granulométricos para base granular.

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100		
25 mm. (1")		75-95	100	100
9,5 mm. ( $\frac{3}{8}$ ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: ASTM D 1241

Fuente: Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción R.D. Nro 22-2013-MTC/14.

**Tabla 16.** Pesos retenidos en gramos para la conformación de un suelo de base con gradación A.

Tamaño		Gradación A		% que pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	g Peso Retenido
Malla	Abertura						
ASTM	mm						
2"	50.600	100	100	100.00	0.00	0.00	0.0
3/8"	9.525	30	65	60.00	40.00	40.00	1312.0
<b>No4</b>	<b>4.760</b>	<b>25</b>	<b>55</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>	<b>10.00</b>	<b>328.0</b>
No10	2.000	15	40	40.00	60.00	10.00	328.0
No40	0.420	8	20	15.00	85.00	25.00	820.0
No200	0.074	2	8	5.00	95.00	10.00	328.0
<b>Base</b>					100.00	5.00	164.0
<b>Total</b>		<b>3280.00</b>				<b>100.00</b>	<b>3280.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla Nro 16 Para conformar el suelo en laboratorio según la gradación A, se utilizaron las porciones de suelo retenido en las mallas Nro 10, 40, 200 y la base (328, 820, 328 y 164 g respectivamente). Cabe mencionar que para efectuar una medición adecuada del suelo con el sensor capacitivo se debe usar material que pase el tamiz Nro 4.

**Tabla 17.** Pesos retenidos en gramos para la conformación de un suelo de base con gradación D.

Tamaño		Gradación D		% que pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	g Peso Retenido
Malla	Abertura						
ASTM	mm						
3"	76.200						
2"	50.600						
1"	25.000	100	100	100.00	0.00	0.00	0.0
3/8"	9.525	60	100	80.00	20.00	20.00	472.0
<b>No4</b>	<b>4.760</b>	<b>50</b>	<b>85</b>	<b>70.00</b>	<b>30.00</b>	<b>10.00</b>	<b>236.0</b>
No10	2.000	40	70	65.00	35.00	5.00	118.0
No40	0.420	25	45	40.00	60.00	25.00	590.0
No200	0.074	8	15	10.00	90.00	30.00	708.0
<b>Base</b>					100.00	10.00	236.0
<b>Total</b>		<b>2360.00</b>				<b>100.00</b>	<b>2360.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla Nro 17 Para conformar el suelo en laboratorio según la gradación D, se utilizaron las porciones de suelo retenido en las mallas Nro 10, 40, 200 y la base (118, 590, 708 y 236 g respectivamente). Cabe mencionar que para efectuar una medición adecuada del suelo con el sensor capacitivo se debe usar material que pase el tamiz Nro 4.



*Figura 43.* Tamizaje del suelo de la cantera de Sencca.



*Figura 44.* Suelo preparado para la gradación de material de base de la cantera de Sencca.



Figura 45. Preparación de equipos para ensayos de humedad con sensor capacitivo y método gravimétrico.



Figura 46. Preparación de la probeta con el suelo y medición con sensor capacitivo.



Figura 47. Adición de 16.40 g de agua y mezcla con suelo para cada medición

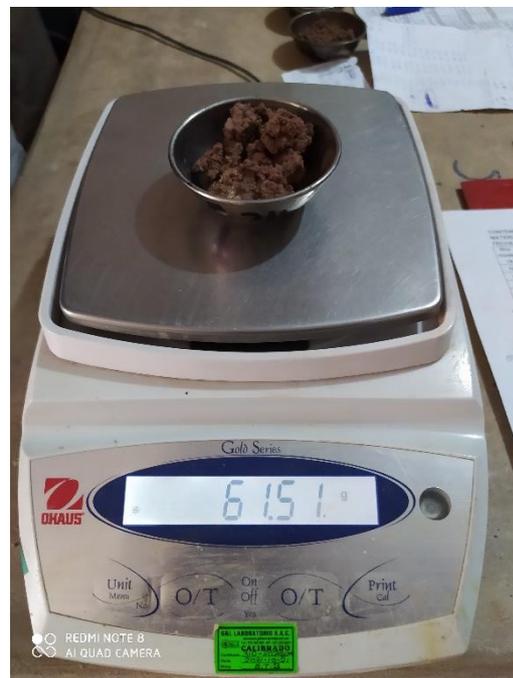


Figura 48. Medición con el sensor capacitivo y pesaje de muestra de suelo húmedo.



*Figura 49.* Colocación de muestras húmedas en el horno, pesaje de muestras luego del secado en horno de tiro forzado.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Para la determinación del Contenido de Humedad de un suelo, la variable independiente es “sensor capacitivo” y variable dependiente es “control de humedad” se obtendrán valores numéricos para ambas variables, por lo tanto, el análisis de datos corresponde la aplicación estadística descriptiva, mediante la cual se obtendrá el coeficiente de correlación y coeficiente de determinación de las variables obtenidos en laboratorio en forma directa con sensor de humedad.

### **3.7. Aspectos éticos**

La presente investigación es autentica y original que se realiza en base a la norma APA 7ma edición y reglamentos, normas, estatutos que dispone la Universidad Cesar Vallejo; citando correctamente por respeto a los derechos del autor, se utilizara software turnitin para evaluar similitud con otras investigaciones, aportes o publicaciones que fueron realizados antes de la presente investigación.

Así mismo en la presente investigación tenemos respeto al medio ambiente la aplicación y uso de sensor de humedad en el suelo no contamina ni alterna el ecosistema del medio ambiente.

#### IV. RESULTADOS

**Tabla 18.** Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo tipo ML.

Nro muestra	Lectura sensor (mV)	Código capsula	W cap (g)	Wcap + Wsh (g)	Wcap + Wsseco (g)	W%
N1	524	18	21.8	59.4	59.4	0.00
N2	502	27	21.1	60	60	0.00
N3	491	15	20.9	60.5	60.5	0.00
N4	482	37	21.2	58.5	58.4	0.27
N5	481	34	21.4	61	60.8	0.51
N6	475	11	20.9	62.9	62.8	0.24
N7	466	1	21.2	66.6	66.3	0.67
N8	459	3	20.5	55.3	55	0.87
N9	465	12	21.6	65.5	65.1	0.92
N10	467	24	20.5	63.1	62.7	0.95
N11	448	4	20.5	59.4	58.9	1.30
N12	446	35	21.7	61.2	60.7	1.28
N13	443	32	22	67	66.2	1.81
N14	470	8	20.8	60.7	60	1.79
N15	437	28	21.6	56.3	55.6	2.06
N16	443	19	21.4	59.2	58.3	2.44
N17	437	29	21.3	55.2	54.2	3.04
N18	443	25	20.9	64.3	62.9	3.33
N19	426	21	21.6	62.2	60.8	3.57
N20	412	23	20.4	65.6	63.8	4.15
N21	419	38	21.1	61	59.2	4.72
N22	425	9	20.2	70.2	67.7	5.26
N23	423	22	21.2	76.4	73.4	5.75
N24	424	20	21.6	74.8	71.6	6.40
N25	407	30	21.1	71.2	67.6	7.74
N26	392	17	20.8	70.9	66.9	8.68
N27	393	105	46.9	106.9	101.6	9.69

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19.** Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo ML.

<b>LS_Limo(mV)</b>	<b>W_Limo%</b>
524	0.00
502	0.00
491	0.00
482	0.27
481	0.51
475	0.24
466	0.67
459	0.87
465	0.92
467	0.95
448	1.30
446	1.28
443	1.81
470	1.79
437	2.06
443	2.44
437	3.04
443	3.33
426	3.57
412	4.15
419	4.72
425	5.26
423	5.75
424	6.40
407	7.74
392	8.68
393	9.69

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 20.** Resumen del modelo cuadrático para suelo ML.

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,957	,917	,910	,843

La variable independiente es Limo-L(mV).

Fuente: Elaboración propia.

Para suelo limoso ML se tiene un  $R = 0.957$  este valor indica que hay una correlación positiva muy alta entre las variables de porcentaje de humedad y lectura de sensor  $R^2$  ajustado = 0.910 indica que el porcentaje de humedad %W es explicado en un 91% por la variable de sensor capacitivo según el modelo de regresión cuadrática.

**Tabla 21.** Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo limoso ML.

	Coeficientes				
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Limo-L(mV)	-,798	,116	-9,271	-6,908	,000
Limo-L(mV) ** 2	,001	,000	8,395	6,255	,000
(Constante)	199,581	26,096		7,648	,000

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de la regresión cuadrática estimada o ajustada es:  $\%W = 199.581 - 0.798L + 0.001L^2$

Coefficiente de regresión  $-0.798 < 0$  indica que al disminuir L (lecturas del sensor capacitivo) aumenta %W (porcentaje de humedad).

**Tabla 22.** Prueba de normalidad para suelo limoso ML.

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Standardized Residual	,128	27	,200*	,940	27	,124

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors  
Código para spss

Fuente: Elaboración propia.

### Planteamiento de hipótesis

Ho: Los datos de los residuos tiene una distribución normal

H1: Los datos de los residuos NO tienen una distribución normal

Si el P-Valor o Sig.es  $\leq$  que 0.05, se rechaza Ho

Si el P-Valor o Sig.es  $>$  que 0.05, se acepta Ho

Se aprecia la información sobre el contraste de las hipótesis de la normalidad de los residuos, para el cual se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilk debido a que el tamaño de la muestra utilizada es inferior a 50 individuos, se puede observar con un 95% de confianza y un error del 5%; los datos de los residuos tienen el valor de significancia Sig.= 0.124 mayor a  $\alpha= 0,05$  por consiguiente se acepta la hipótesis nula el cual indica que los datos de los residuos tienen una distribución normal.

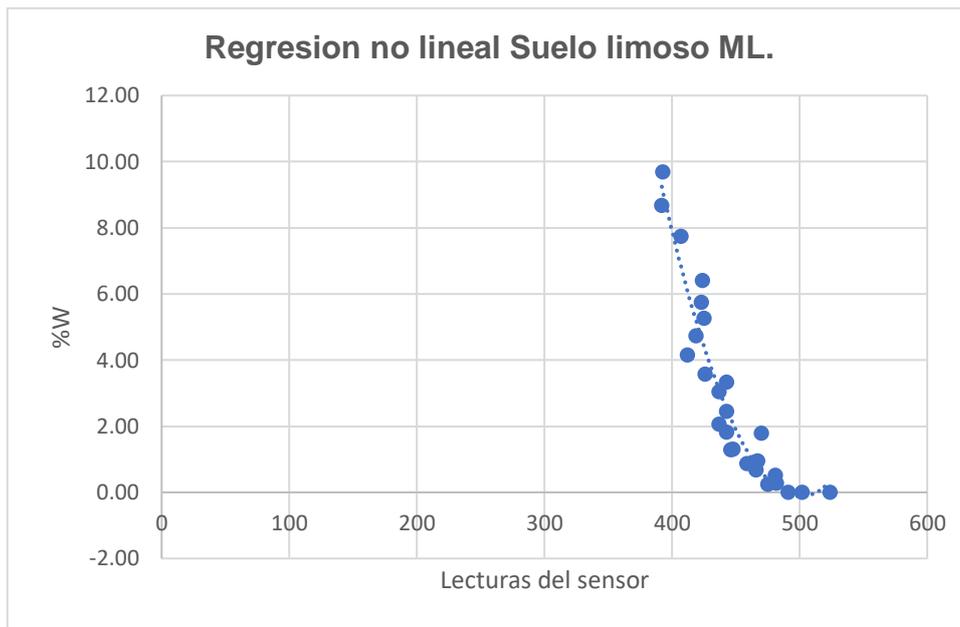


Figura 50. Gráfico de la regresión no lineal para suelo limoso ML.

### INTERPRETACION

En la tabla 18, se presenta el cuadro comparativo de porcentaje de humedad determinado según la norma MTC E 108-2016, ASTM D-2216 y las lecturas del sensor de humedad capacitivo para un suelo limoso ML. Las lecturas registradas por el sensor tienen un rango de medición que varía entre cero y 1024, correspondiendo el valor de cero para un suelo completamente saturado y el valor de 1024 para un suelo seco.

En la tabla 19, las lecturas del sensor son comparadas con los porcentajes de humedad %W determinados en el método patrón (MTC E 108-2016, ASTM D-2216) para su contrastación y análisis estadístico.

En la figura 49, se aprecian la relación entre los porcentajes de humedad en el eje de las ordenadas y las lecturas del sensor capacitivo en el eje de las abscisas obteniendo mediante regresión no lineal la curva representativa de una ecuación cuadrática.

En la tabla 20, se aprecian los resultados de la regresión no lineal, obteniéndose un coeficiente de correlación  $r^2$  ajustado de 0.910 lo que significa que existe una alta correlación entre las lecturas del sensor y los porcentajes de humedad calculados

con el método patrón o convencional. Asimismo, se tiene la ecuación del modelo de análisis  $%W = 0.001L^2 - 0.798L + 199.581$ , mediante el cual a partir de las lecturas del sensor capacitivo se podrán obtener los porcentajes de humedad en forma directa.

### Contrastación de hipótesis

**Tabla 23.** Prueba estadística para validación de hipótesis.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	187,600	2	93,800	132,007	,000
Residuo	17,054	24	,711		
Total	204,654	26			

La variable independiente es Limo-L(mV).

Fuente: Elaboración propia.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): El valor del coeficiente de determinación en suelo limoso NO es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo Cusco, 2021.

Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>): El valor del coeficiente de determinación en suelo limoso es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo Cusco, 2021.

Observando la bondad de ajuste  $R^2=0.910$  y valor de  $F = 132.007$  con p-valor = 0.000 menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna el cual indica que el valor del coeficiente de determinación en suelo limoso es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo Cusco, 2021.

**Tabla 24.** Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo SM.

<b>Nro muestra</b>	<b>Lectura sensor (mV)</b>	<b>Código capsula</b>	<b>W cap (g)</b>	<b>Wcap + Wsh (g)</b>	<b>Wcap + Wseco (g)</b>	<b>W%</b>
N1	504	119	46.8	98.6	98.5	0.19
N2	482	108	47.6	105.7	105.5	0.35
N3	465	109	47.6	106.4	105.9	0.86
N4	478	41	47.1	117.8	117	1.14
N5	466	43	47.2	122.7	121.7	1.34
N6	454	101	47.4	142.9	141.2	1.81
N7	426	100	47.9	122.1	120.4	2.34
N8	416	114	48.2	129.7	127.6	2.64
N9	419	42	47.3	141	138.1	3.19
N10	403	118	47.9	120.6	118	3.71
N11	397	104	46.3	164.9	160.8	3.58
N12	386	112	46.9	133.5	129.5	4.84
N13	388	46	47.6	138.4	133.9	5.21
N14	379	2	20.8	86.7	83.1	5.78
N15	366	14	20.5	87.5	83.5	6.35
N16	360	10	20.7	90.8	86.3	6.86
N17	366	6	20.7	80.8	76.6	7.51
N18	352	33	21	89	83.8	8.28

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 25.** Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo SM.

LS_Arena(mV)	W_Arena%
504	0.19
482	0.35
465	0.86
478	1.14
466	1.34
454	1.81
426	2.34
416	2.64
419	3.19
403	3.71
397	3.58
386	4.84
388	5.21
379	5.78
366	6.35
360	6.86
366	7.51
352	8.28

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 26.** Resumen del modelo cuadrático para suelo arena limosa SM.

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,988	,976	,973	,421

La variable independiente es Arena-L(mV).

Fuente: Elaboración propia.

$R = 0.988$  el cual indica que hay una correlación positiva muy alta entre las variables de control de humedad y sensor capacitivo.

$R^2 \text{ ajustado} = 0.973$  indica que el porcentaje de humedad %W es explicado en un 97.3% por la variable de sensor capacitivo según el modelo de regresión cuadrática.

**Tabla 27.** Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo SM.

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Arena-L(mV)	-,326	,047	-6,047	-6,911	,000
Arena-L(mV) ** 2	,0003	,000	5,092	5,819	,000
(Constante)	82,770	9,926		8,339	,000

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de la regresión cuadrática estimada o ajustada es  $%W = 82.770 - 0.326L + 0.0003L^2$

Coeficiente de regresión  $-0.326 < 0$  indica que al disminuir L aumenta %W.

**Tabla 28.** Prueba de normalidad para suelo SM.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Standardized Residual	,145	18	,200*	,949	18	,409

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

### Planteamiento de hipótesis

Ho: Los datos de los residuos tiene una distribución normal

H1: Los datos de los residuos NO tienen una distribución normal

Si el P-Valor o Sig.es  $\leq$  que 0.05, se rechaza Ho

Si el P-Valor o Sig.es  $>$  que 0.05, se acepta Ho

Se observa la información sobre el contraste de las hipótesis de la normalidad de los residuos, para el cual se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilk debido a que el tamaño de la muestra utilizada es inferior a 50 individuos, se puede observar con un 95% de confianza y un error del 5%; los datos de los residuos tienen el valor de

significancia Sig.= 0.409 mayor a  $\alpha= 0,05$  por consiguiente se acepta la hipótesis nula el cual indica que los datos de los residuos tienen una distribución normal.

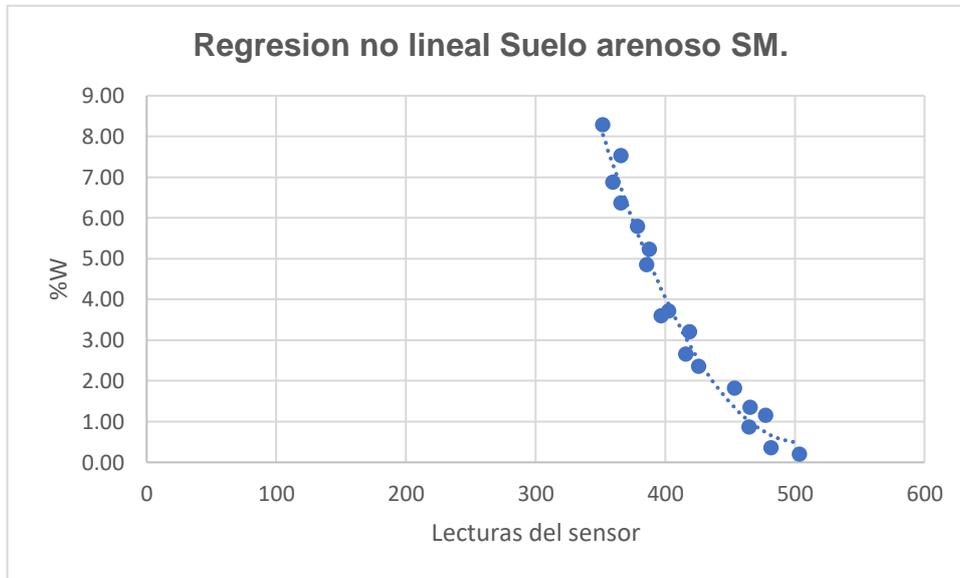


Figura 51. Gráfico de la regresión no lineal para suelo arenoso SM.

### INTERPRETACION

En la tabla 26, se aprecian los resultados de la regresión no lineal, obteniéndose un coeficiente de correlación  $r^2$  ajustado de 0.973 lo que significa que existe una alta correlación entre las lecturas del sensor y los porcentajes de humedad calculados con el método patrón o convencional. Asimismo, se tiene la ecuación del modelo de análisis  $\%W = 0.0003L^2 - 0.326L + 82.760$ , mediante el cual a partir de las lecturas del sensor capacitivo se podrán obtener los porcentajes de humedad en forma directa.

## Contrastación de hipótesis

**Tabla 29.** Prueba estadística para validación de hipótesis.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	108,282	2	54,141	305,871	,000
Residuo	2,655	15	,177		
Total	110,937	17			

La variable independiente es Arena-L(mV).

Fuente: Elaboración propia.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): El valor del coeficiente de determinación en suelo arenoso NO es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Hipótesis nula (H<sub>1</sub>): El valor del coeficiente de determinación en suelo arenoso es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Observando la bondad de ajuste  $R^2=0.973$  y valor de  $F = 305.871$  con p-valor = 0.000 menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna el cual indica que el valor del coeficiente de determinación en suelo arenoso es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Tabla 30.** Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo de afirmado GC.

<b>Nro muestra</b>	<b>Lectura sensor (mV)</b>	<b>Código capsula</b>	<b>W cap (g)</b>	<b>Wcap + Wsh (g)</b>	<b>Wcap + Wsseco (g)</b>	<b>W%</b>
N1	416	14	20.5	86.1	81	8.43
N2	423	23	20.5	90.6	85.1	8.51
N3	434	17	20.9	91.2	85.9	8.15
N4	431	19	21.4	83.4	78.8	8.01
N5	444	24	20.5	90	86.8	4.83
N6	458	8	20.8	80.3	77.7	4.57
N7	466	11	21	90.9	87.7	4.80
N8	457	12	21.6	105.5	101.9	4.48
N9	470	35	21.8	95.4	91.4	5.75
N10	454	3	20.6	95.3	91.3	5.66
N11	451	18	21.9	104.2	99.9	5.51
N12	462	21	20.5	103.5	99.3	5.33
N13	483	9	20.3	111.8	108.6	3.62
N14	493	33	21	95.1	92.7	3.35
N15	486	1	21.3	123.4	120.1	3.34
N16	482	20	21.8	135.6	132.2	3.08
N17	451	4	20.6	130.1	124.4	5.49
N18	467	15	20.8	130.6	124.9	5.48
N19	464	37	21.2	124.1	118.8	5.43
N20	447	26	20.8	99.6	95.6	5.35
N21	440	703	21.6	82.2	78.4	6.69
N22	439	M02	11.8	82.5	78.2	6.48
N23	451	B3	11.6	82.3	78	6.48
N24	442	M04	12.1	81.4	77.2	6.45
N25	438	M03	21.2	84	79.8	7.17
N26	441	B4	12.3	80.5	75.9	7.23
N27	444	B1	11.4	79.5	75	7.08
N28	445	LL1	21.3	94.2	89.4	7.05
N29	413	W3	14.3	70.5	65.7	9.34
N30	406	M1	11.9	72.1	67	9.26
N31	417	105	46.9	153.3	144.3	9.24
N32	412	48	47.8	142.6	134.6	9.22
N33	442	111	47.9	165.4	158	6.72
N34	450	41	47.1	129.1	123.9	6.77
N35	448	44	47.7	142.4	136.6	6.52
N36	446	120	46.9	148.5	142.3	6.50

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 31.** Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo de afirmado GC.

Item	L(mV)	%W	L prom	% W prom
N1	416	8.43	426.00	8.28
N2	423	8.51		
N3	434	8.15		
N4	431	8.01		
N5	444	4.83	456.25	4.67
N6	458	4.57		
N7	466	4.80		
N8	457	4.48		
N9	470	5.75	459.25	5.56
N10	454	5.66		
N11	451	5.51		
N12	462	5.33		
N13	483	3.62	486.00	3.35
N14	493	3.35		
N15	486	3.34		
N16	482	3.08		
N17	451	5.49	457.25	5.44
N18	467	5.48		
N19	464	5.43		
N20	447	5.35		
N21	440	6.69	443.00	6.52
N22	439	6.48		
N23	451	6.48		
N24	442	6.45		
N25	438	7.17	442.00	7.13
N26	441	7.23		
N27	444	7.08		
N28	445	7.05		
N29	413	9.34	412.00	9.26
N30	406	9.26		
N31	417	9.24		
N32	412	9.22		
N33	442	6.72	446.50	6.63
N34	450	6.77		
N35	448	6.52		
N36	446	6.50		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 32.** Resumen del modelo cuadrático para suelo de afirmado GC.

**Resumen del modelo**

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,978	,956	,942	,436

La variable independiente es Afirmado-L(mV) promedio.

Fuente: Elaboración propia.

R= 0.978 el cual indica que hay una correlación positiva muy alta entre las variables de porcentaje de humedad %W y las lecturas L del sensor capacitivo.

$R^2$  ajustado =0.942 indica que el porcentaje de humedad %W es explicada en un 94.2% por la variable de sensor capacitivo según el modelo de regresión cuadrática.

**Tabla 33.** Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo de afirmado GC.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Afirmado-L(mV) promedio	-,208	,242	-2,424	-,859	,424
Afirmado-L(mV) promedio ** 2	,0001	,000	1,448	,513	,626
(Constante)	71,509	54,177		1,320	,235

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de la regresión cuadrática estimada o ajustada es  $\%W = 71.509 - 0.208L + 0.0001L^2$

**Tabla 34.** Prueba de normalidad para suelo de afirmado GC.

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Afirmado L(mV)	,179	9	,200 <sup>*</sup>	,964	9	<b>,838</b>

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

### Planteamiento de hipótesis

Ho: Los datos de los residuos tiene una distribución normal

H1: Los datos de los residuos NO tienen una distribución normal

Si el P-Valor o Sig.es  $\leq$  que 0.05, se rechaza Ho

Si el P-Valor o Sig.es  $>$  que 0.05, se acepta Ho

Se observa la información sobre el contraste de las hipótesis de la normalidad de los residuos, para el cual se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilk debido a que el tamaño de la muestra utilizada es inferior a 50 individuos, se puede observar con un 95% de confianza y un error del 5%; los datos de los residuos tienen el valor de significancia Sig.= 0.838 mayor a  $\alpha= 0,05$  por consiguiente se acepta la hipótesis nula el cual indica que los datos de los residuos tienen una distribución normal.

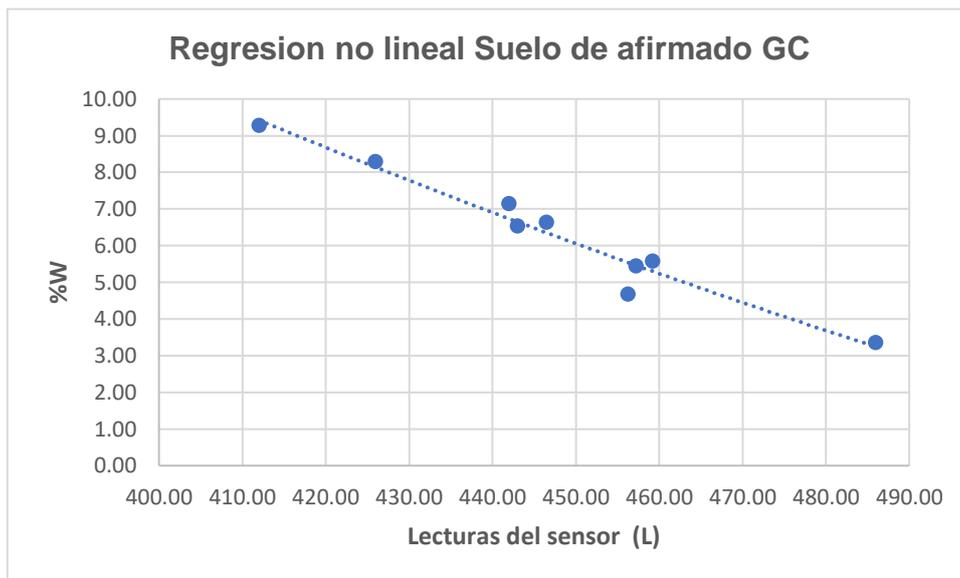


Figura 52. Gráfico de la regresión no lineal para suelo de afirmado GC.

### INTERPRETACION

En la tabla 32, se aprecian los resultados de la regresión no lineal, obteniéndose un coeficiente de correlación  $r^2$  ajustado de 0.942 lo que significa que existe una alta correlación entre las lecturas del sensor y los porcentajes de humedad calculados con el método patrón o convencional. Asimismo, se tiene la ecuación del modelo de análisis  $\%W = 0.0001L^2 - 0.208L + 71.509$ , mediante el cual a partir de las lecturas del sensor capacitivo se podrán obtener los porcentajes de humedad en forma directa.

### Contrastación de hipótesis

Tabla 35. Prueba estadística para validación de hipótesis.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	25,031	2	12,516	65,807	,000
Residuo	1,141	6	,190		
Total	26,173	8			

La variable independiente es Afirmado-L(mV) promedio.  
Fuente: Elaboración propia.

Hipótesis nula (H0): El valor del coeficiente de determinación para suelo de afirmado NO es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Hipótesis nula (H1): El valor del coeficiente de determinación para suelo de afirmado es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Observando la bondad de ajuste  $R^2=0.942$  y valor de  $F = 65.807$  con  $p\text{-valor} = 0.000$  menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna el cual indica que el valor del coeficiente de determinación para suelo de afirmado es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Tabla 36.** Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo de base gradación A.

<b>Nro muestra</b>	<b>Lectura sensor (mV)</b>	<b>Código capsula</b>	<b>W cap (g)</b>	<b>Wcap + Wsh (g)</b>	<b>Wcap + Wsseco (g)</b>	<b>W%</b>
N0	463	F-08	21.00	46.66	46.37	1.14
N1	426	F-12	21.84	55.56	54.92	1.93
N2	424	F-07	21.53	60.31	59.25	2.81
N3	406	P-7	23.17	58.22	56.93	3.82
N4	401	K-9	23.05	60.01	58.30	4.85
N5	415	F-04	21.28	63.94	61.57	5.88
N6	413	P-1	21.87	60.69	58.27	6.65
N7	382	P-2	22.15	57.93	55.35	7.77
N8	391	F-18	20.66	56.34	53.36	9.11
N9	394	F-09	21.09	57.65	54.22	10.35
N10	370	A-10	19.79	58.39	54.40	11.53
N11	348	F-24	21.58	66.51	61.51	12.52
N12	337	A-11	19.79	55.49	51.23	13.55
N13	327	F-14	21.75	74.01	67.38	14.53
N14	324	F-15	21.35	72.31	65.29	15.98

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 37** Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo de base gradación A.

<b>Item</b>	<b>L(mV)</b>	<b>%W</b>
N0	463	1.14
N1	426	1.93
N2	424	2.81
N3	406	3.82
N4	401	4.85
N5	415	5.88
N6	413	6.65
N7	382	7.77
N8	391	9.11
N9	394	10.35
N10	370	11.53
N11	348	12.52
N12	337	13.55
N13	327	14.53
N14	324	15.98

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 38.** Resumen del modelo cuadrático para suelo de base gradación A.

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,949	,901	,884	1,628

La variable independiente es BaseA-L(mV).  
Fuente: Elaboración propia.

R= 0.949 el cual indica que hay una correlación positiva muy alta entre las variables de control de humedad y sensor capacitivo.

$R^2$  ajustado =0.884 indica que el porcentaje de humedad %W es explicada en un 88.4% por la variable de sensor capacitivo según el modelo de regresión cuadrática.

**Tabla 39.** Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo de base gradación A.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
BaseA-L(mV)	-,180	,195	-1,508	-,922	,374
BaseA-L(mV) ** 2	8,647E-5	,000	,560	,343	,738
(Constante)	64,700	37,297		1,735	,108

Fuente: Elaboración propia

La ecuación de la regresión cuadrática estimada o ajustada es  $\%W = 64.700 - 0.180L + 8.647E - 5L^2$

Coefficiente de regresión  $-0.180 < 0$  indica que al disminuir L aumenta %W

**Tabla 40.** Prueba de normalidad para suelo de base gradación A.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Standardized Residual	,134	15	,200*	,955	15	,611

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

### Planteamiento de hipótesis

Ho: Los datos de los residuos tiene una distribución normal

H1: Los datos de los residuos NO tienen una distribución normal

Si el P-Valor o Sig.es  $\leq$  que 0.05, se rechaza Ho

Si el P-Valor o Sig.es  $>$  que 0.05, se acepta Ho

Se observa la información sobre el contraste de las hipótesis de la normalidad de los residuos, para el cual se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilk debido a que el tamaño de la muestra utilizada es inferior a 50 individuos, se puede observar con un 95% de confianza y un error del 5%; los datos de los residuos tienen el valor de significancia Sig.= 0.611 mayor a  $\alpha= 0,05$  por consiguiente se acepta la hipótesis nula el cual indica que los datos de los residuos tienen una distribución normal.

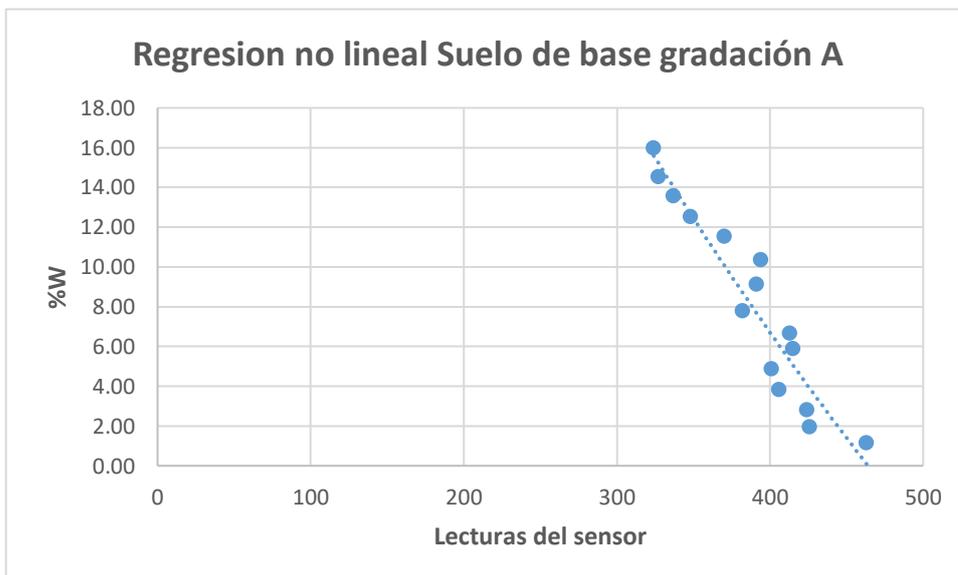


Figura 53. Gráfico de la regresión no lineal para suelo de base gradación A.

## INTERPRETACION

En la tabla 38, se aprecian los resultados de la regresión no lineal, obteniéndose un coeficiente de correlación ajustado  $r^2$  de 0.884 lo que significa que existe una alta correlación entre las lecturas del sensor y los porcentajes de humedad calculados con el método patrón o convencional. Asimismo, se tiene la ecuación del modelo de análisis  $\%W = 0.8647 E-5*L^2 - 0.180L + 64.700$ , mediante el cual a partir de las lecturas del sensor capacitivo se podrán obtener los porcentajes de humedad en forma directa.

## Contrastación de hipótesis

**Tabla 41.** Prueba estadística para validación de hipótesis.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	289,162	2	144,581	54,519	,000
Residuo	31,823	12	2,652		
Total	320,985	14			

La variable independiente es BaseA-L(mV).

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): El valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A NO es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>): El valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Observando la bondad de ajuste  $R^2=0.884$  y valor de  $F = 54.519$  con  $p$ -valor = 0.000 menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna el cual indica que el valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Tabla 42.** Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo de base gradación D.

<b>Nro muestra</b>	<b>Lectura sensor (mV)</b>	<b>Código capsula</b>	<b>W cap (g)</b>	<b>Wcap + Wsh (g)</b>	<b>Wcap + Wsseco (g)</b>	<b>W%</b>
N0	449	P-12	22.43	60.79	60.33	1.21
N1	414	K-1	20.98	55.41	54.68	2.17
N2	396	F-10	20.79	57.75	56.64	3.10
N3	386	K-3	22.79	57.32	55.99	4.01
N4	379	F-5	21.28	58.73	56.41	6.60
N5	368	K-6	21.50	58.57	56.41	6.19
N6	365	K-7	22.86	58.00	55.67	7.10
N7	367	A-15	19.29	53.10	50.60	7.98
N8	371	P-15	21.90	54.51	51.85	8.88
N9	363	F-22	20.96	50.11	47.58	9.50
N10	353	F-20	21.41	51.25	48.19	11.43
N11	346	A-13	19.18	58.34	53.92	12.72
N12	342	F-02	21.29	63.85	58.61	14.04
N13	331	P-9	22.36	61.57	56.44	15.05
N14	327	P-8	23.16	63.59	57.94	16.24

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 43.** Porcentajes de humedad versus lecturas del sensor de humedad para suelo de base gradación D.

<b>Item</b>	<b>L(mV)</b>	<b>%W</b>
N0	449	1.21
N1	414	2.17
N2	396	3.10
N3	386	4.01
N4	379	6.60
N5	368	6.19
N6	365	7.10
N7	367	7.98
N8	362	8.88
N9	356	9.50
N10	353	11.43
N11	346	12.72
N12	335	14.04
N13	331	15.05
N14	327	16.24

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 44.** Resumen del modelo cuadrático para suelo de base gradación D.

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,989	,979	,975	,743

La variable independiente es BaseD-L(mV).

Fuente: Elaboración propia.

R= 0.989 el cual indica que hay una correlación positiva muy alta entre las variables de control de humedad y sensor capacitivo.

$R^2$  ajustado =0.975 indica que el porcentaje de humedad %W es explicado en un 97.5% por la variable de sensor capacitivo según el modelo de regresión cuadrática.

**Tabla 45.** Coeficientes de la ecuación de regresión cuadrática para suelo de base gradación D.

	Coeficientes				
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
BaseD-L(mV)	-1,039	,115	-7,158	-9,023	,000
BaseD-L(mV) ** 2	,001	,000	6,234	7,858	,000
(Constante)	230,383	22,005		10,470	,000

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de la regresión cuadrática estimada o ajustada es  $\%W = 230.383 - 1.039L + 0.001L^2$

Coefficiente de regresión  $-1.039 < 0$  indica que al disminuir L aumenta %W.

**Tabla 46.** Prueba de normalidad para suelo de base gradación D.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Standardized Residual	,138	15	,200*	,955	15	,608

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

### Planteamiento de hipótesis

Ho: Los datos de los residuos tiene una distribución normal

H1: Los datos de los residuos NO tienen una distribución normal

Si el P-Valor o Sig.es  $\leq$  que 0.05, se rechaza Ho

Si el P-Valor o Sig.es  $>$  que 0.05, se acepta Ho

Se observa la información sobre el contraste de las hipótesis de la normalidad de los residuos, para el cual se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilk debido a que el tamaño de la muestra utilizada es inferior a 50 individuos, se puede observar con un 95% de confianza y un error del 5%; los datos de los residuos tienen el valor de significancia Sig.= 0.608 mayor a  $\alpha= 0,05$  por consiguiente se acepta la hipótesis nula el cual indica que los datos de los residuos tienen una distribución normal.

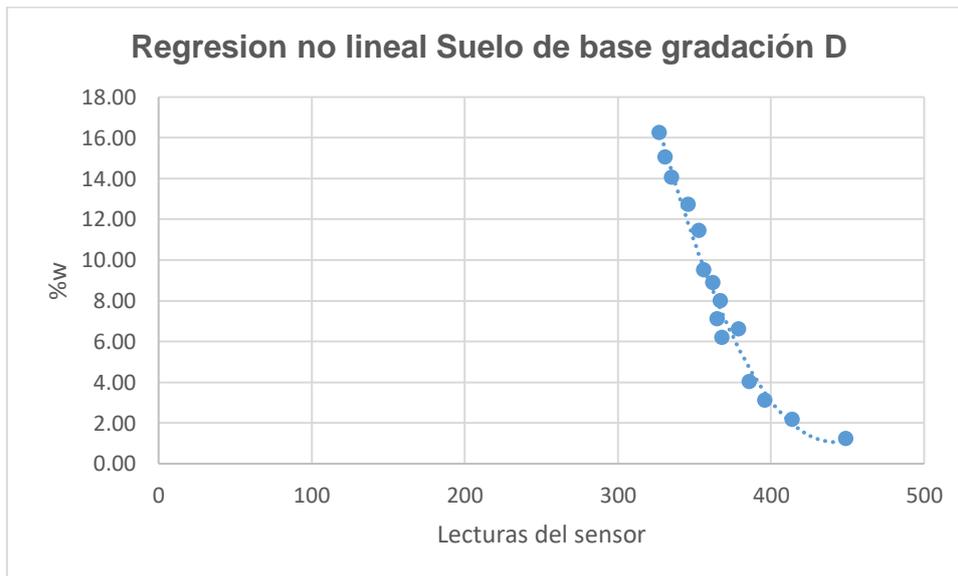


Figura 54. Gráfico de la regresión no lineal para suelo de base gradación D.

### INTERPRETACION

En la tabla 44, se aprecian los resultados de la regresión no lineal, obteniéndose un coeficiente de correlación  $r^2$  de 0.975 lo que significa que existe una alta correlación entre las lecturas del sensor y los porcentajes de humedad calculados con el

método patrón o convencional. Asimismo, se presenta la ecuación del modelo de análisis, el cual es  $%W = 0.0012L^2 - 1.039L + 230.383$ .

### Contrastación de hipótesis

**Tabla 47.** Prueba estadística para validación de hipótesis.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	308,010	2	154,005	278,742	,000
Residuo	6,630	12	,552		
Total	314,640	14			

La variable independiente es BaseD-L(mV).

Fuente: Elaboración propia.

Hipótesis nula (HO): El valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D NO es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Hipótesis alterna (H1): El valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Observando la bondad de ajuste  $R^2=0.975$  y valor de  $F = 278.742$  con p-valor = 0.000 menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna el cual indica que el valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

**Tabla 48.** Cuadro comparativo de gradaciones de suelo A y D respecto al R2.

TAMAÑO	PESO (g)		MAYOR PESO	r2 de A	r2 de D
	A	D			
No10	328	118	A	0.884	0.975
No40	820	590	A		
No200	328	708	D		
Base	164	236	D		
<b>TOTAL</b>	<b>1640</b>	<b>1652</b>			

Fuente: Elaboración propia.

## **INTERPRETACION**

En la tabla 48, se puede apreciar que el mayor peso de la muestra corresponde a granos de mayor tamaño para la gradación A, es decir 328 y 820 g (mallas No 10 y No 40); en cambio para la gradación D, el mayor peso lo aportan los granos de menor tamaño 708 y 236 g para la malla Nro 200 y para la base (porcentaje que pasa la malla No 200). Asimismo, el suelo con gradación A tiene un R2 de 0.884 el cual es menor que el R2 del suelo con gradación D. Por tanto, se puede afirmar que un suelo con granos de mayor tamaño es susceptible a presentar menor confiabilidad en las mediciones del sensor capacitivo que un suelo con granos de menor tamaño. El factor a tomar en cuenta es que a mayor tamaño de granos se presentan mayor cantidad de espacios vacíos o poros en el suelo, reduciendo a su vez el contacto del suelo con la superficie del sensor capacitivo.

## **Contrastación de hipótesis**

Hipótesis nula (H0): La gradación del suelo de base NO influye de manera importante en la precisión del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Hipótesis alterna (H1): La gradación del suelo de base influye de manera importante en la precisión del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

De acuerdo al análisis de resultados realizado en la interpretación se acepta la hipótesis alterna debido a que la gradación de suelo configura la mayor o menor proporción de tamaño de granos en peso, lo cual tiene influencia en la precisión o confiabilidad del sensor capacitivo representado en un mayor o menor R2.

**Tabla 49.** Tiempo de ejecución del ensayo con método gravimétrico y sensor de humedad en minutos.

TIEMPO DE EJECUCION DEL ENSAYO CON METODO GRAVIMETRICO (min)		TIEMPO DE EJECUCION DEL ENSAYO CON SENSOR DE HUMEDAD (min)	
TIEMPO DE PESADO DE CAPSULA VACIO	0.5	TIEMPO DE LLENADO DE LA PROBETA CON LA MUESTRA	0.5
TIEMPO DE PESADO CAPSULA+ MUESTRA HUMEDA	0.5	TIEMPO DE COMPACTACION DE LA MUESTRA	0.25
TIEMPO DE PESADO CAPSULA +MUESTRA SECA	0.5	TIEMPO DE COLOCACION DEL SENSOR EN LA MUESTRA	0.25
TIEMPO DE SECADO EN EL HORNO DE TIRO FORZADO	1440.0	TIEMPO DE MEDICION CON EL SENOR DE HUMEDAD	1.5
TOTAL	<b>1441.5</b>	TOTAL	<b>2.5</b>

Fuente: Elaboración propia.

## INTERPRETACIÓN

En la tabla 49, se aprecia el tiempo de ejecución del ensayo con el método gravimétrico de 1441.5 minutos, mientras que el tiempo de ensayo para el sensor capacitivo es de 2.5 minutos, así mismo el tiempo de ensayo con el sensor capacitivo representa 0.173% del tiempo de ensayo con el método gravimétrico, por tanto, la utilización del sensor capacitivo presenta una gran ventaja de ahorro de tiempo frente al método tradicional.

### Contrastación de hipótesis

Hipótesis nula (HO): El tiempo de obtención de resultados NO influye favorablemente en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Hipótesis alterna (H1): El tiempo de obtención de resultados influye favorablemente en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

De acuerdo al análisis de resultados realizado en la interpretación se acepta la hipótesis alterna debido a que el tiempo de obtención de resultados será inmediato en el mismo lugar de la obra, permitiendo un control continuo de la humedad del suelo.

**Tabla 50.** Costo de ejecución del del ensayo con método gravimétrico y sensor de humedad en minutos.

<b>CUADRO N° 1</b>		
<b>COSTO DEL ENSAYO (S/)</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>METODO GRAVIMETRICO</b>	<b>SENSOR DE HUMEDAD</b>
COSTO DEL ENSAYO	110.00	6.65
<b>TOTAL</b>	<b>S/110.00</b>	<b>S/6.65</b>

<b>CUADRO N° 2</b>		<b>CUADRO N° 3</b>	
<b>COSTO DE IMPLEMENTACION DE SENSOR DE HUMEDAD (S/)</b>		<b>COSTO DEL ENSAYO COTENIDO DE HUMEDAD METODO GRAVIMETRICO (S/)</b>	
TAMIZ N°10	50.00	TRANSPORTE DE LA MUESTRA	30.00
SOPORTE + PROBETA	80.00	COSTO DEL ENSAYO	80.00
PANTALLA VISOR	40.00	<b>TOTAL S/ (incluido IGV)</b>	<b>110.00</b>
SENSOR DE HUMEDAD	30.00		
PLACA ARDUINO	100.00		
ACCESORIOS	10.00		
BATERIA 5 V DE LITIO	60.00		
CAJA PORTA SENSOR	15.00		
INTERRUPTOR	5.00		
HORAS HOMBRE	100.00		
<b>COSTO DIRECTO S/</b>	<b>490.00</b>		
<b>GG Y UTILIDADES</b>	<b>73.50</b>		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>563.50</b>		
<b>IGV 18%</b>	<b>101.43</b>		
<b>TOTAL S/</b>	<b>664.93</b>		
<b>COSTO DE ENSAYO 1% DEL TOTAL S/</b>	<b>6.65</b>		

Nota: El monto total de cuadro N° 2 y N° 3 se consignará en el cuadro N° 1.

Fuente: Elaboración propia.

## INTERPRETACIÓN

En la tabla 50, se aprecia el costo de ejecución del ensayo con el método gravimétrico de 110.00 soles, mientras que el costo de ensayo para el sensor capacitivo es de 6.65 soles, así mismo el costo de ensayo con el sensor capacitivo representa 6.045% del costo de ensayo con el método gravimétrico, por tanto, la

utilización del sensor capacitivo presenta ahorro económico frente al método tradicional.

### **Contrastación de hipótesis**

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): El costo del ensayo NO incide favorablemente en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>): El costo del ensayo incide favorablemente en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

De acuerdo al análisis de resultados realizado en la interpretación se acepta la hipótesis alterna debido a que el costo de ensayo es más económico.

## V. DISCUSIÓN

Para el caso del suelo limoso ML al comparar las lecturas del sensor con los valores de porcentaje de humedad calculados según el método gravimétrico se obtuvo un coeficiente de determinación  $r^2$  de 0.910. Gonzales (2020), realizó mediciones humedad de un suelo de característica franco limosa (52% de limo, 36.1% de arena, 11.5% de arcilla y 8.15% de materia orgánica), mediante sensor capacitivo y el método gravimétrico, al comparar ambos valores obtiene un coeficiente de determinación  $r^2$  de 0.9466, ambos valores resultan altos y se aproximan a la unidad.

En el suelo SM al comparar las lecturas del sensor con los valores de porcentaje de humedad calculados según el método gravimétrico se obtuvo un  $r^2$  de 0.973, resultando un valor cercano a la unidad. Gonzales (2020), realizó mediciones humedad de un suelo arenoso con sensor capacitivo y los comparo con el método gravimétrico obteniendo como resultado un  $r^2$  de 0.7828 el cual según el autor pudo verse afectado por la presencia de partículas de mayor tamaño y por tanto mayor porosidad haciendo hincapié que los espacios de aire en contacto con el sensor presentan perturbaciones en las mediciones de humedad de suelo Topp et al (2002).

Para un suelo de afirmado GC se ha obtenido un  $r^2$  de 0.942 que representa una alta confiabilidad de del sensor de humedad propuesto en la presente investigación. Betancourth (2016) realizó pruebas comparativas de sensores de humedad con el método gravimétrico, obtuvo valores de  $r^2$  de 0.8681 para un primer sensor y un  $r^2$  de 0.9615 para el segundo sensor. Comparando los resultados de la presente investigación con el antecedente referido se tienen niveles de confiabilidad altos para el sensor de humedad de suelo.

En el caso del suelo de base con gradación A, se ha obtenido un el valor de un  $r^2$  de 0.884 y se obtuvo también la ecuación polinómica de segundo grado  $\%W = 0.8647 E^{-5} \cdot L^2 - 0.180L + 64.700$ . Martínez (2021) realiza mediciones de humedad del suelo con sensores electrónicos y los compara con el método gravimétrico obteniendo un  $r^2$  de 0.7663 para un suelo natural con una ecuación  $W\% = 3E^{-5} X^2$

–  $0.0636X + 42.19$ . Se observa que existe una diferencia de los valores de  $R^2$  básicamente porque trabaja con suelo natural.

Para un suelo de base con gradación D, se ha obtenido un el valor de un  $r^2$  de 0.975, siendo el valor más alto obtenido en los ensayos, se tiene la ecuación modelo  $\%W = 0.0012L^2 - 1.039L + 230.383$ . Llanos y Reyes (2017) estudia el grado de confianza sobre los efectos del ensayo PDC in situ, comparado con el ensayo CBR que se realiza en laboratorio, obteniendo un  $r^2$  de 0.9765, con una ecuación modelo  $CBR_{LAB} = -0.7434(N_{PDC})^3 + 21.661(N_{PDC})^2 - 208.63(N_{PDC}) + 667.29$ , concluyendo que el  $r^2$  representa una confiabilidad del 97.65%, por tanto, el estudio del coeficiente de determinación es un estadístico que se utiliza como de medida de la confiabilidad y precisión de variables. En nuestro caso el  $r^2$  representa una confiabilidad de 97.5% siendo muy similar al obtenido por Llanos y Reyes.

En el análisis de la influencia de la gradación en la precisión del sensor capacitivo, para un suelo con gradación A que contiene granos de mayor tamaño el  $r^2$  resultó 0.884 y para el suelo de gradación D con menor tamaño de granos el  $r^2$  resultó 0.975, por tanto, se deduce que a menor tamaño de granos se obtiene mayor precisión porque mejora la superficie de contacto entre el sensor y el suelo, es decir se reducen los espacios vacíos. Placidi (2020) Realiza mediciones de humedad de suelo a volumen constante con sensor capacitivo, obteniendo un  $r^2$  de -0.946 con un polinomio de ajuste de segundo grado. Los resultados experimentales muestran claramente que la porosidad afecta severamente las mediciones capacitivas de humedad del suelo. Si no se toma debidamente en cuenta este efecto, resulta indudable la posibilidad de que se invaliden los resultados en este tipo de mediciones.

El tiempo de obtención de resultados para la medición de humedad del suelo con el método gravimétrico es 1441.5 minutos, mientras que con el sensor capacitivo es de 2.5 minutos, siendo la diferencia 1439 minutos. Mamani (2020) realizó la comparación de tiempos para un sensor de similares características, el tiempo con el método gravimétrico fue de 1440 minutos mientras que el tiempo con el sensor fue 4.26 minutos con una diferencia entre ambos de 1435.74 minutos. En ambos estudios se tiene una importante diferencia entre los tiempos del sensor de

humedad y método gravímetro. De la comparación se puede afirmar que existe una gran ventaja en el tiempo de obtención de resultados mediante el sensor humedad.

Costo de ejecución del ensayo de medición de humedad de suelo con el método gravimétrico de 110.00 soles, mientras que el costo de ensayo para el sensor capacitivo es de 6.65 soles, este último representa el 6.045% del costo de ensayo con el método gravimétrico. Buitrón y Castañeda (2020) realizan la evaluación técnica económica del pavimento flexible utilizando una malla triaxial TX-160 comparando los costos con un pavimento convencional logrando que el costo con el método propuesto se reduzca al 98.36%. En ambos casos se evidencia que la utilización de una nueva tecnología trae consigo ventajas económicas, por tanto, la aplicación del sensor propuesto genera un ahorro económico muy importante.

## VI. CONCLUSIONES

Mediante el uso del sensor capacitivo de humedad para diferentes tipos de suelo se obtuvieron valores de confiabilidad en un rango entre el 88.4% y 97.5%, asimismo el tiempo de obtención de resultados con el sensor capacitivo representa el 0.17% del tiempo necesario con el método convencional de determinación de humedad de suelo, siendo muy ventajoso porque los resultados se obtienen en forma prácticamente inmediata, en cuanto al costo de ejecución del ensayo con el sensor su costo representa el 6.05% del costo incurrido con el método convencional. Finalmente se concluye que la aplicación del sensor capacitivo para el control de humedad de suelos heterogéneos presenta una adecuada efectividad con un apreciable grado de confiabilidad para diferentes tipos de suelo, además de ventajas en el tiempo de obtención de resultados que es prácticamente inmediato lo que también facilita el control continuo de humedad del suelo y el costo es considerablemente más bajo facilitando su uso permanente en obra.

1. Para un suelo limoso ML en el análisis comparativo de lecturas del sensor de humedad capacitivo con los porcentajes de humedad por el método gravimétrico se logra cuantificar el valor del coeficiente de determinación  $r^2$  en 0.910 siendo este un valor alto y cercano a la unidad lo cual significa que se logra alcanzar una confiabilidad del orden de 91.0%, por tanto, la utilización del sensor capacitivo resulta adecuado para la medición de la humedad en este tipo de suelo.
2. En el caso de un suelo de arena limosa SM el valor del coeficiente de determinación  $r^2$  se calcula en 0.973 el cual representa un nivel de confiabilidad de 97.3% lo que significa que el sensor capacitivo permite medir la humedad con precisión para el suelo con clasificación SM.
3. El indicador adecuado para medir la confiabilidad del sensor capacitivo es el coeficiente de determinación  $r^2$  que en este caso se halló un valor de 0.942 para un suelo de afirmado del tipo GC, por tanto, el sensor capacitivo resulta útil para este tipo de suelo.
4. En la evaluación de la humedad para un suelo de base con gradación A mediante un sensor capacitivo se definió un  $r^2$  de 0.884 lo que significa que la medición de

humedad representa una alta confiabilidad y por consiguiente la utilización del equipo propuesto resulta apropiado para el control de humedad de suelo.

5. El análisis comparativo del sensor capacitivo con el método gravimétrico se calculó un coeficiente de determinación  $r^2$  de 0.975 para un suelo de base con gradación D, el cual resultó más alto de todos los ensayos efectuados en la presente investigación, asimismo cabe resaltar que la gradación D contiene mayor cantidad de granos finos. Por tanto, el sensor resulta efectivo para un suelo con gradación D.

6. De la comparación de los tipos de suelo de base con gradación A y D se analizó que resulta más efectivo el uso del sensor para el suelo con gradación D por poseer granos más finos que facilitan la reducción de poros o espacios vacíos y a su vez mejoran la superficie de contacto entre el suelo y el sensor capacitivo.

7. Se midió el tiempo de obtención de resultados con el sensor capacitivo que es el 0.17% del tiempo necesario con el método convencional o gravimétrico por tanto representa una fracción mínima lo que es una gran ventaja comparativa porque los resultados se obtienen en forma inmediata.

8. El costo del ensayo para el sensor capacitivo se calculó en S/ 6.65, el cual representa el 6.05% del costo con el método gravimétrico siendo también una ventaja desde el punto de vista económico.

## VII. RECOMENDACIONES

- Para evitar errores en la lectura de datos es importante mantener el mismo procedimiento de medición de humedad de suelo con el sensor capacitivo, tales como compactación de la probeta, profundidad de inserción del sensor en la muestra de suelo, condiciones estables de temperatura ambiente.
- En vista de que las mediciones de humedad varían en función al tipo de suelo se hace necesario obtener una ecuación representativa para predecir el porcentaje de humedad según cada tipo de suelo.
- Es recomendable establecer calibraciones específicas para cada tipo de suelo a evaluar y así mejorar la precisión según las características de cada tipo de suelo.
- Se recomienda utilizar sensor de humedad capacitivo, porque con la ayuda de sensor de humedad nos permite conocer y aplicar contenido de humedad el suelo en la obra es decir en situ de forma rápida y económica con gran efectividad.

## REFERENCIAS

- ALULEMA, Nelly Vanessa. 2021. *Implementación de un sistema automatizado de riego por goteo controlado mediante Arduino UNO y un sensor higrómetro de humedad de suelo para un invernadero de producción de tomate riñon*. Latacunga : Monografía: (Tecnólogo de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica) Universidad de las Fuerzas Armadas+, 2021. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/26219/1/M-ESPEL-ENT-0401.pdf>
- AUCCAHUAQUI Yanque, Irvin Kenyo y CORAHUA Hilaquita, Ronald Yuseut. 2016. *Evaluación del sistema de pavimentos flexibles en la prolongación de la av. La cultura tramo (4to paradero de san sebastián – grifo mobil de san jerónimo)*. . Cusco: : (tesis de Ingeniería Civil), 2016. Universidad Andina del Cusco.. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/347>
- BETANCOURTH CASTRO, Landneyker. 2016. *Sensor de humedad del suelo tipo sonda con sistema de monitoreo para aplicaciones en agricultura de precisión*. Villavicencio : Universidad de los Llanos - Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería electrónica., 2016. <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/1184/RUNILLANOS%20ELE%200373%20SENSOR%20DE%20HUMEDAD%20DEL%20SUELO%20TIPO%20SONDA%20CON%20SISTEMA%20DE%20MONITOREO%20PARA%20APLICACIONES%20EN%20AGRICULTURA%20DE%20PRECISI%C3%93N%20.pdf?sequence=1&isAllowed=>
- STRIGARO, Daniele, MASSIMILIANO, Cannata y MILAN, Antonovic.(2019) *Boosting a Weather Monitoring System in Low Income Economies Using Open and Non-Conventional Systems: Data Quality Analysis Sensors* 19. 2019. 1185, s.l. : <https://doi.org/10.3390/s19051185>, 2019, Vol. Volumen 5. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/5/1185>
- BORJA, Manuel. 2016. *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2016. [https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_Cient%C3%ADfica\\_para\\_ingenier%C3%ADa\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil)
- BRAVO MERCHÁN, Verónica Paola. 2017. *Evaluación de un sistema "VBM384" para la aplicación práctica de internet de las cosas IoT, en el monitoreo automático de la humedad y temperatura del suelo*. Cuenca, Ecuador : [Tesis Maestría - Agroecología y Ambiental - Universidad de Cuenca Facultad de ciencias Agropecuarias], 2017. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1135134?show=full>
- BUITRÓN, Luis Jorge y CASTAÑEDA, Ruth. 2020. *Análisis técnico-económica aplicando geomalla triaxial en el diseño del pavimento flexible en la avenida 11 de enero entre la avenida Grau, Ancón 2020*. Lima : (Tesis de Ingeniería Civil), 2020. Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73376>

CASTRO, Araya Roy. 2005. *Nuevas propuestas en el control de la calidad de la compactación*. Costa Rica : Tesis (Ingeniero Civil)., 2005. Universidad de Costa Rica.

<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/930/1/26186.pdf>

COMEXPERÚ. 2019. *Sociedad de Comercio Exterior del Perú, Reporte de competitividad global 2019: infraestructura, Lima 2019*. Lima : Portugal Production, 2019. ISBN 234.890. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/reporte-de-competitividad-global-2019-infraestructura>

CRUZ, Lesly Diomar. 2020. *Comparación técnica – económica entre el densímetro nuclear y el método de cono y arena en la determinación de la densidad in situ*. Piura : (Tesis de Ingeniería Civil), 2020. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2332/ICIV-CRU-ANG-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DAS, Braja. 2015. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México : Cengage Learning Editores, S.A. de C.V., 2015. ISBN: 978-607-519-373-1. [file:///C:/Users/Guisela%20Martinez/Downloads/Fundamentos\\_de\\_Ingenieria\\_Geotecnica\\_Bra.pdf](file:///C:/Users/Guisela%20Martinez/Downloads/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Bra.pdf)

GONZÁLES ORTIZ, Carla Fernanda. 2020. *Evaluación de un nuevo sensor de humedad de suelo inalámbrico de bajo costo*. Talca - Chile : [Tesis de maestría - Universidad de Talca], 2020. <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/12336/3/2020A000006.pdf>

HAYAT, HASAN, y otros. 2019. *The State-of-the-Art of Sensors and Environmental Monitoring Technologies in Buildings*. N° 17, s.l. : <https://doi.org/10.3390/s19173648>, 2019, *Sensors*, Vol. *Sensors* 19, págs. 19-17.

HARMONISED, Tripartite G. 2015. *Validation of analytical procedures Text and methodology Q2 (R1)*. s.l. : Present ICH book, 2015. <https://database.ich.org/sites/default/files/Q2%28R1%29%20Guideline.pdf>

HERNÁNDEZ , Roberto y MENDOZA , Christian Paulina. 2018. *metodología de la investigación las rustas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico : McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2018. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. 2014. *Metodología de la investigación. Sexta Edición*. s.l. : MharcGraw-Hill, 2014. <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30/23>

IDEAM. 2018. *Medicion De La Humedad Del Suelo*. [En línea] Febrero de 1 de 2018. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap15.pdf>.

LOZADA, José. 2014. *Investigación aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria*. pp (32- 39), Quito : Universidad tecnológica Indoamérica, 2014, Vol. Volumen N°3. <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30/23>

LLANOS, Andrés Homero y REYES, Shirley Katerine. 2017. *Estudio comparativo de los ensayos californiana Bearing ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de Picsi*. Pimentel : (Tesis de Ingeniería Civil), 2017. Universidad Señor de Sipan. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5443/Llanos%20Sanchez%20%26%20Reyes%20Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MAO Feng, KHAMIS Kieran, KRAUSE Stefan, CLARK Julian, HANNAH David M. 2018. *Low-Cost Environmental Sensor Networks: Recent Advances and Future Directions*. s.l. : Journal: *Frontiers in Earth Science*, 2018, *Frontiers in Earth Science*, Vol. 7, pág. 221. ISSN=2296-6463. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2019.00221/full>

MAMANI, Jean Pierre. 2020. *Determinación de variabilidad de humedad de base del pavimento aplicando un sistema informático en la calle Acosta, Wanchaq-Cusco, 2020*. Trujillo : (Tesis de Ingeniería Civil), 2020. Universidad Cesar Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64525/Mamani\\_TJP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64525/Mamani_TJP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MARTINEZ, Gretel, CORTES, Manuel y FERNANDEZ, PEREZ. sep - Dic. 2016. sep - Dic. 2016 *Methodology For Correlation And Concordance Analysis On Equipment Of Similar Measurements.*, Scielo Measurements, págs. 20 - 55. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2218-36202016000400008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2218-36202016000400008)

MARTINEZ INCA, Marco . 2021. *Análisis comparativo entre la humedad gravimétrica y la humedad determinada con sensores electrónicos en suelos granulares del cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Ambato - Ecuador : [Tesis de ingeniería Civil - Universidad Técnica de Ambato], 2021. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32494>

MENDOZA B., Reynaldo y ESPINOZA , Ariel. 2017. *Guía técnica para muestra de suelo*. Nicaragua : Complejo gráfico TMC, 2017. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>

MINAM. 2014. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *GUÍA PARA MUESTREO DE SUELOS*. PERU : MAVET IMPRESIONES E.I.R.L, 2014. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES. 2016. *Manual de ensayo de materiales*. Lima : s.n., 2016. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)

MONK, Simon. 2019. *Programming Arduino: Next steps Going further with sketches*. s.l. : Mc Graw Hill educación, 2019. ISBN: 978 - 1 - 25 - 958860 - 0. <https://www.amazon.com/-/es/Simon-Monk-ebook/dp/B07J1DNF5V>

- MORALES CASTRO, Arturo y MORALES CASTRO, José Antonio. 2009. *Proyectos de inversión: Evaluación y formulación*. México : Mc Graw hill, 2009. ISBN: 978-970-10-7346-9. [https://www.cayso.com.mx/cursosenlinea/wp-content/uploads/2019/05/Proyectos-de-Inversi%C3%B3n-Arturo-Morales\\_compressed.pdf](https://www.cayso.com.mx/cursosenlinea/wp-content/uploads/2019/05/Proyectos-de-Inversi%C3%B3n-Arturo-Morales_compressed.pdf)
- PARERA, María Antonia. 2009. *Guía práctica 6: Evaluación económica*. s.l. : Cevagraf., 2009. B-45842-2009. [https://www.fondoseuropeos.hacienda.gob.es/sitios/dgfc/es-ES/ipr/fcp1420/e/Documents/Guia6\\_Evaluacion\\_economica\\_ivalua.pdf](https://www.fondoseuropeos.hacienda.gob.es/sitios/dgfc/es-ES/ipr/fcp1420/e/Documents/Guia6_Evaluacion_economica_ivalua.pdf)
- PIARC, Asociación Mundial de la Carretera. 2020. *Informe de Actividad 2019 - 2020, Infrastructure resilience*. Francia : s.n., 2020. <https://www.piarc.org/ressources/documents/Informes-Anuales-Actividad/a5f60bd-34467-Informe-Anual-2019-2020-PIARC-Asociacion-Mundial-de-la-Carretera.pdf>
- PLACIDI, PISANA, y otros. 2020 *Cost-Effective Soil Moisture Sensors for IoT Networks 2020*, MDPI. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/12/3585>
- SÁNCHEZ CARLESSI, Hugo, REYES ROMERO, Carlos y MEJÍA SÁENZ, Katia. 2018. *Term manual in scientific, technological and humanistic research*. Lima : Universidad Ricardo Palma, 2018. ISBN N° 978-612-47351-4-1. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480>
- SÁNCHEZ, Onofre. 2014. *Arduino: The free heart of the hyperconnected world*. s.l. : <https://www.economista.com.mx/empresas/Arduino-el-corazon-libre-del-mundo-hiperconectado-20140702-0165.html>, 2014.
- SÁNCHEZ, Ruiloba, MORALES, L. y SÁNCHEZ , E. 2019. *Calibration of humidity sensor applied to substrate of coir trade led by ARDUINO programming*. s.l. : [Tesis de licenciatura en informática - Facultad de Informática], 2019. Universidad Tecnológica Oteima. <https://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/10096>

## ANEXOS

## ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Titulo: Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.					
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE		
¿Cuál será la efectividad del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021?	Determinar la efectividad del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	La efectividad del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021, es satisfactoria.	Sensor capacitivo	Implementación del sensor de humedad.	Tiempo de implementación del software Tiempo de implementación del hardware
				Pruebas del sensor de humedad.	Tiempo de estabilización de la lectura (seg)
				Contenido de humedad del suelo	Porcentaje de humedad del suelo %W
				Gradación del suelo	Porcentaje según gradación de suelo (% Peso que pasa)

PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE DEPENDIENTE			
¿Cuál es la magnitud del coeficiente de determinación en suelo limoso en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.?	Cuantificar el valor del coeficiente de determinación en suelo limoso en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	El coeficiente de determinación en suelo limoso es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial	Confiabilidad de mediciones del sensor capacitivo versus contenido de humedad por método gravimétrico.	Coefficiente de determinación para suelo limoso ( $r^2$ )	
¿Cuál es el valor del coeficiente de determinación en suelo arenoso en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.?	Calcular el valor del coeficiente de determinación en suelo arenoso en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	El valor del coeficiente de determinación en suelo arenoso es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.			Coefficiente de determinación para suelo arenoso ( $r^2$ )	
¿Cuál es el resultado del coeficiente de determinación para suelo de afirmado en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.?	Hallar el resultado del coeficiente de determinación para suelo de afirmado en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	El coeficiente de determinación para suelo de afirmado resulta cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.			Coefficiente de determinación para suelo de afirmado ( $r^2$ )	
¿Cuál es el valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A, en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.?	Definir el valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A, en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	El valor del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.			Coefficiente de determinación para suelo de base con gradación A ( $r^2$ )	
¿Cuál es la dimensión del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D, en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.?	Calcular la dimensión del coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D, en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	El coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D es cercano a 1 en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.			Coefficiente de determinación para suelo de base con gradación D ( $r^2$ )	
¿En que medida influye la gradación del suelo de base en la precisión del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.?	Analizar la influencia de la gradación del suelo de base en la precisión del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	La gradación del suelo de base influye de manera importante en la precisión del control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.			Precisión de las mediciones de humedad con sensor capacitivo	Diferencia de precisión
¿Cómo influye el tiempo de obtención de resultados en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.?	Medir el tiempo obtención de resultados en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	El tiempo de obtención de resultados influye favorablemente en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor			Análisis de tiempo y costo de los ensayos.	Tiempo de obtención de resultados (min)
¿Cuál es la incidencia del costo del ensayo en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.?	Calcular el costo del ensayo en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.	El costo del ensayo incide favorablemente en el control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.				Costo del ensayo (S/.)

## ANEXO 02: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

Titulo: Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.					
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
<b>Variable independiente: Sensor capacitivo</b>	Sensor de humedad: Dispositivo que mide la cantidad de humedad en el suelo mediante la aplicación de tensión eléctrica entre sus electrodos, Bravo(2017).	Se realiza el ensamblaje del sensor de humedad utilizando 01 microcontrolador Arduino, 01 sensor de humedad, fuente de alimentación, etc. Se instala el software y se realiza la programación del sensor, midiendo los tiempos de elaboración para cada indicador.	Implementación del sensor de humedad.	Tiempo de implementación del hardware.	Razón
				Tiempo de implementación del software.	Razón
	Medición : Es el procedimiento mediante el cual se asigna valores cuantitativos o numéricos a las variables, Sanchez, Reyes, Mejia (2018).	Se efectua las pruebas de medición del sensor tomando las lecturas del equipo construido.	Pruebas del sensor de humedad.	Tiempo de estabilización de la lectura (seg)	Razón
				Lectura (milivoltios)	Razón

<b>Variable dependiente:</b> <b>Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial</b>	Estudio técnico: Conjunto de actividades que determinan las características de los elementos necesarios para posibilitar la producción de un bien o servicio, Morales (2009).	Se calcula el coeficiente de determinación $r^2$ mediante análisis estadístico.	Confiabilidad de mediciones del sensor capacitivo versus contenido de humedad por método gravimétrico.	Coeficiente de determinación para suelo limoso ( $r^2$ )	Razón
		Se calcula el coeficiente de determinación $r^2$ mediante análisis estadístico.		Coeficiente de determinación para suelo arenoso ( $r^2$ )	Razón
		Se calcula el coeficiente de determinación $r^2$ mediante análisis estadístico.		Coeficiente de determinación para suelo de afirmado ( $r^2$ )	Intervalo
		Se calcula el coeficiente de determinación $r^2$ mediante análisis estadístico.		Coeficiente de determinación para suelo de base con gradación A ( $r^2$ )	Intervalo
	Estudio técnico: Conjunto de actividades que determinan las características de los elementos necesarios para posibilitar la producción de un bien o servicio, Morales (2009).	Se calcula el coeficiente de determinación $r^2$ mediante análisis estadístico.		Coeficiente de determinación para suelo de base con gradación D ( $r^2$ )	Razón
		Se realiza la comparación de los grados de precisión de mediciones con sensor capacitivo para los tipos de suelo de gradación A y D.	Precisión de las mediciones de humedad con sensor capacitivo	Diferencia de precisión	Razón
		Se miden y comparan los tiempos de obtención de cada ensayo, para el método gravimétrico y para el método con sensor capacitivo.		Tiempo de obtención de resultados (min)	Razón
	Evaluación económica: Se define como un proceso ordenado que identifica, mide y compara costos con resultados para la mejor toma de decisiones, Parera (2009).	Se definen los costos de cada ensayo y se realiza un comparativo para evaluar cuál es el más económico.	Análisis de tiempo y costo de los ensayos	Costo del ensayo (S/.)	Razón

### ANEXO 03: FICHAS TÉCNICAS.



#### FICHA TECNICA Nº 1

INDICADOR: Determinación del contenido de humedad método gravimétrico y sensor capacitivo para suelo en laboratorio.

TESIS: Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.

UBICACIÓN:

FECHA:

TIPO DE SUELO:

AUTORES: Sandro Paz Guillen, Hector Mamani Mamani

Nro muestra	Lectura sensor (mV)	Código capsula	Wcap (g)	Wcap + Wsh (g)	Wcap + Wseco (g)	W%
N0						
N1						
N2						
N3						
N4						
N5						
N6						
N7						
N8						
N9						
N10						
N11						
N12						
N13						
N14						

#### VALIDACION: JUICIO DE EXPERTO

EXPERTOS	NOMBRE	C.I.P. Nº	FIRMA	PUNTAJE
EXP. 01	César Antonio Ugaz La Rosa	148305		1
EXP. 02	Leonel Chaina Castro	168437	 Leonel Chaina Castro INGENIERO CIVIL CIP 168437	1
EXP. 03	Sebastian Quispe Ccarita	170058	 Sebastian Quispe Ccarita INGENIERO CIVIL CIP Nº 170058	1
PROMEDIO				1

Nota: Los expertos validarán con puntaje de 0 a 1.

**FICHA TECNICA Nº 2**

INDICADOR: Determinación del contenido de humedad con sensor capacitivo en campo.  
 TESIS: **Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.**  
 UBICACIÓN:  
 FECHA:  
 TIPO DE SUELO:  
 AUTORES: Sandro Paz Guillen, Hector Mamani Mamani

Item	L(mV)	%W	L prom	% W prom
N1				
N2				
N3				
N4				
N5				
N6				
N7				
N8				
N9				
N10				
N11				
N12				
N13				
N14				
N15				
N16				
N17				
N18				
N19				
N20				

**VALIDACION: JUICIO DE EXPERTO**

EXPERTOS	NOMBRE	C.I.P. Nº	FIRMA	PUNTAJE
EXP. 01	<i>César Antonio Vargas Ros</i>	148305	<i>[Firma]</i>	1
EXP. 02	<i>Sebastian Quispe Cocorito</i>	170058	<i>[Firma]</i> Sebastian Quispe Cocorito INGENIERO CIVIL CIP N° 170058	1
EXP. 03	<i>Leonel Chaima Castro</i>	168439	<i>[Firma]</i> Leonel Chaima Castro INGENIERO CIVIL CIP 168439	1
			PROMEDIO	1

Nota: Los expertos validaran con puntaje de 0 a 1.

**FICHA TECNICA Nº 3**

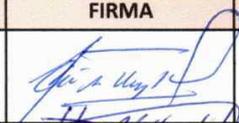
INDICADOR: Coeficiente de determinación R2  
 TESIS: **Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.**  
 UBICACIÓN:  
 FECHA:  
 TIPO DE SUELO:  
 AUTORES: Sandro Paz Guillen, Hector Mamani Mamani

MUESTRA	LECTURA DE SENSOR (L)	PORCENTAJE DE HUMEDAD (%W)
N0		
N1		
N2		
N3		
N4		
N5		
N6		
N7		
N8		
N9		
N10		
N11		
N12		
N13		
N14		

Coeficiente de determinación R2 =

Ecuación %W=f(L):

**VALIDACION: JUICIO DE EXPERTO**

EXPERTOS	NOMBRE	C.I.P. Nº	FIRMA	PUNTAJE
EXP. 01	César Antonio Vargas La Rosa	148305		1
EXP. 02	Leonel Chuano Castro	168434	 Leonel Chuano Castro INGENIERO CIVIL CIP Nº 168434	1
EXP. 03	Sebastián Quirope Coarita	170058	 Sebastián Quirope Coarita INGENIERO CIVIL CIP Nº 170058	1
			PROMEDIO	1

**Nota:** Los expertos validaran con puntaje de 0 a 1.

**FICHA TECNICA Nº 4**

INDICADOR:

Pesos retenidos en gramos para la conformación de un suelo de base con gradación A.

TESIS:

**Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.**

UBICACIÓN:

FECHA:

TIPO DE SUELO:

AUTORES:

Sandro Paz Guillen, Hector Mamani Mamani

Tamaño		Gradación A		% que pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	g Peso Retenido
Malla	Abertura						
ASTM	mm						
2"	50.600	100	100				
3/8"	9.525	30	65				
<b>No4</b>	<b>4.760</b>	<b>25</b>	<b>55</b>				
No10	2.000	15	40				
No40	0.420	8	20				
No200	0.074	2	8				
<b>Base</b>							
<b>Peso total</b>						<b>100.00</b>	

**VALIDACION: JUICIO DE EXPERTO**

EXPERTOS	NOMBRE	C.I.P. Nº	FIRMA	PUNTAJE
EXP. 01	César Antonio Ugaz La Rosa	148305		1
EXP. 02	Leonel Chaiña Castro	168439	 Leonel Chaiña Castro INGENIERO CIVIL CIP 168439	1
EXP. 03	Sebastián Quispe Canita	170058	 Sebastián Quispe Canita INGENIERO CIVIL CIP N° 170058	1
<b>PROMEDIO</b>				<b>1</b>

Nota: Los expertos validaran con puntaje de 0 a 1.

**FICHA TECNICA N° 5**
**INDICADOR:**

Pesos retenidos en gramos para la conformación de un suelo de base con gradación D.

**TESIS:**
**Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.**
**UBICACIÓN:**
**FECHA:**
**TIPO DE SUELO:**
**AUTORES:**

Sandro Paz Guillen, Hector Mamani Mamani

Tamaño		Gradación D		% que pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	g Peso Retenido
Malla ASTM	Abertura mm						
3"	76.200						
2"	50.600						
1"	25.000	100	100				
3/8"	9.525	60	100				
<b>No4</b>	<b>4.760</b>	<b>50</b>	<b>85</b>				
No10	2.000	40	70				
No40	0.420	25	45				
No200	0.074	8	15				
<b>Base</b>							
<b>Peso total</b>						100.00	
<b>% de pérdida</b>							

**VALIDACION: JUICIO DE EXPERTO**

EXPERTOS	NOMBRE	C.I.P. N°	FIRMA	PUNTAJE
EXP. 01	<i>César Antonio Rojas Torres</i>	148305	<i>[Firma]</i>	1
EXP. 02	<i>Leonel Chaiña Castro</i>	168439	<i>[Firma]</i> Leonel Chaiña Castro INGENIERO CIVIL CIP 168439	1
EXP. 03	<i>Sebastián Quispe Ccarita</i>	170058	<i>[Firma]</i> Sebastián Quispe Ccarita INGENIERO CIVIL CIP N° 170058	1
			PROMEDIO	1

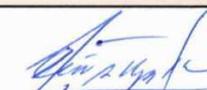
Nota: Los expertos validaran con puntaje de 0 a 1.

**FICHA TECNICA N° 6**

INDICADOR: Tiempo de obtención de resultados con sensor de humedad (minutos)  
 TESIS: **Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.**  
 UBICACIÓN:  
 FECHA:  
 TIPO DE SUELO:  
 AUTORES: Sandro Paz Guillen, Hector Mamani Mamani

TIEMPO DE OBTENCION DE RESULTADOS (min)		
MUESTRA	METODO GRAVIMETRICO	SENSOR DE HUMEDAD
N0		
N1		
N2		
N3		
N4		
N5		
N6		
N7		
N8		
N9		
N10		
N11		
N12		
N13		
N14		
PROMEDIO		

**VALIDACION: JUICIO DE EXPERTO**

EXPERTOS	NOMBRE	C.I.P. N°	FIRMA	PUNTAJE
EXP. 01	<i>César Antonio Uguz La Ross.</i>	148305		1
EXP. 02	<i>Leonel Chañá Castro</i>	168439	 Leonel Chañá Castro INGENIERO CIVIL CIP 168439	1
EXP. 03	<i>Sebastian Quispe Ccarita</i>	170058	 Sebastian Quispe Ccarita INGENIERO CIVIL CIP N° 170058	1
	PROMEDIO			1

Nota: Los expertos validaran con puntaje de 0 a 1.

**FICHA TECNICA N° 8**

INDICADOR: Costo del ensayo de humedad de suelo (S/)  
 TESIS: **Control de humedad en suelos heterogéneos de infraestructura vial aplicando sensor capacitivo, Cusco, 2021.**  
 UBICACIÓN:  
 FECHA:  
 TIPO DE SUELO:  
 AUTORES: Sandro Paz Guillen, Hector Mamani Mamani

**CUADRO N° 1**

COSTO DEL ENSAYO (S/)		
DESCRIPCION	GRAVIMETRICO	HUMEDAD
COSTO DEL ENSAYO		
<b>TOTAL</b>		

**CUADRO N° 2**

COSTO DE IMPLEMENTACION DE SENSOR DE HUMEDAD (S/)	
TAMIZ N°10	
SOPORTE + PROBETA	
PANTALLA VISOR	
SENSOR DE HUMEDAD	
PLACA ARDUINO	
ACCESORIOS	
BATERIA 5 V DE LITIO	
CAJA PORTA SENSOR	
INTERRUPTOR	
HORAS HOMBRE	
<b>COSTO DIRECTO S/</b>	
<b>GG Y UTILIDADES</b>	
<b>SUB TOTAL</b>	
<b>IGV 18%</b>	
<b>TOTAL S/</b>	
COSTO DE ENSAYO 1% DEL TOTAL	

**CUADRO N° 3**

COSTO DEL ENSAYO COTENIDO DE HUMEDAD METODO GRAVIMETRICO (S/)	
TRANSPORTE DE LA MUESTRA	
COSTO DEL ENSAYO	
<b>TOTAL S/ (incluido IGV)</b>	

Nota: El monto total de cuadro N° 2 y N° 3 se consignará en el cuadro N° 1.

**VALIDACION: JUICIO DE EXPERTO**

EXPERTOS	NOMBRE	C.I.P. N°	FIRMA	PUNTAJE
EXP. 01	<i>César Antonio Ugo La Rosa</i>	148305	<i>[Firma]</i>	1
EXP. 02	<i>Leonel Chaim Castro</i>	168439	Leonel Chaim Castro INGENIERO CIVIL CIP N° 168439	1
EXP. 03	<i>Sebastian Quispe Covita</i>	170058	<i>[Firma]</i> Sebastian Quispe Covita INGENIERO CIVIL CIP N° 170058	1
<b>PROMEDIO</b>				<b>1</b>

Nota: Los expertos validaran con puntaje de 0 a 1.

# ANEXO 04: CERTIFICADOS DE CALIBRACION DE EQUIPOS



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

Página 1 de 3

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CLM-575-2022

<b>Solicitante</b>	: ARBULU JURADO CESAR EGBERTO	<b>Misión:</b> Prestar servicios con política de mejoramiento continuo y cumplimiento con las normas y especificaciones técnicas equales en máquinas y equipos para medición y ensayos.
<b>Dirección</b>	: Av. MICAELA BASTIDAS 258 Of. 704 - WANCHAQ - CUSCO	<b>Visión:</b> 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.
<b>Instrumento de Medición</b>	: COPA CASA GRANDE	
<b>Marca:</b>	: PINZUAR	
<b>Modelo:</b>	: PS11	
<b>Serie:</b>	: 9546	
<b>Identificación:</b>	: NO INDICA	
<b>Procedencia:</b>	: COLOMBIA	
<b>Contador</b>	: ANALOGO	
<b>División mínima:</b>	: 1	
<b>Lugar de Calibración</b>	: Lab. Longitud de Metrotest E.I.R.L.	
<b>Fecha de Calibración</b>	: 2022-01-21	
<b>Fecha de Emisión</b>	: 2022-01-21	

**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 Casa Grande 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 Límite Líquido de los Suelos MTCE 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 documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.  
METRO TEST 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 interpretaciónes 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.



METROTEST E.I.R.L.  
LABORATORIO DE METROLOGÍA  
LONGITUD



Lugo-Morero G.  
Jefe de Metrología

Av. Aristóbolo Solares 484 Dpto. 102 UG. Píezaga de Villa Sol - Los Olivos    www.metrotesteirl.com / metrotestlog@ig@hotmail.com / ventas@metrotesteirl.com  
Tel: 528-7898    Móvil: 528-3324    Email: 997 046 343 / 9962 880 991  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROTEST E.I.R.L.



**PINZUAR LTDA**  
ALTA PRECISIÓN TECNOLÓGICA - LLEVADA AL REFINOCIO 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**

AG-P-01-F-14/Rev 04 Valido desde 2017-11-18

*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



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CTM-100-2022

Página 1 de 5

Solicitante : CONSULTORA ITHENDA E.I.R.L.  
Dirección : AV. MICHAELA BASTIDAS NRO. 250 INT. 704  
CERCADO DE WANCHAQ - CUSCO - WANCHAQ  
Equipo de Medición : HORNO ELECTRICO  
Marca : METROTEST  
Modelo : MS-111  
Procedencia : PERU  
Codigo de Identificación : NO INDICA  
Número de Serie : 839  
Temperatura de trab : 110 °C ± 10 °C  
Ventilación : Natural  
Lugar de Calibración : Lab. Temperatura de Metrotest E.I.R.L.

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.  
Terminos como objetivo alcanzar el  
líderazgo 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.

### Instrumento de Medición:

Nombre	Marca	Modelo	Código de Identificación	Alcance de Indicación	División mínima	Tipo de Indicación
Termómetro controlador	ALTONICS	TCN65	NO INDICA	200°C	1°C	Digital

Fecha de Calibración : 2022-05-21

Fecha de Emisión : 2022-05-21

### Método de Calibración Empleada

La calibración se realizó tomando como referencia el Método de Comparación entre las indicaciones de lectura del termómetro controlador del equipo a calibrar con Termómetro patrón con 10 termopares utilizando el "Procedimiento de INDECOPVSNM PC-005 1ª Ed. "Procedimiento para la Calibración de Hornos".

### Observaciones

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.



Luigi Asenjo G.  
Jefe de Metrología

## Informe 113-CEAJ-2022

### Datos generales:

Solicitante(s): Héctor Mamani; Sandro Paz.

Fecha del ensayo: del 8 de febrero al 15 de febrero de 2022.

Localización de los equipos: Av. Micaela Bastidas 258, Wanchaq, Cusco, Perú.

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



### Ámbito de uso y aplicación del presente informe.

**Resumen.** El "Manual de Ensayo de Materiales" del Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local. **Una universidad, sea nacional o particular, NO es órgano de gestión de la infraestructura vial del gobierno,** por lo tanto, dentro de sus actividades no le es aplicable el mencionado reglamento de manera obligatoria.

**Segundo.** El D.S. N° 034-2008-MTC en su "Artículo 3 Del ámbito de aplicación" a la letra dice: "... es de aplicación por los tres niveles de gobierno...". No obstante, cualquier universidad en el Perú, especialmente las universidades particulares no son parte del nivel de gobierno del Perú, por lo que **las normas del MTC no les son aplicables de manera obligatoria.**

**Tercero. INVESTIGAR NO ES HACER RESIDENCIA DE OBRA:** Hacer una tesis es aplicar la Ingeniería científica y no la práctica estándar (proyectista, residente, supervisor, liquidador o gerente de obras, etc.) de la Ingeniería civil. Por lo tanto, el presente instrumento tiene su uso exclusivo dentro de una tesis de investigación y no es válido para aceptar o rechazar tramos de carreteras en la ejecución de obra.

En tal sentido y por lo expuesto, de haber alguna observación al presente documento y sus resultados, se solicita a los revisores **hacerlo por escrito, mencionando expresamente la norma interna de la universidad, oportunamente validada y que oblige a la aplicación de normas nacionales como las del MTC.** Cabe reconocer que, los ensayos cuyo resultado se detallan a continuación, fueron hechos para una tesis de investigación científica, y no como parte del control de calidad de materiales para residencia de obra en la gestión de la infraestructura vial.

**Quarto.** Tanto la norma de pavimentos, como las normas del MTC, así como la norma de suelos y cimentaciones en el Perú requieren que un informe como el presente sea firmado por un **ingeniero civil colegiado y habilitado,** siendo el único requisito para su validez.

### Resultados:

#### Contenido de humedad en Arena.

El algoritmo de ensayo se tomó de la norma ASTM D2216-19 "Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass" (disponible por \$4 dólares americanos en: [www.astm.org](http://www.astm.org)).

N	Lectura sensor (Análogo 0)	Lectura sensor (mV)	Cód. Cáp.	W cap (g)	Wcap + Wsh (g)	Wcap + Wssecos (g)	W%_Arenas
N1	504	2.71	119	46.8	98.6	98.5	0.19
N2	482	2.59	108	47.6	105.7	105.5	0.35
N3	465	2.50	109	47.6	106.4	105.9	0.86
N4	478	2.57	41	47.1	117.8	117	1.14
N5	466	2.50	43	47.2	122.7	121.7	1.34
N6	454	2.44	101	47.4	142.9	143.2	1.81
N7	426	2.29	100	47.9	122.1	120.4	2.34
N8	416	2.23	114	48.2	129.7	127.6	2.64
N9	419	2.25	42	47.3	141	138.1	3.19
N10	400	2.16	118	47.9	120.6	118	3.71
N11	397	2.13	104	46.3	164.9	160.8	3.58
N12	386	2.07	112	46.9	133.5	129.5	4.84
N13	388	2.08	46	47.6	138.4	133.9	5.21
N14	379	2.04	2	20.8	86.7	81.3	5.78
N15	366	1.97	14	20.5	87.5	81.5	6.35
N16	360	1.93	10	20.7	90.8	86.3	6.86
N17	366	1.97	6	20.7	80.8	76.6	7.51
N18	352	1.89	33	21	89	83.8	8.28

1 (p/v): lectura del sensor en milivoltios que resulta de dividir la lectura analógica entre 1024 y multiplicarla por 5.5.

**Contenido de humedad en limo.**

El algoritmo de ensayo se tomó de la norma ASTM D2216-19 "Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass" (disponible por 51 dólares americanos en: [www.astm.org](http://www.astm.org)).

Nro muestra	Lectura sensor (Análogo Ø)	Lectura sensor (mV)	Código capsula	W cap (g)	Wcap + Wsh (g)	Wcap + Wseco (g)	WNL_Limo
N19	534	2.81	18	21.8	59.4	59.4	0.00
N20	502	2.70	27	21.1	60	60	0.00
N21	491	2.64	15	20.9	60.5	60.5	0.00
N22	482	2.59	37	21.2	58.5	58.4	0.27
N23	481	2.58	34	21.4	61	60.8	0.51
N24	475	2.55	11	20.9	62.9	62.8	0.24
N25	466	2.50	1	21.2	66.6	66.3	0.67
N26	459	2.47	1	20.5	55.1	55	0.87
N27	465	2.50	12	21.6	65.5	65.1	0.92
N28	467	2.51	24	20.5	61.1	62.7	0.95
N29	448	2.41	4	20.5	58.4	58.9	1.30
N30	446	2.40	35	21.7	61.2	60.7	1.38
N31	443	2.38	13	22	67	66.2	1.81
N32	470	2.52	8	20.8	60.7	60	1.79
N33	437	2.35	28	21.6	56.3	55.6	2.06
N34	443	2.38	19	21.4	59.2	58.3	2.44
N35	437	2.35	29	21.3	55.2	54.2	2.04
N36	443	2.38	25	20.9	64.3	62.9	3.33
N37	426	2.29	21	21.6	62.2	60.8	3.57
N38	412	2.21	23	20.4	65.6	63.8	4.15
N39	419	2.25	38	21.1	61	59.2	4.72
N40	425	2.28	9	20.2	70.2	67.7	5.26
N41	423	2.27	32	21.2	76.4	73.4	5.75
N42	424	2.28	20	21.6	74.8	71.6	6.40
N43	407	2.19	30	21.1	71.2	67.6	7.74
N44	392	2.11	17	20.8	70.9	66.9	8.68
N45	393	2.11	105	46.9	106.9	101.6	9.69

1 (mV): lectura del sensor en milivolts que resulta de dividir la lectura analógica entre 1024 y multiplicarla por 5.5.

Clasificación del limo trabajado.

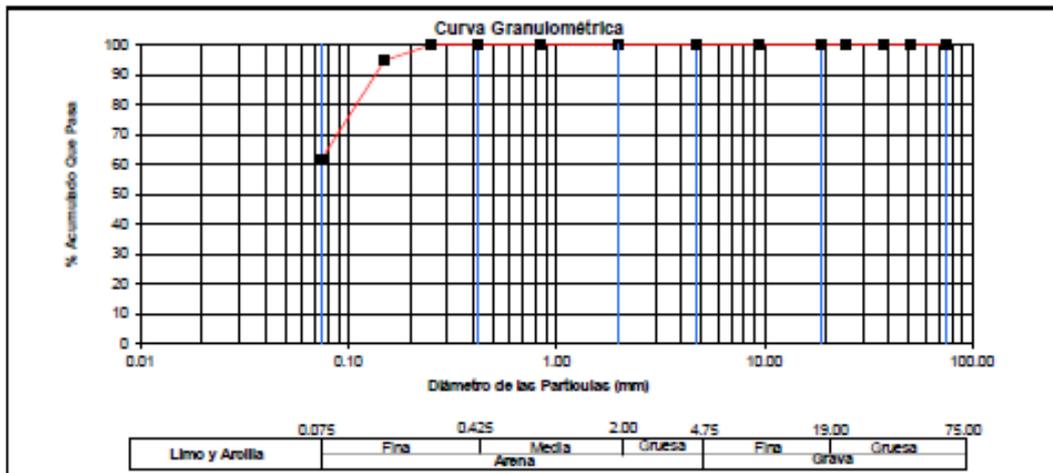
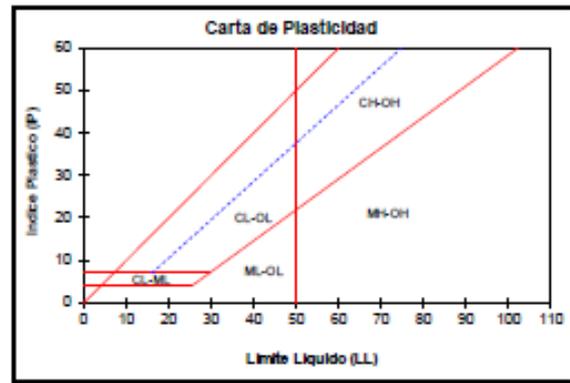
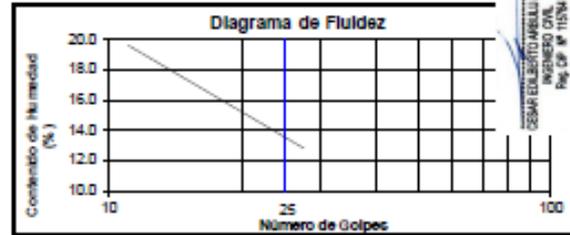
ENSAYOS : ESTANDAR DE CLASIFICACION  
 NORMAS : ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487  
 SOLICITANTE : Aydee Lezama  
 FECHA : 6-feb-2022

GEOPROYECTOS MEXILLI ARMANDO  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CP. N° 11574

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"	100.00
		4.750	No 004	100.00
		2.000	No 010	100.00
		0.850	No 020	100.00
		0.425	No 040	100.00
		0.250	No 060	100.00
		0.150	No 100	94.77
		0.075	No 200	51.87
D10 (mm)	0.0252	Cu	2.87	
D30 (mm)	0.0383	Cc	0.81	
D60 (mm)	0.0721			

PESO ESP. RELATIVO DE SÓLIDOS (Gs)		#/REP!
PESO ESPECÍFICO NATURAL (γ)	(gr/cc)	#/REP!
HUMEDAD NATURAL (w)	(%)	0.00
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	(%)	27.37
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	(%)	23.27
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	(%)	4.10
LÍMITE DE CONTRACCIÓN (LC)	(%)	-

CLASIFICACION S.U.C.S. : **ML**



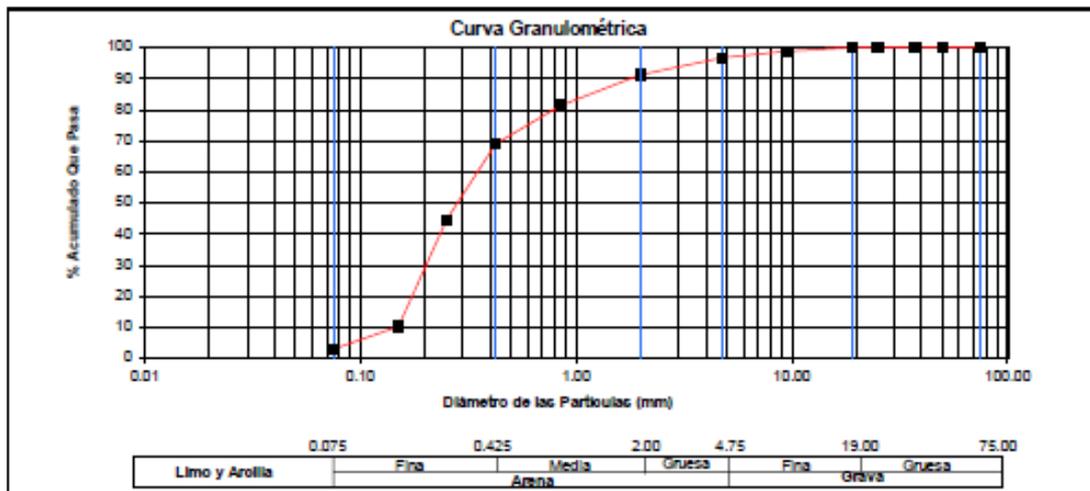
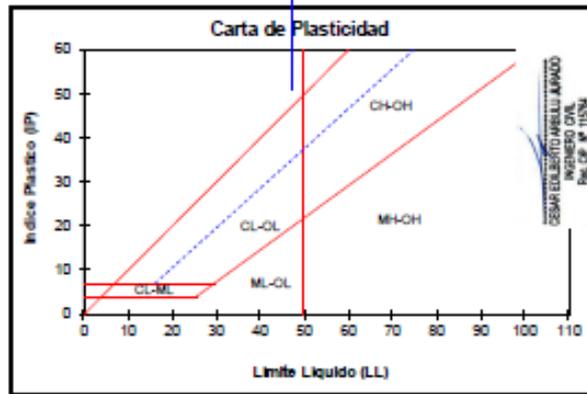
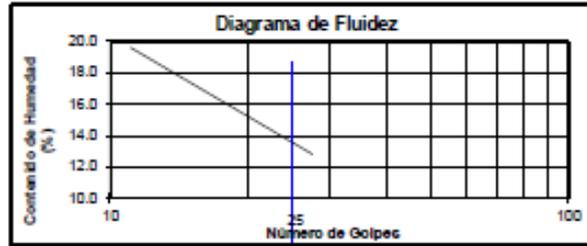
### Clasificación de la arena trabajada

ENSAYOS : ESTANDAR DE CLASIFICACION  
 NORMAS : ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487  
 SOLICITANTE : 0.00  
 FECHA : 7-feb-2022

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"	98.69
		4.750	No 004	95.67
		2.000	No 010	91.13
		0.850	No 020	81.22
		0.425	No 040	68.78
		0.250	No 060	44.47
		0.150	No 100	10.12
		0.075	No 200	2.85
		D10 (mm)	0.1483	Cu
D30 (mm)	0.2016	Cc	0.78	
D60 (mm)	0.3509			

PESO ESP. RELATIVO DE SÓLIDOS (Gs)		#REF!
PESO ESPECÍFICO NATURAL (γ)	(gr/cc)	#REF!
HUMEDAD NATURAL (w)	(%)	0.00
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	(%)	18.70
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	(%)	10.34
ÍNDICE PLÁSTICO (PI)	(%)	8.36
LÍMITE DE CONTRACCIÓN (LC)	(%)	-

CLASIFICACION S.U.C.S. : SM





**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 123-2021 PLT**

Página 1 de 4

Fecha de Emisión : 2021-05-18

1. SOLICITANTE : TIBUR CONSULTORA & CONSTRUCCION S.R.L.

DIRECCIÓN : AV. REPUBLICA DE BRASIL MZA. G LOTE 10  
URB. KENNEDY CUSCO - CUSCO - WANCHAG

2. EQUIPO DE MEDICIÓN: HORNO ELÉCTRICO

MARCA : PINZUAR

MODELO : PG - 190

NÚMERO DE SERIE : 371

PROVINCIA : COLOMBIA

IDENTIFICACIÓN : NO INDICA

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre se determinó según la "Guía para la Expansión de la Incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PINZUAR LTDA, Sucursal del Perú, no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí otorgados.

**Descripción del Termómetro del Equipo**

Tipo : Digital

Alcance de Indicación : 0°C a 200°C

División de Escala : 0,1 °C

**3. FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN**

Calibrado el 2021-05-18

La calibración se realizó en Laboratorio de PINZUAR LTDA SUCURSAL DEL PERU

**4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN**

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrón calibrados que tienen la acreditación a la Escala Internacional de Temperatura de 1990, se usó el procedimiento PC-0 B "Calibración de Medios con Aire como Medio Termométrico", edición 2, Junio 2009, del SNM-INDECOPI-Perú.

**5. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN**

	Inicial	Final
Temperatura °C	18.5	8.3
Humedad Relativa %HR	71	71

**6. TRAZABILIDAD**

Los resultados de calibración tienen trazabilidad a los patrones nacionales, aprobados de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PINZUAR LTDA	Termómetro digital con diez termopares	121-2021 PLT



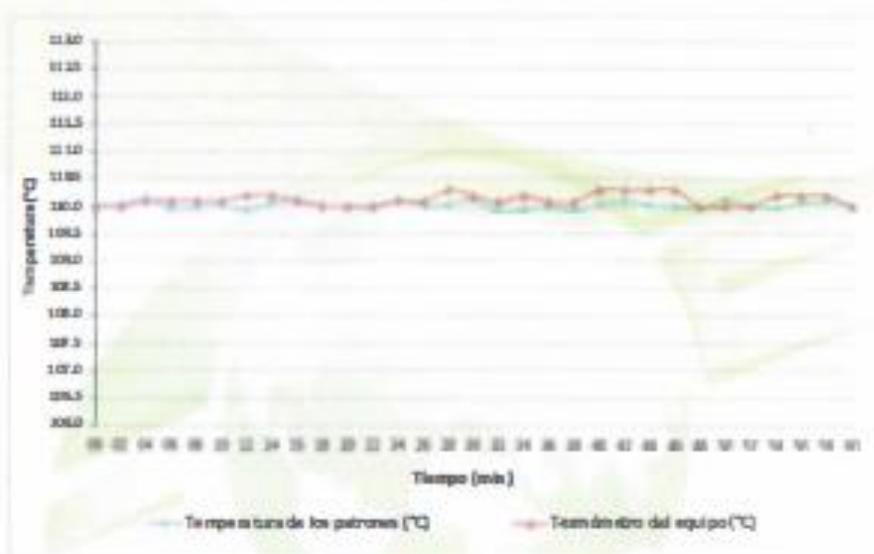
Tec. Gémele Hernández Rodríguez  
Responsable del Laboratorio de Metrología

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

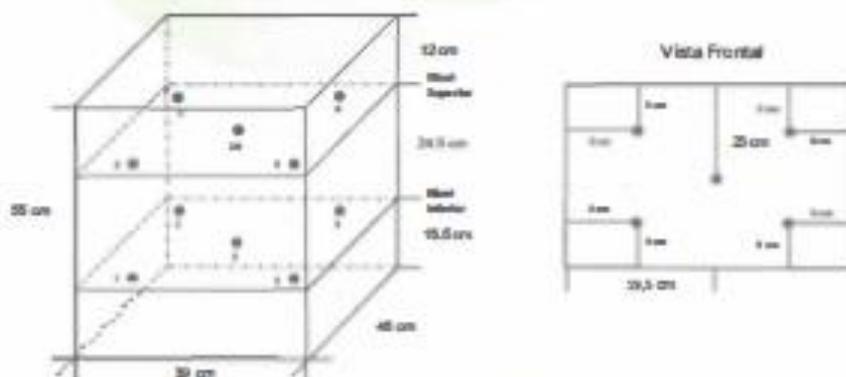


DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN EL EQUIPO

TEMPERATURA DE TRABAJO 110°C



UBICACIÓN DE LOS SENSORES



Los sensores se colocaron a 5 cm de altura sobre sus respectivos niveles.



ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVIDOR DEL MUNDO

## 7. RESULTADOS DE MEDICIÓN

TEMPERATURA DE TRABAJO : 110°C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	Indicación termómetros patróns (°C)										T. Prom. (°C)	Tmax-Tmin (°C)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110.0	110.1	109.9	109.9	110.1	110.0	110.0	110.0	110.1	110.1	110.1	110.0	0.2
02	110.0	110.0	110.1	110.0	110.1	110.0	110.1	110.0	110.0	110.1	110.0	110.0	0.6
04	110.1	110.1	110.2	110.1	110.2	110.2	110.4	110.0	110.1	110.2	110.0	110.2	0.4
06	110.1	110.0	109.9	110.0	109.9	109.9	110.0	110.0	110.1	109.8	109.9	110.0	0.3
08	110.1	110.0	109.9	110.0	109.9	110.0	110.0	110.0	110.1	109.9	109.9	110.0	0.2
10	110.1	110.1	110.0	109.9	110.3	109.8	109.9	110.2	110.0	110.0	109.9	110.0	0.5
12	110.2	110.2	110.2	110.3	109.8	109.8	110.2	110.3	109.9	109.8	109.7	109.9	1.3
14	110.2	110.2	110.2	110.2	109.9	109.8	110.2	110.2	109.8	109.7	110.3	110.1	0.6
16	110.1	110.3	110.0	110.2	109.9	110.3	110.2	110.2	110.0	110.2	109.8	110.1	0.5
18	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	109.9	110.2	110.2	109.8	110.0	110.0	0.4
20	110.0	110.0	110.0	109.9	110.0	110.0	109.9	109.9	109.9	110.2	110.1	110.0	0.3
22	110.0	110.0	110.0	109.8	109.8	109.8	110.8	110.0	110.0	110.0	110.2	110.0	0.4
24	110.1	110.2	110.2	110.2	110.1	110.2	110.0	110.0	109.9	110.2	110.0	110.1	0.3
26	110.1	110.1	109.9	109.9	110.2	110.0	110.0	110.0	110.1	110.1	109.9	110.0	0.3
28	110.3	110.2	110.1	110.0	110.1	110.0	110.1	110.0	110.0	110.1	109.9	110.1	0.3
30	110.2	110.1	110.1	110.0	110.2	110.2	110.4	109.9	110.3	110.2	110.0	110.1	0.5
32	110.1	110.0	109.9	110.0	109.9	109.8	110.0	110.0	110.1	109.8	109.9	109.9	0.5
34	110.2	110.0	109.9	110.0	109.9	110.0	110.0	110.0	110.1	109.9	109.9	110.0	0.2
36	110.1	110.1	110.0	109.9	110.3	109.8	109.8	110.2	110.0	110.0	109.9	110.0	0.5
38	110.1	110.2	110.2	110.3	109.8	109.8	110.2	110.3	109.9	110.0	109.7	110.0	1.3
40	110.3	110.2	110.2	110.2	109.9	109.8	110.2	110.2	109.8	109.7	110.3	110.1	0.6
42	110.3	110.3	110.0	110.2	109.9	110.3	110.2	110.2	110.0	110.2	109.8	110.1	0.5
44	110.3	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	109.9	110.2	110.2	109.8	110.0	110.0	0.4
46	110.3	110.0	110.0	109.9	110.0	110.0	109.9	109.9	109.9	110.2	110.1	110.0	0.3
48	110.0	110.0	110.0	110.0	109.8	109.8	109.8	110.0	110.0	110.0	110.2	110.0	0.4
50	110.0	110.2	110.2	110.2	110.1	110.2	110.0	110.0	109.9	110.2	110.0	110.1	0.3
52	110.0	110.1	110.0	109.9	110.3	109.9	109.9	110.2	110.0	110.0	109.9	110.0	0.4
54	110.2	110.2	110.2	110.3	110.0	109.9	110.2	110.3	109.9	109.8	109.7	110.0	1.3
56	110.2	110.2	110.2	110.2	109.9	109.9	110.2	110.2	109.8	109.7	110.3	110.1	0.6
58	110.2	110.3	110.0	110.2	109.9	110.1	110.2	110.2	110.0	110.2	109.8	110.1	0.5
60	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	109.9	110.2	110.2	109.8	110.0	110.0	0.4
T. PROM.	110.1	110.1	110.0	110.1	110.0	110.0	110.1	110.1	109.9	110.0	110.0	110.0	
T. MAX	110.3	110.3	110.2	110.3	110.3	110.3	110.4	110.3	110.3	110.2	110.3		
T. MIN	110.0	110.0	109.9	109.8	109.8	109.8	109.8	109.9	109.9	109.7	109.7		
DTT	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	0.6	0.4	1.3	0.5	0.6		

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	110.3	0.8
Mínima Temperatura Medida	109.8	1.1
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1.3	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	0.2	2.5
Exactitud Medida (p)	1.3	0.04
Uniformidad Medida	1.3	1.9

T. PROM: Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.  
 T. Prom: Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición en un instante dado.  
 T. MAX: Temperatura máxima.  
 T. MIN: Temperatura mínima.  
 DTT: Desviación de temperatura en el tiempo.



ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO



No.

000232

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°123-2021 PLT

Página 3 de 4

### B. OBSERVACIONES

Los resultados obtenidos corresponden al promedio de 31 lecturas por punto de medición considerando, luego del tiempo de estabilización.

Las lecturas se iniciaron luego de un precalentamiento y estabilización de 2 y 50 min.

El esquema de distribución y posición de los termopares calibrados en los puntos de medición se muestra en la página 4.

Para la temperatura de 110°C

La calibración se realizó sin carga.

El selector de temperatura se ubicó a 110°C.

El promedio de temperatura durante la medición fue 109°C.

La máxima temperatura registrada fue 110,5°C y la mínima temperatura registrada fue 107°C.

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.





LABORATORIO DE  
METROLOGÍA

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD  
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 310-2021 GLM

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN	: 2021-10-28	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura <math>k=2</math>. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.</p> <p>Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición, o a reglamentaciones vigentes.</p> <p>G &amp; L LABORATORIO S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p>
1. SOLICITANTE	: GRUPO ALLPA INGENIERIA Y CONSTRUCCION LTDA	
DIRECCIÓN	: AV. COSTANERA MZA. D LOTE. 5 CUSCO – WANCHAO	
2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	: BALANZA	
MARCA	: OHAUS	
MODELO	: PAJ4102	
NÚMERO DE SERIE	: 8635063618	
ALCANCE DE INDICACIÓN	: 4100 g	
DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN	: 0.01 g	
DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e)	: 0.1 g	
PROCEDENCIA	: CHINA	
IDENTIFICACIÓN	: NO PRESENTA	
TIPO	: ELECTRÓNICA	
UBICACIÓN	: LABORATORIO	
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2021-10-21	
3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN	: Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II, PC - 011 del SNM-INDECOPI, EDICIÓN 4ª - ABRIL, 2010.	
4. LUGAR DE CALIBRACIÓN	: LAB. DE SUELOS Y CONCRETO DE GRUPO ALLPA INGENIERIA Y CONSTRUCCION LTDA AV. COSTANERA MZA. D LOTE. 5 CUSCO	



Gilmer [Signature] Responsable del Laboratorio de Metrología



Teléfono:  
011 622 - 5814  
Celular:  
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:  
laboratorio@laboratorio@gmail.com  
servicio@gllaboratorio.com

Av. Miraflores Mt. E Lt. 60  
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos  
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



**G&L**  
LABORATORIO S.A.C.

LABORATORIO DE  
METROLOGÍA

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD  
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº 310-2021 GLM

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	18.7 °C	18.7 °C
Humedad Relativa	39 %	39 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de DM - INACAL	Pesas (exactitud E2)	LM - C - 216 - 2020

7. OBSERVACIONES

Para 4000 g la balanza indicó 4000.5 g. Se ajustó y se procedió a su calibración.

Los errores máximos permitidos (emp) para esta balanza corresponden a los emp para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 004 - 2010.

Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	SI/NO	ESCALA	NO SI/NO
OSCILACIÓN LIBRE	SI/NO	CURSOR	NO SI/NO
PLATAFORMA	SI/NO	NIVELACIÓN	SI/NO
SISTEMA DE TRABAJO	NO SI/NO		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición Nº	Carga L1*	Inicial		Final		
		Temp. (°C)	18.7	18.7		
	3,000.00 g	3,000.00 g	E (g)	3,000.00 g	4,000.00 g	E (g)
1	1,999.94	0.005	-0.060	3,999.98	0.007	-0.022
2	1,999.94	0.007	-0.062	3,999.98	0.008	-0.021
3	1,999.94	0.004	-0.059	3,999.98	0.003	-0.017
4	1,999.94	0.005	-0.060	3,999.98	0.007	-0.022
5	1,999.94	0.006	-0.061	3,999.98	0.005	-0.020
6	1,999.94	0.004	-0.059	3,999.98	0.003	-0.018
7	1,999.94	0.005	-0.060	3,999.98	0.003	-0.018
8	1,999.94	0.006	-0.061	3,999.98	0.006	-0.021
9	1,999.94	0.007	-0.062	3,999.98	0.007	-0.022
10	1,999.94	0.004	-0.059	3,999.98	0.008	-0.023
Desviación máxima		0.003		0.006		
Error máximo permitido $\pm$		0.2 g		0.3 g		

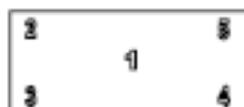


Teléfono:  
011 622 - 5814  
Celular:  
982 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:  
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com  
servicio@gylaboratorio.com

Av. Miraflores N°. E. Lt. 60  
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos  
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



Vista Frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>0</sub>				Determinación del Error corregido				
	Carga Mínima (g)	W (g)	Δ L (g)	E <sub>0</sub> (mg)	Carga L (g)	W (g)	Δ L (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)
1	0.10	0.10	0.005	0.000	1,399.98	1,399.98	0.007	-0.022	-0.022
2		0.10	0.007	-0.002		1,399.98	0.004	-0.019	-0.017
3		0.10	0.003	0.002		1,399.97	0.005	-0.020	-0.022
4		0.10	0.008	-0.003		1,399.98	0.004	-0.019	-0.018
5		0.10	0.005	0.000		1,399.98	0.007	-0.022	-0.022

(\*) ver entre 0 y 10 g

Error máximo permitido : ± 200.0 g

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CASCENTES				DESCASCENTES				emp (%)
	W (g)	Δ L (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	W (g)	Δ L (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
0.10	0.10	0.006	-0.001	0.000	0.10	0.006	-0.001	0.000	0.100
0.50	0.50	0.006	-0.001	0.000	0.50	0.006	-0.001	0.000	0.100
1.00	1.00	0.006	-0.003	-0.002	1.00	0.005	0.000	0.001	0.100
10.00	10.00	0.006	-0.001	0.000	10.00	0.007	-0.002	-0.001	0.100
100.00	100.00	0.007	-0.002	-0.001	100.00	0.006	-0.001	0.000	0.100
500.00	500.00	0.006	-0.001	0.000	500.00	0.004	0.001	0.002	0.100
900.00	799.98	0.007	-0.022	-0.021	799.98	0.005	-0.020	-0.019	0.200
1,000.00	899.98	0.004	-0.019	-0.018	899.98	0.006	-0.021	-0.020	0.200
2,000.00	1,999.98	0.006	-0.021	-0.020	1,999.98	0.003	-0.018	-0.017	0.200
3,000.00	2,999.98	0.007	-0.022	-0.021	2,999.98	0.005	-0.020	-0.019	0.300
4,100.00	4,099.97	0.006	-0.023	-0.022	4,099.97	0.006	-0.023	-0.022	0.300

(\*) error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R + 900E-08 \times R$$

$$U_x = 2 \sqrt{2.168E-08 g^2 + 004E-12 \times R^2}$$

C:\Users\G&L Laboratorio\

R: Lectura de la balanza    ΔL: Carga nominal    E: Error máximo permitido    E<sub>c</sub>: Error corregido

Número de tipo Científico    E=± 10<sup>n</sup>    (Ejemplo: E=05 = 10<sup>-5</sup>)



## 2.4. Materiales

Los materiales fueron provistos por el solicitante, consistente en: muestras alteradas en bolsas plasticas.

## 2.5. Datos y cálculos

Los datos y cálculos se encuentran con mayor detalle en los anexos.

## 3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizaron los siguientes ensayos: contenido de humedad natural, límites de consistencia, granulometría, clasificación SUCS; ~~Error! No se encuentra el origen de la referencia.~~, cuyos datos, cálculos y resultados se encuentran en los anexos.

Los resultados de los ensayos de laboratorio están resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Resumen de ensayos físicos de laboratorio

Muestra	C.H. (%)	Granulometría (%)			Límites (%)			SUCS	AASHTO
		Grava	Arena	Finos	L.P.	L.L.	I.P.		
M-01	4.1	59.9	24.9	15.3	14	29	15	GC	A-2-6 (0)

\* C.H.: Contenido de Humedad, L.P.: Límite plástico, L.L.: Límite Líquido, I.P.: Índice plástico y SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.

Los ensayos de contenido de humedad se encuentran en los anexos.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los ensayos de laboratorio se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resumen de ensayos físicos de laboratorio

Muestra	C.H. (%)	Granulometría (%)			Límites (%)			SUCS	AASHTO
		Grava	Arena	Finos	L.P.	L.L.	I.P.		
M-01	4.1	59.9	24.9	15.3	14	29	15	GC	A-2-6 (0)

\* C.H.: Contenido de Humedad, L.P.: Límite plástico, L.L.: Límite Líquido, I.P.: Índice plástico y SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.

Tabla 3. Resumen de ensayos de contenido de humedad en Graduación A

Muestra	Cód. Contenedor	Wc (gr)	Wc+sh (gr)	Wc+ss (gr)	C.H. (%)
M-01	F-08	21.00	46.66	46.35	1.22
M-02	F-12	21.84	55.56	54.89	2.03
M-03	F-07	21.53	60.31	59.22	2.89
M-04	P-07	23.17	58.22	56.90	3.91
M-05	K-09	23.05	60.01	58.28	4.91
M-06	F-04	21.28	63.94	61.55	5.93
M-07	P-01	21.87	60.69	58.24	6.74
M-08	P-02	22.15	57.93	55.33	7.84
M-09	F-18	20.66	56.34	53.36	9.11
M-10	F-09	21.09	57.65	54.21	10.39
M-11	A-10	19.79	58.40	54.38	11.62
M-12	F-24	21.58	66.51	61.48	12.61
M-13	A-11	19.79	55.49	51.22	13.59
M-14	F-14	21.75	74.01	67.36	14.58
M-15	F-15	21.35	72.31	65.28	16.00

\* Wc: Peso del contenedor, Wc+sh: Peso del contenedor más suelo húmedo, Wc+ss: Peso del contenedor más suelo seco, C.H.: Contenido de humedad.



¡¡AHORRA PAPEL, CONTRIBUYE CON TU GRANITO DE ARENA!!

Este informe puede ser descargado en el siguiente link:  
<https://www.silcolabsenla.com.pe/Informes/1347-wacbaq-test>



Tabla 4. Resumen de ensayos de contenido de humedad en Gradación D

Muestra	Cód. Contenedor	Wc (gr)	Wc+sh (gr)	Wc+ss (gr)	C.H. (%)
M-01	P-12	22.43	60.79	60.28	1.35
M-02	K-01	20.98	55.41	54.64	2.29
M-03	F-10	20.79	57.75	56.61	3.18
M-04	K-03	22.79	57.32	55.97	4.07
M-05	F-05	21.28	58.73	56.94	5.02
M-06	K-06	21.50	58.57	56.39	6.25
M-07	K-07	22.86	58.00	55.64	7.20
M-08	A-15	19.29	53.10	50.57	8.09
M-09	P-05	21.90	54.51	51.83	8.95
M-10	F-22	20.96	50.11	47.56	9.59
M-11	F-20	21.44	51.25	48.16	11.56
M-12	A-13	19.18	58.34	53.89	12.82
M-13	F-02	21.29	63.85	58.60	14.07
M-14	P-09	22.36	61.57	56.41	15.15
M-15	P-08	23.16	63.59	57.93	16.28

\* Wc: Peso del contenedor, Wc+sh: Peso del contenedor más suelo húmedo, Wc+ss: Peso del contenedor más suelo seco, C.H.: Contenido de humedad.

RESPONSABLE DE LABORATORIO  
  
 Ing. Sebastian Quispe Ccarita  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 170058



	<b>ALLPA LABORATORIO</b>		Código del Proyecto	INTAL-02-02
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOTECNIA DE SUELOS Y CONCRETO		Form. Aprob. por	L.C.C.
	<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>		Fecha: 05/03/2022	Registros CP-017
	NORMAS TÉCNICAS: MITC E 110, MITC E 111, ASTM D 4318 Y AASHTO T 99, T 90		Revisión: 07.0	Rev. por: T.A.D.C.
			V. 16.13	Fecha: 24/03/2022

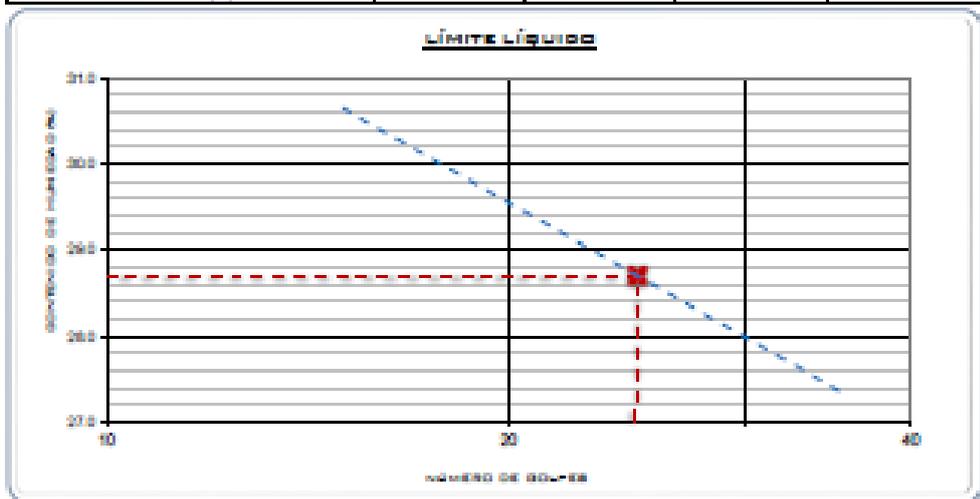
DATOS GENERALES	
<b>PROYECTO</b>	: Sensor Capacitivo de Humedad de Suelo
<b>SOLICITA</b>	: Ing. Hector Miansari y Sandro Paz
<b>UBICACIÓN</b>	: Cartera Sencca

DATOS ESPECÍFICOS			
<b>UBICACIÓN</b>	: Cartera Sencca	<b>CALICATA</b>	: C-01
<b>FECHA</b>	: jueves, 24 de Marzo de 2022	<b>MUESTRA</b>	: C-01
<b>HECHO POR</b>	: T.A.D.C. y R.C.C.	<b>PROFUNDIDAD</b>	: -

LÍMITE PLÁSTICO (MITC E 111, AASHTO T 99)				
Peso del Contenedor (gr.)	21.53	21.05	21.58	X
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	29.59	32.12	30.04	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	28.60	30.99	29.00	
Peso del Agua (gr.)	0.99	1.13	1.04	
Peso del Suelo Seco (gr.)	7.07	7.94	7.42	Rango*
Contenido de Humedad (%)*	14.0	14.2	14.0	0.23

\* El rango debe ser menor al 2.0 % para cumplir con la precisión exigida por el MITC.

LÍMITE LÍQUIDO (MITC E 110, AASHTO T 99)				
Número de Golpes	32	28	21	18
Peso del Contenedor (gr.)	30.98	21.39	20.97	23.15
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	35.07	35.08	32.21	34.22
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	32.02	32.05	29.66	31.64
Peso del Agua (gr.)	3.05	3.03	2.55	2.58
Peso del Suelo Seco (gr.)	11.04	10.66	8.69	8.49
Contenido de Humedad (%)	27.6	28.4	29.3	30.4



LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA			
Límite Plástico (%)	14	Índice de Plasticidad (%)	15
Límite Líquido (%)	29	Límite de Contracción (estimado) (%)	11

**Observaciones:** El ensayo se ha realizado según las exigencias del MITC.  
El ensayo de Límite Plástico cumple con la precisión exigida por el MITC.

RESPONSABLE DE LABORATORIO  
  
 Ing. Sebastián Quimpí Coariza  
 INGENIERO CIVIL  
 CP N° 17854



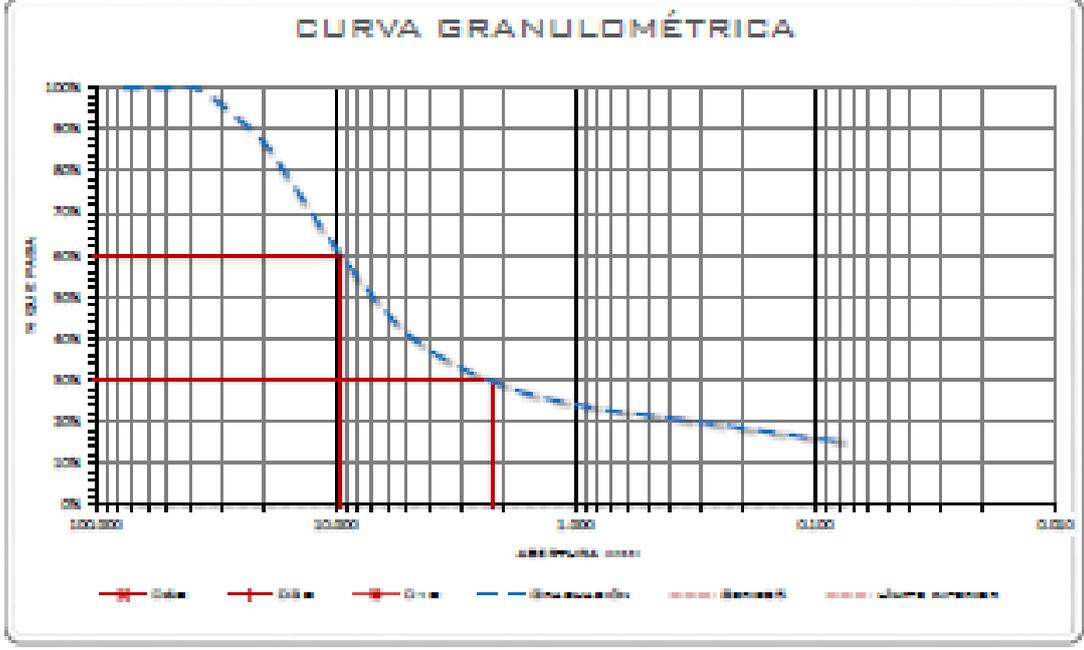
<b>ALPA LABORATORIO</b> LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, GEOTECNICA, MATERIAS PLÁSTICAS Y COMERCIALES <b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO</b> NORMAS TÉCNICAS A.T.C. 101, A.T.C. 102 y A.T.C. 103	Código del Proyecto	147000000
	Fecha de entrega por el Cliente	11/03/2022
	Fecha de recepción de la muestra	08/03/2022
	Fecha de entrega de los resultados	10/03/2022
	Página	1 de 1

DATOS GENERALES	
<b>PROYECTO :</b>	Sonno Capacitivo de Humedad de Suelo
<b>SOLICITA :</b>	Ing. Hector Mamani y Sandro Paz
<b>UBICACIÓN :</b>	Cantón Saraguro

DATOS ESPECÍFICOS			
<b>UBICACIÓN :</b>	Cantón Saraguro	<b>CALICATA :</b>	C-01
<b>FECHA :</b>	elaborada, 23 de Marzo de 2022	<b>MUESTRA :</b>	C-01
<b>HECHO POR :</b>	T.A.D.C. y I.S.A.	<b>PROFUNDIDAD :</b>	-

Tamiz	ABERTURA T.27 (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Ponderal	% Retenido Acumulado	% QUE PASA	Exposición		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
						Superior	Inferior			
3"	76.200	0.00	0.00%	0.00%	100.00%			Peso de Muestra		
2"	50.800	0.00	0.00%	0.00%	100.00%				Peso Total seco (g.)	6000.20
1 1/2"	38.100	0.00	0.00%	0.00%	100.00%				Peso Después de Leve (g.)	5528.50
1"	25.400	683.03	11.38%	11.38%	88.62%			Pérdida por Leve (g.)	978.70	
3/4"	19.000	631.03	10.35%	14.37%	85.63%			Datos Generales		
5/8"	15.900	548.23	9.14%	20.77%	80.28%			% de Grava	84.13%	
Nº 4	4.750	1309.00	21.82%	29.07%	70.18%			% de Fines	15.23%	
Nº 10	2.000	740.00	12.33%	71.20%	28.72%			Total	100.00%	
Nº 20	0.850	342.44	5.71%	78.33%	21.67%			Fracciones de Grava, Arena y Fines		
Nº 40	0.425	134.34	2.24%	78.97%	21.03%			% de Grava (Ret. Tamiz Nº 4)	19.03%	
Nº 60	0.250	105.30	1.76%	80.34%	19.66%			% de Arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200)	24.90%	
Nº 100	0.150	207.89	3.46%	83.74%	16.26%			% de Fines (Pasa Tamiz Nº 200)	13.23%	
Nº 200	0.075	60.69	1.01%	84.75%	15.25%			% que pasa el tamiz Nº 10	28.72%	
< Nº 200	Canasta	15.79	0.26%	100.00%	-			% que pasa el tamiz Nº 60	21.03%	
Lavado	-	971.7	16.19%	-	-			% que pasa el tamiz Nº 200	13.23%	
	Peso Total	6000.2	100.00%	100.00%	0.00%			Observación	Ninguna	

\* La pérdida por leve puede ser menor de la pérdida por levedad, debe ser menor al 1% que cumple con la pérdida sugerida por el A.T.C.



PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
$D_{60} = 0.425$	Tamaño Máximo Absoluto: 15"
$D_{30} = 0.250$	Tamaño Máximo Nominal: 1"
$D_{10} = N.P.$	$C_u = N.P.$
	$C_c = N.P.$

**Observaciones:** El ensayo se lo realizó según las exigencias del A.T.C.  
El ensayo cumple con la precisión sugerida por el A.T.C.

RESPONSABLE DE LABORATORIO  
  
 Ing. Sebastian Quepe Cochara  
 INGENIERO CIVIL  
 CP N° 170028

Expediente	20125	
Solicitante	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES G&C E.I.R.L	
Dirección	AV. MINKA D1 – SAN SEBASTIAN	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Instrumento de medición	CAZUELA CASAGRANDE	
Marca (o Fabricante)	PINZUAR LTDA	
Modelo	PS - 11	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.
Número de Serie	1297	
Procedencia	COLOMBIA	
Código	NO INDICÁ	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.
Ubicación del Equipo	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES	
Lugar de Calibración	AV. MINKA D1 – SAN SEBASTIAN	Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.
Fecha de Calibración	2021-10-29	

**Método de Calibración**

La calibración se realizó por comparación directa utilizando como referencia la norma ASTM D4318, MTC E-110.

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

Patrones utilizados: L-0891-2021; T-0292-2021.

**Condiciones Ambientales**

Temperatura promedio: 19.2 °C ; Humedad relativa prom. 25.0 HR%

**Observaciones**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"
- La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  para una distribución normal de aproximadamente 95 %.
- Las dimensiones del aparato de límite líquido son las especificadas en la MTCE-110.

Sello



Fecha de emisión

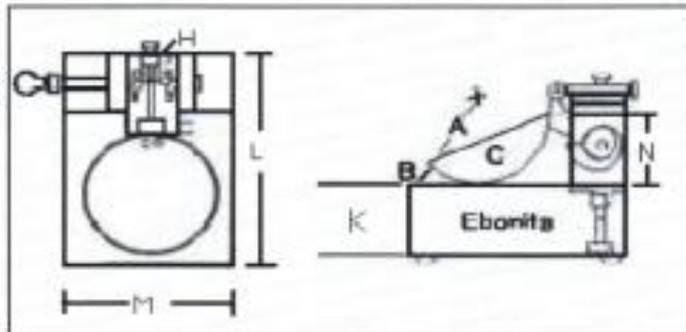
2021-10-31

Jefe del laboratorio de calibración

**CEM INDUSTRIAL**  
JESUS QUINTO C.  
JEFE DE LABORATORIO

Centro Especializado en Metrología Industrial  
Mz. A, Lote 18, Urb. El Pacífico II Etapa, S.M.P. - Lima

• Telf.: 8717348 • DEL: 958008776 / 958008777  
• ventas@cemind.com • jesus.quinto@cemind.com • www.cemind.com



Dimensiones MTC E -110 Aparato de Límite Líquido

Descripción	Conjunto de la cazuela			Base			
	Radio de la copa	Espesor de la copa	Profundidad de la copa	Copa desde la guía del elevador hasta la base	Espesor	Largo	Ancho
Dimensiones (mm)	54	2.0	27	47	50	150	125
Tolerancia (mm)	2	0.1	1	1.5	5	5	5

**Resultado de Medición**

Dimensiones medidas en el Aparato de Límite Líquido.

Descripción	Conjunto de la cazuela			Base			
	Radio de la copa	Espesor de la copa	Profundidad de la copa	Copa desde la guía del elevador hasta la base	Espesor	Largo	Ancho
Dimensiones (mm)	55.8	1.98	27.58	50.14	50.02	150.2	125.08
Incertidumbre (mm)	0.5	0.05	0.5	0.8	0.6	0.6	0.6



Fin de documento.

Expediente	20125
Solicitante	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES G&C E.I.R.L
Dirección	APV, MINKA D1 – SAN SEBASTIAN
Instrumento de Medición	BALANZA NO AUTOMÁTICA
Marca (o Fabricante)	HENKEL
Modelo	ELECTRONIC SCALE
Número de Serie	KG028582
Procedencia	CHINA
Tipo	ELECTRÓNICO
Identificación	NO INDICA
Alcance de indicación	u g a 2000 g
División de escala (d) o resolución	0,01 g
Div. verifc. de escala ( e)	0,2 g
Capacidad Mínima	0,1 g
Clase de exactitud	III
Ubic. Del Instrumento	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
Lugar de Calibración	APV, MINKA D1 – SAN SEBASTIAN
Fecha de Calibración	2021-10-29

**Método de Calibración**

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011, "Procedimiento de calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI, Edición cuarta.

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

**Patrones utilizados:**

LM-C-041-2021; LM-C-064-2021; LM-C-040-2021; T-0292-2021.

Sello



Fecha de emisión

2021-10-31

Jefe del laboratorio de calibración

**CEM INDUSTRIAL**  
  
**JESUS QUINTO C.**  
JEFE DE LABORATORIO

**Resultados de Medición**
**INSPECCIÓN VISUAL**

AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	NO TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Temperatura	Inicial	19,2 °C	Final	19,2 °C
-------------	---------	---------	-------	---------

Medición Nº	Carga L1 = 1000,0 g			Carga L2 = 2000,0 g		
	I (g)	ΔI (g)	E (g)	I (g)	ΔI (g)	E (g)
1	1000,03	0,005	0,125	2000,07	0,007	0,163
2	1000,02	0,005	0,115	2000,07	0,007	0,163
3	1000,02	0,005	0,115	2000,06	0,006	0,154
4	1000,02	0,005	0,115	2000,06	0,007	0,153
5	1000,03	0,005	0,125	2000,07	0,007	0,163
6	1000,02	0,005	0,115	2000,08	0,008	0,154
7	1000,02	0,005	0,115	2000,06	0,007	0,153
8	1000,02	0,005	0,115	2000,06	0,007	0,153
9	1000,03	0,005	0,125	2000,07	0,006	0,164
10	1000,03	0,005	0,125	2000,07	0,007	0,163

Carga (g)	E <sub>max</sub> - E <sub>min</sub> (g)	e.m.p (g)
1000	0,01	0,6
2000	0,01	0,6

2	5
1	
3	4

 Posición  
de las  
Cargas

**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Temperatura	Inicial	19,3 °C	Final	19,3 °C
-------------	---------	---------	-------	---------



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero E <sub>0</sub>				Determinación del Error Corregido E <sub>c</sub>					e.m.p ±g
	Carga min. (g)	I (g)	ΔI (g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔI (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
1	0,10	0,10	0,003	0,097	600	600,07	0,004	0,166	0,069	0,6
2		0,10	0,003	0,097		600,03	0,005	0,125	0,028	0,6
3		0,10	0,003	0,097		600,02	0,004	0,116	0,019	0,6
4		0,10	0,003	0,097		600,05	0,005	0,145	0,048	0,6
5		0,10	0,003	0,097		600,03	0,004	0,126	0,029	0,6

**ENSAYO DE PESAJE**

Temperatura	Inicial	19,3 °C	Final	19,3 °C
-------------	---------	---------	-------	---------

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ± g
	I (g)	ΔI (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	I (g)	ΔI (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
0,1	0,10	0,003	0,097						
0,2	0,50	0,003	0,397	0,300	0,50	0,003	0,397	0,300	0,2
1	1,00	0,003	0,097	0,000	1,00	0,003	0,097	0,000	0,2
10	10,00	0,004	0,096	-0,001	9,99	0,004	0,086	-0,011	0,2
50	50,02	0,004	0,116	0,019	49,97	0,004	0,066	-0,031	0,2
100	100,03	0,004	0,126	0,029	99,98	0,005	0,075	-0,022	0,2
500	500,08	0,005	0,175	0,078	500,06	0,004	0,156	0,059	0,6
1000	1000,09	0,005	0,185	0,088	1000,08	0,004	0,176	0,079	0,6
1500	1500,07	0,005	0,165	0,068	1500,06	0,004	0,156	0,059	0,6
1800	1800,07	0,006	0,164	0,067	1800,07	0,004	0,166	0,069	0,6
2000	2000,06	0,006	0,154	0,057	2000,06	0,004	0,156	0,059	0,6

**Leyenda:** I: Carga aplicada a la balanza. E: Error encontrado.  
 I: Indicación de la balanza. E<sub>c</sub>: Error en cero.  
 ΔI: Carga adicional. E<sub>c</sub>: Error corregido.

**Incertidumbre expandida de medición**  $U = 2 \times \sqrt{0,00754^2 + 0,00000000010608}$  R<sup>2</sup>

**Lectura corregida**  $R_{CORREGIDA} = R + -0,0000519217$  R

**Observaciones**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"
- La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95 %.
- Se obtuvo un peso inicial de 2000,15 g para una pesa patrón de 2000 g.


**Fin del documento.**

Expediente	20125
Solicitante	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES G&amp;C E.I.R.L</b>
Dirección	AV. MINKA D1 – SAN SEBASTIAN
Equipo	<b>HORNO</b>
Marca (o Fabricante)	PINZUAR LTDA
Modelo	PG 190
Número de Serie	706
Procedencia	NO INDICA
Identificación	NO INDICA
Instrumento de Medición	Termómetro con Indicación Digital
Marca / Modelo	AUTONICS
Alcance de Indicación	50 °C a 300 °C
Div. de escala (Resoluc.)	0.1 °C
Identificación	NO INDICA
Selector	CONTROLADOR DIGITAL
Marca / Modelo	AUTONICS
Alcance de Indicación	50 °C a 300 °C
Div. de escala (Resoluc.)	0.1 °C
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
Lugar de Calibración	AV. MINKA D1 – SAN SEBASTIAN
Fecha de Calibración	2021-10-29

**Método de Calibración**

La calibración se realizó por comparación directa según el PC-18, 2da. Ed., Junio 2009 "Procedimiento Para la Calibración o Caracterización de Medios Isotermos con Aire como medio Termostático".

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

Patrones utilizados: IT.196.202; IT.197.202; T.0797.202

**Condiciones Ambientales**

Temperatura ambiental : Inicial: 20.4 °C ; Final : 20.4 °C  
Humedad Relativa ambiental: Inicial: 24.0 HR% ; Final : 24.0 HR%

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.

Sello Fecha de emisión Jefe del laboratorio de calibración



2021-10-31

**CEM INDUSTRIAL**  
  
**JESUS QUINTO C.**  
JEFE DE LABORATORIO

PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C ± 10 °C

Tiempo (min)	T. Ind. (°C) (Temperatura del equipo)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T <sub>prom</sub> °C	T <sub>max</sub> /T <sub>min</sub> °C
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	110.1	115.3	113.8	114.0	114.3	113.3	116.0	113.0	112.0	111.0	113.0	113.6	5.0
2	109.0	109.8	113.7	108.2	114.4	109.1	112.3	111.3	113.9	113.9	115.1	112.2	6.9
4	111.0	105.3	113.9	108.7	115.7	108.6	112.9	113.0	116.1	116.1	117.1	112.7	11.8
6	110.0	105.7	114.1	108.6	115.2	109.2	112.1	113.5	115.4	115.4	117.3	112.7	11.6
8	108.0	106.7	113.8	107.9	114.5	108.3	111.5	109.8	112.7	112.7	114.3	111.2	7.8
10	109.0	111.2	113.4	113.8	112.0	114.6	115.9	116.8	109.9	109.9	112.3	113.0	6.9
12	111.0	110.1	118.7	113.1	118.5	114.4	116.7	117.1	117.3	117.3	119.1	116.2	9.0
14	109.0	110.6	118.4	112.3	118.5	112.5	115.5	116.3	117.3	117.3	118.1	115.7	7.9
16	108.0	110.2	117.8	111.3	118.0	112.2	115.8	114.8	117.5	117.5	116.8	115.2	7.8
18	109.0	109.3	117.1	111.1	117.6	111.8	114.2	113.1	117.1	117.1	116.6	114.5	8.3
20	108.0	110.0	117.3	110.1	117.3	111.3	114.1	113.3	115.7	115.7	116.8	114.2	7.3
22	111.0	108.3	116.3	109.6	117.2	110.5	114.7	114.5	116.6	116.6	114.7	113.9	8.9
24	110.0	109.4	117.1	109.7	116.6	110.6	114.1	113.1	116.2	116.2	114.7	113.8	7.7
26	108.0	110.0	117.7	110.5	117.6	112.8	115.3	115.2	116.9	116.9	115.3	114.8	7.7
28	108.0	108.5	115.9	109.6	115.6	110.2	113.4	113.6	115.3	115.3	115.6	113.3	7.4
30	109.0	110.0	117.2	110.0	116.6	111.9	114.2	113.9	116.8	116.8	114.8	113.8	7.2
32	108.0	109.6	117.9	111.0	117.7	111.6	114.0	115.1	114.5	114.5	116.7	114.3	8.3
34	110.0	107.8	115.9	109.3	116.6	110.3	114.1	112.3	114.8	114.8	114.5	113.0	8.8
36	109.0	108.6	116.3	110.1	115.7	110.4	113.6	111.7	113.9	113.9	112.9	112.7	7.7
38	108.0	109.6	117.3	110.9	116.7	111.2	114.8	112.9	117.7	117.7	114.8	114.4	8.1
40	108.0	109.9	117.9	111.7	117.8	112.4	115.4	114.2	117.8	117.8	117.9	115.3	8.0
42	110.0	109.3	117.5	111.3	117.9	111.8	112.8	113.1	115.6	115.6	114.5	113.9	8.6
44	108.0	110.2	118.0	112.4	117.7	113.5	113.2	114.9	118.0	118.0	118.1	115.4	7.9
46	110.0	110.4	117.5	111.7	118.2	113.5	113.8	113.9	118.1	118.1	117.8	115.3	7.8
48	110.0	111.3	118.0	117.8	123.0	115.6	114.0	118.2	117.8	117.8	119.6	117.3	11.7
50	108.0	110.0	118.5	113.8	122.1	114.7	114.6	118.5	119.5	119.5	119.4	117.1	12.1
52	108.0	110.5	118.3	113.6	121.6	114.6	115.9	116.8	119.9	119.9	120.0	117.1	11.1
54	109.0	110.2	118.2	112.2	119.1	112.4	114.6	115.4	116.9	116.9	117.7	115.4	8.9
56	110.0	108.8	116.4	110.1	117.0	111.5	114.4	116.6	116.5	116.5	114.9	114.3	8.2
58	111.0	108.5	116.8	111.0	117.4	111.5	112.4	112.2	116.4	116.4	115.1	113.8	8.9
60	111.0	110.2	117.5	111.6	117.1	112.0	112.3	114.6	115.5	115.5	116.2	114.3	7.3
T <sub>PRON</sub>	109.2	109.5	116.7	111.2	117.3	111.9	114.1	114.2	116.1	116.0	116.2	114.3	
T <sub>MAX</sub>	111.0	115.3	118.7	117.8	123.0	115.6	116.7	118.5	119.9	119.9	120.0		
T <sub>MIN</sub>	108.0	105.3	113.4	107.9	112.0	108.3	111.5	109.8	109.9	109.9	112.3		
DTT	3.0	10.0	5.3	9.9	11.0	7.3	5.2	8.7	10.0	10.0	7.7		

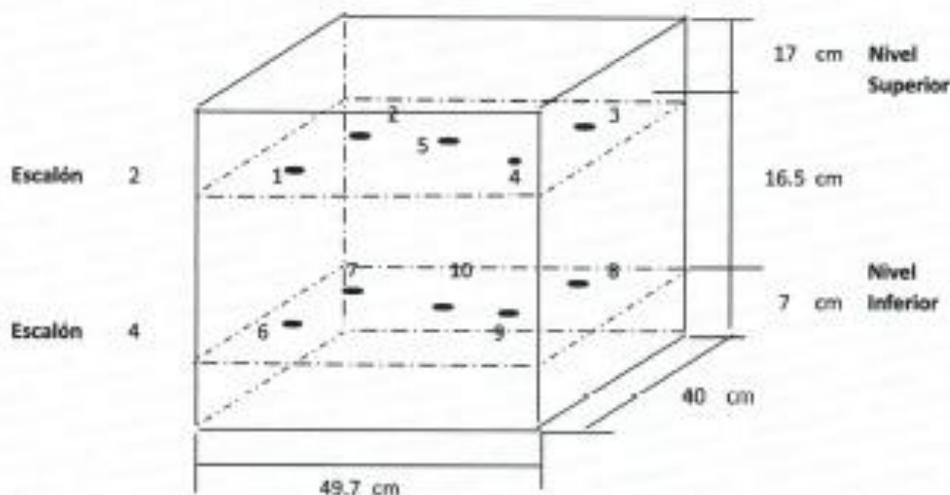


Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	123.0	0.8
Mínima Temperatura Medida	105.3	0.8
Desviación de Temperatura en el Tiempo	11.0	0.2
Desviación de Temperatura en el Espacio	8.5	0.2
Estabilidad Medida (±)	0.2	0.1
Uniformidad Medida	12.1	0.1

- T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.  
T.prom : Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición para un instante dado.  
T.MAX : Temperatura Máxima.  
T.MIN : Temperatura Mínima.  
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

**MEDIO ISOTERMO - ESTUFA****Distribución de termopares en el equipo**

Los termopares 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivas parrillas.

Los termopares del 1 al 5 están ubicados a 2 cm por encima de la parrilla superior.

Los termopares del 6 al 10 están ubicados a 2 cm por debajo de la parrilla inferior.

Los termopares del 1 al 4 y del 6 al 9 están ubicados a 4,5 cm de las paredes laterales y a 5 cm del frente y fondo de la estufa.

Los escalones indican las posiciones de las parrillas.

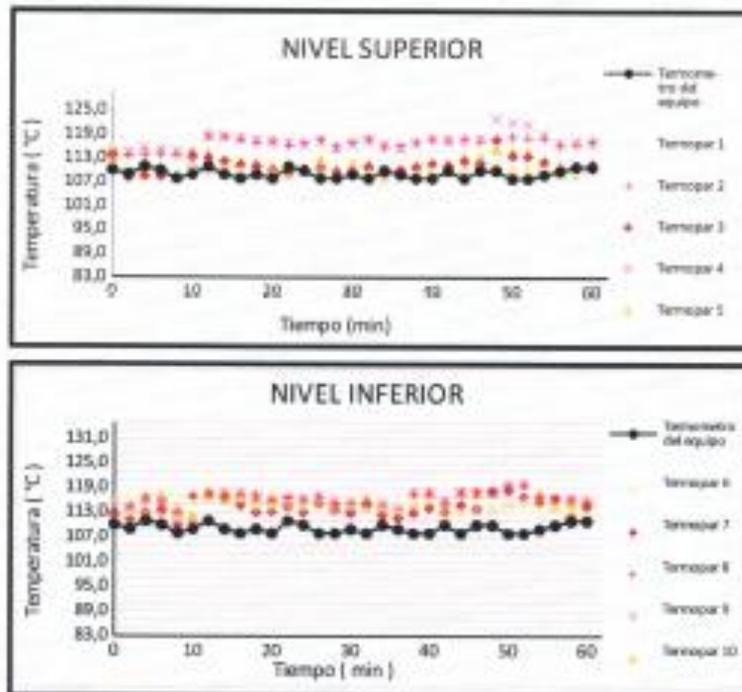
**Observación:**

-Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

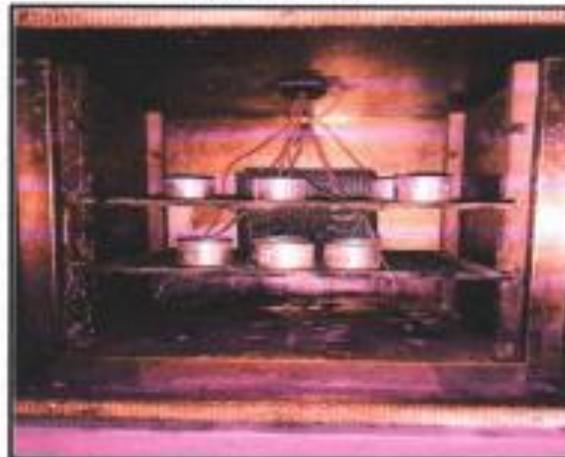
-La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  para una distribución normal correspondiente a una probabilidad de aproximadamente 95 %.



Temperatura de trabajo 110 °C



Fotografía mostrando la ubicación de los sensores de temperatura en el medio isoterma



Fin del documento.



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Y MATERIALES G&C E.I.R.L.**



**SOLICITANTE** : Sr. Sandro Paza - Sr. Hector Mamani  
**PROYECTO** : Sensor Capacitivo de Humedad de Suelo  
**UBICACIÓN** : Dist. Sansebastian - Cusco - Cusco  
**FECHA** : Marzo del 2022  
**CALICATA** : Muestra N° 1  
**SECTOR**

Calicata  
C-1

**RESUMEN DE RESULTADOS**

Humedad Natural	Contenido de Humedad	4.91%
Límites de consistencia	Límite Líquido	24.41%
	Límite Plástico	14.05%
	Índice de Plasticidad	9.46%
Clasificación	SUCS	GC
	AASHTO	A-2-4 (G)

Observaciones

Muestras tipo Mab NTP 559.151

  
Ing. Alfredo Galparraga  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE  
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Y MATERIALES G&C E.I.R.L.**



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**GRANULOMETRÍA / LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.127 / NTP 339.128

**DATOS DE LA MUESTRA**

**SOLICITANTE** : Sr. Sandro Paza - Sr. Hector Mamani  
**PROYECTO** : Sensor Capacitivo de Humedad de Suelo  
**UBICACIÓN** : Dist. Sansebastian - Cusco - Cusco  
**FECHA** : Marzo del 2022  
**CALICATA** : Muestra N° 1  
**SECTOR**

**Límite Líquido NTP 339.128**

Ensayo	1	2	3	4
N° de Golpes	36	29	22	16
Recipiente N°	A	B	C	D
R + Suelo Hum.	35.28	32.71	34.13	32.04
R + Suelo Seco	31.25	29.13	30.17	28.46
Peso Recip.	13.96	14.34	14.26	14.34
Peso Agua	4.03	3.58	3.96	3.58
Peso S. Seco	17.29	14.79	15.91	14.12
% de Humedad	23.31	24.21	24.89	25.35

**Granulometría (NTP 339.127)**

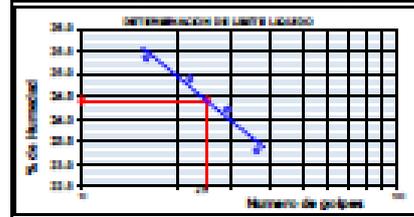
**Datos de ensayo**  
Peso Total : 2526.0  
Peso de muestra lavada: 2212.0  
Pérdida por lavada: 314.0

**Datos de Clasificación**  
Grava: 47.62 %  
Arenas: 39.94 %  
Fines: 12.43 %

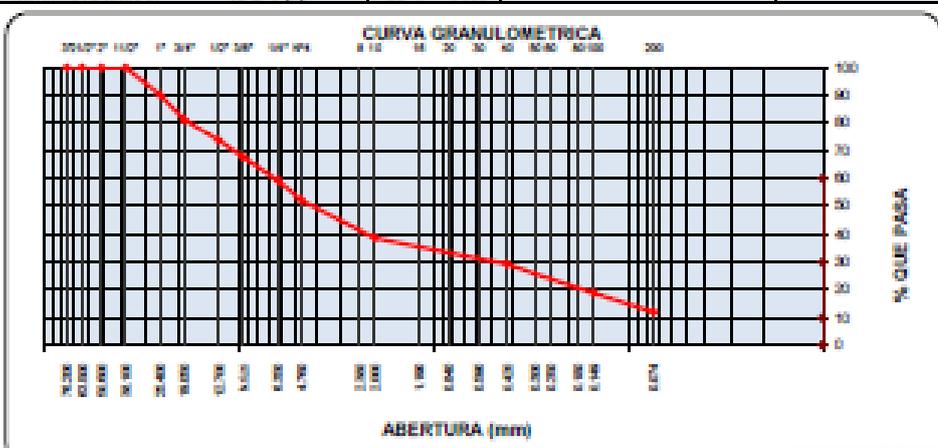
Malla	Tamiz mm.	Peso (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% que Pasa	Especificaciones
3"	76.200				100.00	
2 1/2"	63.500	0.0	0.00	0.0	100.00	
2"	50.800	0.0	0.00	0.0	100.00	
1 1/2"	38.100	0.0	0.00	0.0	100.00	
1"	25.400	247.0	9.80	9.8	90.20	
3/4"	19.050	224.0	8.90	18.7	81.30	
1/2"	12.500	194.0	7.70	26.4	73.60	
3/8"	9.525	151.0	6.00	32.4	67.60	
1/4"	6.350	111.0	4.40	36.8	63.20	
Nº4	4.750	176.0	7.00	43.8	56.20	
10	2.000	343.0	13.60	57.4	42.60	
40	0.420	234.0	9.30	66.7	33.30	
100	0.149	262.0	10.40	77.1	22.90	
200	0.075	170.0	6.70	83.8	16.20	
< 200		314.0	12.40	100.2	-0.20	
Total		2526.0	100.00			

**Límite Plástico NTP 339.128**

Ensayo	1	2	3
Recipiente N°	a	b	c
R + Suelo Hum.	8.81	9.27	8.92
R + Suelo Seco	8.58	8.98	8.68
Peso Recip.	7.03	7.06	7.07
Peso Agua	0.23	0.29	0.24
Peso S. Seco	1.55	1.92	1.61
% de Humedad	14.84	15.10	14.91



Clasificación SUCS : GC L.L. : 24.41  
Clasificación AASHTO : A-2-4 (R) L.P. : 9.46



*C. Paza*  
Ing. Alvaro Gaspar Paza  
Cusco 1987  
SECRETARÍA DEL LABORATORIO G & C SUELOS Y MATERIALES



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Y MATERIALES G&C E.I.R.L.**



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL**  
NORMAS TÉCNICAS: NTC E 108, ASTM D 2216

**DATOS DE LA MUESTRA**

**SOLICITANTE** : Sr. Sandro Paza - Sr. Hector Mamani

**PROYECTO** : Sensor Capacitivo de Humedad de Suelo

**UBICACIÓN** : Dist. Sansebastian - Cusco - Cusco

**FECHA** : Marzo del 2022

**CALICATA** : Muestra N° 1

**SECTOR**

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

N° de muestra		1	2	3	
Cápsula	g	20.59	20.39	20.45	
Cápsula + suelo húmedo	g	154.20	151.61	131.44	
Cápsula + suelo seco	g	148.56	146.27	125.09	
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>4.41</b>	<b>4.24</b>	<b>6.07</b>	
<b>Promedio</b>	<b>%</b>	<b>4.91</b>			

Ing. Alfredo Gaspar Paza  
M. Sc.  
Ingeniero de Laboratorio de Suelos y Materiales