



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

**“DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO
DE HUMEDAD EN ARENA FINA DE CUNYAC, OBTENIDOS
MEDIANTE LOS MÉTODOS: HORNO MICROONDAS Y SENSOR
RESISTIVO, APLICADO EN LA SUPERVISIÓN DE OBRAS DE
CONSTRUCCIÓN”**

PRESENTADO POR:

**TICONA MEDRANO, MIRIAM MAGALY
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL.**

ASESOR TÉCNICO:

Mg. ING CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO

ASESOR METODOLÓGICO:

Mg. SALINOVA CARRILLO SEGURA

CUSCO - PERÚ

2019

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por darme salud, fuerza y la oportunidad de haber llegado a esta meta que me trace al inicio de mi carrera.

A mis padres; en especial a mi madre Gladis, mi padre Fortunato a mis hermanos Yoselin, Yeferson a mi gran amor Aníbal Melo por su incondicional apoyo, por haberme dado todas las herramientas básicas para concluir todas las metas que me trace, por enseñarme que todo sacrificio en la vida trae satisfacciones.

A mis amigos, quienes siempre estuvieron en las mejores y peores situaciones, por confiar en mí persona y tenerme presente.

A mis profesores de los niveles primarios y secundarios, y de la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS por instruir y construir mis conocimientos, a ser responsable, respetuosa y justa en las diferentes situaciones de la vida.

Por haberme brindado sus conocimientos y por guiarme en lo extenso de esta hermosa experiencia y trayectoria universitaria.

El Autor

AGRADECIMIENTO

Ante todo agradezco a Dios por darme la inteligencia inevitable para seguir la línea correcta en las actividades que realice en mi vida.

Gracias especiales a mi asesor técnico, Mg. Ing. Civil Cesar Edilberto Arbulu Jurado, por su tiempo, paciencia y buena actitud en momento de atender mis inquietudes sugerencias a lo extenso de mi investigación, asimismo por apoyar la formación de esta investigación.

Al profesor Ing. Juan Vladimiro Loayza Aguirre y al Mg. Ing. Raúl Apaza Meneses, por su tiempo, paciencia y esa buena voluntad de orientar nuestros conocimientos y enseñar a profundizar los temas aprendidos.

Gracias a los profesores de UAP, especialmente a los profesores de la escuela profesional de Ingeniería, a mi asesora Mg. Salinova Carrillo Segura por sus guías orientadas y por su buena voluntad, al coordinador de la Escuela profesional Mg. Ing. Einer Román Villegas , por su paciencia frente a nuestro ímpetu, igualmente a todas aquellas personas que de una y otra manera colaboraron dando sus conocimientos y opiniones para enriquecer esta investigación.

A todos ustedes, Gracias por su confianza en mi persona.

El Autor

RESUMEN

El trabajo de investigación titulada “DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN ARENA FINA DE CUNYAC, OBTENIDOS MEDIANTE LOS MÉTODOS: HORNO MICROONDAS Y SENSOR RESISTIVO, APLICADO EN LA SUPERVISIÓN DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN” consiste en la determinación del contenido de humedad en un material granular fino, aplicando un método económico a través de sensores de resistividad eléctrica y correlacionando sus resultados con el método tradicional gravimétrico de la estufa. Todo con la finalidad de evidenciar la utilidad de que pueden servirse los involucrados en la construcción y supervisión de obras que utilizan el material de agregado fino, por ejemplo, preparación de morteros para enlucidos en obras de edificación, preparación de concreto estructural para todo tipo de obras, etc.

La presente investigación cumplió con el objetivo general de determinar la correlación entre el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo y describir su aplicación en la supervisión de obras de construcción.

Para lograrlo, hubo que primeramente, determinar la correlación entre el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo. Y luego, describir la influencia de dicha correlación en la supervisión de obras de construcción.

El diseño metodológico planteó un estudio de tipo analítico, correlacional y observacional, en una secuencia de tiempo trasversal correspondiente al primer semestre de año 2018. La población la constituyó toda la arena fina de la localidad de Cunyac en la ciudad del Cusco, determinada por su tamaño, es decir la retenida en el tamiz N° 200 y que pasa el tamiz N° 10. El tamaño de la muestra fue de 150 kilogramos obtenidos en campo por el método

probabilístico de cuarteo, de ellos, también por el método de cuarteo, esta muestra se redujo a 18 sub muestras de un peso aproximado de 100 gramos.

La técnicas de recolección de datos empleada fue la observación en laboratorio y la recolección de datos se hizo a través del formato provisto en el apéndice de la norma ASTM D4643 – 08, y para la recolección de los datos de los sensores se utilizó el software de Arduino.

La investigación concluyo que la correlación entre los contenidos de humedad reportados por el método del horno microondas y el método del sensor resistivo, tiene una precisión aceptable y permite la predicción de contenidos de humedad con un error porcentual de $\pm 14.0\%$ de la media, lo cual resulta satisfactorio toda vez que cada ensayo del contenido de humedad con el uso del sensor resistivo utilizado en la presente tesis tienen un costo de alrededor de S/. 0.06, es decir 333 veces más barato que el método tradicional (S/. 20.00 en promedio).

Además la investigación contribuyo con saber que existen diversos modelos matemáticos para predecir el contenido de humedad a partir de las lecturas del sensor, la bondad de los modelos depende del control que se ejerzan sobre las otras variables que afectan la medición por resistividad eléctrica, es decir, la temperatura del suelo, las salinidades: tanto del agua como del suelo, así como la mineralogía y la superficie de contacto de la sonda del sensor.

De las conclusiones de la investigación se desprende la gran utilidad, sobre todo económica, que pueden darle tanto los ingenieros residentes de obra, como los supervisores y jefes de infraestructura de las distintas entidades dedicadas a la construcción en el país.

ABSTRACT

The research paper entitled "DETERMINATION OF CORRELATION BETWEEN MOISTURE CONTENT IN SAND FINA CUNYAC, OBTAINED BY METHODS: MICROWAVE AND RESISTIVE SENSOR, APPLIED IN THE SUPERVISION OF CONSTRUCTION WORKS" is the determination of moisture content a fine granular material, applying an economic method through electrical resistivity sensors and correlating its results with the traditional gravimetric method of the stove. All with the purpose of evidencing the usefulness that can be served by those involved in the construction and supervision of works that use fine aggregate material, for example, preparation of mortars for plaster in building works, preparation of structural concrete for all types of works, etc.

The present investigation fulfilled the general objective of determining the correlation between the moisture content of Cunyac fine sand, obtained by the methods: microwave oven and resistive sensor and describe its application in the supervision of construction works.

To achieve this, we first had to determine the correlation between the moisture content of the fine sand of Cunyac, obtained by the methods: microwave oven and resistive sensor. And then, describe the influence of said correlation in the supervision of construction works.

The methodological design proposed an analytical, correlational and observational study in a transverse time sequence corresponding to the first semester of 2018. The population was made up of all the fine sand of the Cunyac locality in the city of Cusco, determined by its size, that is to say the one retained in the sieve No. 200 and passing the sieve No. 10. The sample size was 150 kilograms obtained in the field by the probabilistic method of quartering, of them, also by the method of quartering, this sample was reduced to 18 sub samples of an approximate weight of 100 grams.

The data collection technique used was laboratory observation and data collection was done through the format provided in the appendix of the ASTM D4643-08 standard, and for the data collection of the sensors the software was used. Arduino.

The investigation concluded that the correlation between the humidity contents reported by the microwave oven method and the resistive sensor method, has an acceptable precision and allows the prediction of moisture contents with a percentage error of $\pm 14.0\%$ of the mean, which is satisfactory since each test of the moisture content with the use of the resistive sensor used in this thesis has a cost of around S / .06, that is, 333 times cheaper than the traditional method (S / .20.00 on average).

In addition the research contributed to know that there are various mathematical models to predict the moisture content from the sensor readings, the goodness of the models depends on the control exercised over the other variables that affect the measurement by electrical resistivity, ie , the soil temperature, the salinities: both the water and the soil, as well as the mineralogy and the contact surface of the sensor probe.

The conclusions of the investigation show the great utility, above all economic, that can be given by the resident engineers, as well as the supervisors and heads of infrastructure of the different entities dedicated to construction in the country.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación titulada **“DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN ARENA FINA DE CUNYAC, OBTENIDOS MEDIANTE LOS MÉTODOS: HORNO MICROONDAS Y SENSOR RESISTIVO, APLICADO EN LA SUPERVISIÓN DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN”**

contiene :

Como primer capítulo la descripción de la problemática abordada, se desarrollan los temas relacionados al uso del suelo como material de construcción para la ingeniería civil, así mismo, se trata sobre la importancia del control de calidad de los materiales, respecto de sus distintas propiedades físicas y geotécnicas, siendo una de ellas el contenido de humedad. Por otro lado, se menciona la creciente importancia que adquieren las tecnologías de bajo costo, especialmente las provenientes de países asiáticos, como aliados de los supervisores de obras y constructores de la misma en la determinación de propiedades del suelo.

El segundo capítulo detalla marco teórico, dividiéndolo en antecedentes de la investigación, entre los cuales se citan: el estudio de la variabilidad del contenido de humedad de una base de pavimento con distintos dispositivos, realizada por Sotelo, Mazari y otros. Así mismo se menciona el trabajo de Salour: “Influencia de la humedad en el comportamiento estructural de los pavimentos”, finalmente se menciona la investigación de Bogen: Potencial de las redes de sensores inalámbricos en la determinación de la variabilidad del contenido de humedad de suelos. Cabe resaltar que al momento de la formulación de la presente tesis, no se encontraron referentes nacional que sean dignos de ser mencionados en la materia. Por otro lado, este capítulo desarrolla los conceptos tanto físicos, geotécnicos como estadísticos requeridos para el desarrollo de la investigación.

El tercer capítulo detalla los pormenores del diseño de la investigación, así como su población, muestra, técnicas de recolección de datos e hipótesis.

El capítulo cuarto desarrolla los pormenores del análisis de los resultados, describiéndose en principio cada uno de los protocolos empleados en las mediciones, así como los equipos e instrumentos utilizados y la preparación del material, en este caso la arena de Cunyac para su ensayo. El capítulo también explicita el sensor utilizado, así como todos sus componentes electrónicos y el código fuente de programación. Finalmente este capítulo contienen los datos obtenidos, su análisis estadístico y el modelo de correlación obtenido por una regresión lineal simple que describe el contenido de humedad de un suelo en términos de la lectura del sensor.

Finalmente, el capítulo quinto, enumera las principales conclusiones y efectúa recomendaciones útiles para el ejercicios de la ingeniería civil, especialmente para el área de la geotecnia.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.2.1. Problema General.....	9
1.2.2. Problemas Específicos	9
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.3.1. Objetivo general.....	9
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	10
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.5.1. Delimitación espacial.....	11
1.5.2. Delimitación temporal.....	11
1.5.3. Delimitación Conceptual.....	11
CAPÍTULO II	12
MARCO TEÓRICO	12
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	12

2.1.1. Antecedentes internacionales	12
2.1.2. Antecedentes nacionales	16
2.2. BASES TEÓRICAS	18
2.2.1. Correlación en las Mediciones	18
2.2.2. Contenido de Humedad del Suelo.....	22
2.2.3. Relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo.	23
2.2.4. Retención de Agua en el Suelo	26
2.2.5. Contenido de humedad en suelos granulares.	28
2.2.6. Densidad relativa de las arenas.	28
2.2.7. Métodos de obtención del contenido de humedad en laboratorio.....	31
2.2.8. Métodos de obtención del contenido de humedad en campo.....	34
2.2.9. El calor por microondas.	35
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	37
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	41
2.4.1. Hipótesis general.....	41
2.4.2. Hipótesis específicas	42
2.5. VARIABLES DE ESTUDIO	42
2.5.1. Variable independiente	42
2.5.2. Variable dependiente.....	42
CAPÍTULO III.....	43
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	44
3.2.1. Población.....	44
3.2.2. Muestra.....	44

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.3.1. Técnicas de recolección de información	44
3.3.2. Técnicas de análisis e interpretación de la información	44
3.4. PROCEDIMIENTO DE LOS MÉTODOS: HORNO MICROONDAS Y SENSOR RESISTIVO PARA LA OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.	45
3.4.1. Preparación de las Muestra para el Ensayo.....	45
3.4.2. Determinación del Contenido de Humedad mediante Horno Microondas	45
3.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON SENSOR RESISTIVO.....	56
3.5.1. Descripción de dispositivo	56
3.5.2. Componentes del sistema (hardware)	56
3.5.3. Conexión del sistema	60
3.5.4. Código de programación.....	61
3.5.5. Protocolo de ensayo	62
CAPITULO IV	67
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
4.1. ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE HUMEDAD	69
4.1.1. Estadística descriptiva de los datos de humedad	69
4.1.2. Análisis de regresión.....	71
4.2. BONDAD DEL AJUSTE DE REGRESIÓN	75
4.3. PREDICCIÓN DE LA PRECISIÓN CON EL MODELO LINEAL.....	76
4.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LOS ENSAYOS.....	76
4.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	77
CAPITULO V.....	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80

5.1. CONCLUSIONES	80
5.2. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relaciones gravimétricas en los suelos.....	24
Tabla 2: Relaciones volumétricas en los suelos.....	25
Tabla 3: Masa del espécimen de prueba	51
Tabla 4: Contenido de humedad por horno microondas	55
Tabla 5: Promedio de la lectura del sensor de los últimos treinta segundos.....	69
Tabla 6: Estadística de las mediciones.....	70
Tabla 7: Datos tomados en cuenta para cada modelo.	71
Tabla 8: Modelo para una Muestra Total.....	72
Tabla 9: Modelo Sin Atipicos	73
Tabla 10: Modelo Arena Seca.....	74
Tabla 11: Estadísticos de la bondad de ajuste de las regresiones	76
Tabla 12: Costo de los ensayos	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Suelo como Material de Construcción	1
Figura 2: Control de Calidad del Suelo como Material de Construcción	2
Figura 3: Medición de las propiedades de un suelo.	3
Figura 4: Concepto de Fase de un Suelo.....	4
Figura 5: Principio de compactación del suelo.	5
Figura 6: Densímetro Nuclear de elevado Costo	6
Figura 7: Sistemas informáticos modernos.....	7
Figura 8: Sensores de Bajo Costo	8
Figura 9: Idealización del contenido de humedad de un suelo	23
Figura 10: Relaciones gravimétricas y volumétricas en un suelo.....	24
Figura 11: Fases de un Suelo	26
Figura 12: Retención de agua en un suelo.	27
Figura 13: Densidad relativa de algunas arenas.....	29
Figura 14: Método Gravimétrico Estándar para la obtención del Contenido de Humedad de Suelos	32
Figura 15: Método volumétricos de conductividad eléctrica.....	33
Figura 16: Método volumétricos de conductividad eléctrica.....	34
Figura 17: Espectro de radiación electromagnética y su interacción con átomos y moléculas.....	36
Figura 18: Vista de una placa Arduino UNO.....	57
Figura 19: Vista de un cable AB.....	58
Figura 20: Vista de un sensor de humedad YL-69, comparador LM393 SMD y cables de conexión.....	60
Figura 21: Esquema de conexión del sensor a la tarjeta Arduino.....	60

Figura 22: Vista del esquema de conexión del LM393 SMD.....	61
Figura 23: Celda de medición de humedad con sensor resistivo	63
Figura 24: Pisón Plástico utilizado para Compactar las Muestras.....	63
Figura 25: Muestra compactada en la celda de medición.....	64
Figura 26: Inserción y presión del sensor	65
Figura 27: Inserción y presión del sensor.....	65
Figura 28: Toma de datos del sensor en una PC.....	66
Figura 29: Datos crudos del sensor para 18 medidas hasta los 110 segundos.....	67
Figura 30: Lectura del sensor de los últimos treinta segundos	68
Figura 31: Dispersigramas de las mediciones.....	71

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Colocación del espécimen en un recipiente apropiado para determinar su masa.	106
Fotografía 2: Especimen más recipiente	106
Fotografía 3: Peso del espécimen y el recipiente.....	107
Fotografía 4: Colocado del recipiente con la muestra en el horno microondas.....	107
Fotografía 5: Colocado de la muestra y el disipador térmico al horno microondas durante 3 minutos.	108
Fotografía 6: Lavado de la muestra de arena proveniente de la cantera de Cunyac ..	108
Fotografía 7: Eliminación finos e impurezas	109
Fotografía 8: Colocado del espécimen húmedo al microondas para el secado durante 24 horas a una temperatura de 110°C.....	109
Fotografía 9: Celda de medición de humedad 56.96 mm x 51.33 mm.....	110
Fotografía 10: Determinación del contenido de humedad a través del sensor resistivo calculando con un cronometro	110
Fotografía 11: Compactación con 5 golpes de pisón, luego se procede a llenar la celda hasta el ras	111
Fotografía 12: Limpieza de recipientes para las sub muestras	111
Fotografía 13: Colocado de recipientes ya limpios en un área libre.....	112
Fotografía 14: Procesamiento y lectura de sensor por la capsula de medición	112

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La ingeniería civil emplea el suelo como material de construcción (Lambe & Whitman, 2004) y como toda obra humana, en las obras civiles el control de calidad de los materiales es importante para alcanzar las especificaciones estructurales, arquitectónicas y de seguridad de las mismas, así como para asegurar la comodidad de los usuarios (ARSA, 2018). Por otro lado, al monitoreo de los resultados de un proyecto específico para determinar si se cumplen con los estándares de calidad pertinentes se denomina: control de calidad, este control suele ser necesario para la identificación y eliminación de causas de desempeño insatisfactorio (Lakshmi, 2015).

Figura 1: Suelo como Material de Construcción



Fuente: <https://www.wirtgen-group.com/en/technologies/materials-processing/> .

Una de las dimensiones del control de calidad es la conformidad con los estándares, definida ésta última como el grado en que la fabricación de algo cumple exactamente la especificación del que lo diseñó, en este sentido, la calidad es inversamente proporcional a la variabilidad y ésta última puede ser descrita solamente en términos estadísticos. Por otro lado, el valor de una medida que corresponde al valor deseado para una determinada característica de calidad se denomina valor nominal u objetivo para esa característica. Estos valores objetivo suelen estar delimitados por un rango de valores que, en general, se cree que estarán lo suficientemente cerca del objetivo como para no afectar la función o el rendimiento del producto [como por ejemplo una obra civil] (Montgomery D. , Introduction to Statistical Quality Control , 2009) .

Figura 2: Control de Calidad del Suelo como Material de Construcción



Fuente: <https://www.meitampa.com/construction-materials-testing/>

Ahora bien, siendo que para controlar la calidad de un producto (llámese una obra civil), es necesario medir cierta característica del mismo, con la finalidad de cotejar su ajuste con las especificaciones técnicas de diseño; y que, la medición, es el proceso de asociar números con cantidades físicas y fenómenos y que la medición es fundamental para las ciencias; la ingeniería, la construcción y otros campos técnicos (Encyclopædia Britannica, 2016) y que la metrología trabaja con equipos de medición, su comparación

y la evaluación de las incertidumbres de medición (Tal E. , 2017). En el ensayo de suelos, así como en toda actividad de laboratorio, es necesario tomar medidas y registrar, para ello son necesarios equipos e instrumentos (Head, Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1, 2006)

Figura 3: Medición de las propiedades de un suelo.



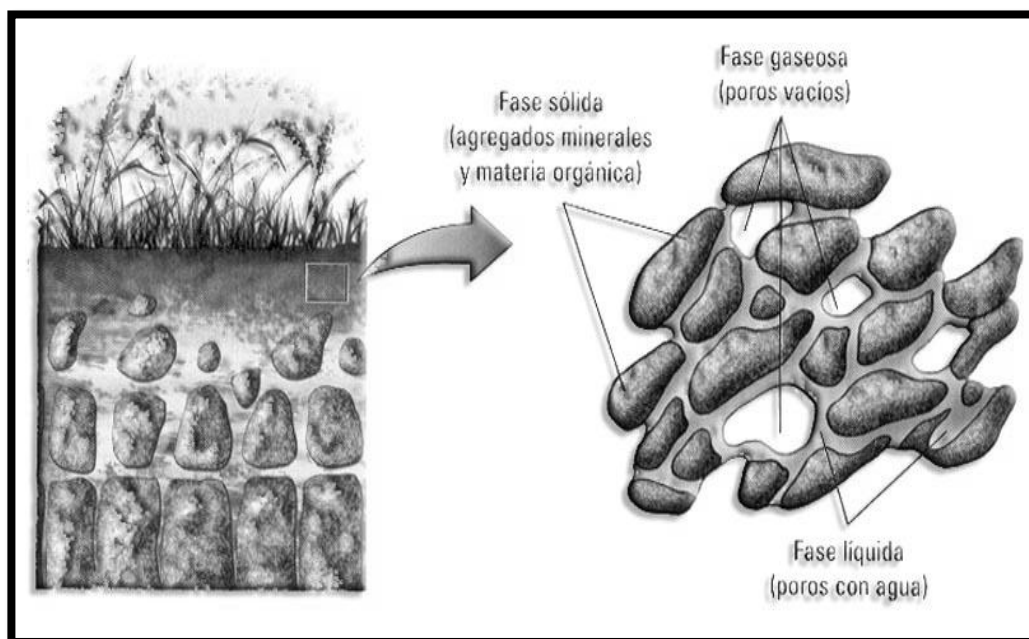
Fuente: <http://www.geomat.org/>

En el control de calidad de los materiales, especialmente del suelo, se emplean equipos especializados, el costo de los ensayos suele reflejar el costo de los equipos e instrumentos requeridos para su ejecución, así por ejemplo el Laboratorio de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerios de Transportes y comunicaciones ofrece ensayos cuyos costos varían desde los S/. 9.62 para el Refrentado de Testigos Cilíndricos de Concreto (*Capping*) hasta los S/. 2295 para un ensayo de Compresión Triaxial Consolidado drenado para Suelos Cohesivos (CD) - Limos y Arcillas, con un promedio de costo de ensayo de S/. 135 (MTC, 2015).

Respecto del contenido de humedad en un suelo, es necesario recordar que, para propósitos de estudio geotécnico, los suelos en general están constituidos por tres fases: aire, agua y sólidos. Es importante conocer el volumen de vacíos en un suelo dado y su contenido de humedad para determinar su peso unitario en el campo. Por otro lado, El contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que se lleva a cabo la transición

del estado sólido al estado semisólido se define como el límite de contracción. El contenido de humedad en el punto de transición del estado semisólido al estado plástico es el límite plástico, y del estado plástico al estado líquido es el límite líquido. Estos límites son también conocidos como límites de Atterberg (Das B. , 2015) Queda claro, entonces, que el comportamiento mecánico del suelo se ve afectado por la humedad del mismo.

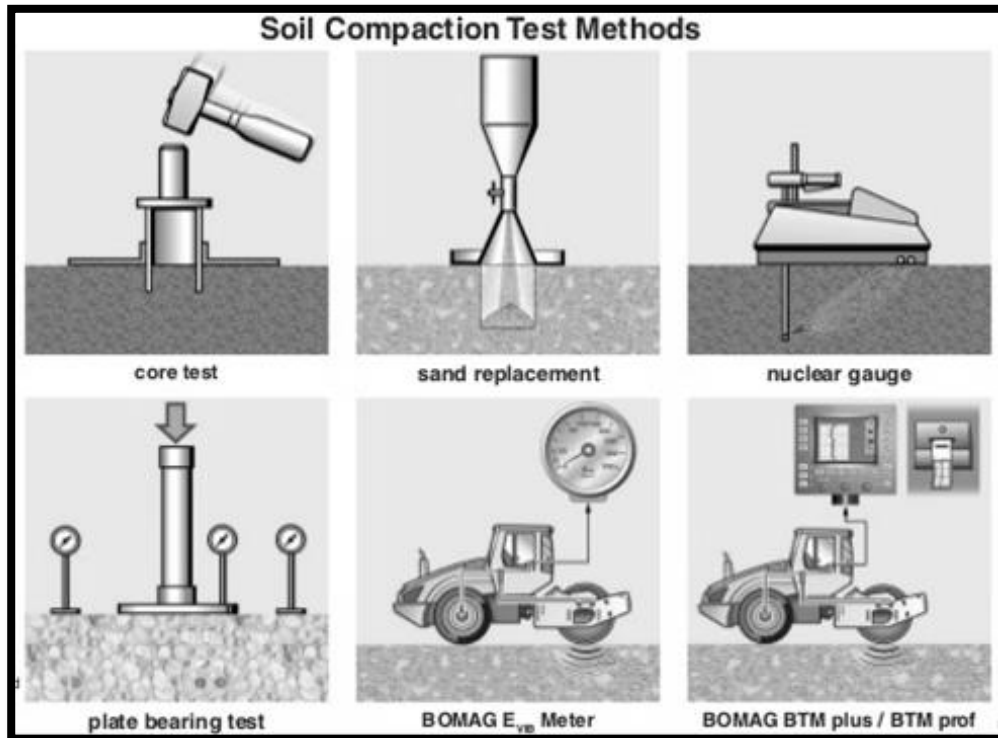
Figura 4: Concepto de Fase de un Suelo



Fuente: <https://elementosdeconstruccion.com/fases-del-suelo/>.

Una de las evidencias más saltantes de que la humedad en el suelo influencia su comportamiento se da en el principio general de compactación, en la que el peso unitario seco después de la compactación primero aumenta a medida que se incrementa el contenido de humedad, y luego, más allá de cierto contenido de humedad, cualquier aumento en éste tiende a reducir el peso unitario seco (Das B. , 2015).

Figura 5: Principio de compactación del suelo.



Fuente: <https://www.slideshare.net/ronaldrodrigueztovar3/nociones-sobre-compactadores>.

Ahora bien, siendo que el ensayo de contenido de humedad tiene un papel preponderante para el control de calidad del suelo en las obras civiles, también es cierto que existen muchos métodos e instrumentos para determinarlo. El método cuya precisión y exactitud es comúnmente aceptado es el denominado: “Método estándar para la determinación del contenido de agua en suelos y rocas por masa” (ASTM, 2010). Los métodos para la determinación del contenido de agua en un suelo pueden ser: gravimétricos, de permitividad dieléctrica, de conductividad eléctrica, y de succión; los costos de los equipos usados en los distintos métodos van desde los US\$ 75 hasta los US\$ 12000, así mismo, los tiempos en que los instrumentos reportan los resultados van desde los 30 segundos hasta dos días (Sebesta, Oh, Lee, Sanchez, & Taylor, 2013).

Figura 6: Densímetro Nuclear de elevado Costo



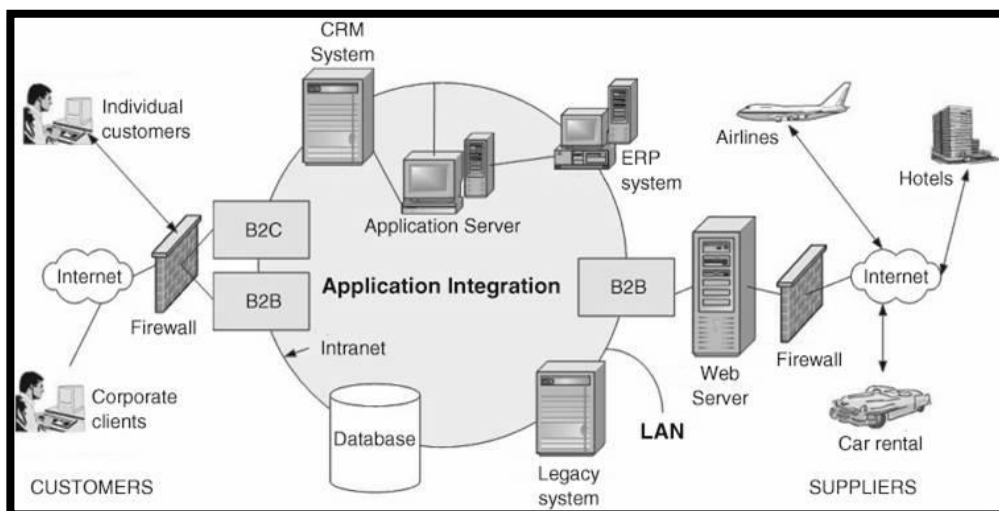
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=pMG1krbrL-A>

Los laboratorios en el país tienen distintos costos para el ensayo de contenido de agua, el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, tiene en su tarifario el costo de S/. 30 por un ensayo de contenido de humedad, así mismo (UNI, 2017), los precios del Ministerio de Transportes determinan un costo de S/. 15.28 (MTC, 2015), la Universidad Javeriana de S/. 14.21 (Universidad Javeriana, 2017); así mismo, la página web: www.peru.generadordeprecios.info menciona un costo de S/. 13.15 para el mismo mencionado ensayo de contenido de humedad por el método del horno, este último consiste en determinar la humedad o contenido de humedad de un suelo como la relación, expresada en porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas, esto se logra sometiendo una muestra de suelo a ser secado por varias horas en un horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, por su eficiencia (LLORVESA, 2018), capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (MTC, 2000).

Un estudio muestra que existe una fuerte correlación curvilínea entre la resistencia de la subrasante y el contenido de humedad. Al aumentar el número de días de remojo, la resistencia de la subrasante disminuye debido al aumento del contenido de humedad. La tasa de cambio en la resistencia de la subrasante por cambio porcentual en el contenido de humedad durante el remojo del contenido de humedad óptimo fue de una a siete veces mayor que durante el remojo durante cuatro días del contenido de humedad óptimo con un promedio de aproximadamente cinco veces basado en los resultados de laboratorio y el análisis de este estudio, que son aplicables a los materiales utilizados y las condiciones de prueba adoptadas (Mohamed, 2015).

Por otro lado, los sistemas informáticos generalmente se introducen donde sea que se necesite velocidad y precisión. Un sistema informático típico funciona según el principio de “input-process-output”, En el caso de un sistema modernos, las entradas son reemplazadas por sensores relevantes (Tripathy & Anuradha, 2018).

Figura 7: Sistemas informáticos modernos.



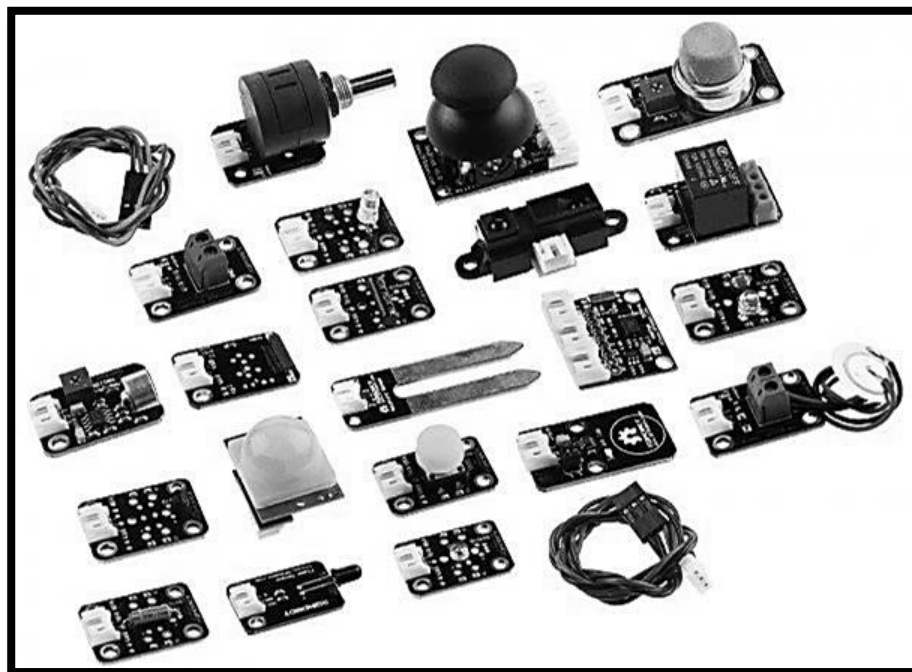
Fuente: <http://mybolgy.blogspot.com/2014/01/the-modern-organization-functioning-in.html> .

Además, la tecnología para la medición es una herramienta importante en los Procesos de innovación, investigación y desarrollo. Juega un papel importante en el mundo

moderno. La tecnología de medición puede ayudar a predecir muchos hechos y hacer que una actividad sea más productiva y efectiva. Al mismo tiempo, el estar al día y usar las tecnologías más nuevas posibles son factores esenciales que aumentan significativamente la competitividad de una sociedad, en busca de: soluciones más baratas, equipos más pequeños, dispositivos con mayor energía, y sensores de confiabilidad superior (Belov M. , 2014).

La tecnología de sensores de bajo costo se define como tecnología de sensores desarrollada originalmente para aplicaciones de consumo, son de bajo costo debido a que aprovechan las economías de escala. Estas tecnologías suelen usar sensores que permiten nuevas aplicaciones o permiten una utilización más económica de la detección en procesos y entornos de producción y logística (DHL, 2013). Se pueden encontrar en el mercado, por ejemplo, sensores de humedad del suelo con costos desde los 33 centavos de dólar por unidad (Alibaba.com, 2018).

Figura 8: Sensores de Bajo Costo



Fuente: <https://core-electronics.com.au/advance-sensor-set-for-arduino.html> .

Por lo expuesto, queda demostrado el potencial del uso de nuevas tecnologías y en especial de sensores de bajo costo en el ámbito del control de calidad de las obras civiles, en particular en la rama de la geotecnia, para el control de calidad de suelos. Sin embargo, como su uso es poco difundido, queda la necesidad de saber cuál es la correlación de las mediciones del contenido de humedad de una arena fina al usar los dos siguientes metidos: horno microondas y sensor resistivo económico

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la influencia de la correlación entre el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac obtenido mediante los métodos: Horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuál es el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo?
2. ¿Cómo se correlacionan el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción ?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Describir la influencia de la correlación de los valores obtenidos del contenido de humedad de la arena fina de Cunyac mediante los métodos: Horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo.
2. Determinar la correlación entre el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La investigación es conveniente porque pretende difundir el uso de sensores de bajo costo en la obtención de propiedades geotécnicas de los suelos.

En cuanto a su trascendencia para la sociedad la presente investigación servirá para que los profesionales de distintas ramas de la ingeniería, especialmente la ingeniería civil y la geotecnia puedan tener acceso masivo y a bajo costo de datos de humedad del suelo. Asimismo, los resultados de la investigación permitirán por ejemplo a los ingenieros residentes y supervisores de obras viales tener una herramienta de control de calidad más económica y accesible, esto debería mejorar la toma de decisiones en las construcciones y por ende mejorar la calidad de gasto en las obras públicas. El problema práctico que pretende solucionar la presente investigación está basado en la incertidumbre de la precisión de las nuevas tecnologías tales como sensores para la obtención del contenido de humedad de suelos, si bien es cierto estas tecnologías son conocidas hace muchos años, también es cierto que son en la actualidad se están produciendo a precios razonables y al alcance de los investigadores.

Se pretende que la presente investigación sienta las bases para generalizar el estudio de variabilidad de diversos sensores aplicados al área de geotecnia, puesto que los principios y métodos serán similares.

Asimismo, la presente tesis servirá para apoyar el desarrollo tecnológico del llamado Internet de las cosas, ya que sus resultados permitirán apreciar la validez de la aplicación de nuevos sensores en los procedimientos de toma de datos de las propiedades geotécnicas de los suelos.

La presente tesis, definitivamente ayudará a crear nuevos instrumentos y técnicas de recolección, análisis y procesamiento de datos de campo y de laboratorio en el área de la geotecnia

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Delimitación espacial

El ámbito del estudio se circunscribe al departamento de Apurímac en la carretera que conduce hacia Abancay lo cual provee de material fino , más específicamente la cantera de Cunyac.

1.5.2. Delimitación temporal

La presente tesis fue desarrollada el primer semestre del año 2018.

1.5.3. Delimitación Conceptual

La mecánica de suelos, la resistividad eléctrica y las microondas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la determinación de los antecedentes de la presente investigación se han recurrido a las fuentes bibliográficas disponibles en línea, se han encontrado tres antecedentes internacionales directamente vinculados con el tema materia de la presente investigación; sin embargo, los antecedentes nacionales no parecen haber aportado la problemática de la presente investigación desde un punto de vista formal, de manera que, se mencionan antecedentes lejanos a las bases teóricas de la presente tesis.

2.1.1. Antecedentes internacionales

- (Sotelo, Mazari, Garibay, & Nazarian, 2014) realizaron la investigación: **Variability of Moisture Content Measurement Devices on Subgrade Soils**, en el Centro para los Sistemas de Infraestructura del transporte de la Universidad de Texas, sede El Paso. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

El Speedy Moisture Tester (SMT) fue en general más exacto y preciso que los otros dos dispositivos para determinar el contenido de humedad de los geo materiales probados. El dispositivo reflecto métrico de dominio en el tiempo (TDR) estaba justo detrás del SMT para determinar con precisión el contenido de humedad, mientras que las sondas de densidad de suelo (SDG) exhibieron algunas incertidumbres. Sin embargo, los resultados de los SDG se pueden mejorar con una calibración más rigurosa, ya que el rendimiento del dispositivo parece depender del material. El SMT y el TDR demostraron menos del 5% de incertidumbre sobre los diferentes suelos y niveles de humedad evaluados,

mientras que la variación de SDG en la determinación del contenido de humedad del suelo compactado fue de hasta 8,5%. El SMT tenía una tendencia a subestimar el contenido de humedad que se puede refinar a través de la calibración en función de las mediciones de humedad en el horno.

La utilidad de este antecedente para la presente investigación es que se convierte en una guía básica para el diseño metodológico de la investigación, así como para definir los objetivos de la fase experimental.

- (Salour, 2015) realizó la investigación: **Moisture Influence on Structural Behavior of Pavements**, en el **Departamento de Ciencias del Transporte del Real Instituto de Tecnología KTH**. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

En regiones frías, los factores climáticos pueden afectar significativamente el comportamiento mecánico de los materiales no ligados que pueden influir en el rendimiento general de un pavimento. El deterioro del pavimento relacionado con el clima impone considerables esfuerzos de mantenimiento y rehabilitación a las autoridades viales, así como al gasto público. En los materiales no ligados al pavimento, el contenido de humedad y la temperatura (temperatura bajo cero) son los dos parámetros climáticos principales que influyen en el comportamiento mecánico de las capas no unidas. Los factores ambientales, su interacción con los pavimentos y su influencia en el comportamiento del material son de naturaleza sumamente compleja. A pesar del considerable número de estudios que se han llevado a cabo durante los últimos años, aún no se cuenta con una comprensión básica del comportamiento de los materiales y la elaboración de modelos con respecto a los efectos de los factores ambientales.

Muchos estudios sobre la relación de los esfuerzos y la humedad de los materiales no ligados se llevan a cabo mediante experimentos de laboratorio que pueden no representar por completo las condiciones del campo. Para la investigación de campo, el sitio de prueba de Torpsbruk fue instrumentado con sondas de humedad, temperatura y nivel freático y el comportamiento mecánico del pavimento fue evaluado utilizando un deflectómetro de caída de peso (FWD) con cargas de impacto multinivel. El estado del pavimento y el comportamiento estructural se evaluaron durante un período de primavera-deshielo, así como un estudio de caso en el que el nivel del agua subterránea en el sitio de prueba se modificó mediante la manipulación del sistema de drenaje.

Tanto de las mediciones de campo (variaciones de primavera-deshielo y nivel de agua subterránea) como de los estudios de laboratorio se observó que el contenido de humedad tiene un efecto significativo en la respuesta mecánica de los materiales no unidos y la subrasante. En general, a medida que aumentaba el contenido de humedad, disminuía la rigidez de los materiales no unidos y su resistencia a la acumulación de deformación permanente. Las mediciones de campo en la sección de pruebas instrumentadas en Torpsbruk indicaron la viabilidad y el potencial de utilizar mediciones in situ para comprender mejor los efectos ambientales estacionales sobre el rendimiento del pavimento. Aunque los estudios de campo y la instrumentación pueden ser bastante difíciles y costosos, el resultado de estos estudios puede ser muy valioso y de gran interés para desarrollar modelos de respuesta (es decir, modelos de rigidez a la humedad). Las mediciones de campo pueden proporcionar información detallada sobre los esfuerzos y la dependencia de la humedad del material que hasta ahora se ha

estudiado principalmente en el laboratorio y puede no representar completamente las condiciones in situ.

La utilidad de este antecedente para la presente investigación es que demuestra la profunda importancia de la medición del contenido de humedad en la construcción de pavimentos.

- (Bogena, y otros, 2010) realizaron la investigación: *Potential of Wireless Sensor Networks for Measuring Soil Water Content Variability* en la Sociedad Americana de Ciencias del Suelo. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

Este estudio ha demostrado la aplicabilidad de la red de sensores inalámbricos SoilNet para el análisis de patrones de contenido de agua del suelo (SWC) en la escala de captación de cabeceras. De agosto a noviembre de 2009, se tomaron más de seis millones de mediciones. Esto muestra que el concepto de red de sensores subterráneos inalámbricos se puede aplicar con éxito en captaciones de cabeceras de bosques montañosos de poca altura. Un análisis estadístico de los datos de SoilNet mostró que la variabilidad de SWC observada en este estudio fue relativamente alta, pero se corresponde bien con la variabilidad SWC encontrada por Grant et al. (2004) en una región montañosa. Los datos de la red del sensor mostraron menos dispersión que los estudios similares basados en mediciones discontinuas de SWC. Esto indica que las redes de sensores permiten obtener información más detallada sobre los procesos que generan la variabilidad de SWC. La variabilidad en SWC a 50 cm de profundidad fue significativamente menor que a 5 cm, lo que sugiere que los factores que controlan el mayor tiempo de viaje reducen la variabilidad espacial del SWC. Las características

topográficas mostraron la mayor correlación con SWC durante los períodos secos, lo que indica que el control de la topografía en el patrón SWC depende del estado hídrico del suelo. Los resultados de interpolación indicaron que la alta densidad de muestreo permitió capturar los patrones clave de la variación de SWC en la cuenca. El trabajo futuro se enfocará en el aumento de las mediciones de puntos a escalas más grandes (por ejemplo, usando datos de SoilNet para la validación de estimaciones SWC basadas en sensores remotos o resultados de modelos hidrológicos distribuidos) y el análisis de la variación espaciotemporal de SWC en escalas de tiempo cortas (<1d).

La utilidad de este antecedente para la presente investigación es que demuestra la tendencia en el uso de sensores para la determinación de distintas propiedades del suelo, en este caso el contenido de humedad.

2.1.2. Antecedentes nacionales

➤ (Varas, 2013) realizó la tesis: **Diseño de un sistema electrónico para riego de césped de jardín empleando un sensor de humedad de suelos y comunicación inalámbrica** en la Pontificia Universidad Católica del Perú. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

El diseño electrónico fue simulado e implementado con funcionamiento exitoso. Aunque es un tema de domótica, este tema tiene más aplicaciones en agronomía ya que no está diseñado para un tipo de suelo, condiciones climáticas o cultivo en especial, inclusive sistemas como estos están siendo usados actualmente en los cultivos de la costa ya que ayudan a ahorrar agua (un tema crucial por tratarse de un desierto) y mejoran la calidad de los cultivos (un tema importante también porque la mayoría son para exportación), la diferencia es que son sistemas completos, también con comunicación

inalámbrica tienen además interfaces gráficas y asesoría de agrónomos especializados en el uso de estas tecnologías, además son importados en su totalidad, nada de su desarrollo se hace en el Perú, con este tema de tesis se está haciendo algo innovador por la agricultura de nuestro país.

La utilidad de este antecedente para la presente investigación es que se evidencia la tendencia del uso de sensores en el Perú, igualmente se aprecia que su desarrollo e implementación es precario, eso da un potencial grande a las líneas de investigación que apliquen sistemas similares.

- (LAZO & CAMPOS, 2014) realizaron la tesis: **Sistema remoto de control y monitoreo de la humedad del suelo para reducir el consumo de agua del maíz con riego por goteo en el valle de Pampas, en la Universidad Nacional de Huancavelica**. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

El tiempo de retardo es de 5 minutos (en el peor de los casos consideramos 10 minutos, si consideramos adicionalmente al periodo de muestreo de 5 minutos), desde que se da la orden a la electroválvula para que deje o no deje pasar el agua de liego hasta que el sensor de humedad detecte el cambio; por lo tanto, está bien monitorear cada 5 minutos la humedad en la raíz del maíz. También el periodo de funcionamiento de la electroválvula debe ser mayor que el doble del máximo tiempo de retardo, es decir mayor de 5 minutos y para mayor seguridad mayor de 10 minutos. El periodo de funcionamiento de la electroválvula es regulado con la asignación del error máximo {Error Máximo = humedad actual - humedad meta}.

La utilidad de este antecedente para la presente investigación es que muestra el uso intenso que han tenido los sensores en el campo de la medición de la humedad sobre todo en la agricultura.

- (Huamán, Yupanquib, Allccaa, & Allccac, 2016) realizaron el estudio: **Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la difusividad térmica en granos andino** en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

Se comprobó que los valores de difusividad térmica de los granos de quinua y cañihua están comprendidos entre $7,95$ y $8,79 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ y $7,25$ a $8,20 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; con porosidades de $0,33$ a $0,35$ y $0,25$ a $0,28$, respectivamente; esta propiedad presenta diferencias entre los granos de quinua y cañihua por la forma y tamaño de los mismos; comprobándose la relación directa con la temperatura e inversa con el contenido de humedad en rangos de 20 a 35°C y de 10 a 20% de humedad.

La utilidad de este antecedente para la presente investigación es que en ella se aprecian el uso de técnicas estadísticas para el análisis de factores de un fenómeno tales como las gráficas de superficie de respuesta del efecto de la humedad y la temperatura. La presente tesis se valdrá de dichas herramientas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Correlación en las Mediciones

La variabilidad es la tendencia del proceso de medición a producir mediciones ligeramente diferentes en el mismo elemento de prueba, donde las condiciones de medición son estables o varían con el tiempo. Se consideran dos fuentes de

variabilidad dependientes del tiempo: variabilidad a corto plazo atribuida a la precisión del instrumento; y, variabilidad a largo plazo relacionada con los cambios en el medio ambiente y las técnicas de manipulación (Information Technology Laboratory, 2018).

La variabilidad natural está asociada con la aleatoriedad "inherente" de los procesos naturales, que se manifiesta como variabilidad en el tiempo para los fenómenos que tienen lugar en un solo lugar (variabilidad temporal) o como variabilidad en el espacio para fenómenos que tienen lugar en diferentes lugares, pero en un tiempo único (variabilidad espacial), o como variabilidad sobre el tiempo y el espacio. Tal variabilidad natural es estudiada usando simplificaciones o modelos matemáticos aproximados (Baecher G. & Christian, Reliability and Statistics in Geotechnical engineering, 2003).

Las medidas pueden referirse a dos aspectos específicos de un conjunto de datos: (i) el promedio, (llamadas medidas de tendencia central), y (ii) la medida en que los puntajes se extienden en cualquier lado del promedio (estos se llaman medidas de dispersión o medidas de variabilidad) (Sani & Todman, 2006).

Por variabilidad, queremos decir que las observaciones sucesivas de un sistema o fenómeno no producen exactamente el mismo resultado. Existen distintas fuentes de variabilidad para un fenómeno.

A menudo se usan dos números para resumir una distribución de probabilidad para una variable aleatoria. La media es una medida del centro o centro de la distribución de probabilidad, y la varianza es una medida de la dispersión o variabilidad en la distribución. Estas medidas son resúmenes simples y útiles de la distribución de probabilidad de una variable (Montgomery D. &., 2003)

2.2.1.1. Regresión lineal

La regresión es parte de un fenómeno aún más básico: la variabilidad. Prácticamente todo lo que se mide varía de medición a medición. Cuando se repite, cada experimento muestra al menos un poco de diferencia en los resultados (Cohn, 2012).

La variación observada de un proceso se divide en dos fuentes: variación entre las partes: es la variabilidad en las mediciones entre las diferentes partes; y variación del sistema de medición que es toda la variación asociada con un proceso de medición, sus fuentes: dispositivos, procedimientos, el ambiente, etc.

Además, se usa un análisis de varianza para medir la variabilidad a través de grupos de datos. Debido a que calculamos la varianza entre los grupos, el tamaño de la muestra (n) debe ser igual en cada grupo; es necesario que el mismo número de los puntajes se promedian en cada grupo (Privitera, 2015).

2.2.1.2. Análisis ANOVA

En resumen, la lógica detrás de ANOVA se basa en el desarrollo de dos estimaciones independientes de la varianza de población común σ^2 . Una estimación de σ^2 se basa en la variabilidad entre las propias medias de la muestra, y la otra estimación de σ^2 se basa en la variabilidad de los datos dentro de cada muestra. Al comparar estas dos estimaciones de σ^2 , podremos determinar si los promedios de población son iguales (Anderson, y otros, 2008).

2.2.1.3. La media

La media es la medida de tendencia central más comúnmente utilizada. Hay diferentes tipos de medias: aritmética, ponderada, geométrica y armónica. Si se menciona sin un adjetivo (como media), generalmente se refiere a la media aritmética.

La media aritmética se calcula sumando todos los valores en el conjunto de datos dividido por el número de observaciones en él (Manikandan, 2018).

La media de un conjunto de observaciones está dada por: $\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

2.2.1.4. El rango

La medida más simple de variabilidad en una muestra es el rango, que es la diferencia entre los valores de muestra más grandes y más pequeños (Devore, 2012).

2.2.1.5. La varianza

La variabilidad o la dispersión del conjunto de datos alrededor de la media de una muestra y puede caracterizarse por la varianza:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - \bar{x})^2 \quad (\text{Haybro, 2012}).$$

2.2.1.6. La desviación estándar

La desviación estándar de la muestra, denotada por s , es la raíz cuadrada (positiva)

de la varianza: $s = \sqrt{s^2}$

2.2.1.7. El error estándar de la media

El error estándar de una estadística es la desviación estándar de su distribución de muestreo. Si el error estándar involucra parámetros desconocidos cuyos valores pueden estimarse, la sustitución de estas estimaciones en los resultados de error estándar en un estimado. La suma de los cuadrados de los errores (SSE por sus

siglas en inglés) se define como:
$$SSE = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$
 (Devore, 2012).

2.2.2. Contenido de Humedad del Suelo

El contenido de humedad es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en el horno a una temperatura entre los 105°-110° C. Se expresa de forma de porcentaje, puede variar desde cero cuando está perfectamente seco hasta un máximo determinado que no necesariamente es el 100%. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este, por ejemplo, cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica (Scribd, 2018).

Figura 9: Idealización del contenido de humedad de un suelo



Fuente: <http://edafologia.ugr.es/IntroEda/tema03/imagenes/> .

El contenido de agua del suelo es expresado como una relación entre la masa de agua contenida en una muestra de suelo y la masa seca de la muestra de suelo o el volumen original de la muestra. Estas dos expresiones están linealmente relacionadas por un coeficiente conocido como la densidad aparente del suelo muestreado (Puy, 2006).

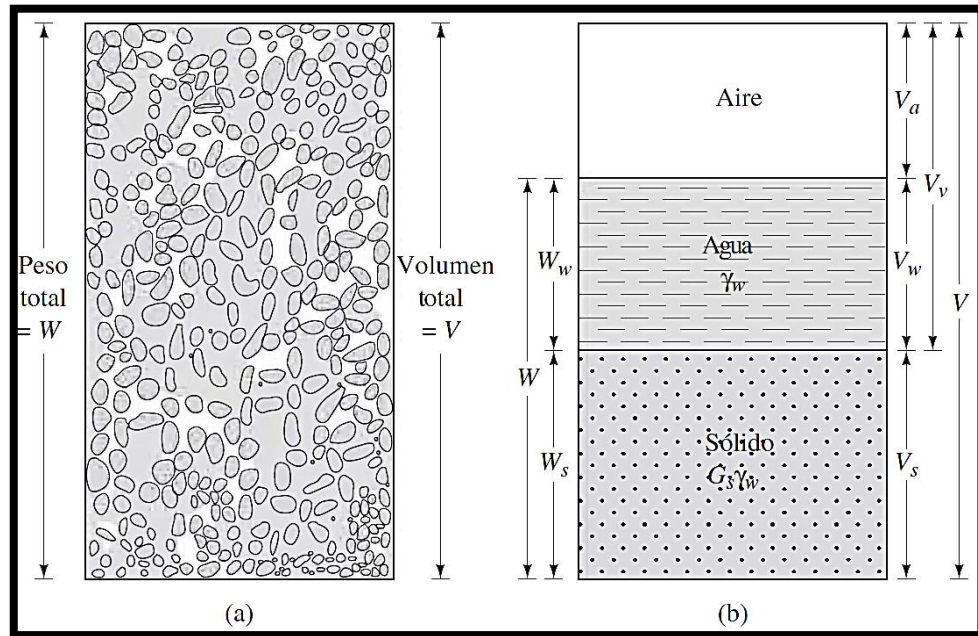
La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas (UNI, 2006).

2.2.3. Relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo.

Para desarrollar las relaciones de peso-volumen se separan las tres fases del suelo, es decir, sólido, agua y aire, como se muestra en la siguiente figura.

En la Figura se muestran: (a) Elemento de suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo.

Figura 10: Relaciones gravimétricas y volumétricas en un suelo



Fuente: (Das, 2015)

A partir de este concepto anterior se pueden deducir las siguientes relaciones gravimétricas y volumétricas en los suelos:

Tabla 1: Relaciones gravimétricas en los suelos.

<i>Propiedades</i>		<i>Muestra Saturada</i> ($W_s, W_w, G,$ <i>conocidas</i>)	<i>Muestra no Saturada</i> ($W_s, W_w, G, V,$ <i>conocidas</i>)	<i>Formulas Suplementarias que Relacionan los Factores Medidos y Calculados</i>			
VOLUMEN DE COMPONENTES	V_s Volumen de Sólidos		$\frac{W_s}{G\gamma_w}$	$V - (V_a + V_w)$	$V(1 - n)$	$\frac{V_s}{1 + e}$	$\frac{V_v}{e}$
	V_w Volumen de Agua		$\frac{W_w}{\gamma_w}$	$V_v - V_a$	$S V_v$	$\frac{S V_e}{1 + e}$	$S V_{se}$
	V_a Volumen de Aire o Gas	Cero	$V - (V_s + V_w)$	$V_v - V_w$	$(1 - S)V_v$	$\frac{(1 - S)V_e}{1 + e}$	$(1 - S)V_{se}$

V_l	Volumen de Vacíos	$\frac{W_w}{\gamma_w}$	$V - \frac{W_s}{G\gamma_w}$	$V - V_s$	$\frac{V_s n}{1 - n}$	$\frac{V_e}{1 + e}$	$V_s e$
V	Volumen Total de la Muestra	$V_s + V_w$	Medida	$V_s + V_a + V_w$	$\frac{V_s}{1 - n}$	$V_s(1 - e)$	$\frac{V_v(1 + e)}{e}$
n	Porosidad	$\frac{V_v}{V}$		$1 - \frac{V_s}{V}$	$1 - \frac{W_s}{GV\gamma_w}$	$\frac{e}{1 + e}$	
e	Relación de Vacíos	$\frac{V_v}{V_s}$		$\frac{V}{V_s} - 1$	$\frac{GV\gamma_w}{W_s} - 1$	$\frac{W_w}{W_s S}$	$\frac{n}{1 - n} \frac{wG}{S}$

Fuente: (Cernica, 1982).

Tabla 2: Relaciones volumétricas en los suelos.

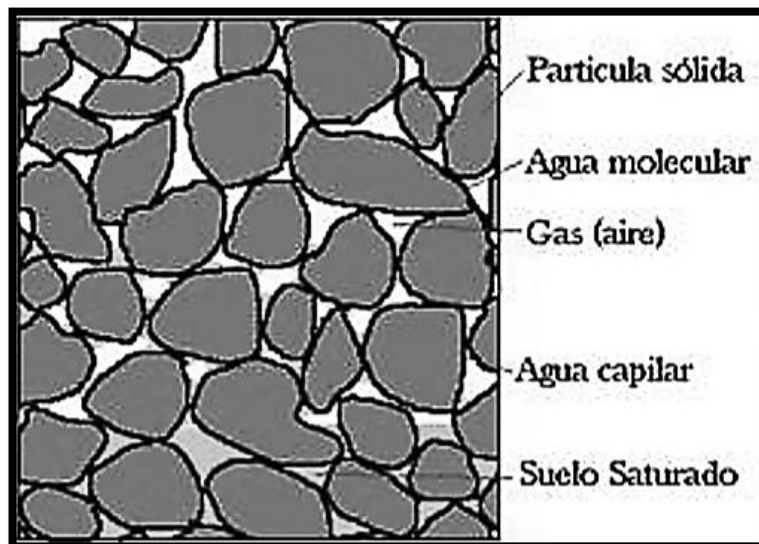
		<i>Propiedades</i>		<i>Muestra Saturada (W_s, W_w, G, conocidas)</i>	<i>Muestra no Saturada (W_s, W_w, G, V, conocidas)</i>	<i>Formulas Suplementarias que Relacionan los Factores Medidos y Calculados</i>		
PESOS PARA UNA MUESTRA ESPECIFICA	W_s	Peso de Solidos		Medida		$\frac{W_T}{1 + W}$	$GV\gamma_w(1 - n)$	$\frac{W_w G}{eS}$
	W_w	Peso del Agua		Medida		wW_s	$S\gamma_w V_v$	$\frac{eW_s S}{1 + e}$
	W_t	Peso Total de la Muestra		$W_s + W_w$		$W_s(1 + w)$		
PESOS PARA UNA MUESTRA DE VOLUMEN UNITARIO	γ_D	Peso Unitario Seco		$\frac{W_s}{V_s + V_w}$	$\frac{W_s}{V}$	$\frac{W_t}{V(1 + w)}$	$\frac{G\gamma_w}{1 + e}$	$\frac{G\gamma_w}{1 + wG/S}$
	γ_T	Peso Unitario Húmedo		$\frac{W_s + W_w}{V_s + V_w}$	$\frac{W_s + W_w}{V}$	$\frac{W_T}{V}$	$\frac{(G + Se)\gamma_w}{1 + e}$	$\frac{(1 + w)\gamma_w}{w/S + 1/G}$
	γ_{SAT}	Peso Unitario Saturado		$\frac{W_s + W_w}{V_s + V_w}$	$\frac{W_s + V_v\gamma_w}{V}$	$\frac{W_s}{V} + \left(\frac{e}{1 + e}\right)\gamma_w$	$\frac{(G + e)\gamma_w}{1 + e}$	$\frac{(1 + w)\gamma_w}{w + 1/G}$
	γ_{SUB}	Peso Unitario Sumergido		$\gamma_{SAT} - \gamma_w$		$\frac{W_s}{V} + \left(\frac{e}{1 + s}\right)\gamma_w$	$\left(\frac{G + e}{1 + e} - 1\right)\gamma_w$	$\left(\frac{1 - 1/G}{w + 1/G}\right)\gamma_w$
RELACIONES COMBIN	w	Contenido de Humedad		$\frac{W_w}{W_s}$		$\frac{W_t}{W_s} - 1$	$\frac{Se}{G}$	$S\left(\frac{\gamma_D}{\gamma_w} - \frac{1}{G}\right)\gamma_w$

S	Grado de Saturación	1.00	$\frac{V_w}{V_v}$	$\frac{W_w}{V_v \gamma_w}$	$\frac{wG}{e}$	$\frac{w}{\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G}\right)}$
G	Gravedad Específica		$\frac{W_s}{V_s \gamma_w}$	$\frac{S_e}{w}$		

Fuente: (Cernica, 1982).

En general el suelo está constituido por esqueleto de partículas sólidas rodeadas de espacios llenos de agua y aire, la representación en volumen y masa esquelética de las fases se muestra a continuación:

Figura 11: Fases de un Suelo



Fuente: <https://es.slideshare.net/victorjavo/suelos-fundamentos-teoricos-52354658>.

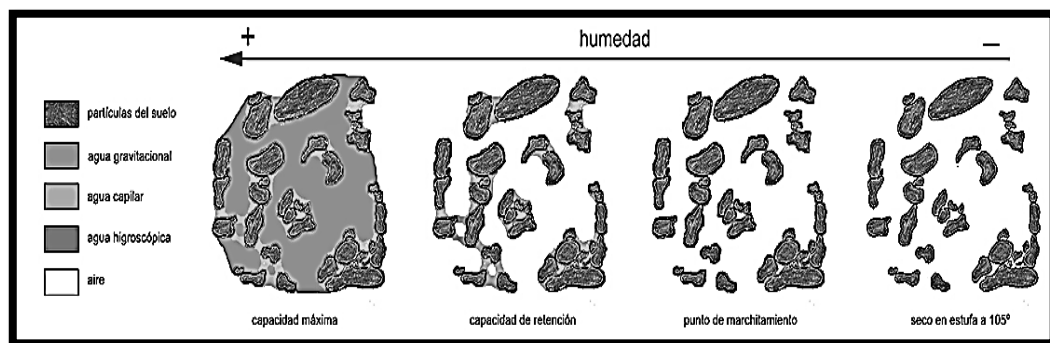
En mecánica de suelos se relaciona los distintos pesos con sus volúmenes correspondientes, por medio del concepto de peso específico, es decir la relación entre el peso de la sustancia y su volumen (Purizaga,2009).

2.2.4. Retención de Agua en el Suelo

La similitud del suelo con una esponja permite explicar los procesos de retención de agua. Cuando se toma una esponja que está aparentemente seca y se comienza

a adicionar agua lentamente, ésta la absorberá. Al continuar el proceso, el agua empieza a drenar libremente; si se deja de aplicar, llega un momento en que cesa el drenaje. Sin embargo, en caso de ejercer presión sobre la esponja el agua continuará drenando. Esto es debido a que entre menor sea el radio de los poros que retienen el agua, la tensión capilar es mucho mayor. Por tanto, a pesar de ser la capacidad de almacenamiento de agua en un suelo arcilloso mayor que en uno arenoso, la fuerza con que retiene el agua la arcilla es mayor a la de la arena (Gonzales, 2011).

Figura 12: Retención de agua en un suelo.



Fuente: <http://www.edafologia.net/introeda/tema03/tema.htm> .

El movimiento del agua en el suelo constituye el agente más importante en la formación de los suelos. agua ejerce importantes acciones. El agua interviene decisivamente tanto en la meteorización física y química, y translocación de sustancias como desde el punto de la fertilidad, además del agua en sí misma es imprescindible para las plantas, el agua transporta los nutrientes, las sales solubles y los contaminantes a través del suelo y/o al subsuelo (enriquecimiento o pérdida de los nutrientes). Produce el hinchamiento y el encogimiento de las arcillas, uniendo sus partículas y provocando el desarrollo de la estructura del suelo. Su importancia es tal que la popular sentencia "Donde no hay agua, no hay vida" la

podemos adaptar en nuestro caso y decir que "Donde no hay agua, no hay suelos"(Dorronsoro 2018).

2.2.5. Contenido de humedad en suelos granulares.

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas NTP 339.127.

La determinación de humedad en suelos granulares utilizando horno microondas y comparación de los resultados con el método tradicional y análisis comparativo de los resultados obtenidos en ensayos de humedad natural y caracterización sobre muestras de suelos finos secadas en horno microondas vs. el método tradicional, se generó una metodología que permite determinar el contenido de humedad de suelos finos en el horno microondas y que puede ser utilizado para diferentes ensayos como densidad en el terreno, plasticidad, límites de consistencia y otros, para los cuales también es necesario secar la muestra de suelo a utilizar (Lancheros Rodriguez & Bernal Niño, 2009)

2.2.6. Densidad relativa de las arenas.

El término densidad relativa se utiliza comúnmente para indicar la densidad in situ o soltura de suelo granular sus valores pueden variar desde un mínimo de cero para el suelo muy suelto, a un máximo de uno para el suelo muy denso. Mediante el uso de la definición de peso unitario seco (0% de contenido de humedad) podemos expresar la densidad relativa en términos de pesos unitarios secos posibles máximos y mínimos (Das, 2015). La Densidad Relativa es una propiedad índice de los suelos y se emplea normalmente en gravas y arenas, es decir, en suelos que contienen casi exclusivamente partículas mayores que 0.074 mm . (malla # 200).

La densidad relativa es una manera de indicar el grado de compactación de un suelo y se puede emplear tanto para suelos granulares naturales como para rellenos compactados de estos suelos. Para estos últimos se especifican las densidades de los rellenos a las que ellos deben ser compactados en términos de densidad relativa. El uso de la densidad relativa en geotecnia es importante debido a la correlación directa que ella tiene con otros parámetros de los suelos de importancia en la ingeniería, tales como el ángulo de roce interno, la resistencia a la penetración (N de golpes de cuchara normal), etc. Por otra parte, muchas fórmulas que permiten estimar los asentamientos posibles de estructuras fundadas sobre suelos granulares, están basadas en la densidad relativa.

Figura 13: Densidad relativa de algunas arenas.

Arena	D_R (%)	D_{50} (mm)	γ_d ($\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$)	γ_{sat} ($\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$)	E' (MPa)	ν	ϕ ($^\circ$)	ψ ($^\circ$)
Ottawa [13]	30	0.09	14.15	18.62	9.30	0.27	31.0	1.00
Texas [15]	55	0.30	14.80	19.05	16.53	0.20	36.4	6.00
Eastern Scheldt [16]	73	0.17	15.85	19.68	33.30	0.20	40.0	12.70
Maipo [17]	35	0.34	14.00	18.62	18.38	0.25	39.1	7.24
	55	0.34	14.70	19.07	29.48	0.25	43.3	13.25
	75	0.34	15.50	19.57	33.23	0.25	47.1	19.46
Sacramento River [18]	38	0.21	14.30	18.61	19.10	0.22	35.9	5.00
Nevada [19]	35	0.16	15.40	19.46	9.74	0.23	32.4	1.33
Toyoura [20]	38	0.26	14.40	19.01	22.2	0.20	34.0	4.00
	64	0.17	15.27	19.51	30.0	0.20	39.4	9.0

Fuente: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/30280/45331>

Conceptualmente, la densidad relativa indica el estado de compacidad de cualquier tipo de suelo. Sin embargo, y de acuerdo a cómo se determina el valor de la densidad relativa, surgen dificultades para suelos granulares con bolones. Para los suelos finos, la densidad relativa no tiene interés ya que los procedimientos de vibración utilizados para obtener la densidad máxima – referente de la densidad relativa – no son efectivos en estos suelos, para los cuales el ensayo de compactación será el utilizado en la especificación de los rellenos.

Hay que hacer notar que los suelos granulares no permiten la obtención de muestras no perturbadas – a menos que ellas sean obtenidas por procedimientos tan especiales como el congelamiento - por lo que algunas propiedades ingenieriles de estos suelos resultan difíciles de obtener en forma directa. De ahí que para ellos la densidad relativa adquiera tanta importancia. No ocurre lo mismo en suelos finos donde las muestras naturales pueden ser en la mayor parte de los casos directamente ensayadas en laboratorio para obtener propiedades ingenieriles.

Expresada en porcentaje, es el grado de compacidad de un suelo referido a sus estados más sueltos y más compacto que se obtienen siguiendo los procedimientos de laboratorio que se indican; matemáticamente esta expresado

por la siguiente formula:
$$DR = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 \quad \text{donde} \quad e = \frac{V_V}{V_S}$$

e: índice de huecos

VV: Volumen de vacíos.

VS: Volumen de sólidos.

Debido a que en terreno lo que se determina directamente en terreno es la densidad seca, γ_S , esta fórmula conviene expresarla en función de densidades

secas:
$$DR = \frac{\frac{1}{\gamma_{d \min}} - \frac{1}{\gamma_d}}{\frac{1}{\gamma_{d \min}} - \frac{1}{\gamma_{d \max}}} \times 100$$

(Debe observarse que a $\gamma_{d \max}$ corresponde e_{\min} y que a $\gamma_{d \min}$ corresponde e_{\max}).

De la definición se desprende que la densidad relativa varía entre 0 (e_{\max} , $\gamma_{d \min}$) y 100 (e_{\min} , $\gamma_{d \max}$) (U-Cursos, 2004).

La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9. Contenido de humedad de la arena La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70, C 127, C 128 y C 566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

2.2.7. Métodos de obtención del contenido de humedad en laboratorio

2.2.7.1. Métodos gravimétricos.

El método gravimétrico es el único método directo de medición de la humedad del suelo. Dicho método consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad. La muestra de suelo se considera seca cuando su peso permanece constante a una temperatura de 105°C. Se han construido numerosos tipos de equipo de muestreo, así como hornos de secado y balanzas especiales, para ser utilizados con este método.

El método gravimétrico es el más exacto para medir el contenido de humedad del suelo y resulta necesario para calibrar el equipo utilizado en los demás métodos. Sin embargo, no puede usarse para obtener un registro continuo de la humedad del suelo de un lugar determinado, porque es necesario extraer muestras del suelo para su análisis en el laboratorio (Ideam, 2018).

Figura 14: Método Gravimétrico Estándar para la obtención del Contenido de Humedad de Suelos



Fuente: https://www.slideshare.net/Mohammed_82/soil-moistur

El método gravimétrico es el conjunto de técnicas de análisis en las que se mide la masa de un producto para determinar la masa de un analito presente en una muestra. El análisis gravimétrico se basa en dos medidas experimentales: el peso de la muestra tomada y el peso del sólido obtenido a partir de esta muestra. Se expresa frecuentemente en porcentajes de analito, A:

$$\% A = \frac{\text{peso A}}{\text{pesomuestra}} \times 100$$

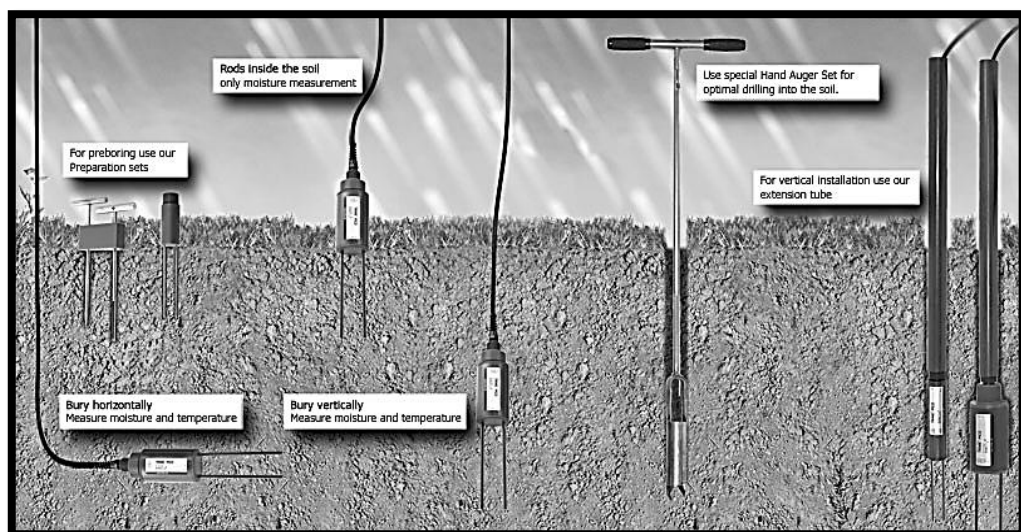
El producto pesado (obtenido) es A y su peso se determina directamente. El conjunto de constantes asociadas con la transformación de unidades métricas en unidades químicas, incluyendo las relaciones estequiométricas llamadas factor gravimétrico (Arévalo Duarte,2016)

2.2.7.2. Métodos Volumétricos

– De conductividad eléctrica.

El análisis teórico y experimental ha demostrado que el tiempo de tránsito o velocidad de propagación del pulso electromagnético es proporcional al valor de la constante dieléctrica aparente del suelo, y que la señal de disipación o atenuación es proporcional a la conductividad eléctrica de la masa del suelo. Por lo tanto, estos dos parámetros (velocidad y atenuación) están muy correlacionados con el contenido de humedad y conductividad eléctrica del medio y, consecuentemente, con la salinidad del agua del suelo (Flores & otros, 2010).

Figura 15: Método volumétricos de conductividad eléctrica.



Fuente: <http://www.cmtmoisturemeters.com.au/product/trime-pico-32->

La medida de la Conductividad Eléctrica de los extractos obtenidos de un suelo permite establecer una estimación aproximadamente cuantitativa de la cantidad de sales que contiene. La relación suelo-agua tiene influencia sobre la cantidad y composición de las sales extraídas, siendo necesario especificar la relación (Calderon y Pavlova).

Figura 16: Método volumétricos de conductividad eléctrica.



Fuente: <http://www.mdpi.com/2072-4292/8/1/42>
<http://www.cmtmoisturemeters.com.au/product/trime-pico-32->

2.2.8. Métodos de obtención del contenido de humedad en campo

2.2.8.1. Método gravimétrico

El método gravimétrico implica recolectar una muestra de suelo que pesa la muestra antes y después de secarla, y calcular su contenido de humedad original. El método gravimétrico es el método más antiguo, pero sigue siendo el método más utilizado para obtener datos sobre la humedad del suelo. Debido a que es la única forma directa de medir la humedad del suelo, se requiere para calibrar equipos utilizados en otros métodos. La toma de muestras se puede realizar a través de barrenos o tubos de muestreo.

Para determinar la humedad por gravimetría se toman distintos pesajes previos:

- a. vaso vacío de cada muestra.
- b. vaso con la arena húmeda.
- c. vaso con arena seca.

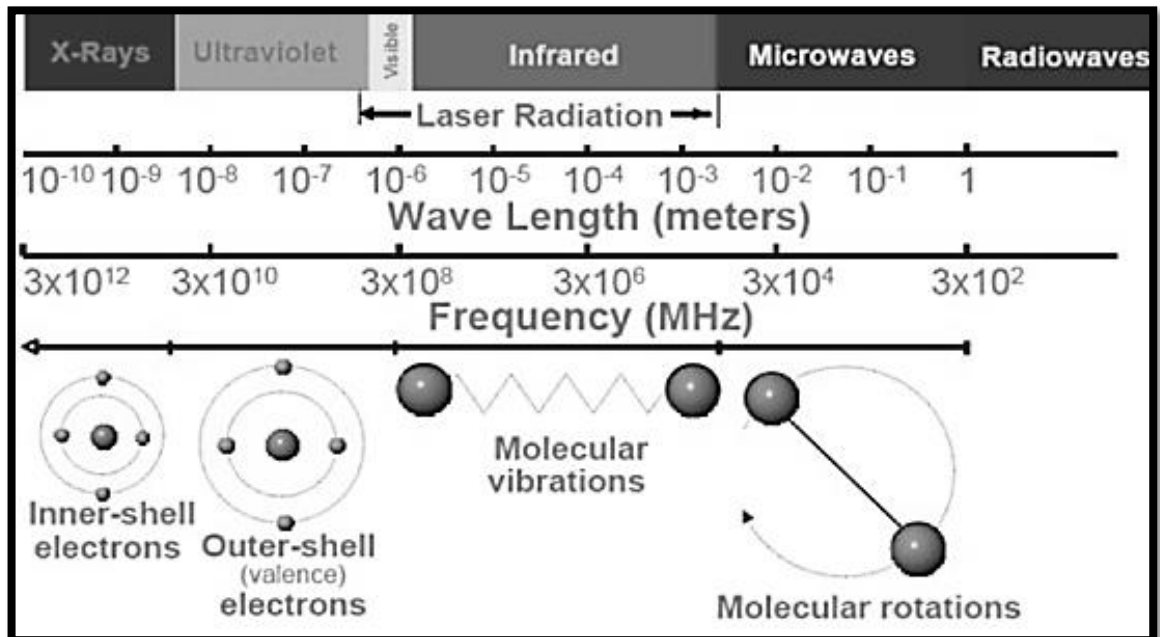
Luego se leen los valores correspondientes al contenido de humedad para luego introducir las muestras en la estufa a 110°C durante 24hs.

Una vez transcurrido el tiempo de secado se retiran de la estufa, se dejan enfriar y se pesan. (Hansen, 2018).

2.2.9. El calor por microondas.

Con el término microondas se denomina a las ondas electromagnéticas cuya frecuencia se sitúa entre 30 GHz y 300 MHz en el espectro electromagnético, correspondientes a longitudes de onda de 1 m y 1 cm, respectivamente. Para no interferir con los sistemas de telecomunicación, los microondas domésticos e industriales operan a una frecuencia de 2,45 GHz (12,22 cm). Si recordamos la relación entre energía de la radiación electromagnética y su longitud de onda, establecida a través de la ecuación de Planck, $E=h \cdot c/\lambda$, veremos que la capacidad de calefacción de las microondas no es muy elevada al compararla con otras fuentes de calefacción. Así, la energía correspondiente a un fotón de esa frecuencia (0,00001 eV, o 4 cal/mol) es demasiado baja para romper enlaces y es, incluso, inferior a la energía del movimiento de agitación térmica de las moléculas (conocido como movimiento Browniano). Por lo tanto, es evidente que la radiación microondas no puede provocar reacciones de absorción directa de fotones por los átomos, como sí ocurre en el caso de la radiación ultravioleta y visible.

Figura 17: Espectro de radiación electromagnética y su interacción con átomos y moléculas.



Fuente: <https://isqch.wordpress.com/2017/01/11/calor-y-temperatura-v-la-calefaccion-por-microondas/> <http://www.cmtmoisturemeters.com.au/product/trime-pico-32->

Debido a estos mecanismos, cuando una sustancia es capaz de interaccionar eficazmente con las microondas, el calentamiento se produce simultáneamente en todo el volumen de la misma, a diferencia de la calefacción convencional, en la que el calor debe transmitirse desde su foco hasta la totalidad del volumen mediante procesos de conducción y convección, mucho más lentos.

La eficacia de la calefacción microondas depende de la capacidad de cada material para absorber la energía electromagnética y transformarla en calor. Este fenómeno depende de la naturaleza de las moléculas, en particular de sus propiedades dieléctricas (Ibidem).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

— **Análisis de la varianza con un factor (One-way ANOVA)**

El método de análisis de la varianza (ANOVA), es una poderosa técnica de uso extendido para estimar y comparar los promedios de dos o más poblaciones, y en particular para probar la hipótesis nula de que las medias son las mismas. Esta es una extensión del problema de probar hipótesis sobre las medias de dos poblaciones (Rosenkrantz, 2009).

— **Análisis gravimétrico**

El análisis gravimétrico se basa en dos medidas experimentales: el peso de la muestra tomada; y el peso del sólido obtenido a partir de esta muestra. Los resultados del análisis se expresan frecuentemente en porcentajes de analito (por ejemplo, el agua), A:

$$\%A = \frac{\text{pesoA}}{\text{pesomuestra}} \times 100 \quad (\text{Unne, 2018}).$$

— **Cantera**

Lugar de donde se obtienen piedras u otros materiales similares (Real Academia Española, 2018).

— **Coefficiente de correlación**

En estadística, el coeficiente de correlación de Pearson es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{(n-1) s_x s_y} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}.$$

— **Coefficiente de determinación**

El R Cuadrado se define como la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. El R Cuadrado, también llamado coeficiente de determinación, refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar. Es importante saber que el resultado del R Cuadrado oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar. De forma inversa, cuanto más cerca de cero, menos ajustado estará el modelo y, por tanto, menos fiable será

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\hat{Y}_t - \bar{Y})^2}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2}$$

— **Contenido de humedad o contenido de agua**

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas (UNI, 2006).

— **Desviación estándar**

En estadística, la desviación estándar es una medida de la variabilidad (dispersión) de cualquier conjunto de valores numéricos sobre su media aritmética (promedio, denotado por μ). Se define específicamente como la raíz cuadrada positiva de la varianza (σ^2). En símbolos, $\sigma^2 = \sum (x_i - \mu)^2 / n$, donde \sum es una notación compacta utilizada para indicar que cuando el índice (i) cambia de 1 a n (el número de elementos en el conjunto de datos), el cuadrado de la diferencia entre cada elemento x_i y la media, dividida por n, se calcula y estos valores se suman. La varianza se utiliza procesalmente

para analizar los factores que pueden influir en la distribución o la dispersión de los datos considerados (Gregersen, 2011)

— **Error estándar**

La desviación estándar de una distribución de muestreo se denomina error estándar. Para tamaños de muestra grandes, el teorema del límite central indica que la distribución de muestreo de \bar{x} se puede aproximar mediante una distribución de probabilidad normal. Como cuestión de práctica, los estadísticos generalmente consideran muestras de tamaño 30 o más para ser grande

— **Exactitud de un sistema de medida**

La exactitud describe la diferencia entre el valor registrado y el real. Podemos descomponer la exactitud de un sistema de medida en tres componentes: 1. *Linealidad*: Indica cómo varía el nivel de exactitud obtenido en la medición en función del tamaño del objeto medido. Da una idea de cómo el tamaño del elemento a medir afecta a la exactitud del sistema de medida. 2. *Exactitud*: Es la diferencia entre la medición media observada y un “valor maestro”. Da una idea de lo “centrado” o “ajustado” que está el sistema de medida. 3. *Estabilidad*: Es la variación total que se obtendría al medir el mismo elemento repetidas veces usando un mismo aparato de medición. Nos da una idea de cómo de exacto o estable es el sistema con el paso del tiempo.

— **Horno de microondas**

Aparato eléctrico que permite la cocción o el calentamiento de alimentos por acción de ondas ultracortas a muy alta frecuencia. Estas microondas provocan la rápida agitación de las moléculas de agua contenidas en los alimentos, lo cual genera un calentamiento intenso. Cuanta más agua libre hay en los productos (líquidos o verduras), más rápido y homogéneo es este calentamiento; cuando más ligada está el agua (carne, pescados),

más lento y disperejo es. Las microondas atraviesan materiales como el cristal, el plástico o la cerámica, pero son reflejadas por los metales. Por ello es imperativo no introducir ningún objeto metálico en un horno microondas (LaRousseCocina, 2018).

— **Humedad del suelo**

La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo (Flores & otros, 2010).

— **Media**

La medida más comúnmente reportada de tendencia central es la media. La media, también llamada promedio aritmético o promedio, es la suma de un conjunto de puntajes (x) dividido por el número de puntajes sumados, en una muestra (n) o en una población (N) (Privitera, 2015).

— **Regresión lineal.**

Regresión lineal. Permite determinar el grado de dependencia de las series de valores X e Y , prediciendo el valor y estimado que se obtendría para un valor x que no esté en la distribución.

Una línea de tendencia representa una tendencia en una serie de datos obtenidos a través de un largo período. Este tipo de líneas puede decir si un conjunto de datos en particular (como por ejemplo, el PBI, el precio del petróleo o el valor de las acciones) han aumentado o decrecentado en un determinado período. Las líneas de tendencia son

generalmente líneas rectas, aunque algunas variaciones utilizan polinomios de mayor grado dependiendo de la curvatura deseada en la línea.

— **Resistividad eléctrica.**

La resistencia de un resistor simple se puede calcular como $R = \rho L/A$, donde R es resistencia, L es su longitud, A es su área de sección transversal y ρ es resistividad, que es una propiedad inherente del material. La resistividad es el recíproco de la conductividad σ , es decir, $\rho=1/\sigma$. En igualdad de condiciones, una resistencia que sea el doble de larga tendrá el doble de resistencia, y una con el doble del área de sección transversal tendrá la mitad de la resistencia. Además, el material con mayor resistividad dará como resultado proporcionalmente mayor resistencia (Lucas, 2018).

— **Sensor.**

El sensor o también llamado “sonda” es el elemento que se encuentra en contacto directo con la magnitud que se va a evaluar, al interactuar con estas sufre cambios en sus propiedades. Por ejemplo, la magnitud física puede ser la temperatura y la propiedad alterada puede ser la resistencia eléctrica que varía proporcionalmente a la variable medida (Rodríguez, 2018).

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Las hipótesis de la presente investigación son:

2.4.1. Hipótesis general

Existe una influencia de correlación de los valores del contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo lo cual demostró que los resultados tienen una precisión aceptable, esto permitirá un ahorro en tiempo y costo durante la supervisión de obras de construcción.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Existe la determinación del contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo demuestra una precisión aceptable.
- Existe la correlación entre el contenido de humedad de la arena fina de cunyac, obtenidos mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción.

2.5. VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables del estudio se han determinado

2.5.1. Variable independiente

- Arena fina de Cunyac .

2.5.2. Variable dependiente

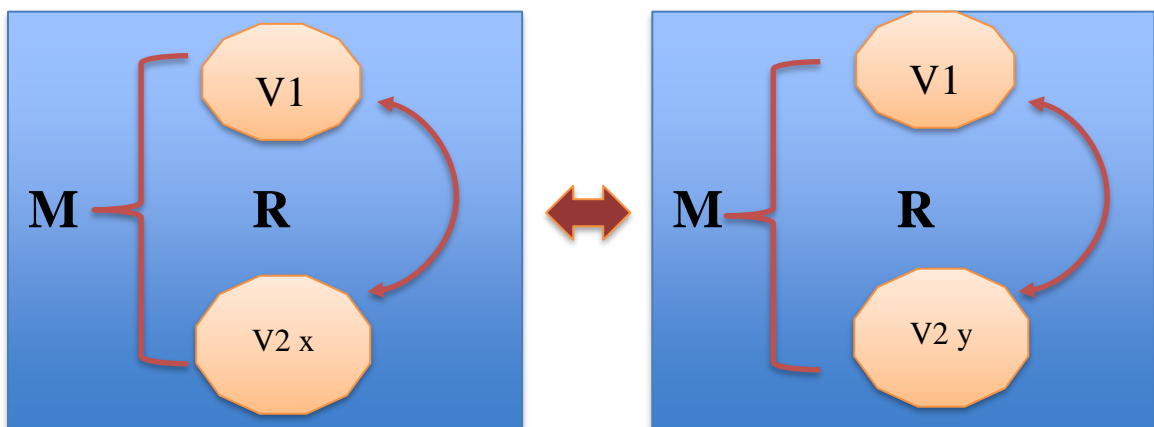
- Determinación del contenido de humedad.
- Método Horno Microondas.
- Método Sensor Resistivo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Se asume el diseño experimental, transversal, descriptivo correlacional que según Hernández Sampieri. R. (2010) “es la que se realiza sin manipular deliberadamente variables. En la investigación no experimental se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para luego analizarlos. Por tanto, la investigación es descriptiva correlacional porque se procederá a explicar la naturaleza de relación entre las variables de estudio que son: el método de medición del contenido de humedad y la influencia en la supervisión de obras de edificación.



Donde:

M = Muestra

V1 = Determinación del contenido de humedad .

V2x = Método Horno Microondas.

V2y= Método Sensor Resistivo.

R = Relación entre las variables

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población de estudio se constituye por lo tanto en toda arena fina con alto contenido de cuarzo, conforme lo define el USCS, es decir, partículas mayores a 0.3 mm y menores a 15 milímetros, proveniente de la cantera de Cunyac en el departamento del Cusco.

3.2.2. Muestra

La muestra es tomada de manera probabilística en consideración a los métodos actuales de muestreo de suelos. El peso de la muestra fue de 150 kg obtenidos en campo y por el método de cuarteo esta muestra se redujo a 18 muestras representativas de un peso aprox. de 100g.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Técnicas de recolección de información

En la primera fase de la tesis, la principal técnica de recolección de datos será la recopilación documental, tanto de las bases teóricas para la tesis como de los antecedentes de investigaciones similares.

Luego en la fase de ejecución de ensayos de laboratorio, las principales técnicas de recolección serán los protocolos de medición del contenido de humedad de las muestras mediante fichas de recolección de datos y llevados a un registro de estos.

3.3.2. Técnicas de análisis e interpretación de la información

En la presente tesis, entre otras, se han utilizado las técnicas de:

- Análisis documental.
- Codificación temática.
- Análisis estadístico.
- Análisis de correlación

3.4. PROCEDIMIENTO DE LOS MÉTODOS: HORNO MICROONDAS Y SENSOR RESISTIVO PARA LA OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.

3.4.1. Preparación de las Muestra para el Ensayo

Las muestras de arena proveniente de la cantera de Cunyac, fueron lavadas para eliminar todo el contenido de finos, así mismo la arena fue tamizada por la malla número 10. Luego de este proceso todo el material fue secado al horno durante 24 horas a una temperatura promedio de 110° C. Determinación del contenido de humedad con horno microondas. Luego se procedió a añadir distintas cantidades de agua destilada a las dieciocho muestras de suelo, para así estimar su variabilidad.

3.4.2. Determinación del Contenido de Humedad mediante Horno Microondas

3.4.2.1. Descripción del artefacto utilizado para el ensayo

Para la determinación del contenido de humedad de las muestras se usó un horno de microondas marca Daewoo, modelo KQG-1N3H con una potencia de 1000 Watts y una capacidad de 1,1 pie³.

3.4.2.2. Protocolo del ensayo

Para la determinación del contenido de humedad de las muestras se procedió a seguir las indicaciones de la norma técnica: ASTM D4643 – 08. Los pormenores del método se detallan a continuación:

– OBJETIVO

Este método de prueba describe procedimientos para determinar el contenido de agua (humedad) de suelos, secándolos en incrementos, en horno microondas.

Este método de prueba se puede usar con el fin de acelerar la realización de otras pruebas y siempre que resulten aceptables unos resultados algo menos precisos.

Este método de prueba se puede utilizar en casi todo tipo de suelo. Para algunos, tales como aquellos con alto contenido de halloisita, mica, montmorillonita, yeso u otros materiales hidratados, suelos altamente orgánicos, o suelos en los cuales en agua de los poros contiene sólidos disueltos (tales como sal en depósitos marinos), este método de prueba puede dar resultados no confiables de contenido de agua.

– **RESUMEN DEL MÉTODO**

Un espécimen de suelo húmedo es colocado en un recipiente apropiado y se determina su masa. Se coloca, entonces, en un horno microondas donde se somete a un intervalo de secamiento; se retira del horno y de nuevo se determina su masa. El procedimiento se repite hasta que la masa sea aproximadamente constante.

La diferencia de la masa del espécimen húmedo y la del espécimen seco es considerada como la de agua contenida originalmente en el espécimen. El contenido de agua se determina dividiendo la masa de agua por la masa del espécimen seco, multiplicando por 100. Para un determinado suelo y tamaño de muestra, el tiempo para conseguir una masa constante puede ser anotado y usado como el tiempo mínimo para el secamiento para futuras pruebas, usando un espécimen del mismo tamaño y del mismo suelo.

– USO Y SIGNIFICADO

El contenido de agua de un suelo se usa para toda práctica de ingeniería geotécnica, ya sea en el laboratorio o en el terreno. El método tradicional para determinar la humedad puede ser muy lento y hay ocasiones en las cuales es preferible el uso de un método más expedito. El empleo de un horno microondas es uno de estos métodos.

La principal objeción al empleo del horno microondas para determinar el contenido de agua, ha sido la posibilidad de sobrecalentar el suelo produciendo, por lo tanto, un contenido de agua más alto, el procedimiento de secado por incrementos, descrito en este método de prueba, minimizará sus efectos. Algunos hornos microondas se pueden graduar usando una temperatura más baja, lo cual se puede usar también para reducir el sobrecalentamiento.

La reacción de un suelo, cuando es sometido a la energía de un microondas, depende de su composición mineralógica y, por lo tanto, ningún procedimiento es aplicable para todo tipo de suelos.

Este método sirve especialmente cuando se usa con material de tamaño menor a No 4. Partículas más grandes pueden probarse; sin embargo, se debe tener cuidado por cuanto se aumenta la posibilidad de destrucción de las partículas.

El uso de este método puede resultar inapropiado cuando se requieren resultados de alta precisión, o la prueba que esté usando estos datos sea extremadamente sensible a las variaciones de humedad.

Debido a las altas temperaturas localizadas a las cuales se expone el espécimen en un horno microondas, las características físicas del suelo

pueden ser alteradas. Puede ocurrir degradación de partículas individuales junto con vaporización y transformaciones químicas. Por lo tanto, se recomienda que las muestras usadas en este método de prueba, no sean utilizadas para otros ensayos después de secadas.

– EQUIPO

- **Horno microondas** – Un horno microondas, preferiblemente con una cámara de ventilación. El tamaño y la capacidad energética del horno depende del empleo al cual va a ser sometido. Hornos con control para variar la temperatura y con graduaciones de potencia de entrada de alrededor de 700 W, han demostrado ser adecuados para este uso. Controles para variar la potencia son importantes y reducen el potencial de sobrecalentamiento del espécimen de prueba.
- **Balanza** – Balanza con una capacidad de 2000 g ó mayor con sensibilidad de 0.1g.
- **Recipientes para espécimen** – Recipientes adecuados hechos de materiales no metálicos ni absorbentes, resistentes al choque térmico y no sujetos a cambios de masa ni de forma al someterlos a repetidos calentamientos, enfriamientos o limpiezas. Recipientes de porcelana para evaporación y recipientes de vidrio de borosilicato son satisfactorios. Otros recipientes como vasos o platos de papel, también han sido usados satisfactoriamente, pero pueden necesitar secado previo antes de ser usados.
- **Utensilios para manipular los recipientes** – Un guante o agarrador apropiados para sacar recipientes calientes del horno.

- **Desecador** – Una cámara desecadora o recipiente hondo, de tamaño apropiado que contenga sílice gelatinosa, de fosfato de calcio anhidro o su equivalente. Es preferible usar un desecante que cambie de color para indicar que necesita reposición.
- **Disipador térmico** – Un material o líquido colocado en el microondas para absorber energía después de que la humedad ha sido sacada del espécimen de prueba. El disipador térmico reduce la posibilidad de sobrecalentar el espécimen y dañar el horno. Vasos de vidrio llenos de agua y materiales que tienen un punto de ebullición mayor que el del agua, tales como aceites no inflamables, han sido usados exitosamente. También se han empleado ladrillos humedecidos.
- **Implementos para agitación** – Espátulas, cuchillos y varillas de vidrio para cortar y revolver el espécimen antes y durante la prueba. Varillas cortas de vidrio han resultado útiles para agitar y se pueden dejar en el recipiente durante la prueba, reduciendo la posibilidad de pérdida de suelo debido a su adhesión al dispositivo para agitar.

– **PELIGROS**

Algunos tipos de suelos pueden mantener considerable calor y podrían presentarse serias quemaduras como resultado de un manejo inapropiado. Los recipientes calientes se deben manejar con agarradores adecuados para ello.

Se recomienda una apropiada protección para los ojos, debido a la posibilidad de fragmentación de partículas durante el calentamiento, la mezcla, o las determinaciones de masa.

Colocar directamente el espécimen de prueba sobre la bandeja de vidrio del horno microondas se desaprueba enfáticamente. El calentamiento concentrado del espécimen puede ocasionar la fragmentación de la bandeja de vidrio , pudiendo causar lesiones al operador. Es conveniente tapar los recipientes con los especímenes para evitar lesiones en el operador y daños el horno a causa de fragmentación por explosiones de vapor o agregados quebradizos. Toallas de papel grueso han dado resultado satisfactorio.

– **MUESTRAS**

Antes del ensayo los materiales se mantienen almacenados en recipientes anticorrosivos, cerrados herméticamente, a una temperatura entre 3 y 30 °C, en un área alejada de los rayos solares.

La determinación del contenido de agua se debe hacer tan pronto como sea posible, especialmente si los recipientes utilizados para almacenar las muestras son bolsas sin sellar o potencialmente corrosibles (tales como tubos de pared delgada, tarros de pintura o recipientes semejantes).

ESPÉCIMEN DE ENSAYO

La manera de seleccionar un espécimen y su masa requerida para la prueba depende, básicamente, de la aplicación de la prueba, del tipo de material que va a probarse y del tipo de muestra (espécimen de otra prueba, bolsa, tubo partido y otro semejantes). En otros casos, sin embargo, se debe seleccionar una porción representativa del total de la muestra. Si se encuentra una capa delgada de suelo o más de un tipo de suelo, se selecciona una porción promedio o porciones individuales, o ambas y se anota en el informe de resultados cual porción (s) fue probada.

Para muestras grandes, se selecciona el espécimen de prueba del material después de que éste haya sido mezclado completamente. La masa de material húmedo seleccionado debe estar de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 3: Masa del espécimen de prueba

Tamiz en el cual el % retenido no es mayor del 10%	Masa recomendada, g
2.0 mm (No. 10)	100 to 200
4.75 mm (No. 4)	300 to 500
19 mm (¾ in.)	500 to 1000

Fuente: ASTM.

Para muestras pequeñas se selecciona una porción representativa de acuerdo con el siguiente procedimiento: Para suelos no cohesivos, se mezcla el material totalmente y se selecciona en seguida un espécimen de prueba con una masa de material húmedo de acuerdo con tabla 3. Para suelos cohesivos, se retiran aproximadamente 3mm de material de la periferia expuesta de la muestra y se parte el resto del espécimen por la mitad (para ver si el material tiene capas), antes de seleccionar el espécimen para la prueba. La masa del material húmedo seleccionado debe estar de acuerdo con la tabla 3, si se notan partículas de grano grueso. Partir o cortar las muestras cohesivas en fragmentos de aproximadamente 6 mm (¼") acelerará el secado y evitará la formación de costras o el sobrecalentamiento de la superficie mientras se seca en el interior. El uso de un espécimen de prueba más pequeño que la mínima masa indicada en tabla 3 requiere discreción, aunque puede ser adecuado para el propósito de la prueba. Cuando se utilice una masa más pequeña, se debe dejar constancia de ello en el informe.

Cuando el resultado de la determinación de humedad usando este método, va a ser comparado con el resultado de otro método, se debe obtener una segunda muestra durante la selección. La muestra comparativa debe ser procesada tan pronto como sea posible para evitar pérdida de humedad.

Los especímenes se deben preparar y procesar tan pronto como sea posible, para minimizar pérdidas de humedad no registradas, lo que resultaría en determinaciones erróneas de contenido de agua. El suelo se debe partir o cortar en terrones pequeños para ayudar a la obtención de un secado más uniforme del espécimen. Si los especímenes no van a ser probados inmediatamente, se deben guardar en recipientes sellados para prevenir pérdidas de humedad.

– **PROCEDIMIENTO**

1. Se determina la masa de un recipiente o plato limpios y secos y se anota (Mc).
2. Se coloca el espécimen de suelo en el recipiente e inmediatamente se determina y anota la masa del conjunto (M1).
3. Se coloca el recipiente con el suelo en un horno microondas con el disipador térmico y se prende el horno por tres minutos. Si la experiencia con un tipo particular de suelo y tamaño de espécimen indica que tiempos inicial de secado más cortos o más largos se pueden usar sin sobrecalentamiento, los tiempos iniciales y los subsiguientes de secado podrán ser ajustados.
4. La mayoría de los hornos permiten la variación de la potencia. Para la mayoría de los suelos que van a probarse, el ajuste en “alto” debe ser satisfactorio; sin embargo, para algunos suelos este ajuste puede ser demasiado severo. El ajuste apropiado sólo puede determinarse con el uso

y la experiencia con un horno en particular, para varios tipos de suelo y tamaños de muestra. El rendimiento energético del horno microondas puede decrecer con la edad y el uso; por lo tanto, para cada horno se deben establecer ajustes en la potencia y en el tiempo de secado.

5. Después de que el tiempo fijado haya terminado, se retira el recipiente con el suelo del horno, se pesa el espécimen inmediatamente o se coloca en un desecador para enfriarlo y permitir su manipulación y prevenir daños en la balanza. Se determina y registra la masa.
6. Usando una espátula pequeña, un cuchillo, o una varilla corta de vidrio, se mezcla cuidadosamente el suelo, tomando especial precaución para no perder ninguna partícula de él.
7. Se regresa el recipiente con el suelo al horno y se calienta de nuevo por 1 minuto. Se repiten los pasos anteriores hasta que el cambio entre dos determinaciones consecutivas de masa tenga un efecto insignificante en el contenido de humedad calculado. Un cambio de 0.1% o menos de la masa húmeda inicial de suelo se considera aceptable para todos los especímenes.

La determinación final de masa (M_2) se usa para calcular el contenido de agua. Este valor se obtiene inmediatamente después del ciclo de calentamiento o, si la determinación de masa va a ser retrasada, después del enfriamiento en el desecador.

Cuando se contempla hacer pruebas rutinarias sobre suelos similares, los tiempos de secado y el número de ciclos pueden uniformarse para cada horno.

Los especímenes utilizados en la prueba deben ser descartados y no se deben usar en ningún otro ensayo debido a probables cambios significativos en las partículas del suelo.

– CÁLCULOS

El contenido de agua en el suelo se calcula de la siguiente forma:

$$w = [(M_1 - M_2)/(M_2 - M_c)] \times 100 = M_w/M_s \times 100$$

w = contenido de agua, %,

M1 = masa del recipiente más suelo húmedo, g,

M2 = masa del recipiente más suelo seco, g,

Mc = masa del recipiente, g,

Mw = masa del agua, g, y

Ms = masa de los sólidos, g.

– INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- ✓ Identificación de la muestra (material) ensayada , con el número de la perforación, número de la muestra, número del ensayo, etc.
- ✓ Contenido de agua del espécimen, aproximado a 0.1 % o 1%, dependiendo del propósito de la prueba.
- ✓ Indicar si el espécimen de prueba tiene una masa menor que la mínima recomendada.
- ✓ Indicar si el espécimen contiene más de un tipo de suelo.
- ✓ Relacionar cualquier material excluido del espécimen de prueba.

- ✓ Tiempo y ajuste del periodo inicial de secado y de los subsecuentes períodos de secado en incrementos.

– PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

Precisión – Estudios de secado en hornos microondas han indicado una precisión promedio de 0.96% o menos en un solo laboratorio, dependiendo del tipo de suelo, la humedad inicial, y el tamaño del espécimen. Estudios comparativos entre los valores de humedad obtenidos con este procediendo y el establecido por la norma, indican que la diferencia promedio entre el valor de la humedad, expresado en porcentaje, es de 0.24% para suelos micáceos (con 5 a 25% de la masa de partículas de mica), y de 0.61% para otros suelos. La desviación normal del valor de la diferencia entre el contenido de agua, expresado en % de la masa, usando los métodos con hornos de convección y de microondas, es de 0.2% para suelos micáceos y 0.3% para otros suelos.

Los contenidos de humedad para las dieciocho muestras de la presente tesis se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 4: Contenido de humedad por horno microondas

Muestra	Peso inicial	P1 (3 min)	P2 (1 min)	P3 (1 min)	P4 (1 min)	P5 (1 min)	P6 (1 min)	w_microondas
M01	100	95.5	94.5	94.0	94.0			6.4%
M02	100	97.5	97.0	96.5	96.5			3.6%
M03	100	98.5	97.0	97.5	97.5			2.6%
M04	100	95.0	92.5	92.5	92.5			8.1%
M05	100	94.5	91.5	90.5	90.0			11.1%
M06	100	94.5	92.0	90.5	90.5			10.5%
M07	100	94.0	91.0	88.5	88.5			13.0%
M08	100	94.5	91.0	88.5	87.0	86.5	87.0	14.9%
M09	100	93.5	87.0	85.5	88.5			13.0%
M10	100	93.0	90.0	86.5	84.5	83.5	83.5	19.8%

M11	100	92.5	89.0	85.5	82.5	81.0	81.0	23.5%
M12	100	92.5	89.0	85.5	83.0	81.5	81.5	22.7%
M13	100	92.0	88.0	85.0	82.0	80.0	79.5	25.8%
M14	100	92.0	88.5	85.0	82.0	81.0	81.0	23.5%
M15	100	91.5	88.0	85.5	82.5	82.0	81.5	22.7%
M16	100	91.5	87.0	83.5	80.0	78.0	78.0	28.2%
M17	100	91.5	87.5	84.0	81.5	79.0	78.5	27.4%
M18	100	98.5	98.0	98.0				2.0%

Fuente y elaboración propias.

3.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON SENSOR RESISTIVO.

A continuación se describe el proceso de determinación del contenido de humedad a través de un sensor resistivo de bajo costo.

3.5.1. Descripción de dispositivo

A continuación se describirá la forma de conexión y programación de un sensor de humedad del suelo que fue aplicado en los ensayos de la presente tesis.

3.5.2. Componentes del sistema (hardware)

✓ Hardware Arduino

Arduino es una plataforma para prototipado de electrónica basada en hardware y software libre y fácil de utilizar. Se pueden construir circuitos electrónicos y programarlos con esta placa.

Las principales características que se puede encontrar en nuestra placa de Arduino UNO son las siguientes:

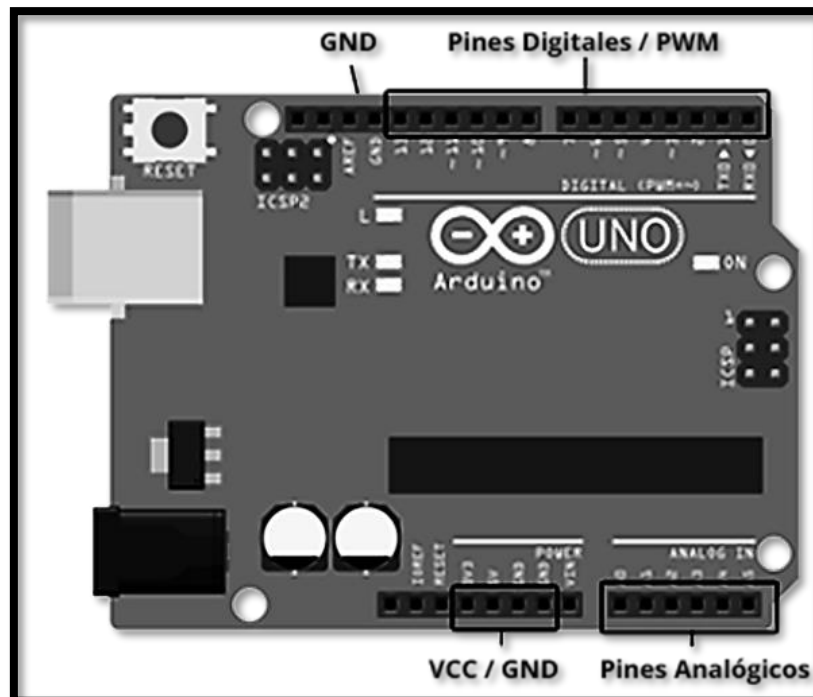
- El microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de realizar operaciones matemáticas complejas a gran velocidad.

- La alimentación de una placa de Arduino es mediante el puerto USB mientras se está programando. Una vez programado se puede desconectar del ordenador y que trabaje de forma autónoma y se alimenta Arduino mediante una fuente de alimentación o pila de 9V.

Arduino contiene la siguiente distribución de pines: Se dispone de 14 pines digitales que pueden ser configurados como entradas o salidas, de los cuales (serigrafiadas con el símbolo ~) pueden ser utilizados como señales digitales PWM 6 pines. Igualmente se dispone de 6 pines analógicos serigrafiadas desde A0 hasta A5 para las entradas analógicas. Así mismo, se dispone de 3 pines GND para conectar a tierra los circuitos. Por último, dos pines de alimentación de 5V y 3.3V respectivamente.

(aprendiendoarduino.wordpress.com).

Figura 18: Vista de una placa Arduino UNO.



Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/sensores/>
<http://www.cmtmoisturemeters.com.au/product/trime-pico-32->

✓ **CABLE AB**

Este es el tipo de USB más común y famoso, por eso también se le conoce como USB estándar. El cable USB Tipo A está compuesto de dos extremos, el que se conecta al dispositivo receptor –un computadora, por ejemplo– y que lleva el nombre de conector macho Tipo A, por lo que, el puerto receptor lleva el nombre de puerto A femenino.

Este cable en su extremo tiene un conector tipo B estándar en el otro extremo y es muy útil para conexión de impresoras. También se usa ampliamente en la conexión del popular Arduino UNO (<https://electronilab.co/tienda/cable-usb-tipo-ab-de-impresora/>).

Figura 19: Vista de un cable AB.



Fuente: <https://www.hosteconline.com/uy/accesorios/cable-usb-ab-3-metros/>
<http://www.cmtmoisturemeters.com.au/product/trime-pico-32->

✓ **SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO YL-69.**

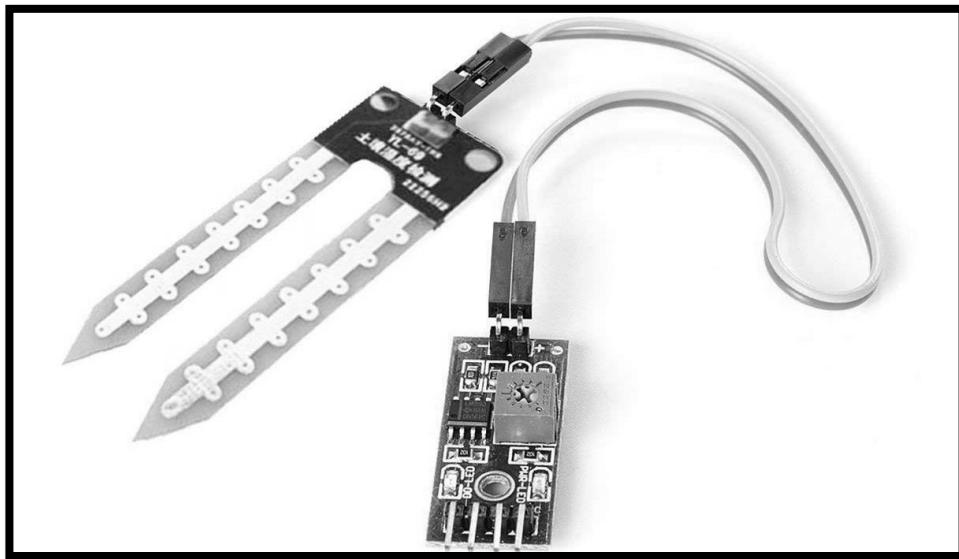
Este sensor tiene la capacidad de medir la humedad del suelo. Aplicando una pequeña tensión entre los terminales del módulo YL-69 hace pasar una

corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y ésta depende mucho de la humedad. Por lo tanto al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye.

Consiste en una sonda YL-69 con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital. Este último presenta 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, 2 pines para la alimentación y 2 pines de datos. VCC, GND, D0, A0. El sensor tiene las siguientes especificaciones:

- Voltaje de entrada: 3.3 - 5 VCD
- Voltaje de salida: 0 ~ 4.2 V
- Corriente: 35 mA
- VCC: Tensión de alimentación
- GND: Tierra
- A0: Salida analógica que entrega una tensión proporcional a la humedad. Puede ser medida directamente desde un puerto analógico en un microcontrolador, con Arduino, CI, etc.
- D0: Salida digital; este módulo permite ajustar cuándo el nivel lógico en esta salida pasa de bajo a alto mediante el potenciómetro.
- Dimensiones : 60 x 30 mm

Figura 20: Vista de un sensor de humedad YL-69, comparador LM393 SMD y cables de conexión.

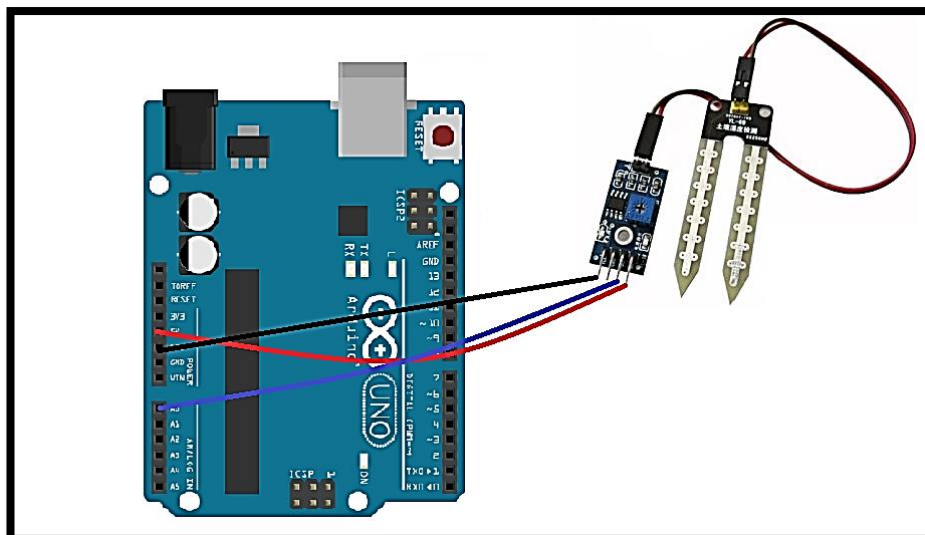


Fuente: <https://www.amazon.es/WINGONEER-humedad-higr%C3%B3metro-detecci%C3%B3n-Arduino/dp/B01H6WK51I><http://www.cmtmoisturemeters.com.au/product/trime-pico-32->

3.5.3. Conexión del sistema

El esquema de conexión de la tarjeta Arduino uno al sensor de humedad se muestra en la siguiente figura.

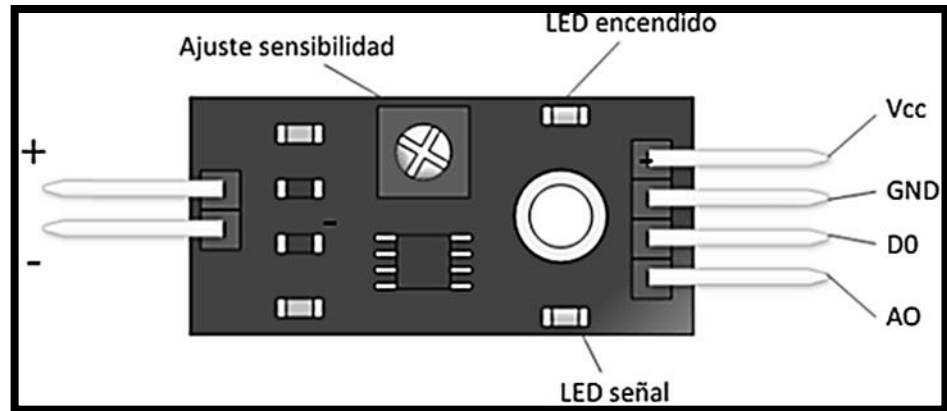
Figura 21: Esquema de conexión del sensor a la tarjeta Arduino.



Fuente: <http://www.circuitstoday.com/arduino-soil-moisture-sensor/interface-soil-sensor-arduino>

Así mismo, a continuación se aprecia el esquema de conexión del transductor del sensor de humedad.

Figura 22: Vista del esquema de conexión del LM393 SMD



Fuente: <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>
<http://www.cmtmoisturemeters.com.au/product/trime-pico-32->

3.5.4. Código de programación

En primer lugar, se han definido dos variables; una para el pin del sensor de humedad del suelo y la otro para almacenar la salida del sensor.

```
int sensor_pin = A0; // Soil Sensor input at Analog PIN A0

int output_value ;
```

En la función de configuración, el comando "Serial.begin (9600)" ayudará a la comunicación entre el Arduino y el monitor de serie. Luego, se imprime la "Lectura del sensor ..." en el monitor serial

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Reading From the Sensor ...");
  delay(2000);
}
```

En la función de bucle, leeremos del pin analógico del sensor y almacenaremos los valores en la variable "output_value". Luego, asignaremos los valores de salida a 0-100, porque la humedad se mide en porcentaje. Cuando tomamos las lecturas del suelo seco, el valor del sensor era 550 y en el suelo húmedo, el valor del sensor era 10. Por lo tanto, mapeamos estos valores para obtener la humedad. Después de eso, imprimimos estos valores en el monitor serial.

```
void loop()
{
output_value= analogRead(sensor_pin);
output_value = map(output_value,550,10,0,100);
Serial.print("Mositure : ");
Serial.print(output_value);
Serial.println("%");
delay(1000);
}
```

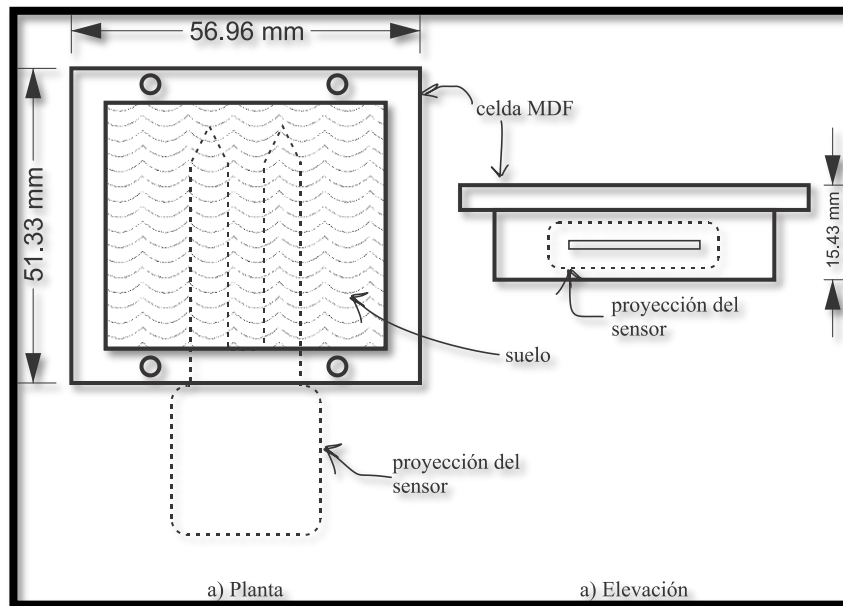
3.5.5. Protocolo de ensayo

El ensayo de obtención del contenido de humedad a través del sensor resistivo siguió los siguientes pasos básicos:

❖ Colocación de la muestra de suelo en la celda de medición.

Para este propósito se diseñó y construyó una caja de material MDF cuyas dimensiones se aprecian en la figura siguiente.

Figura 23: Celda de medición de humedad con sensor resistivo



Fuente: elaboración propia.

❖ Compactación de la muestra

A fin de asegurar que el suelo de la muestra quede uniformemente distribuido dentro de ella, se procedió a compactarla mediante un pisón plástico de 19 mm de diámetro y 135 mm de altura, conforme se aprecia en la siguiente figura.

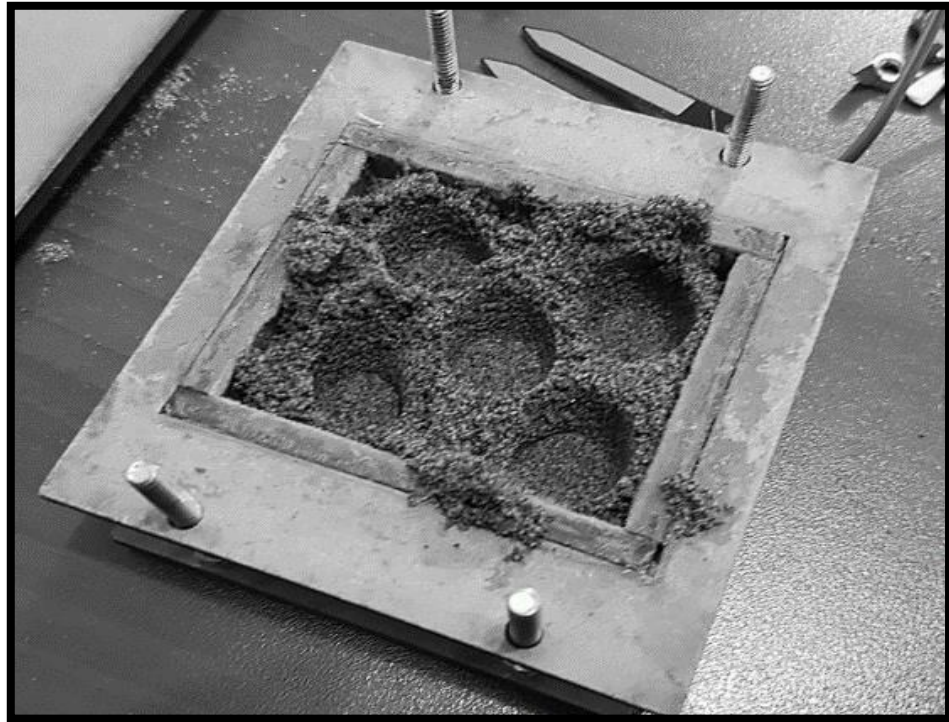
Figura 24: Pisón Plástico utilizado para Compactar las Muestras.



Fuente: Elaboración Propia

La compactación se llevó a cabo dando cinco golpes de pisón, en una primera capa de suelo, llenado hasta la mitad de la celda, con una distribución similar a la apreciada en la siguiente figura.

Figura 25: Muestra compactada en la celda de medición.



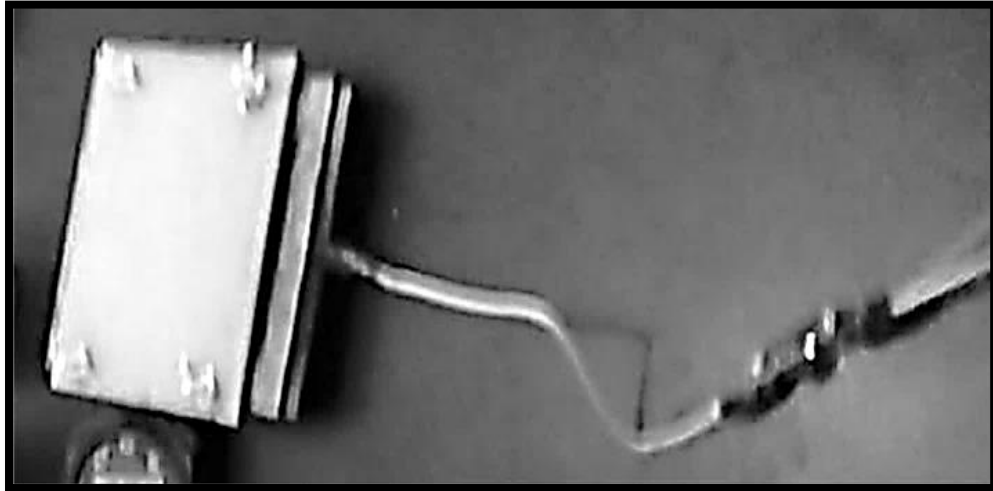
Fuente: Elaboración Propia

Luego de la compactación se procede a rellenar la celda de medición con suelo hasta el ras de la misma.

❖ **Inserción de la sonda del sensor de humedad y ajuste de la presión del suelo**

Se procede a insertar el sensor de humedad por la muesca prevista para tal fin en la celda de carga, para luego tapar y presionar la misma mediante cuatro tuercas tipo mariposa, el proceso se aprecia a continuación.

Figura 26: Inserción y presión del sensor

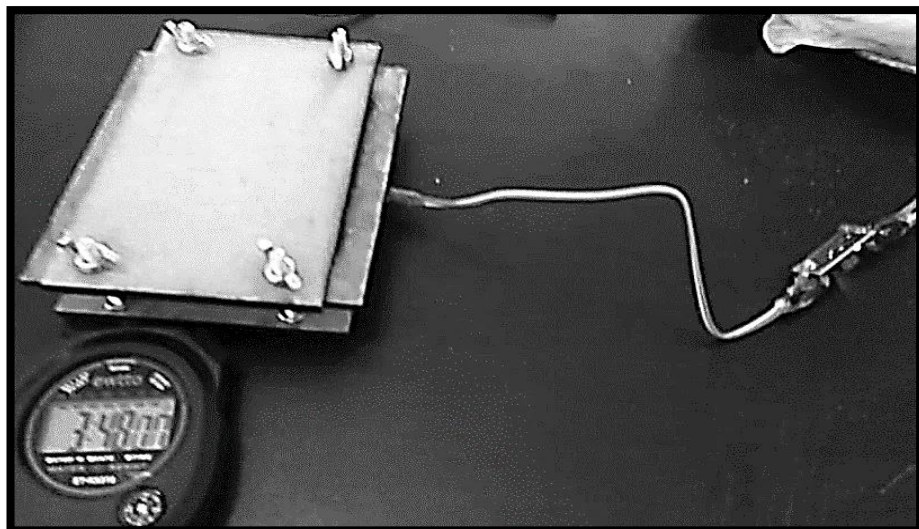


Fuente: Elaboración Propia

❖ **Lectura de la medida del sensor**

El sensor reporta lecturas en números enteros de 0 a 1028, siendo que 0 es la lectura para un suelo completamente húmedo y 1028 para uno completamente seco. Una vez insertado el sensor es preciso esperar 1.5 minutos para tomar nota de la lectura estabilizada. El mencionado proceso puede verse enseguida.

Figura 27: Inserción y presión del sensor.

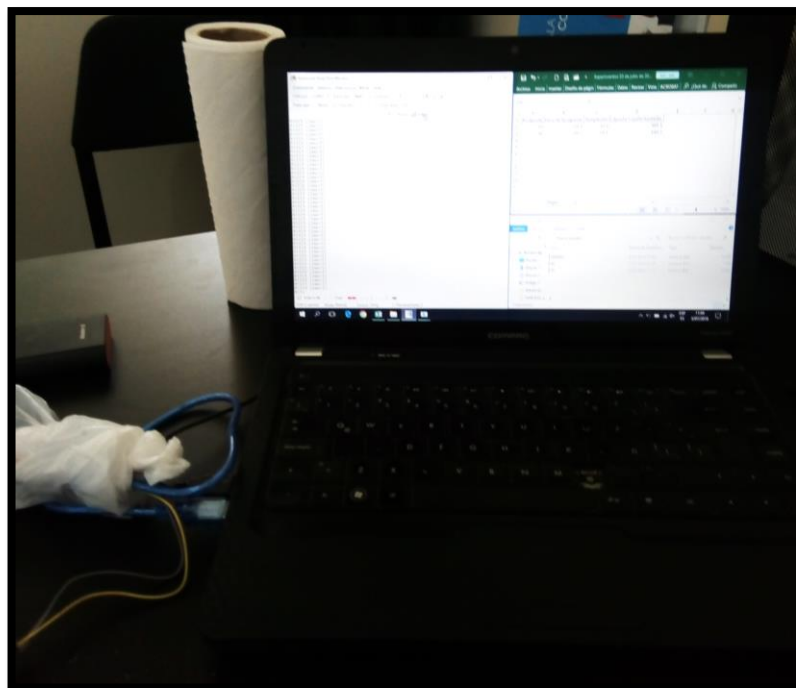


Fuente: Elaboración Propia

❖ Recolección de datos del sensor

Para recoger la lectura continua del sensor se usó el software Arduino 1.8.5 disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> . Luego de recolectados los datos fueron transferidos a una hoja de cálculo para su procesamiento y limpieza.

Figura 28: Toma de datos del sensor en una PC



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV

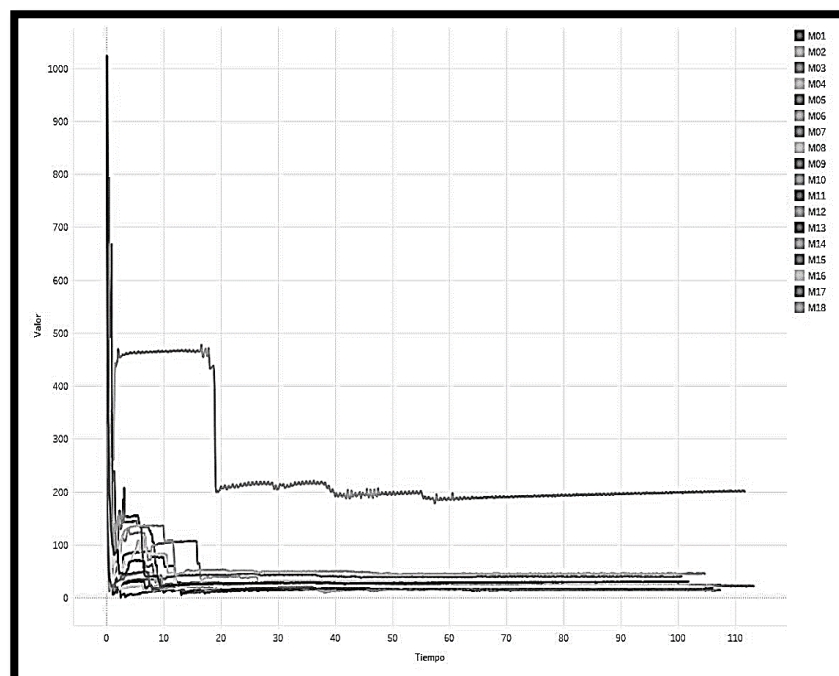
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la finalidad de obtener un modelo matemático que sea capaz de predecir el contenido de humedad que reportará el método del horno microondas según la lectura del sensor se hicieron tres regresiones lineales tomando en consideración el conjunto de datos presentado en la siguiente tabla.

❖ Tratamiento de los datos del sensor.

Los datos del sensor suelen recogerse con valores atípicos, es preciso detectarlos y eliminarlos de la lectura total. A continuación se muestra la grafica de los datos tal cual llegan del sensor.

Figura 29: Datos crudos del sensor para 18 medidas hasta los 110 segundos

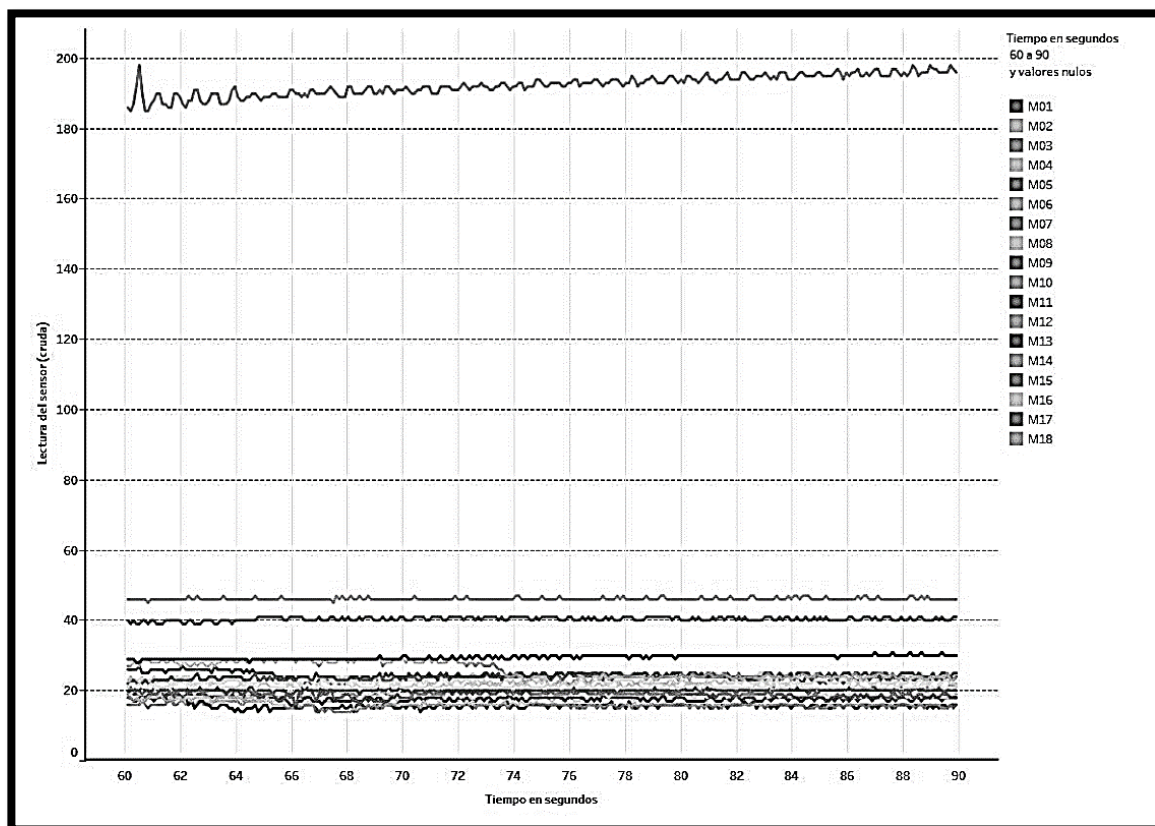


Fuente: Elaboración Propia

Conforme se aprecia en la figura anterior las lecturas del sensor son continuas en el tiempo y van desde los 0 segundos hasta los 110 segundos, para el presente caso las lecturas del sensor van desde 0 hasta 1020.

Los datos recibidos del sensor son luego filtrados para obtener las lecturas de los últimos 30 segundos, esto se puede apreciar en la figura siguiente.

Figura 30: Lectura del sensor de los últimos treinta segundos



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se obtienen los promedios de medición de la lectura del sensor para cada una de las dieciocho muestras de suelo. Los valores se hallan resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 5: Promedio de la lectura del sensor de los últimos treinta segundos

Muestra	Promedio de la lectura del sensor
M01	29.6
M02	46.1
M03	40.4
M04	21.3
M05	19.9
M06	25.8
M07	24.0
M08	22.5
M09	19.0
M10	16.1
M11	15.8
M12	19.1
M13	17.8
M14	17.8
M15	24.1
M16	23.9
M17	19.6
M18	192.4

Fuente: Elaboración Propia

4.1. ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE HUMEDAD

4.1.1. Estadística descriptiva de los datos de humedad

Se procedió a calcular la estadística descriptiva de los datos de humedad, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 6: Estadística de las mediciones

Estadístico	Contenido de humedad por horno microondas	Lectura cruda del sensor
No. de observaciones	18	18
Mínimo	2.0%	15.8
Máximo	28.2%	192.4
Rango	26.2%	176.6
Media	15.5%	33.1
Error típico de la media	0.021	9.6
Límite inferior de la media (95%)	11.1%	12.9
Límite superior de la media (95%)	19.9%	53.2

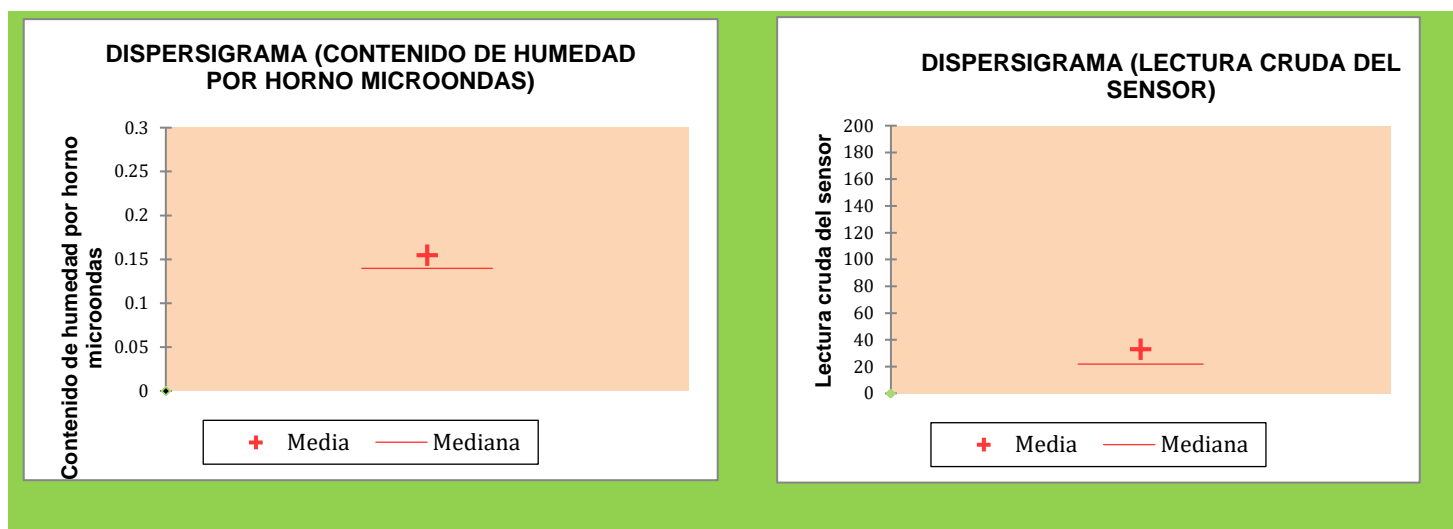
Fuente: Elaboración Propia

De lo anterior se aprecia que las muestras han tenido contenidos de humedad que van desde el 2.0% hasta el 28.2%. Así mismo, las lecturas del sensor han registrado valores desde 15.8 a 192.4 en promedio.

Por otra parte, la dispersión de los datos recolectados muestra distintas tendencias. Para el contenido de humedad hallado por el método del horno microondas se observa una amplia dispersión de los resultados, sin embargo, esto no es así para las lecturas del sensor, dado que, por ejemplo, existe un valor más grande de lo normal (192.4) y que la mayoría de las lecturas de dicho sensor se concentran entre 15 y 50 unidades.

Lo anteriormente expuesto se puede apreciar claramente en la figura siguiente.

Figura 31: Dispersigramas de las mediciones.



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Análisis de regresión

Con la finalidad de obtener un modelo matemático que sea capaz de predecir el contenido de humedad que reportará el método del horno microondas según la lectura del sensor se hicieron dos regresiones lineales tomando en consideración el conjunto de datos presentado en la siguiente tabla.

Tabla 7: Datos tomados en cuenta para cada modelo.

Muestra	Humedad Microondas (x)	Lectura de sensor (y)	Modelo total	Modelo sin atípicos	Modelo arena seca
M01	6.4%	29.6	Si	No	Si
M02	3.6%	46.1	Si	No	Si
M03	2.6%	40.4	Si	Si	Si
M04	8.1%	21.3	Si	Si	Si
M05	11.1%	19.9	Si	Si	Si
M06	10.5%	25.8	Si	Si	Si
M07	13.0%	24.0	Si	Si	Si
M08	14.9%	22.5	Si	Si	No
M09	13.0%	19.0	Si	Si	No
M10	19.8%	16.1	Si	Si	No
M11	23.5%	15.8	Si	Si	No
M12	22.7%	19.1	Si	Si	No
M13	25.8%	17.8	Si	Si	No

M14	23.5%	17.8	Si	Si	No
M15	22.7%	24.1	Si	Si	No
M16	28.2%	23.9	Si	No	No
M17	27.4%	19.6	Si	Si	No
M18	2.0%	192.4	Si	No	No

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: MODELO PARA UNA MUESTRA TOTAL

Muestra	Peso inicial	P1 (3 min)	P2 (1 min)	P3 (1 min)	P4 (1 min)	P5 (1 min)	P6 (1 min)	w_micro	Sensor
M01	100	95.5	94.5	94.0	94.0			6.4%	29.6
M02	100	97.5	97.0	96.5	96.5			3.6%	46.1
M03	100	98.5	97.0	97.5	97.5			2.6%	40.4
M04	100	95.0	92.5	92.5	92.5			8.1%	21.3
M05	100	94.5	91.5	90.5	90.0			11.1%	19.9
M06	100	94.5	92.0	90.5	90.5			10.5%	25.8
M07	100	94.0	91.0	88.5	88.5			13.0%	24.0
M08	100	94.5	91.0	88.5	87.0	86.5	87.0	14.9%	22.5
M09	100	93.5	87.0	85.5	88.5			13.0%	19.0
M10	100	93.0	90.0	86.5	84.5	83.5	83.5	19.8%	16.1
M11	100	92.5	89.0	85.5	82.5	81.0	81.0	23.5%	15.8
M12	100	92.5	89.0	85.5	83.0	81.5	81.5	22.7%	19.1
M13	100	92.0	88.0	85.0	82.0	80.0	79.5	25.8%	17.8
M14	100	92.0	88.5	85.0	82.0	81.0	81.0	23.5%	17.8
M15	100	91.5	88.0	85.5	82.5	82.0	81.5	22.7%	24.1
M16	100	91.5	87.0	83.5	80.0	78.0	78.0	28.2%	23.9
M17	100	91.5	87.5	84.0	81.5	79.0	78.5	27.4%	19.6
M18	100	98.5	98.0	98.0				2.0%	192.4

Fuente: Elaboración Propia

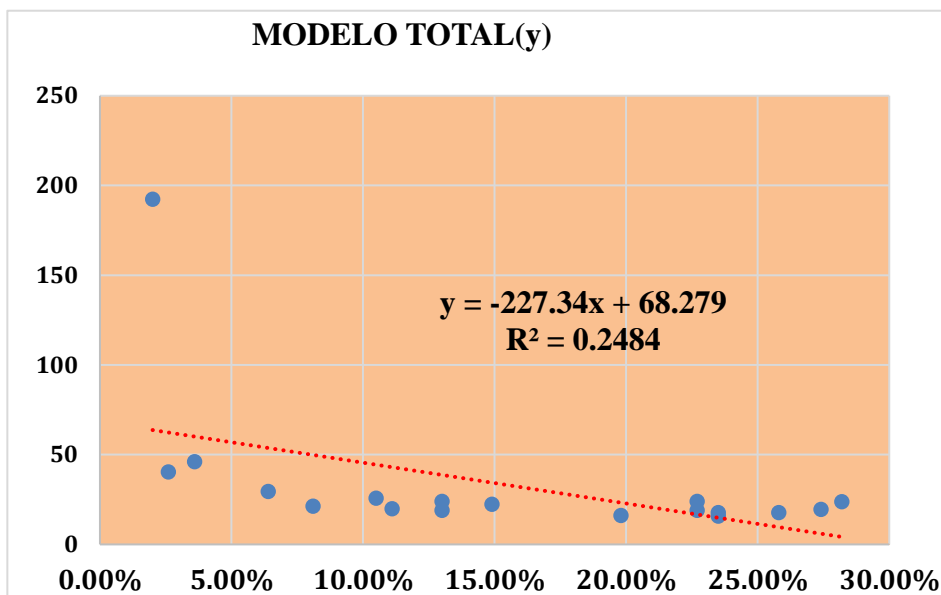
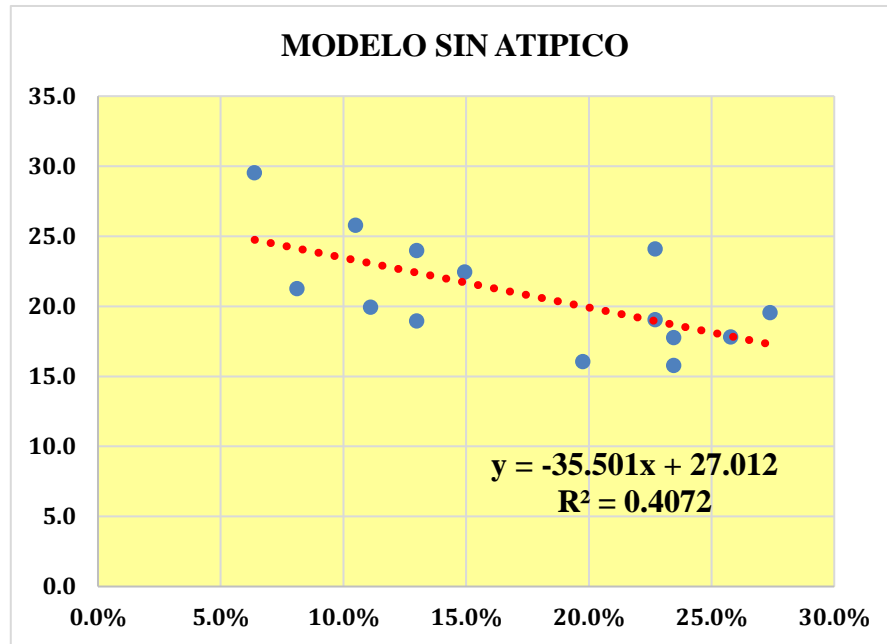


Tabla 9: MODELO SIN ATIPICOS

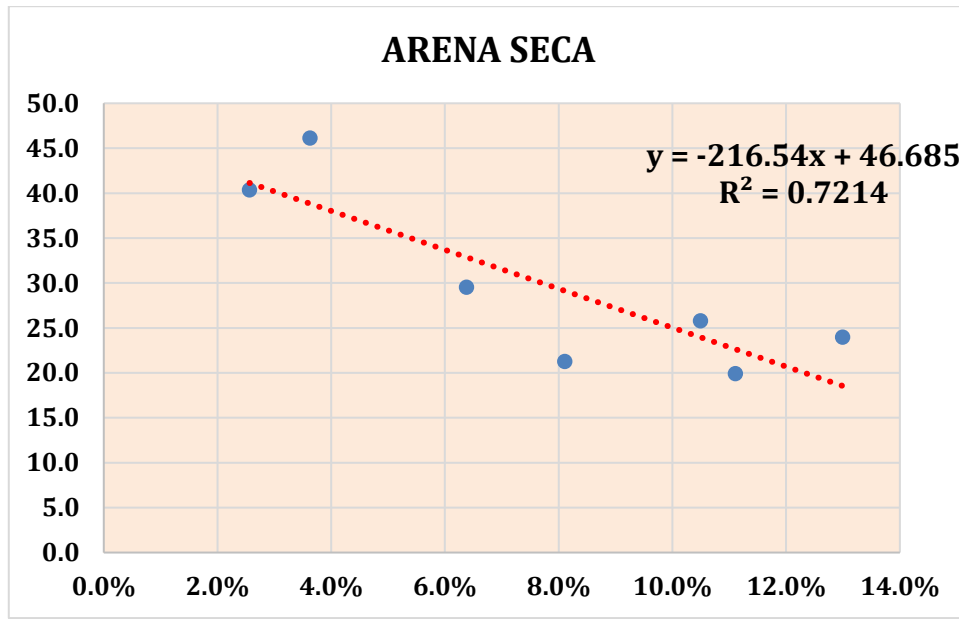
Muestra	Peso inicial	P1 (3 min)	P2 (1 min)	P3 (1 min)	P4 (1 min)	P5 (1 min)	P6 (1 min)	w_micro	Sensor
M01	100	95.5	94.5	94.0	94.0			6.4%	29.6
M04	100	95.0	92.5	92.5	92.5			8.1%	21.3
M05	100	94.5	91.5	90.5	90.0			11.1%	19.9
M06	100	94.5	92.0	90.5	90.5			10.5%	25.8
M07	100	94.0	91.0	88.5	88.5			13.0%	24.0
M08	100	94.5	91.0	88.5	87.0	86.5	87.0	14.9%	22.5
M09	100	93.5	87.0	85.5	88.5			13.0%	19.0
M10	100	93.0	90.0	86.5	84.5	83.5	83.5	19.8%	16.1
M11	100	92.5	89.0	85.5	82.5	81.0	81.0	23.5%	15.8
M12	100	92.5	89.0	85.5	83.0	81.5	81.5	22.7%	19.1
M13	100	92.0	88.0	85.0	82.0	80.0	79.5	25.8%	17.8
M14	100	92.0	88.5	85.0	82.0	81.0	81.0	23.5%	17.8
M15	100	91.5	88.0	85.5	82.5	82.0	81.5	22.7%	24.1
M17	100	91.5	87.5	84.0	81.5	79.0	78.5	27.4%	19.6

Fuente: Elaboración Propia



Muestra	Peso inicial	P1 (3 min)	P2 (1 min)	P3 (1 min)	P4 (1 min)	P5 (1 min)	P6 (1 min)	w_micro	Sensor
M01	100	95.5	94.5	94.0	94.0			6.4%	29.6
M02	100	97.5	97.0	96.5	96.5			3.6%	46.1
M03	100	98.5	97.0	97.5	97.5			2.6%	40.4
M04	100	95.0	92.5	92.5	92.5			8.1%	21.3
M05	100	94.5	91.5	90.5	90.0			11.1%	19.9
M06	100	94.5	92.0	90.5	90.5			10.5%	25.8
M07	100	94.0	91.0	88.5	88.5			13.0%	24.0

Fuente: Elaboración Propia



Con los datos anteriores se obtuvieron los siguientes modelos:

Modelo total:

$$\text{Humedad microondas} = 0.191 - 0.0011 * \text{Sensor}$$

Modelo sin atípicos:

$$\text{Humedad microondas} = 0.412 - 0.0115 * \text{Sensor}$$

Modelo arena seca:

$$\text{Humedad microondas} = 0.178 - 0.0033 * \text{Sensor}$$

4.2. BONDAD DEL AJUSTE DE REGRESIÓN

Con la finalidad de establecer la calidad de la predicción de los modelos hallados, se han calculado los estadísticos de bondad del ajuste de las regresiones, estos se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 11: Estadísticos de la bondad de ajuste de las regresiones

Estadístico	Modelo total	Modelo sin atípicos	Modelo arena seca
Número de muestras	18	14	7
Coefficiente de correlación	-0.497	-0.638	-0.849
R ²	0.247	0.407	0.721
R ² ajustado	0.200	0.358	0.666
Suma de los cuadrados de los errores (RMSE)	0.079	0.056	0.023
Error porcentual de la predicción (MAPE)	89.7%	28.0%	28.0%
Error de la predicción como porcentaje de la media	± 44.8%	± 14.0%	± 14.0%

Fuente: Elaboración Propia

4.3. PREDICCIÓN DE LA PRECISIÓN CON EL MODELO LINEAL

De lo anterior se puede apreciar que el modelo total no explica de forma satisfactoria el cambio en el contenido de humedad reportado por el horno microondas.

Por otro lado, podemos afirmar que el modelo sin valores atípicos tiene una precisión adecuada de $\pm 14.0\%$, explicando hasta un 35% del cambio en el contenido de humedad reportado por el horno microondas.

Además, se comprueba que el modelo para arena seca tiene una precisión adecuada de $\pm 14.0\%$, explicando hasta un 67% del cambio en el contenido de humedad reportado por el horno microondas.

4.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LOS ENSAYOS

El costo de los ensayos puede estimarse tomando en consideración el costo de los equipos empleados, el tiempo que irroga el ensayo y los materiales y herramientas adicionales para cada método, así podemos resumir los costos como:

Tabla 12: Costo de los ensayos

Concepto del costo	Costo del método (S/.)	
	Horno Microonda	Sensor resistivo
Equipo	400	100
Energía eléctrica	1.5	0.01
Consumibles	10	20
Tiempo del operario	4	3
Número de ensayos posible	400	2000

Fuente: Elaboración Propia

4.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Del análisis anterior se observa que se pueden plantear varios modelos matemáticos para la predicción del contenido de humedad reportado por el horno microondas en función de la lectura del sensor. Para el caso se han planteado tres modelos, de los cuales el modelo de arena seca parece ser el que mejor bondad de ajuste presenta explicando de mejor manera la interrelación entre las variables.

La presencia de contenidos de humedad más halla de 12% parece alterar la sensibilidad del sensor, esto puede deberse a la insuficiencia de control de los demás factores que afectan la medición por resistividad eléctrica, llámese la temperatura del suelo, la salinidad del agua, la mineralogía del suelo y la presión de contacto en la sonda del sensor.

Un análisis de los costos revela que los resultados reportados por el sensor de humedad tienen una precisión aceptable permitiendo un ahorro en tiempo y costo durante la supervisión de obras de construcción que requieran el uso de agregado natural fino de la cantera de Cunyac, por ejemplo las plantas de producción de cemento asfáltico, las plantas de producción de concreto de cemento portland, entre otros.

En un estudio similar, correlacionando los resultados de un horno microondas con uno de convección, llegó a los siguientes resultados:

- Según los suelos estudiados, se observa que en la mayoría de estos se obtienen mayores contenidos de humedad cuando se utiliza el método de secado en microondas.
- La variación de resultados entre ambos métodos generalmente es inferior a un 1%.
- La correlación de resultados es más alta en los suelos más finos; contrariamente, existe menor correlación en suelos granulares, lo que es concordante con lo estipulado en la norma ASTM.
- Se obtiene mayor correlación en suelos arcillosos, para índices de plasticidad entre 7 y 16%.
- En suelos del tipo gravas limosas se tiene que la variación entre ambos métodos es inferior al 0,5%.
- A mayor humedad de los suelos se obtiene una mayor dispersión de las humedades, esto puede ser atribuible a que corresponden a suelos finos.
- Existe mayor correlación independientemente del tipo de suelo, para valores de humedad entre 10 y 15%.
- Existe buena correlación, $r > 0,97$, considerando todas las muestra y humedades, lo que validaría este método.
- Si se tienen resultados de contenidos de humedad mayores a un 10%, la variación entre los resultados obtenidos por ambos métodos es inferior a un 10%, siendo siempre mayor el obtenido por el método de secado en microondas.

- Para suelos con contenidos de humedad entre un 8 y un 16%, se requiere un tiempo de secado mínimo que fluctúa entre 18 y 20 minutos, vale decir, se obtiene masa constante, esto considerando un microondas de 2.000 W, funcionando a máxima potencia.
- En el secado en microondas se llegan a temperaturas de secado mayores a las del horno ventilado ($110 \pm 5^\circ \text{C}$), se sobrepasan los 150°C , llegando hasta 250°C . Por esta razón es posible concluir que el mayor porcentaje de humedad obtenido puede ser producto de la calcinación de una parte del suelo y no producto de la humedad.
- Es necesario efectuar nuevos estudios que consideren distintas potencias de secado de manera de aminorar el riesgo de calcinación de los suelos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, y sobre la base de las conclusiones preliminares presentadas en cada capítulo, se llega a las siguientes conclusiones generales:

5.1. CONCLUSIONES

1. La correlación entre los contenidos de humedad reportados por el método del horno microondas y el método del sensor resistivo, tiene una precisión aceptable y permite la predicción de contenidos de humedad con un error porcentual de $\pm 14.0\%$ respecto de la media, es decir si el sensor dice que el contenido de humedad de cierta muestra de arena es de 10% entonces el rango de humedad se hallará efectivamente entre 11.4% y 8.6%. Esto resulta satisfactorio teniendo en cuenta que cada ensayo cuesta la suma de S/. 0.06.
2. Existen diversos modelos matemáticos para predecir el contenido de humedad a partir de las lecturas del sensor, la bondad de los modelos depende del control que se ejerzan sobre las otras variables que afectan la medición por resistividad eléctrica, es decir, la temperatura del suelo, las salinidad tanto del agua como del suelo, la mineralogía y la superficie de contacto de la sonda.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de sensor resistivo para la determinación del contenido de humedad de arenas finas, como sustituto del ensayo de horno microondas por ser aquel más económico con una confiabilidad aceptable.
2. Se recomienda continuar la línea de investigación en sensores resistivo ampliando los estudios a otros tipos de suelos y sus mezclas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alibaba.com. (23 de Enero de 2018).** *Soil Moisture Sensor, Soil Moisture Sensor Suppliers and Manufacturers at Alibaba.com.* Obtenido de <https://www.alibaba.com/showroom/soil-moisture-sensor.html>
- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2008).** *Statistics for Business and Economics, Tenth Edition.* Mason: Thomson South-Western.
- ARSA. (20 de Enero de 2018).** *QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTION MATERIALS.* Obtenido de <http://www.arsaengineers.com/quality-control-of-construction-materials.html>
- ASTM. (2010).** *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.* West Conshohocken: ASTM.
- Baecher, G., & Christian, J. (2003).** *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering.* West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Belov, M. (2014).** *Measurement and sensor technologies trends, development dynamics and application scope.* Autumn: Kajaani University of Applied Sciences.
- Bogena, Herbst, Huisman, Rosenbaum, Weuthen, & Vereecken. (2010).** *Potential of Wireless Sensor Networks for Measuring Soil Water Content Variability.* Madison: Soil Science Society of America.
- Bowerman, B., O'Connell, R., & Murphree, E. (2014).** *Business Statistics in Practice.* New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Carter, & Gregorich. (2008).** *Soil sampling and methods of analysis.* Boca Raton: CRC Press.

Carter, M., & Bentley, S. (2016). *Soil properties and their correlations*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Casafont, C. (2017). *SELECCIÓN Y DISEÑO DE SENSORES DE HUMEDAD PARA MINERIA BLOCK CAVING*. Santiago: Universidad de Chile.

Cohn, V. (2012). *News & numbers : a writer's guide to statistics*. Pondicherry: John Wiley & Sons.

Construmática. (01 de Febrero de 2018). *Contenido de Humedad en Suelos Cohesivos*.

Obtenidodehttp://www.construmatica.com/construpedia/Contenido_de_Humedad_en_Suelos_Cohesivos

Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

Devore, J. (2012). *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. Boston: Brooks/Cole, Cengage Learning.

DHL. (2013). *LOW-COST SENSOR TECHNOLOGY*. Troisdorf: DHL Customer Solutions & Innovation.

Dieter, G., & Schmidt, L. (2009). *ENGINEERING DESIGN*. New York: McGraw-Hill.

Encyclopædia Britannica. (21 de Enero de 2016). *Measurement*. Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/measurement>

FAO. (1 de Febrero de 2018). *Definición de la consistencia del suelo*. Obtenido de http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm

Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. Ciudad de México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

- González, C. (2011).** *UNIDAD 2. Contenido de Humedad del Agua en el Suelo.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Gregersen, E. (2011).** *The Britannica guide to statistics and probability.* New York: Britannica Educational Publishing.
- Havbro, M. (2012).** *Statistics and Probability Theory In Pursuit of Engineering Decision Support.* New York: Springer.
- Head. (2006).** *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1.* Gasteshead: Whittels Publishing.
- Hernández, & Reyes. (2017).** *ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y DE REPRODUCIBILIDAD R&R.* Ciudad de México: www.icicm.com.
- Huamán, N., Yupanquib, G., Allecaa, E., & Allecac, G. (2016).** EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y TEMPERATURA SOBRE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EN GRANOS ANDINO. *Rev Soc Quím Perú.* 82(3), 259-271.
- IAEA. (2008).** *Field Estimation of Soil Water Content.* Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Ideam. (Febrero de 1 de 2018).** *MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO.* Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap15.pdf>
- Information Technology Laboratory . (28 de Enero de 2018).** *Variability.* Obtenido de <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/mpc/section1/mpc114.htm>
- Johnson. (1992).** *Methods of Measuring Soil Moisture in the Field.* Denver: U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR.
- Lakshmi. (2015).** Quality Control and Quality Assurance In Building Construction. *National Conference on Research Advances in Communication, Computation, Electrical Science and Structures*, 29-37.

Lambe, W., & Whitman, R. (2004). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa.

LaRousseCocina. (16 de Febrero de 2018). *Horno de microondas*. Obtenido de https://laroussecocina.mx/palabra/?s=Horno%20de%20microondas&post_type=palabra&vista=diccionario

LAZO, W., & CAMPOS, R. (2014). *SISTEMA REMOTO DE CONTROL Y MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA DEL MAÍZ CON RIEGO POR GOTEO EN EL VALLE DE PAMPAS*. PAMPAS: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA.

LLORVESA. (23 de Enero de 2018). *VENTILADORES DE TIRO FORZADO O INDUCIDO*. Obtenido de http://www.llorvesa.com/es/ventiladores-de-tiro-forzado-o-inducido_c191696/

Lucas, J. (5 de Febrero de 2018). *Electricity Basics: Resistance, Inductance & Capacitance*. Obtenido de <https://www.livescience.com/53875-resistors-capacitors-inductors.html>

Manikandan. (29 de Enero de 2018). *Measures of central tendency: The mean*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3127352/>

Minedu. (Abril de 2014). *Magnitudes de la Educación - ESCALE - Unidad de Estadística Educativa*. Obtenido de <http://escale.minedu.gob.pe/magnitudes>

Minitab. (29 de Enero de 2018). *¿Cuáles son las fuentes de la variación del proceso?* Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/basics/sources-of-process-variation/>

Mohamed, I. (2015). *STUDY ON THE IMPACT OF MOISTURE CONTENT ON SUBGRADE STRENGTH. 5th International Symposium 2015 – IntSym 2015 SEUSL, 71-76.*

Montgomery, D. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* . Jefferson City: John Wiley & Sons.

Montgomery, D., & Runger, G. (2003). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Danvers: John Wiley & Sons, Inc.

MTC. (2000). *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO*. Lima: MTC.

MTC. (2015). *TARIFAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES AÑO 2015*. Lima: MTC.

NÆS, T., BROCKHOFF, P., & TOMIC, O. (2010). *Statistics for Sensory and Consumer Science*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

puriPrivitera, G. (2015). *Statistics for the Behavioral Sciences*. Thousand Oaks,: SAGE Publications, Inc.

Protimeter. (2014). *Moisture testers for soils, sands, powders, aggregates, concrete and masonry*. Protimeter.

Puy, A. (2006). *Influencia de la temperatura en el Límite Líquido para suelos con diferentes índices de plasticidad*.

Quil, C. (2009). *Estimación del módulo de elasticidad por medio de la velocidad de propagación del sonido en madera de Aromo australiano*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Rasch, S. (2011). *DETERMINING THE RELATIVE EFFECTS OF VOLUMETRIC WATER CONTENT AND DRY DENSITY ON THE DIELECTRIC CONSTANT OF SOILS*. Columbia: University of Missouri.

Real Academia Española. (3 de Febrero de 2018). *humedad*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=KoBWiNL>

Rodríguez, M. (20 de Enero de 2018). *Diferencia entre sensor, transductor y captador*. Obtenido de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-sensor-transductor-captador/>

Rojas, A., Zúñiga, O., Sánchez de Prager, M., Pérez, J., & Gascó, M. (2007). *Conductividad térmica del suelo, materia orgánica, actividad y biomasa microbianas en sistemas de cultivo de maracuyá en Toro, Valle del Cauca*. Cauca.

Rosenkrantz, W. (2009). *Probability and Statistics for Science, Engineering, and Finance*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.

Salour, F. (2015). *Moisture Influence on Structural Behaviour of Pavements*. Stockholm: KTH, Royal Institute of Technology.

Sani, F., & Todman, J. (2006). *EXPERIMENTAL DESIGN AND STATISTICS FOR PSYCHOLOGY*. Malden: BLACKWELL PUBLISHING.

Scribd. (Febrero de 3 de 2018). *Contenido de humedad*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/141685109/Definicion-de-contenido-de-humedad>

Sebesta, S., Oh, J., Lee, S. I., Sanchez, M., & Taylor, R. (2013). *INITIAL REVIEW OF RAPID MOISTURE MEASUREMENT FOR ROADWAY BASE AND SUBGRADE*. Texas: TEXAS A&M TRANSPORTATION INSTITUTE.

Serna, J. (2015). *EVALUACIÓN DEL MÉTODO ACTIVO PARA DETERMINAR CONTENIDOS DE HUMEDAD EN SUELOS*. Santiago de Chile: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE.

Sotelo, M., Mazari, M., Garibay, J., & Nazarian, S. (2014). Variability of Moisture Content Measurement Devices on Subgrade Soils. *Geo-Congress 2014 Technical Papers, GSP 234* © ASCE 2014, 1425-1432.

Stanford.edu. (15 de Junio de 2015). *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Obtenido de Measurement in Science: <https://plato.stanford.edu/entries/measurement-science/>

Tal, E. (21 de Setiembre de 2017). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Obtenido de <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/measurement-science>

Torres, F. (2010). *MÉTODO ACÚSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE LA POROSIDAD TOTAL EN DIVERSOS SUELOS*. Valdivia: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.

Tripathy, & Anuradha. (2018). *INTERNET OF THINGS (IoT) Technologies, Applications, Challenges, and Solutions*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

U-Cursos. (2004). *GUIA DE LABORATORIO N° 3*.

UNI. (2006). *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO*. Lima: UNI.

UNI. (06 de Febrero de 2017). *TARIFA DE ENSAYOS DE LABORATORIO*. Obtenido de <http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/tarifa/tarifa%20ensayos.pdf>

Universidad Javeriana. (20 de Febrero de 2017). *LISTADO DE PRECIOS 2017*. Obtenido de <http://ingenieria.javeriana.edu.co/documents/7508381/0/Lista+de+Precios+laboratorios+2017.pdf/f142d779-8719-4ec1-b869-c6de07ee3097>

Universitat Oberta de Catalunya. (3 de Febrero de 2018). *ANÁLISIS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN*. Obtenido de https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_2.pdf

UNNE. (5 de Febrero de 2018). *TECNICAS GRAVIMETRICAS.* Obtenido de http://exa.unne.edu.ar/quimica/quimica.analitica/qa_arch_matdid/arch_teorias/Temas%20teoricos/Gravimetria/gravimetr%EDa.pdf

Varas, Z. (2013). *DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA RIEGO DE CÉSPED DE JARDÍN EMPLEANDO UN SENSOR DE HUMEDAD DE SUELOS Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA .* Lima: PUCP.

ANEXOS I Matriz de Consistencia.

<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es la influencia de la correlación entre el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac obtenido mediante los métodos: Horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS.</p> <p>1. ¿Cuál es el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo?</p> <p>2. ¿Cómo se correlacionan el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción ?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Describir la influencia de la correlación de los valores obtenidos del contenido de humedad de la arena fina de Cunyac mediante los métodos: Horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>1.Determinar el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo.</p> <p>2.Determinar la correlación entre el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Existe una influencia de correlación de los valores del contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo lo cual demostró que los resultados tienen una precisión aceptable, esto permitirá un ahorro en tiempo y costo durante la supervisión de obras de construcción.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>1.Existe la determinación del contenido de humedad en arena fina de Cunyac, obtenido mediante los métodos: horno microondas y sensor resistivo demuestra una precisión aceptable.</p> <p>2.Existe la correlación entre el contenido de humedad de la arena fina de Cunyac, obtenidos mediante los métodos: Horno microondas y sensor resistivo aplicado en la supervisión de obras de construcción.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>La arena de Cunyac.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinación del contenido de humedad. • Método Horno Microondas. • Método Sensor Resistivo. <p>CONCLUSIONES:</p> <p>1) La correlación entre los contenidos de humedad reportados por el método del horno microondas y el método del sensor resistivo, tiene una precisión aceptable y permite la predicción de contenidos de humedad con un error porcentual de $\pm 14.0\%$ respecto de la media, es decir si el sensor dice que el contenido de humedad de cierta muestra de arena es de 10% entonces el rango de humedad se hallará efectivamente entre 11.4% y 8.6%. Esto resulta satisfactorio teniendo en cuenta que cada ensayo cuesta la suma de S/. 0.06.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

			<p>2) Existen diversos modelos matemáticos para predecir el contenido de humedad a partir de las lecturas del sensor, la bondad de los modelos depende del control que se ejerzan sobre las otras variables que afectan la medición por resistividad eléctrica, es decir, la temperatura del suelo, la salinidad tanto del agua como del suelo, la mineralogía y la superficie de contacto de la sonda.</p>
--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ANEXOS II Tarifa de ensayos de laboratorio-UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL - LABORATORIO N°2 - MECÁNICA DE SUELOS

TARIFA DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYOS ESTANDAR DE SUELOS				
Código	DESCRIPCIÓN	Precio S/.	ASTM	NTP- otros
MS-01	Contenido de humedad	30	D2216	339.127
MS-02	Análisis granulométrico por tamizado	90	D422	339.128
MS-03	Límite líquido	60	D4318	339.129
MS-04	Límite plástico	60	D4318	339.129
MS-05	Límite de contracción	80	D427	339.140
MS-06	Clasificación (incluye granulometría, límite líquido y límite plástico)	210	2487	
MS-07	Análisis granulométrico por hidrómetro (incluye granulometría por tamizado)	350	D422	339.128
MS-08	Ensayo de doble hidrómetro - en suelos dispersivos	500	D-4221	-
MS-09	Peso volumétrico ó densidad de suelos cohesivos (método de la parafina)	70	-	339.139
MS-10	Gravedad específica de sólidos	70	D854	339.131
MS-11	Próctor estándar	140	D-698	MTC E-116
MS-12	Próctor modificado	160	D-1557	MTC E-115
MS-13	C.B.R.	480	D-1883	MTC E-132

OBSERVACIÓN

Las clasificaciones SUCS (ASTM D2478) ó AASHTO M-145 se realizan sin costo al solicitar los ensayos de análisis granulométrico por tamizado, límite líquido y límite plástico

ENSAYOS ESPECIALES PARA CIMENTACIONES				
Código	DESCRIPCIÓN	Precio S/.	ASTM	NTP- otros
ES-01	Corte directo (incluye clasificación SUCS)	420	D-3080	339.171
ES-02	Compresión no confinada en suelos cohesivos (incluye clasificación SUCS)	400	D-2166	339.167
ES-03	Compresión triaxial no consolidado no drenado UU (incluye clasificación SUCS)	700	D-2850	339.164
ES-04	Compresión triaxial consolidado no drenado CU (incluye clasificación SUCS)	1800	D-4767	339.166
ES-05	Compresión triaxial consolidado drenado CD en arenas (incluye clasificación SUCS)	2500	D-7181	-
ES-06	Conductividad hidráulica en pared flexible (permeabilidad)	680	D-5084	339.156
ES-07	Conductividad hidráulica en pared rígida en arenas (permeabilidad)	570	D-2434	339.147
ES-08	Colapso	700	D-5333	339.163
ES-09	Consolidación unidimensional-hasta 8.0kg/cm2 de carga (incluye clasificación SUCS)	870	D-2435	339.154
ES-10	Compresión edométrica en arenas y limos arenosos	350	-	-
ES-11	Expansión libre (incluye clasificación SUCS)	520	D-4546	339.170
ES-12	Expansión controlada - Método A (incluye clasificación SUCS)	870	D-4546	339.170
ES-13	Densidad mínima en suelos granulares (material menor de 3")	120	D-4254	339.138
ES-14	Densidad máxima en suelos granulares (mat.menor de 3") - con Mesa Vibratoria	400	D-4253	339.137
ES-15	Densidad mínima en arena (material menor que malla N°4)	70	-	NLT-204
ES-16	Densidad máxima en arena (material menor que malla N°4) - Método de apisonado	90	-	NLT-205

OBSERVACIONES - ENSAYOS ESPECIALES

- (1) Los ensayos de compresión triaxial son con especímenes de 2.8" de diámetro
- (2) Los ensayos especiales se efectúan en muestras inalteradas, en caso se remitan muestras disturbadas el solicitante indicará la densidad para el remoldeo ó se efectuarán ensayos adicionales para determinar la densidad. Los ensayos sugeridos para determinar la densidad según el tipo de suelo son:
 - a) En suelos finos que contengan trozos de suelo mayores de 10cm: Ensayo de peso volumétrico (S/70)
 - b) En suelos disturbados en general (finos y granulares): Proctor estándar en matriz pasante malla N°4 (S/140), con remodelo al porcentaje de densidad indicado por el cliente.
 - c) En arenas con menos de 10% de finos: densidad máxima y densidad mínima (NLT- 204 y NLT-205) en material pasante malla N°4 (S/ 160), con remoldeo a la densidad promedio.

ENSAYOS ESPECIALES EN ROCA				
Código	DESCRIPCIÓN	Precio S/.	Precio con rotura de roca S/.	
R-01	Propiedades Físicas (humedad, densidad, porosidad, absorción)	700	850	
R-02	Carga Puntual	500	700	
R-03	Descripción petrográfica macroscópica - Clasificación de la roca	600	-	
R-04	Descripción petrográfica macroscópica en agregado grueso (en material de cantera)	1800	-	

REQUERIMIENTOS DE MUESTRAS PARA ENSAYOS EN ROCA

- a) Ensayo propiedades físicas: especímenes de forma cúbica, cilíndrica, cúbica o trozos irregulares de espesor mínimo 5cm.
- b) Ensayo de carga puntual en testigos: longitud igual o mayor a 1.4 veces el diámetro, diámetro mínimo 5 cm.
- c) Ensayo de carga puntual en trozos: trozos irregulares de espesor mínimo 5 cm.
- d) Petrografía en roca: trozo de roca fresca de 15cm. x 5cm de espesor como mínimo
- e) Petrografía en agregado de cantera: 10 kg. de agregado menor de 2 pulgadas, como mínimo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL - LABORATORIO N°2 - MECÁNICA DE SUELOS

TARIFA DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS				
Código	DESCRIPCIÓN	Precio S/.	ASTM	MTC
MA-01	Lavado asfáltico (reporte de contenido de asfalto y granulometría del agregado)	420	D2172, D546	MTC E-502, 503
MA-02	Adherencia en agregado fino - Riedel weber	190	NLT-355	MTC-E220
MA-03	Adherencia en agregado grueso - Revestimiento y desprendimiento	150	D-1664	MTC-E517
MA-04	Espesor o altura de briquetas de mezcla asfáltica compactada	70	-	MTC-E507
MA-05	Peso unitario de mezcla asfáltica compactada	120	D-2726	MTC-514
MA-06	Peso específico máximo teórico (Rice)	170	D-2041	MTC E-508
MA-07	Cálculo de porcentaje de vacíos - incluye peso unitario de la briketa y Rice	380	-	MTC E-505
MA-08	Estabilidad y flujo Marshall - solo rotura de briketa	120	D-1559	MTC E-504
MA-09	Elaboración de briquetas Marshall - costo por briketa	120	D-1559	MTC E-504
MA-10	Diseño de mezcla asfáltica en caliente - Método Marshall	3200	D-1559	MTC E-504

OBSERVACIONES - DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL

- El cliente verificará previamente la calidad y afinidad de los materiales proporcionados para el diseño.
- De ser el caso, el cliente indicará la proporción de aditivos y/o filler.
- La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) a considerar para el agregado global será indicada por el cliente.
- Todo ensayo adicional para verificar la calidad de los agregados ó afinidad de materiales será presupuestado según tarifa vigente.

ENSAYOS EN AGREGADOS				
Código	DESCRIPCIÓN	Precio S/.	ASTM	MTC
AG-01	Clasificación SUCS ó AASHTO (incluye granulometría, L. líquido y L. plástico)	210	D2487	AASHTO M-145
AG-02	Índice Plástico del material que pasa malla N°200 (incluye L.Líquido y L.Plástico)	170	D-4318	-
AG-03	Gravedad específica en frasco Le Chatelier (cemento, cal, puzolana y similares)	150	C-188	MTC E-610
AG-04	Abrasión con la Máquina de Angeles, en agregado menor de 1-1/2"	160	C-131	MTC E-207
AG-05	Abrasión en roca ó agregado mayor de 3/4" (no incluye rotura de roca)	250	C-535	-
AG-06	Abrasión en roca (con rotura de roca)	600	C-535	-
AG-07	Durabilidad con sulfato de magnesio en agregado grueso	600	C-88	MTC E-209
AG-08	Durabilidad con sulfato de magnesio en agregado fino	400	C-88	MTC E-209
AG-09	Durabilidad en roca (con rotura de roca)	850	C-88	MTC E-209
AG-10	Gravedad específica y absorción del agregado grueso	120	C-127	MTC E-206
AG-11	Gravedad específica y absorción del agregado fino	110	C-128	MTC E-205
AG-12	Peso unitario del agregado grueso (suelto y varillado)	110	C-29	MTC E-203
AG-13	Peso unitario del agregado fino (suelto y varillado)	100	C-29	MTC E-203
AG-14	Peso unitario del agregado global (suelto y varillado)	120	C-29	MTC E-203
AG-15	Impurezas orgánicas en el agregado fino	100	C-40	MTC E-213
AG-16	Equivalente arena en el agregado fino	120	D-2419	MTC E-114
AG-17	Angularidad del agregado fino	150	-	MTC E222
AG-18	Terrones de arcilla y Partículas Friables (agregado grueso ó agregado fino)	90	C-142	MTC E-212
AG-19	Caras fracturadas (reporte de 1 y 2 caras de fractura)	120	D-5821	MTC E-210
AG-20	Índice de aplanamiento y alargamiento - Norma MTC	100	-	MTC E-221
AG-22	Partículas chatas y alargadas - Norma ASTM	200	D 4791	-
AG-23	Granulometría global en agregado para concreto	120	C-136	MTC- E204
AG-24	Granulometría en agregado grueso para concreto	110	C-136	MTC- E204
AG-25	Granulometría en agregado fino para concreto	110	C-136	MTC- E204
AG-26	Material que pasa la malla No 200 (en A.Gruoso ó A. Fino)	70	C-117	MTC E 202
AG-27	Contenido de humedad (en agregado grueso ó agregado fino)	30	D-2216	-

OBSERVACIÓN

El análisis granulométrico en agregado para concreto incluye cálculo del módulo de fineza



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL - LABORATORIO N°2- MECÁNICA DE SUELOS

TARIFA DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ANÁLISIS QUÍMICO			
Código	DESCRIPCIÓN	Precio S/.	MÉTODO
ANÁLISIS QUÍMICO EN SUELO, AGREGADO Y AGUA			
Q-01	Sales solubles totales	110	MTC E 219
Q-02	Sulfatos	110	ASTM D-516
Q-03	Cloruros	110	ASTM D-512
Q-04	pH	100	MTC E 129
Q-05	Hidrocarburo	700	-
Q-06	Sulfuros	500	ASTM D516
Q-07	Acidez	450	ASTM D1293
Q-08	Sílice	500	APHA 305
Q-09	Sales de magnesio	200	APHA 305
Q-10	Carbonatos	500	ASTM D511
Q-11	Conductividad eléctrica	200	ASTM D-1125
Q-12	Metales (fierro, aluminio, plomo, cadmio, cromo, etc) por cada elemento	400	APHA 305
ANÁLISIS QUÍMICO EN AGUA			
Q-13	Sólidos en suspensión	450	ASTM D1888
Q-14	Residuo sólido	500	NTP 339.071
Q-15	sedimentación de sólidos	500	ASTM D1888
Q-16	Materia orgánica	200	NTP 339.072
Q-17	Turbidez	400	UV
Q-18	Alcalinidad	400	ASTM D1067
OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGREGADOS			
Q-19	Reactividad agregado - alcalis (grueso ó fino)	500	MTC E-217 / ASTM C-289
Q-20	Sílice (Si O ₂)	500	APHA305
Q-21	Partículas livianas en los agregados (grueso ó fino)	200	MTC E-211 / ASTM C-123
Q-22	Carbón y lignito en agregado fino	500	MTC E-215
Q-23	Materia Orgánica en suelos y agregados - Pérdida por ignición	200	MTC E 118
Q-24	Índice de durabilidad (grueso ó fino)	1400	MTC E-214 / ASTM D 3744
Q-25	Resistividad eléctrica	1400	RA6014
Q-26	Micas, lutita, álcalis, arcilla, limo - por cada elemento	400	Método espectrométrico
Q-27	ABA	1400	Test
Q-28	Azul de Metileno	450	INVE235
Q-29	Reactividad (16 DIAS)	3000	ASTM C 1260

OBSERVACIONES - ANÁLISIS QUÍMICOS

(1) Consultar sobre otros ensayos químicos en suelo y agua.

(2) Para el ensayo de reactividad a los álcalis en el agregado grueso, proporcionar el material triturado entre las mallas 50 y 100

DENSIDAD DE CAMPO Y OTROS ENSAYOS IN SITU		
Código	DESCRIPCIÓN	Precio S/.
D-01	Densidad de campo para control compactación-Método cono y la arena (cono de 6pulg.) Mínimo 04 puntos	150
D-02	Densidad en gravas, método cono y la arena (cono de 12 pulg.)-superficial. Mínimo 02 puntos	300
D-03	Densidad en gravas, método cono y la arena (cono de 12 pulg.)- en calicatas hasta 3.00m. Mínimo 02 puntos	400
D-04	Densidad en gravas, método cono y la arena (cono de 12 pulg.)- en calicatas hasta 5.00m. Mínimo 02 puntos	600
D-05	Densidad método cono y la arena (cono de 6 pulg.) - en calicata de hasta 3.00m. Mínimo 02 puntos	300
	Ensayo SPT, DPL, Cono Peck, posteadora manual, CBR in situ, otros	sp

OBSERVACIONES

(1) Consultar sobre condiciones para los ensayos "in situ"

(2) sp = sujeto a presupuesto

OTROS SERVICIOS	Precio S/.
Elaboración propuestas técnicas económicas - por gastos administrativos	20

Los precios incluyen IGV - Sujeto al Sistema de detracción (10% del costo total)

Formas de Pago:

- En caja UNI, previa orden de pago emitida por el Laboratorio.
- Depósito Bancario en cuenta de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.

Cuenta Corriente Banco de la Nación **0000771309**

Para Transferencia Interbancaria C.C.I **0180000000024678608**

Cuenta de Detracción **00-000-513431** Banco de la Nación RUC de la UNI: 20169004359

Nota: Los depósitos bancarios y detracción se efectuarán anticipadamente y se enviará los comprobantes de pago para dar inicio al servicio.

Correo para envío de comprobantes de pago: lms.servicios@uni.edu.pe

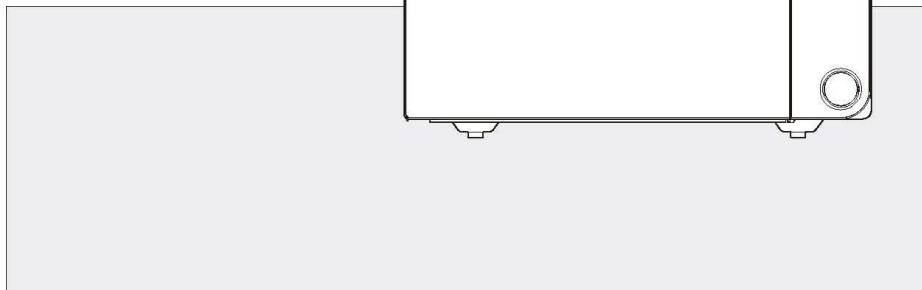
Lima, febrero 2017

ANEXOS III Especificaciones técnicas del horno microondas.

HORNO DE MICROONDAS

KQG-1N3HM / KQG-1N3HMA

MANUAL DE USUARIO
Y RECETARIO



Antes de operar su horno de microondas, favor de leer este manual de usuario.



INSTRUCCIONES IMPORTANTES DE SEGURIDAD

Cuando se usan equipos eléctricos deben seguirse ciertas reglas básicas de seguridad, incluyendo lo siguiente:

ADVERTENCIA - Para reducir el riesgo de quemaduras, electrocución, incendio, daños a personas o exposición excesiva a la energía de microondas:

1. Lea todas las Instrucciones antes de usar el equipo.
2. Lea y siga las recomendaciones en: "PRECAUCIONES QUE DEBEN TENERSE PARA EVITAR QUEDAR EXPUESTO A LA EXCESIVA ENERGIA DE MICROONDAS" señalado en la pág. 1.
3. Este equipo debe tener una conexión de tierra, lea las "INSTRUCCIONES DE CONEXION A TIERRA", encontradas en la pág. 3.
4. Instale o coloque este equipo de acuerdo únicamente con las instrucciones de instalación proporcionadas.
5. Algunos productos como huevos y contenedores sellados por ejemplo: frascos de vidrio cerrados pueden estallar y no deben de ser calentados en este horno.
6. Utilice este equipo sólo para el propósito por el cual fue diseñado, especificado en este manual. No use químicos corrosivos en este equipo. Este tipo de hornos ha sido diseñado exclusivamente para calentar, cocinar o descongelar alimentos. No ha sido diseñado para uso industrial o de laboratorio.
7. Como en cualquier equipo se necesita la supervisión de un adulto cuando el aparato sea utilizado por niños.
8. No opere el equipo si el cable de alimentación o la clavija están dañadas, si no trabaja adecuadamente o si ha sufrido una caída.
9. Este equipo debe ser revisado, ajustado o reparado sólo por personal del servicio técnico autorizado. Contacte al servicio técnico autorizado mas cercano para reparaciones y ajuste.
10. No bloquee o cubra las salidas de ventilación del equipo.
11. No almacene este equipo en el exterior. No use el equipo cerca del agua - por ejemplo, cerca de un lavaplatos, en un sótano húmedo, cerca de una piscina o de algún lugar semejante.
12. No sumerja el cable de alimentación o la clavija, en agua.
13. Mantenga el cable de alimentación lejos de superficies calientes.
14. No deje el cable de alimentación colgado sobre el borde de una mesa.
15. En los dos casos:
 - a) Cuando limpie la superficie o la puerta del equipo que hace contacto al cerrar la puerta, use solamente jabon suave, sin abrasivos, aplicados con una esponja o paño suave.
 - b) Cuando las instrucciones de limpieza esten por separado. Vea las instrucciones de limpieza incluidas.
16. Para reducir el riesgo de fuego en el interior del horno:
 - a) No recaliente la comida. Ponga especial atención en el equipo, al usar papel, plástico u otro material combustible en el interior para facilitar el cocinado.
 - b) Retire las ataduras de alambre de las bolsas de introducir las en el horno.
 - c) Si el material dentro del horno se comienza a encender, mantenga la puerta cerrada, apague el horno y desconecte el cable de alimentación o retire la alimentación desde el panel de fusibles.
 - d) No use la cavidad para almacenar objetos. No deje productos de papel, utensilios de cocina o alimentos en la cavidad cuando no este en uso.
17. Líquidos como agua, café o té, son capaces de ser calentados hasta punto de hervir sin aparentarlo, esto debido a la tensión del líquido. El burbujeo es visible cuando el contenedor es retirado del horno de microondas.

ESTO PUEDE RESULTAR EN LÍQUIDOS MUY MUY CALIENTES CUANDO SE INTRODUCE UNA CUCHARA U OTRO UTENSILIO EN EL LÍQUIDO.

Para reducir el riesgo de daño a una persona:

 - a) No sobrecaliente el líquido.
 - b) Remueva el líquido antes y durante el calentamiento.
 - c) No utilice directamente contenedores con cuellos estrechos.
 - d) Después de calentar, mantenga el contenedor en reposo dentro del microondas por un instante antes de retirarlo del horno.
 - e) Utilice extremo cuidado inserte una cuchara u otro utensilio en el contenedor.
18. No use el horno de microondas para calentar químicos corrosivos (sulfatos o cloratos). El vapor de los químicos pueden entrar en contacto con los seguros y resortes de seguridad, dañándolos de forma permanente.
19. Mantenga la cubierta del horno limpia todo el tiempo. Limpie el interior del horno con un paño suave y limpio después de cada uso. Si deja grasa en cualquier parte de la cavidad podría sobrecalentarse, humear o causar fuego cuando use de nuevo el horno.
20. Nunca caliente aceites o grasa para freír, usted no controla la temperatura y hacer esto puede causar un sobrecalentamiento o fuego.
21. No opere el horno si el plato de cristal no esta en su lugar. Asegúrese que este colocado correctamente.

CONSERVE ESTE MANUAL DE USUARIO

INSTALACIÓN

1. Examine el horno después de abrirlo.

Revise que no esté dañado, no tenga abolladuras, que la puerta esté alineada y que la cavidad no esté rayada o abollada. Si existe algún desperfecto visible, NO INSTALE EL HORNO y notifíquelo inmediatamente a su vendedor.

2. Superficie regular y estable.

Coloque el microondas sobre una superficie plana y estable.

3. Ventilación.

No obstruya las rejillas de ventilación. Si estas son bloqueadas durante la operación, el horno se puede calentar excesivamente y eventualmente tener alguna falla.

Para proporcionarle la adecuada ventilación, mantenga como mínimo 7 cm de espacio entre cualquier costado del horno y el lugar en donde va a instalarse.

4. Manténgalo alejado de equipos de radio y televisión.

Una mala recepción de televisión e interferencia en la radio pueden presentarse si el horno está colocado cerca de la TV, radio, antena, etc.,

Mantenga alejado el horno de microondas de estos equipos lo más que se pueda.

5. Manténgalo alejado de equipos generadores de calor y de llaves de agua.

No coloque el equipo en lugares calurosos y húmedos, para prevenir el riesgo de incendio o de sufrir una descarga eléctrica. Asimismo no lo instale cerca de la tarja.

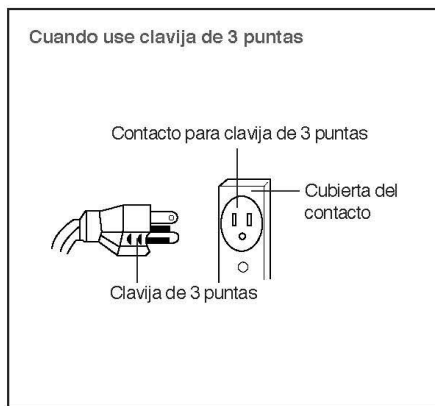
6. Suministro de Energía - Revise el voltaje de su domicilio.

Este horno de microondas requiere una corriente aproximada de 127V~ 60 Hz (depende del modelo) y con contacto polarizado con conexión a tierra. Este horno tiene suministrado un cable de corriente corto; esto es con la intención de prevenir el riesgo de llegar a enredarse o tropezar con él. Se puede llegar a utilizar juegos de cable más largos o extensiones de corriente, siempre y cuando se tenga el debido cuidado en su uso.

Si se utiliza un cable largo o una extensión, entonces el rango eléctrico del cable (calibre) o de la extensión debe de ser por lo menos del mismo tipo que el usado en el horno.

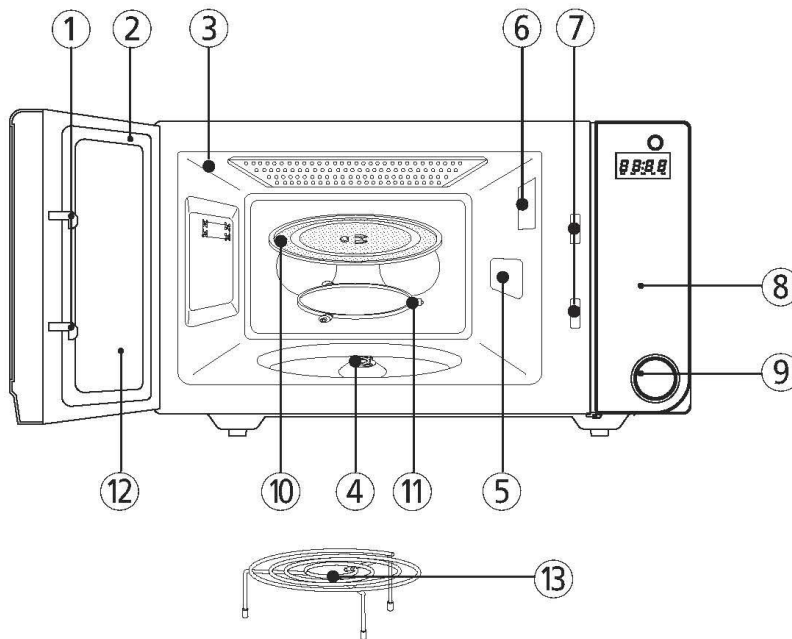
El cable de extensión debe de ser del tipo de 3 conductores. El cable largo debe de acomodarse de forma que no se pueda producir un accidente, debido al tropezar o enredarse con él y a su vez de no quedar al alcance de los niños.

7. El espacio mínimo necesario que debe haber sobre la parte superior del horno es de 10 cm.



"EL REGLAMENTO ELECTRICO CANADIENSE NO PERMITE EL USO DE ADAPTADORES DE TIERRA"

DIAGRAMA DE CARACTERÍSTICAS



1 Ganchos de la puerta - Cuando la puerta es cerrada, automáticamente los ganchos se activan. Si la puerta es abierta mientras el horno está en operación, el magnetrón se apagará.

2 Sellos de la puerta - Los sellos de la puerta previenen la fuga de las microondas.

3 Cavidad del horno

4 Acoplador - Se inserta en el eje central de la cavidad del horno. Debe de permanecer en el horno para todo el cocinado.

5 Cubierta de las microondas - Protege la salida de las microondas de salpicaduras de los alimentos.

6 Lámpara del horno - Se enciende automáticamente durante la operación del horno.

7 Sistema de seguridad

8 Panel de control

9 Botón de apertura - Para abrir la puerta presione el botón de apertura.

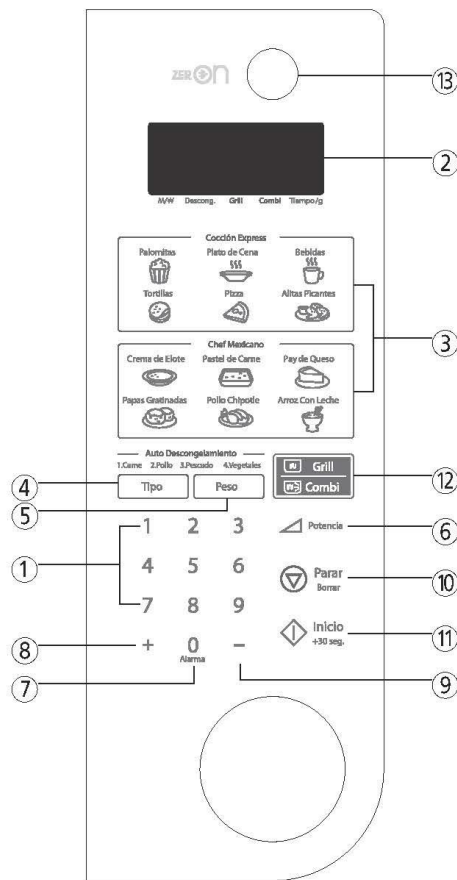
10 Plato giratorio - Fabricado de material resistente al calor. El plato debe de estar siempre en la posición correcta antes de operar el horno. No cocine los alimentos directamente en el plato giratorio.

11 Aro giratorio - Siempre debe de ser usado en el cocinado junto con el plato giratorio.

12 Visor de la puerta - Permite ver los alimentos. La pantalla esta diseñada para que la luz pueda traspasar pero no las microondas.

13 Rack metálico

PANEL DE CONTROL



1-Botones numericos - Use para ajustar el tiempo de cocinado.

2-Pantalla - Los indicadores del Tiempo de cocinado y Nivel de potencia son mostrados.

3-Cocinado de un toque - Use para cocinar cantidades especificas de alimentos.

4-Autodescongelamiento por tipo - Use para ajustar el tipo de alimento para el descongelado.

5-Autodescongelamiento por peso - Use para ajustar el peso de alimento para el descongelado.

6-Potencia - Use para ajustar el nivel de potencia.

7-Alarma - Usado como temporizador de minutos.

8-Mas - Usado para agregar tiempo al cocinado.

9-Menos - Usado para reducir el tiempo de cocinado.

10-Parrar/Borrar - Usado para detener la operación del horno o borrar el tiempo de cocinado.

11-Inicio/+30seg - Usado para iniciar la operación del horno y tambien para ajustar el tiempo de recalentado.

12-Grill/Combi - Usado para el cocinado Grill y combinado.

13-Zer-On - Use para cambiar la energía eléctrica en el horno.

PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

Esta sección muestra información importante sobre el manejo del horno:

- 1** Conecte el horno al suministro eléctrico de 127V~ 60Hz.
- 2** Después de colocar los alimentos en un recipiente adecuado para microondas, abra la puerta y coloque el recipiente sobre el plato de cristal. El plato de cristal y el aro giratorio deben estar siempre colocados durante el cocinado.
- 3** Cierre la puerta. Asegúrese que este cerrada firmemente.
- 4** La puerta puede abrirse en cualquier momento durante la operación del horno, presionando el botón de apertura. El horno se detendrá automáticamente. Para reiniciar la operación, cierre la puerta y presione el botón de INICIO.
- 5** La pantalla no mostrará nada cuando el horno este conectado, mantenga presionado el botón Zer-ON hasta que se encienda la pantalla y se escuche un beep.
- 6** La pantalla mostrará "0" cuando el tiempo de cocinado terminado.
- 7** Cuando se presiona el botón Parar/Borrar durante la operación del horno, el horno se detendrá y toda la información se conservará. Si la puerta del horno es abierta durante la operación del horno, toda la información se conservará.
- 8** Si presiona el botón INICIO/+30seg y el horno no opera, revise que entre el área de la puerta y los sellos de la puerta que no exista alguna obstrucción y asegúrese que la puerta cierre firmemente. El horno no iniciará el cocinado hasta que la puerta este bien cerrada o hasta que se reinicie el programa de cocinado.
- 9** NOTA: Al cocinar en modo GRILL:
 - No abra la puerta frecuentemente, la temperatura del interior puede disminuir y el cocinado puede no completarse.
 - Nunca presione la ventana del horno y el interior metálico cuando coloque o retire los alimentos, la temperatura del interior es muy alta.
 - Tenga cuidado de no presionar el plato de cristal, use guantes de cocinado para manipular el plato.

Asegúrese que el horno este instalado correctamente y conectaedo al suminsitro eléctrico.

TABLA DE POTENCIAS

- El nivel de potencia se ajusta por medio del botón de POTENCIA. La siguiente tabla muestra la indicación en la pantalla y su respectivo nivel y porcentaje de potencia.

Presione el botón POTENCIA	Nivel de potencia (Mostrado)	Porcentaje de potencia aproximado
Una vez	P-HI	100%
Dos veces	P-90	90%
3 veces	P-80	80%
4 veces	P-70	70%
5 veces	P-60	60%
6 veces	P-50	50%
7 veces	P-40	40%
8 veces	P-30	30%
9 veces	P-20	20%
10 veces	P-10	10%
11 veces	P-00	0%

FUNCIONES DEL PANEL DE CONTROL

CAMBIANDO DE ENCENDIDO A APAGADO EL HORNO (ON&OFF)

Cuando el horno se conecta por primera vez a la toma eléctrica, la pantalla no muestra nada.



1. Presione el botón **Zer-ON** hasta que la pantalla se encienda y se escuche un beep.
El horno se enciende.



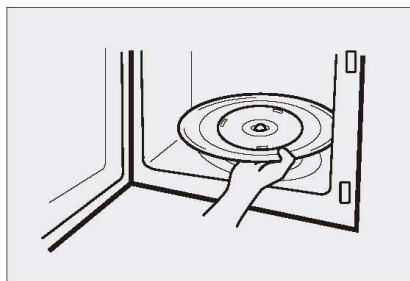
2. Presione y mantenga presionado el botón **Parar/Borrar** hasta que la pantalla se apague.
El horno se apagará.

NOTE : Si la energía eléctrica es suspendida, la pantalla se apagará hasta que está regrese; presione y mantenga presionado el botón **Zer-ON** hasta que la pantalla se encienda y se escuche un beep. El horno se apagará automáticamente si no es usado por 10 minutos.

CUIDADO DE SU HORNO DE MICROONDAS

Se debe limpiar y retirar de forma regular los depósitos de alimentos del horno. El no mantener el horno limpio puede producir el deterioro de la superficie, lo que afecta de forma negativa al electrodoméstico y que posiblemente se transforme en una situación peligrosa.

- 1** Desconecte el horno antes de limpiarlo.
- 2** Mantenga limpio el interior del horno. Cuando los alimentos se derraman o salpiquén las paredes del interior del horno, límpielo con un paño húmedo.
- 3** Puede usar un detergente suave si el horno se encuentra demasiado sucio. No es recomendable usar detergentes fuertes o abrasivos. La parte exterior del horno debe limpiarse con agua y jabón, enjuagarse y secarse con un paño suave. Para evitar daños a las partes que operan dentro del horno, no permita que entre agua por la abertura de ventilación.
- 4** Si el panel de control se moja, límpielo con un paño suave. No use detergentes o abrasivos fuertes en el panel de control.
- 5** Si se acumula vapor en el interior del horno o en el borde de la puerta, límpielo con un paño suave. Esto suele ocurrir cuando el horno de microondas está siendo operado bajo condiciones de alta humedad. Sin embargo, esto no es un indicio de un mal funcionamiento.
- 6** Ocasionalmente es necesario retirar el plato de cristal para limpiarlo. Lávelo en agua tibia con jabón o en lavaplatos automático.
- 7** El aro giratorio y la base de la cavidad, deben limpiarse regularmente para evitar que hagan demasiado ruido. Simplemente limpie la superficie con agua y detergente suave o con limpiador de ventanas y seque. El eje puede lavarse con agua tibia.

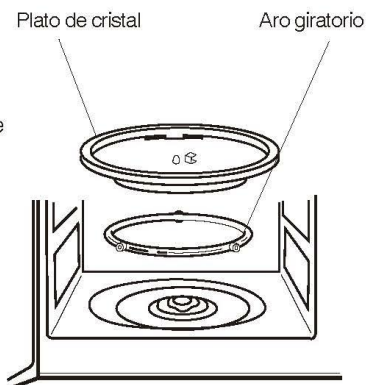


ARO GIRATORIO

- 1** El ARO GIRATORIO y la base de la cavidad deben limpiarse regularmente para evitar que hagan demasiado ruido.
- 2** El PLATO DE CRISTAL SIEMPRE debe de colocarse sobre el ARO GIRATORIO para cocinar.

PLATO DE CRISTAL

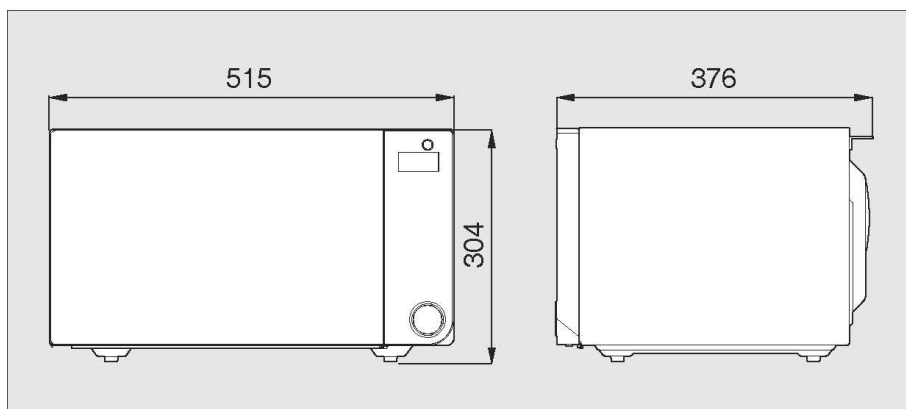
- 1** NO opere el horno sin el plato de cristal.
- 2** NO use ningún otro plato de cristal en este horno.
- 3** Si el plato de cristal está caliente, permita que se enfrie antes de limpiarlo o colocarlo en agua.
- 4** No cocine directamente sobre el plato de cristal (excepto bolsas de palomitas de maíz para microondas).



ESPECIFICACIONES

Alimentación		127V~, 60Hz FASE SENCILLA CON TIERRA
Consumo de Potencia	Microondas	1500 W
	Dorador (GRILL)	1150 W
	Combinado	1650 W
Potencia de salida de Microondas		1000 W
Frecuencia		2450 MHz
Dimensiones externas aprox. (Ancho x Alto x Fondo)		515 x 304 x 376 mm (20,3 x 12,0 x 14,8 in.)
Dimensiones de la cavidad aprox. (Ancho x Alto x Fondo)		356 x 216 x 359 mm (14,0 x 9,4 x 14.1 in.)
Capacidad		1,1 pie ³ (31,14 dm ³)
Peso Neto aprox.		13,6 kg (29,9 lbs)
Cronómetro (TIMER)		59 min 99 seg
Niveles de potencia		10 niveles

* Las especificaciones pueden variar sin previo aviso para mejoras del equipo.



CÓMO UTILIZAR EL HORNO DE MICROONDAS SIN RIESGO

Uso general

No intente desactivar ni manipular los elementos de cierre de seguridad. No coloque ningún objeto entre la cara frontal del horno y la puerta ni permita que se acumulen residuos en las superficies de cierre.

Límpie el horno con un detergente suave, después enjuague y seque. No utilice nunca polvos ni estropajos abrasivos.

No someta la puerta del horno a presiones ni a pesos como por ejemplo, que un niño se cuelga de la puerta. El horno podría caer hacia delante y causar daños personales y al horno.

No utilice el horno si las uniones de la puerta o superficies de cierre se encuentran con problemas. Tampoco si la puerta está torcida o si las bisagras están sueltas o rotas. No haga funcionar el horno vacío, ya que lo podría dañar.

No intente secar ropa, periódicos ni otros materiales en el horno. Estos podrían causar fuego.

No utilice productos de papel reciclado ya que pueden contener impurezas que podrían causar chispas o fuego durante la cocción.

No golpee el panel de control con objetos duros, ya que podría estropear el horno.

Alimentos

Nunca utilice el horno microondas para preparar conservas caseras. El horno no está diseñado para esto. Los alimentos de conservas en mal estado puede dañar el horno y ser peligrosos para su consumo.

Utilice siempre el tiempo mínimo de cocción de la receta.

Es mejor que le falte cocción a la comida a que esté demasiado cocida. Los alimentos que no sean cocinados por completo se pueden volver a cocinar en el microondas. Sin embargo si están demasiado cocidos, no hay nada que hacer.

Caliente con cuidado cantidades pequeñas de alimentos o alimentos con bajo contenido en humedad, ya que pueden resecarse, quemarse o encenderse rápidamente.

No caliente huevos con cascara. La presión puede aumentar y hacer que el huevo estalle. Las papas, manzanas, yemas de huevo y salchichas son ejemplos de alimentos con pieles no porosas. Perfore este tipo de alimentos antes de cocinarlos para que no exploten.

No intente freír en el horno microondas. Siempre permita un tiempo de reposo de al menos 20 seg después de que el horno se haya apagado para permitir que la temperatura se distribuya equitativamente y siempre REVUELVA el alimento después de ser calentado.

Para prevenir que los líquidos erupcionen o que sigan hirviendo, revuelva con una cuchara o con un revolvedor de vidrio durante y después de calentarlo.

No desatienda al horno mientras prepara palomitas. No prepare palomitas en bolsa de papel a no ser que sea especial para uso en microondas. Los granos se pueden sobrecalentar y provocar fuego. No coloque las bolsas de palomitas para microondas directamente sobre la bandeja del horno. Coloque el paquete sobre un plato de vidrio o cerámica apto para microondas, para así evitar que la bandeja del horno se caliente en exceso y se agriete.

No exceda el tiempo de cocción estipulado por los fabricantes de palomitas para microondas. El tiempo no produce más palomitas, sino que se puedan quemar o incluso producir fuego. Recuerde que la bolsa de las palomitas y la bandeja pueden estar demasiado calientes.

Retírelas con precaución y utilice guantes o toma ollas.

ARCO ELÉCTRICO ("CHISPAS")

En caso de que se produzcan chispas en el interior del microondas, presione el botón PARAR/BORRAR y corrija el problema.

"Arco eléctrico" es el término que se utiliza para las chispas dentro del horno de microondas.

El arco eléctrico se puede producir por:

- Metales o papel aluminio en contacto con las paredes del interior del horno.
- Papel aluminio que no se amolda a la comida (los bordes doblados hacia arriba actúan como antenas).
- Los metales como alambres contenedores, clavos para cocción o platos con bordes dorados en el microondas.
- Servilletas de papel reciclado que contienen pequeñas piezas metálicas.

PRINCIPIOS DE LA COCCIÓN EN HORNO MICROONDAS

La energía de microondas se ha utilizado para cocinar y recalentar alimentos desde los primeros experimentos con RADAR en la 2da Guerra Mundial. Las microondas están presentes en la atmósfera en todo momento, tanto de una forma natural como procedentes de fuentes artificiales. Entre dichas fuentes se incluyen los radares, la radio, la televisión, los enlaces de las telecomunicaciones y los teléfonos móviles.

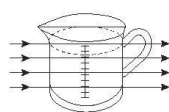
¿CÓMO COCINAN LOS ALIMENTOS LAS MICROONDAS?

Este horno tiene un equipamiento que corresponde al grupo 2 ISM, en el que la radio frecuencia es generada intencionalmente y se utiliza en forma de radiación electromagnética para el tratamiento del material. Este horno tiene equipamiento clase B, el que es adecuado para ser utilizado en establecimientos domésticos y en establecimientos que están conectados de forma directa a una red de suministro de bajo voltaje que suministre energía a edificios con propósitos domésticos.



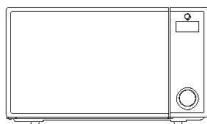
En un horno microondas, la electricidad se convierte en microondas por la acción del magnetrón.

► TRANSMISIÓN



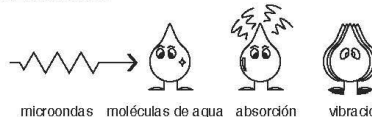
Las ondas pasan a través de los recipientes y son absorbidas por las moléculas de agua de la comida; todos los alimentos contienen agua en mayor o menor cantidad.

► REFLEXIÓN



Las ondas pasan a través de los recipientes y son absorbidas por las moléculas de agua de la comida; todos los alimentos contienen agua en mayor o menor cantidad.

► ABSORCIÓN



Las microondas rebotan sobre las paredes metálicas y la ventana metálica de la puerta.

Las microondas hacen que las moléculas de agua vibren, lo que causa FRICCIÓN, es decir, CALOR. Y es este calor lo que cocina los alimentos. Las microondas también se ven atraídas por las partículas de grasa y azúcar, por lo que los alimentos con alto contenido en estas partículas se cocinarán más rápido. Las microondas sólo pueden penetrar hasta una profundidad de 4-5 cm (1 1/2 - 2 pulgadas) y, dado que el calor se extiende por la comida por conducción, al igual que en los hornos tradicionales, los alimentos se cocinan desde fuera hacia adentro.

TABLAS DE CONVERSIÓN

MEDIDAS DE PESO		MEDIDAS DE VOLUMEN		MEDIDAS EN CUCHARADAS	
15 g	1/2 oz.	30 ml	1 fl.oz.	1,25 ml	1/4 tsp
25 g	1 oz.	100 ml	3 fl.oz.	2,5 ml	1/2 tsp
50 g	2 oz.	150 ml	5 fl.oz. (1/4 pt)	5 ml	1 tsp
100 g	4 oz.	300 ml	10 fl.oz. (1/2 pt)	15 ml	1 tbsp
175 g	6 oz.	600 ml	20 fl.oz. (1 pt)		
225 g	8 oz.				
450 g	1 lb.				

MEDIDAS LÍQUIDAS		
1 taza	= 8 fl. Oz.	= 240 ml
1 pinta	= 16 fl. Oz.	= 480 ml (RU 560 ml)
1 cuarto	= 32 fl. Oz.	= 960ml (RU 1120 ml)
1 galón	= 128 fl. Oz.	= 3849 ml (RU 4500 ml)

ANEXOS IV

PANEL FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN

Fotografía 1: Colocación del espécimen en un recipiente apropiado para determinar su masa.



Fotografía 2: Especimen más recipiente



Fotografía 3: Peso del espécimen y el recipiente.



Fotografía 4: Colocado del recipiente con la muestra en el horno microondas.



Fotografía 5: Colocado de la muestra y el disipador térmico al horno microondas durante 3 minutos.



Fotografía 6: Lavado de la muestra de arena proveniente de la cantera de Cunyac



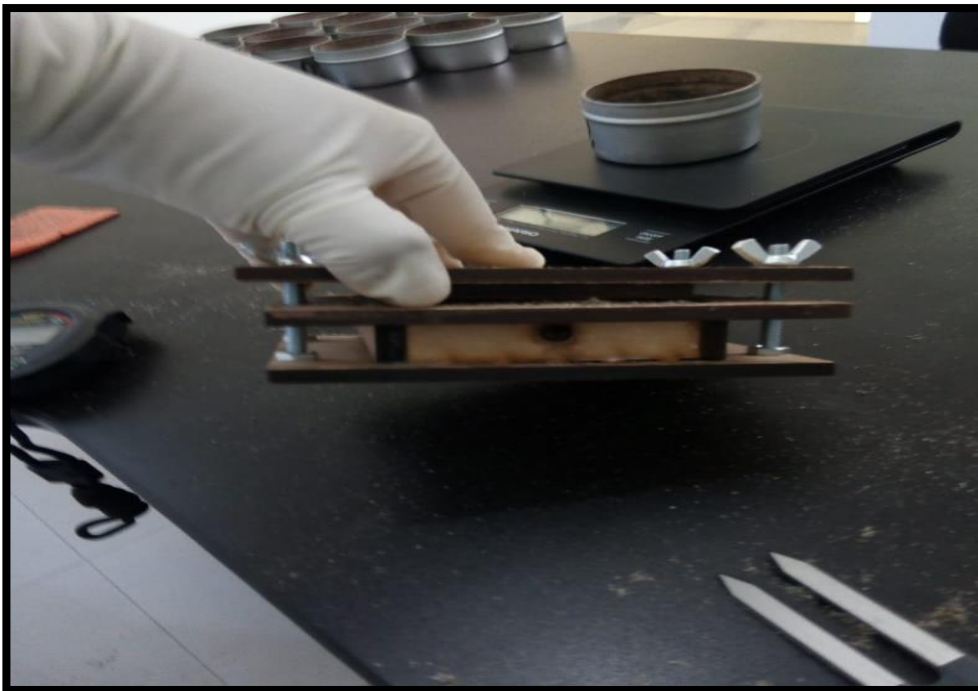
Fotografía 7: Eliminación finos e impurezas.



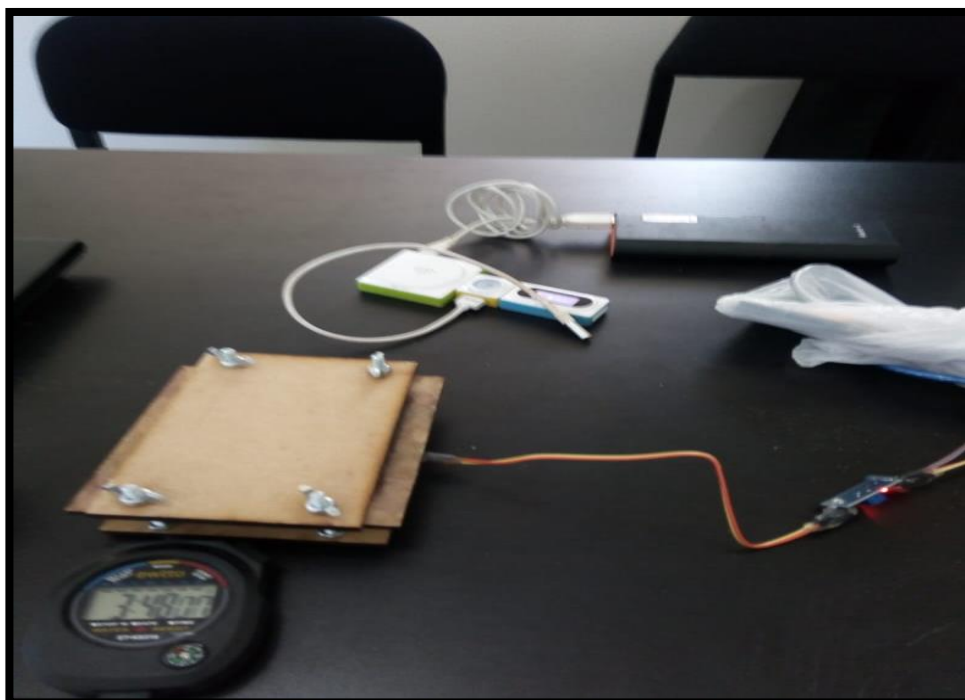
Fotografía 8: Colocado del espécimen húmedo al microondas para el secado durante 24 horas a una temperatura de 110°C



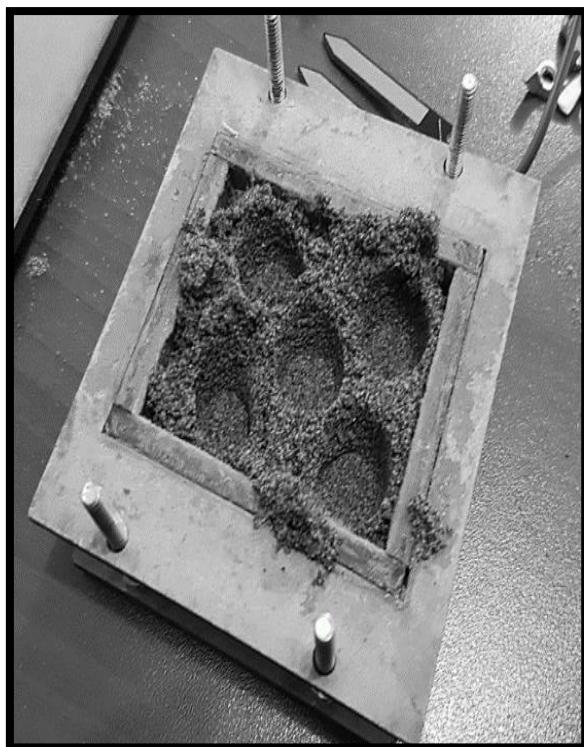
Fotografía 9: Celda de medición de humedad 56.96 mm x 51.33 mm



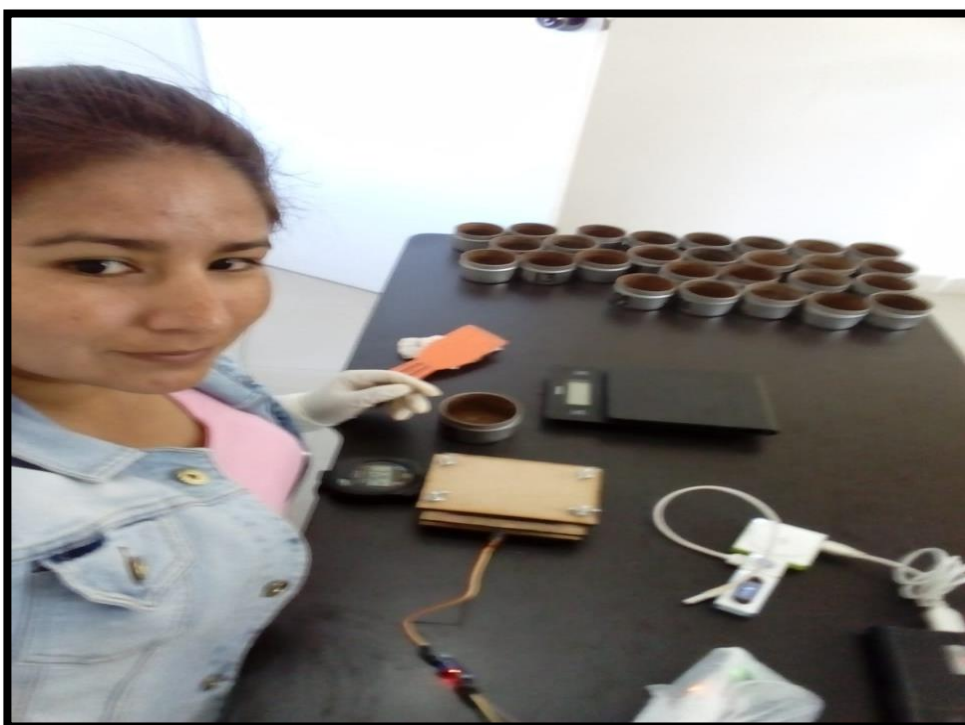
Fotografía 10: Determinación del contenido de humedad a través del sensor resistivo calculando con un cronometro



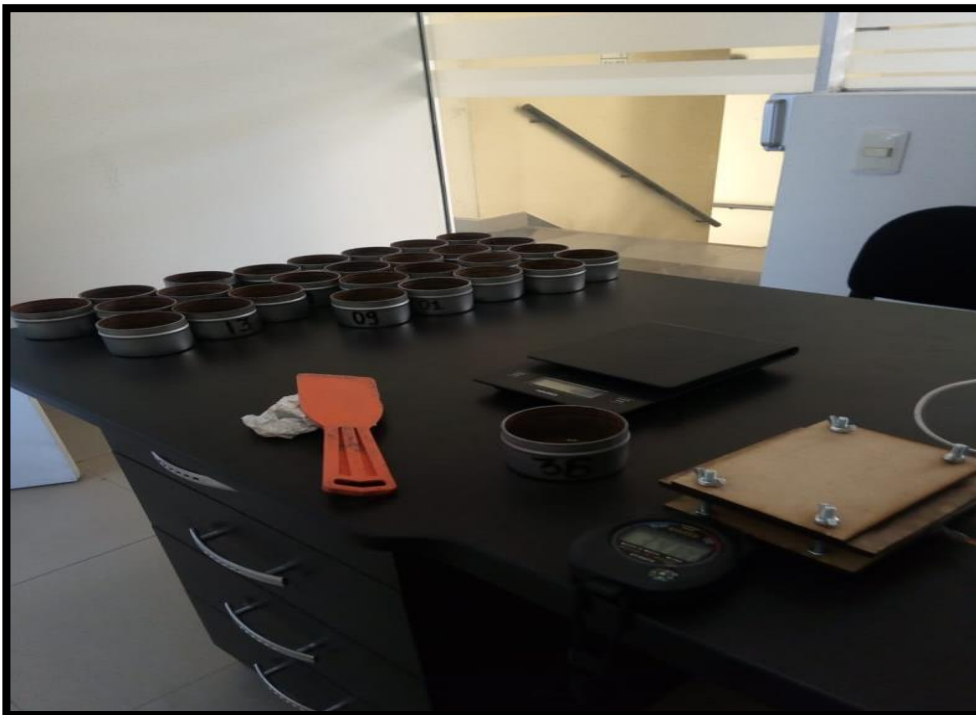
Fotografía 11: Compactación con 5 golpes de pisón, luego se procede a llenar la celda hasta el ras



Fotografía 12: Limpieza de recipientes para las sub muestras.



Fotografía 13: Colocado de recipientes ya limpios en un área libre.



Fotografía 14: Procesamiento y lectura de sensor por la capsula de medición.

