



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

“Optimización del tiempo de obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas, para la fabricación de ladrillos en la Cantera de Piñipampa”

PRESENTADO POR:

SALLO JAEN, Enrique
Bachiller en Ingeniería Civil

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.

ASESOR TECNICO:
Mgt. Ing. César Edilberto Arbulú Jurado

ASESOR METODOLÓGICO:
Mgt. Ing. Gorki Federico Ascue Salas

CUSCO-PERU

2018

Dedicatoria

A Sofía, mi madre, quien me dio la vida y gracias a su infinito amor, fuerza y Coraje me ha ayudado a llegar hasta aquí, a quien me faltará el tiempo para compensar todo lo que me ha dado en la vida.

A Mario, mi padre, por su cariño, comprensión y apoyo en todo momento de
Mi vida.

A Marleny, Nilthon, mis hermanos por su ejemplo y su apoyo incondicional en todo momento de mi vida.

Agradecimiento

Ing. CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO; Docente académico de la carrera profesional de INGENIERÍA CIVIL, tutor de la presente tesis, por su amistad, por el apoyo personal y académico.

Ing. GORKI FEDERICO ASCUE SALAS; Docente académico de la carrera profesional de INGENIERÍA CIVIL, por el apoyo académico.

Enrique.

ÍNDICE GENERAL

1	CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	5
1.2.1.	<i>Problema General</i>	5
1.2.2.	<i>Problemas Específicos</i>	5
1.3.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.3.1.	<i>Objetivo general</i>	5
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5
1.4.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	6
1.5.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.5.1.	<i>Delimitación espacial</i>	7
1.5.2.	<i>Delimitación temporal</i>	7
2	CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	8
2.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	9
2.1.	BASES TEÓRICAS	11
2.1.1.	<i>diseño de ingeniería</i>	11
2.1.2.	<i>Optimización del Tiempo</i>	11
2.1.3.	<i>Contenido de Humedad del Suelo</i>	13
2.2.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	14
2.2.1.	<i>Sensores y actuadores</i>	14
2.2.2.	<i>Arcilla</i>	14
2.2.3.	<i>Definiciones de eficiencia y efectividad</i>	15
2.2.4.	<i>Diseño</i>	16
2.2.5.	<i>Implementación</i>	16
2.2.6.	<i>Dispositivo Detector</i>	16
2.2.7.	<i>Ladrillos</i>	16
2.2.8.	<i>Resistividad Eléctrica</i>	16
2.3.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.3.1.	<i>Hipótesis general</i>	17
2.3.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	17
2.4.	VARIABLES DE ESTUDIO	17
2.4.1.	<i>Variable independiente</i>	17
2.4.2.	<i>Variable dependiente</i>	17
3	CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION	18

3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	19
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	20
3.2.1.	<i>Población</i>	20
3.2.2.	<i>Muestra</i>	20
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	20
3.3.1.	<i>Técnicas de recolección de información.</i>	20
3.3.2.	<i>Técnicas de análisis e interpretación de la información</i>	20
4	CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE DISPOSITIVO Y MATERIALES.....	21
4.1.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON SENSOR RESISTIVO.....	22
4.1.1.	<i>Descripción de dispositivo</i>	22
4.1.2.	<i>Componentes del sistema (hardware)</i>	22
4.1.3.	<i>Conexión del sistema</i>	26
4.1.4.	<i>Código de programación</i>	27
4.1.5.	<i>Protocolo de ensayo</i>	28
5	CAPITULO V.PROCEDIMIENTO DE ELABORACION, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	32
5.1.	CALIBRACIÓN DEL SENSOR POR TEMPERATURA.	33
5.2.	CALIBRACIÓN DEL SENSOR POR SALINIDAD.	34
5.3.	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRA PARA EL ENSAYO.	36
5.4.	ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE HUMEDAD	36
5.4.1.	<i>Determinación del contenido de humedad óptimo para la arcilla en planta.</i> .	37
5.4.2.	<i>Pruebas de normalidad de contenido óptimo de humedad</i>	39
5.5.	ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	40
5.6.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	41
6	CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
6.1.	CONCLUSIONES.....	43
6.2.	RECOMENDACIONES	43
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
7	ANEXO	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de la ARDUINO UNO.	23
Tabla 2 Lecturas del sensor para distintas temperaturas.	33
Tabla 3 Bondad de ajuste de la calibración por temperatura.....	34
Tabla 4 Lecturas del sensor para distintas temperaturas.	35
Tabla 5 Lecturas del sensor para el contenido de humedad in situ.....	36
Tabla 6 Resultados de los ensayos de contenido de humedad optimo en planta.	38
Tabla 7 Estadística de los datos de humedad óptima en planta.	39
Tabla 8 Datos tomados en cuenta para cada modelo.....	40
Tabla 10 El comportamiento de las diversas clases de crudo para la fabricación de ladrillos.....	65
Tabla 11 dosificación de la mezcla.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fabricación robotizada de ladrillos	6
Figura 2 Sensores y actuadores aplicados al monitoreo del suelo.	14
Figura 3 Diferencias de tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla (clay). 15	
Figura 4 Vista de una placa Arduino UNO.	25
Figura 6 Vista de un sensor de humedad YL-69, comparador LM393 SMD y cables de conexión.....	26
Figura 7 Esquema de conexión del sensor a la tarjeta Arduino.	26
Figura 8 Celda de medición de humedad con sensor resistivo.	28
Figura 9 Muestra compactada en la celda de medición.	29
Figura 10 Inserción y presión del sensor.....	30
Figura 11 Esperando a que se estabilice el sensor.....	30
Figura 12 Toma de datos del sensor en una PC.	31
Figura 13 Comportamiento del Sensor Frente a la Temperatura.....	34
Figura 14 Comportamiento del sensor frente a la salinidad.....	35
Figura 15 Contenido de humedad IN SITU.....	37
Figura 16 Contenido de humedad de la arcilla in situ	37
Figura 17 Contenido de humedad optimo en la planta	38
Figura 18 Dispersáramos de las mediciones.....	39
Figura 19 Tiempos de obtención de resultados de contenido de humedad 40	
Figura 20. Crudo o simplemente arcilla para la fabricación de ladrillos.. 63	
Figura 21 Yacimiento de arcilla en el C.P. de Piñipampa explotado artesanalmente y con maquinaria pesada..... 64	
Figura 22 Ubicación y distancia de cusco a la cantera de Piñipampa 64	
Figura 23 Maduración, amasado de la arcilla para la producción de ladrillos	66
Figura 24 Trituración y amasado con maquinaria artesanal. 67	
Figura 25 Proceso de moldeo de ladrillos tipo <i>blocker</i>..... 68	

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>ANEXO A. Norma Técnica Peruana NTP 339.127 – 1998</i>	48
<i>ANEXO B. Método para la determinación de la humedad en suelos granulares utilizando horno microondas.</i>	54
<i>ANEXO C Producción de Ladrillos de Arcilla</i>	63
<i>ANEXO D Producción de ladrillos de arcilla</i>	70
ANEXO E Plano de la celda de medición de muestras	77

RESUMEN

TITULO: Optimización del tiempo de obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas, para la fabricación de ladrillos en la Cantera de Piñipampa

AUTOR: ENRIQUE SALLO JAEN

PALABRAS CLAVE: contenido de humedad, optimización del tiempo

El Distrito de Andahuaylillas – C.P. Piñipampa se encuentra en el sureste de la provincia de Cusco, en este lugar se lleva a cabo la producción y venta de materiales de construcción (ladrillos, bloker) de la provincia.

El objetivo del trabajo de investigación fue determinar el contenido de humedad óptimo en el proceso de producción y mejorar el tiempo de obtención de resultados frente a otros métodos para cumplir el cometido se utilizó una metodología específica e información secundaria para la línea de base, para la medición de contenido de humedad de la arcilla se utilizó un dispositivo resistivo.

Entre los resultados se ha determinado que el contenido de humedad óptimo de la arcilla para la fabricación de ladrillos es de $22.2\% \pm 0.5\%$, para lo cual se ha utilizado el método tradicional del horno de secado de tiro forzado a una temperatura de 110°C por 24 horas. Y además puede ser medido a través de un método que optimiza el tiempo de medición y usa un sensor resistivo

INTRODUCCIÓN

La presente tesis detalla los pormenores de la investigación denominada: **“Optimización del tiempo de obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas, para la fabricación de ladrillos en la Cantera de Piñipampa”**.

Por el crecimiento que tiene la Ciudad del Cusco, el aumento de la demanda de material de construcción (ladrillo hueco 12*20*30 cm). En Piñipampa-Cusco, se localizan productores de ladrillos que utilizan técnicas artesanales y mecanizadas, ambos procesos productivos, el uso de los ladrillos en la construcción de viviendas, generan problemas en el ámbito de la calidad del material. principal causa para mejorar la calidad de los materiales desde la elaboración y control del proceso Por tal motivo se realizó la presente investigación, en la cual mediante un dispositivo de medición de contenido de humedad in situ se obtuvieron resultados positivos.

El Capítulo I describe el problema, los objetivos, la delimitación y la justificación e importancia del problema de investigación.

El Capítulo II desarrollo el marco teórico de la investigación, empezando por los antecedentes tanto internacionales como nacionales. Luego, se prosigue con las bases teóricas. Finalmente, en este capítulo se definen los términos básicos.

El Capítulo III se establece la metodología de la investigación dentro de este se encuentran, tipo, nivel y método de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El Capítulo IV se presenta la descripción del dispositivo de medición con los cuales se elaboró las diferente pruebas y mediciones de contenido de humedad en la arcilla de la cantera de Piñipampa

El Capítulo V se presentan el procedimiento, la elaboración y discusión de los resultados, además se presentan los análisis comparativo de los resultados obtenidos para la medición de contenido de humedad en el proceso de elaboración de ladrillos en Piñipampa.

En el capítulo VI se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el trabajo de investigación.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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 obras, 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, esto suele ser necesario para la identificación y eliminación de causas de desempeño insatisfactorio (Lakshmi, 2015)

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, 2009)

Ahora bien, siendo que para controlar la calidad de un producto (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, 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, 2006).

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, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015). Por lo tanto, afirmamos, que el comportamiento mecánico del suelo se ve afectado por la humedad del mismo.

Una de las muestras 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, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

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 permisividad 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).

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).

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, 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).

De la explicación, queda claro 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 variabilidad de las mediciones al usar estos dispositivos, dado que el consenso general es que el contenido de humedad sea determinado a través del ensayo de secado al horno, cuyos valores son considerados patrones de calibración para otros métodos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.2.1. Problema General

¿De qué manera se puede optimizar el tiempo de obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas, para la fabricación de ladrillos?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuál será la diferencia del porcentaje de contenido de humedad en arcillas obtenido mediante los métodos sistema dispositivo móvil y método tradicional?

¿Cuál será la precisión del método sistema dispositivo móvil para la obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas?

¿Cómo varía el tiempo de obtención de porcentaje de contenido de humedad mediante el método dispositivo móvil respecto al método tradicional?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Optimización del tiempo de obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas, para la fabricación de ladrillos en la cantera de Piñipampa.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar el % de contenido de humedad en arcillas mediante el sistema de un dispositivo móvil y el método tradicional.

Calibrar el método del sistema de un dispositivo para la obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas, respecto del método tradicional.

Determinar el tiempo de obtención del % de contenido de humedad mediante los métodos sistema dispositivo móvil, y método tradicional

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 del suelo. Asimismo, los resultados de la investigación permitirán por ejemplo a los ingenieros residentes y supervisores de obras de edificación 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.

Figura 1 Fabricación robotizada de ladrillos



Fuente:_(ibea, 2016)

El problema práctico que pretende solucionar la presente investigación está basado en el uso de las nuevas tecnologías tales como sensores para la obtención de las propiedades de los suelos, si bien es cierto estas tecnologías son conocidas hace

muchos años, también es cierto que, solo 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 proceso de diseño e implementación de diversos detectores 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.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Delimitación espacial.

El estudio se llevó a cabo en el departamento Cusco y provincia de Quispicanchis, distrito Andahuaylillas, más específicamente en el Centro Poblado de Piñipampa.

1.5.2. Delimitación temporal.

El estudio investigación tuvo una duración de 8 meses, en un periodo comprendido entre Marzo 2018 a Octubre del 2018.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

AUTOR	AÑO	TITULO	CONCLUSION
Fernández Muñoz, Lozano Rogado J.P. Y Suarez Marcelo	2016	<p style="text-align: center;">Un sistema de clasificación de olores en línea para narices electrónicas</p>	<p> Junto al uso de modernos micro sensores y micro actuadores, estos nuevos tipos de narices electrónicas compactas pueden explotar su capacidad de integración en plataformas portátiles o móviles, robotizadas e inteligentes, con interconexión en red, aproximándose de forma definitiva al modelo de sensores utilizado en el Internet de las cosas. Además, la portabilidad del equipo de medida permite obtener mediciones continuas en zonas de difícil acceso, almacenarlas en memoria, y conectarse a un servidor para el volcado de datos y su posterior tratamiento (Fernández Muñoz, Lozano Rogado, J.P, & Suárez Marcelo , 2016)</p>
Gonzales Medrano	2017	<p style="text-align: center;">Sistema de Riego Automatizado</p>	<p> En el presente artículo de investigación se observó que la aplicación del módulo Arduino uno en proyectos de automatización ayuda a controlar las variables de humedad y riego, con mayor facilidad que un micro controlador común, ya que cuenta con una aplicación o librería en donde podemos almacenar datos y transportarlos a una hoja de cálculo con un lenguaje de programación media (González Medrano, 2017)</p>

<p>Arce Tena y Castro Riveros</p>	<p>2017</p>	<p>Reingeniería del Proceso de Mezcla y Secado para Optimizar las Propiedades del Ladrillo Techo 15 en Ladrillera Sagitario</p>	<p>La masa cerámica para la fabricación del ladrillo H15 en la ladrillera Sagitario se optimiza según los ensayos realizados aumentando la cantidad de caolín en la mezcla y reduciendo y manteniendo el porcentaje de humedad, con esto lograríamos un ladrillo con mejores propiedades., además se determinó que a una humedad del 14.5% se consiguieron los mejores resultados en plasticidad 8.1mm, contracción 3.1% y densidad de 2.8 gr/cm³ (Arce Tena & CASTRO RIVEROS, 2017)</p> <p>Los resultados estadísticos nos mostraron que hay efecto directo de la mezcla sobre la resistencia del ladrillo, los ensayos mostraron mejores resultados de resistencia aquellos que tuvieron mayor cantidad de caolín y menor porcentaje de humedad, estos resultados también se dieron con la densidad y la porosidad hallada es decir a mayor densidad menor porosidad y mayor resistencia. La granulometría mostro que los mejores resultados se dieron con la mezcla 60/40, es decir mayor porcentaje de caolín, teniendo un módulo de fineza de 3.79, siendo menor esta al de las demás mezclas, indicando una mezcla de grano más fino. (Arce Tena & CASTRO RIVEROS, 2017)</p>
---------------------------------------	-------------	--	---

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. *diseño de ingeniería.*

(International Council of Societies of Industrial Design, 2004) define diseño como «una actividad creativa cuyo propósito es establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas, en todo su ciclo de vida. Por lo tanto, es el factor principal de la humanización innovadora de las tecnologías, y el factor crítico del intercambio cultural y económico»

(Nigel Cross, 2001) define metodología de diseño como «el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño en un sentido amplio. Su objetivo central está relacionado con el cómo diseñar, e incluye el estudio de cómo los diseñadores trabajan y piensan; el establecimiento de estructuras apropiadas para el proceso de diseño; el desarrollo y aplicación de nuevos métodos, técnicas y procedimientos de diseño; y la reflexión sobre la naturaleza y extensión del conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño» (Lloyd, 2004).

2.1.2. *Optimización del Tiempo.*

Con frecuencia sentimos que nos falta tiempo. Si el día tuviera 26 horas probablemente nos seguiría faltando sin embargo conocemos gente a la que el tiempo le cunde mucho más que a nosotros el secreto de este arte es sin duda un misterio que puede interesarnos desvelar (Durán, 1992)

Las nuevas técnicas de gestión de calidad dan al control del tiempo una importancia capital. A modo de ejemplo podemos traer a colación el sistema «justo-a-tiempo», del que nos ocupamos en el capítulo dedicado a los japoneses sobre la revolución industrial por la calidad, en la primera parte de este libro. Este sistema se apoya en la adaptación, en la regulación y en la iniciativa instantánea, y va destinado a conseguir, junto con un incremento de la eficacia, una reducción de costos y un efectivo dominio del tiempo, al que hace referencia su propia denominación. A nivel de las personas, el dominio del tiempo estriba en la relación entre nuestra satisfacción y el tiempo empleado. Tiene mucho que ver con el dominio de uno mismo y de su entorno, para lo cual hacen falta unas buenas dosis de conocimiento sobre ambos (Durán, 1992)

Aunque ya hemos tocado algo de este tema en el capítulo sobre control de reuniones, vamos a dedicar estas páginas a dar una mayor información y algunas indicaciones adicionales que nos ayuden a optimizar la administración de este don tan

valioso, cuyo control nos hará ser más eficaces, sentirnos más seguros y, sobre todo, más libres y probablemente más felices (Durán, 1992)

Pareto. El profesor de economía Wilfredo Federico Sarnoso, llamado «Marqués de Pareto», por sus estudiantes de esta ciudad, enuncia a finales del siglo XIX su famosa ley del 80/20 en la que propugna que «los elementos críticos de cualquier conjunto constituyen sólo una minoría», al demostrar que el 20 por 100 de la población italiana era propietaria del 80 por 100 del dinero. La regla también es válida para muchas otras situaciones. De este modo, sabemos que con sólo un 20 por 100 de nuestro tiempo obtenemos el 80 por 100 de nuestros resultados, que el 20 por 100 de los productos producen el 80 por 100 del total de los ingresos de la compañía, que el 20 por 100 de las causas producen el 80 por 100 de los problemas, etc. (Durán, 1992)

Pákinson, más moderno, dice que «cualquier trabajo se dilata indefinidamente hasta ocupar todo el tiempo disponible para su completa realización».

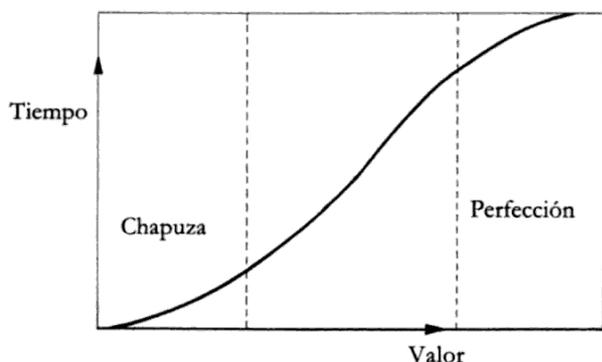
Murphy. De sus numerosos axiomas recordaremos sólo tres, que vienen muy a cuento con nuestro tema:

«Nada es tan sencillo como parece»

«Todo lleva más tiempo del que se pensaba al principio»

«Si algo puede ir mal, irá mal»

Acosta. El más reciente de los cuatro, propugna en su correctísimo español que «el tiempo que requiere una tarea resulta tanto mayor cuantas más veces lo interrumpimos y reanudamos». Otro de sus axiomas dice que «el valor de una tarea no crece proporcionalmente al tiempo que se le dedica, sino que forma una curva en forma de S



2.1.3. Contenido de Humedad del Suelo

La (NTP, 339.127) Define 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.

PRINCIPIO DEL MÉTODO

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 °C mas menos 5 °C *. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua. (NTP, 339.127, 1998)

El contenido de humedad de un suelo es utilizado en prácticas de ingeniería tanto en laboratorio como en campo. La utilización del método de ensayo INV E 122 ó ASTM D 2216-98 para la determinación del contenido de agua en hornos convencionales requiere de 24 horas y de un alto consumo de energía, por lo que en la actualidad se reconoce la necesidad de métodos más rápidos. La utilización de hornos microondas es una alternativa posible. (Nieto Castañeda, Gomez Camargo, & Hilarion Plazas, 2008)

Según (ASTM, 2010) El término “material sólido” como es usado en ingeniería geotécnica es típicamente asumido que las partículas minerales del suelo y roca no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, el contenido de agua de un material que contiene materiales ajenos (como el cemento y otros), pueden requerir de un tratamiento especial o una definición acreditada del contenido de humedad. Además, algunos materiales orgánicos pueden ser descompuestos por un horno de secado a la temperatura de secado indicada por la norma (110°C) para este método. Los materiales que contienen yeso (dihidrato de sulfato de calcio) y otros componentes que tengan cantidades importantes de agua hidratada, pueden presentar un problema especial, ya que este material se deshidrata lentamente a la temperatura de secado de la norma (110°C) y a humedades relativas muy bajas formando un compuesto o conglomerado (sulfato de calcio semihidratado) el cual no está normalmente presente en materiales naturales excepto en algunos suelos desérticos. Con el objeto de reducir el grado de deshidratación del yeso en aquellos materiales que contengan yeso, o para reducir la descomposición en suelos altamente orgánicos, puede ser deseable secar estos materiales a 60°C, o en disecador a temperatura ambiente. De esta

manera cuando la temperatura de secado usada es diferente a la temperatura estándar definida en este método de ensayo, el resultado del contenido de humedad puede ser diferente del contenido de agua determinado a la temperatura de secado estándar.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.2.1. Sensores y actuadores

Los sensores y actuadores son los elementos finales del sistema de adquisición de datos, son quienes se encargan de medir las magnitudes del entorno y actuar sobre él. Ya sea transformando magnitudes físicas en voltajes o transformando voltajes en funciones de control sobre el entorno. (DEFINISTA, 2015)

Figura 2 Sensores y actuadores aplicados al monitoreo del suelo.



Fuente: (RainmanWeather, 2018).

Detector es aquel o aquello que tiene la capacidad de detectar. Este verbo, por su parte, refiere a advertir la presencia de alguna cosa que, por diversos motivos, no resultaba evidente. El uso más habitual de la noción está asociado a ciertas máquinas que pueden captar algún fenómeno, por lo general peligroso. De este modo, cuando el detector descubre aquello que le ha sido indicado que detecte en su programación, emite algún tipo de alerta o señal, dando aviso de la detección. (DEFINISTA, 2015)

2.2.2. Arcilla.

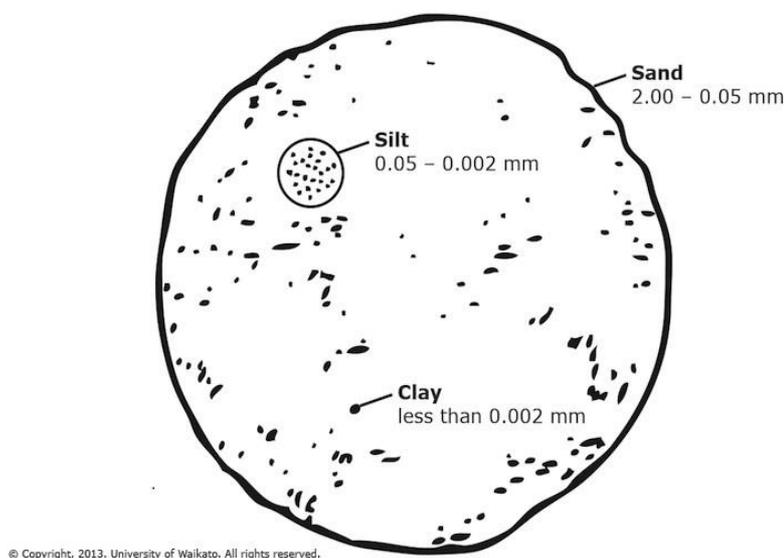
El diccionario (RAE, 2017) dice lo siguiente: Tierra finamente dividida, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, que procede de la descomposición de minerales de aluminio, blanca cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene. Las arcillas son las rocas blandas que se hacen plásticas al contacto con el agua, siendo frágiles en seco, y con gran capacidad de absorción.

La Enciclopedia (Oceano, 1990) las define así: La arcilla es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidrata, endureciéndose mucho.

La Enciclopedia técnica dice:

Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados. (DOMÍNGUEZ & SCHIFTER, 2013)

Figura 3 Diferencias de tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla (clay).



Fuente: (Universidad de Waikato, 2013).

2.2.3. Definiciones de eficiencia y efectividad.

La eficacia es la capacidad de alcanzar el efecto que espera o se desea tras la realización de una acción. No debe confundirse este concepto con el de eficiencia (del latín eficiencia), que se refiere al uso racional de los medios para alcanzar un objetivo predeterminado (es decir, cumplir un objetivo con el mínimo de recursos disponibles y tiempo). (Julián Pérez Porto, 2009)

La efectividad es la capacidad de conseguir el resultado que se busca. Quien es efectivo, por lo tanto, obtiene el efecto deseado. La Efectividad es la unión de Eficiencia y Eficacia, es decir busca lograr un efecto deseado, en el menor tiempo posible y con la menor cantidad de recursos. (Julián Pérez Porto, 2009)

2.2.4. Diseño.

Es el resultado final de un proceso, cuyo objetivo es buscar una solución idónea a cierta problemática particular, pero tratando en lo posible de ser práctico y a la vez estético en lo que se hace. Para poder llevar a cabo un buen diseño es necesario la aplicación de distintos métodos y técnicas de modo tal que pueda quedar plasmado bien sea en bosquejos, dibujos, bocetos o esquemas lo que se quiere lograr para así poder llegar a su producción y de este modo lograr la apariencia más idónea y emblemática posible. (DEFINISTA, 2015)

2.2.5. Implementación.

La palabra implementar permite expresar la acción de poner en práctica, medidas y métodos, entre otros, para concretar alguna actividad, plan, o misión, en otras alternativas. (Ucha, 2012)

2.2.6. Dispositivo Detector.

Detector es aquel o aquello que tiene la capacidad de detectar. Este verbo, por su parte, refiere a advertir la presencia de alguna cosa que, por diversos motivos, no resultaba evidente. (Pérez Porto & Gardey, 2014)

2.2.7. Ladrillos.

Se conoce como ladrillo a un elemento de construcción, generalmente hecho con masa de barro cocida, que tiene forma de paralelepípedo rectangular y que permite levantar muros y otras estructuras. Gracias a sus dimensiones, un albañil puede colocar un ladrillo utilizando sólo una mano, lo que facilita las tareas. (Gardey, 2014)

2.2.8. Resistividad Eléctrica.

(También conocida como resistividad, resistencia eléctrica específica o resistividad de volumen) cuantifica la fuerza con la que se opone un material dado al flujo de corriente eléctrica. Una resistividad baja indica un material que permite fácilmente el movimiento de carga eléctrica. Los metales de resistencia baja, por ej. El cobre, requieren mayores corrientes para producir la misma cantidad de calor. Los materiales de resistencia baja también exhiben una baja resistencia constante. (Amada Miyachi, 2016).

2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1. Hipótesis general

Es posible optimizar el tiempo de obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas, para la fabricación de ladrillos en la cantera de Piñipampa.

2.3.2. Hipótesis específicas

El sistema del dispositivo móvil para la obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas permitirá optimizar el tiempo de obtención de resultados.

La precisión del sistema para el dispositivo móvil para la obtención de resultados de contenido de humedad en arcillas será apta para su uso en el proceso de fabricación de ladrillos.

La variación del tiempo de obtención de % de contenido de humedad mediante el método dispositivo móvil respecto al método tradicional se obtiene mediante pruebas realizadas en laboratorio.

2.4. VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables del estudio se han determinado,

2.4.1. Variable independiente

Contenido de humedad.

2.4.2. Variable dependiente

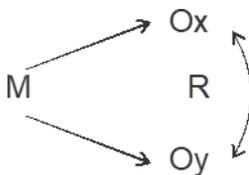
Tiempo de obtención de resultados.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo y nivel de investigación

- EXPLORATORIOS.- Se efectúan, normalmente, cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o no ha sido abordado antes .Es decir, cuando la revisión de la literatura revelo que únicamente hay guías no investigadas ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio (Hernandez Sampieri, 1997, pág. 59)
- DESCRIPTIVOS.-Buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar (Hernandez Sampieri, 1997, pág. 60)
- CORRELACIONALES.-Este tipo de estudios tienen como propósito medir el grado de relación que exista entre dos o más conceptos o variable (Hernandez Sampieri, 1997, pág. 63)
- EXPLICATIVOS.-Van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este (Hernandez Sampieri, 1997, pág. 67)

Se asume el diseño no experimental, transversal, descriptivo correlacional que según (Hernandez Sampieri, 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.



Donde:

M = Muestra.

O = Observaciones.

X = método de medición.

Y = tiempo de obtención de los resultados.

R = Relación entre las variables.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

Arcilla destinada a la fabricación de ladrillos para edificación.

3.2.2. Muestra

Por definición, la muestra es un subconjunto representativo de la población; una muestra puede ser probabilística (aleatoria) o no probabilística. que Jiménez C. (1983) precisa que la muestra “es una parte o subconjunto de una población, que pone de manifiesto las propiedades de la población”. Se han determinado 15 muestras de arcilla con distintos niveles de contenido de humedad, ensayados con fines de comparación con el método tradicional estándar a través del dispositivo propuesto.

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 es 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 son los protocolos de detección de impurezas orgánicas.

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.

CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE DISPOSITIVO Y MATERIALES

4.1.DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON SENSOR RESISTIVO.

A continuación, se describe el dispositivo para la determinación del contenido de humedad de la arcilla través de un sensor resistivo de bajo costo.

4.1.1. Descripción de dispositivo

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el micro controlador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteado. La placa incluye todo lo necesario para que el micro controlador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador.

4.1.2. 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. Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, ingenieros y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. (Ingeniería MCI Ltda, s.f.)

Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino. Los proyectos de Arduino pueden ser autonomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo con Flash, Processing, MaxMSP, etc.).Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarse preensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que eres libre de adaptarlas a tus necesidades.Arduino recibió una mención honorífica en la sección Digital Communities del Ars Electronica Prix en 2006. (Ingeniería MCI Ltda, s.f.)

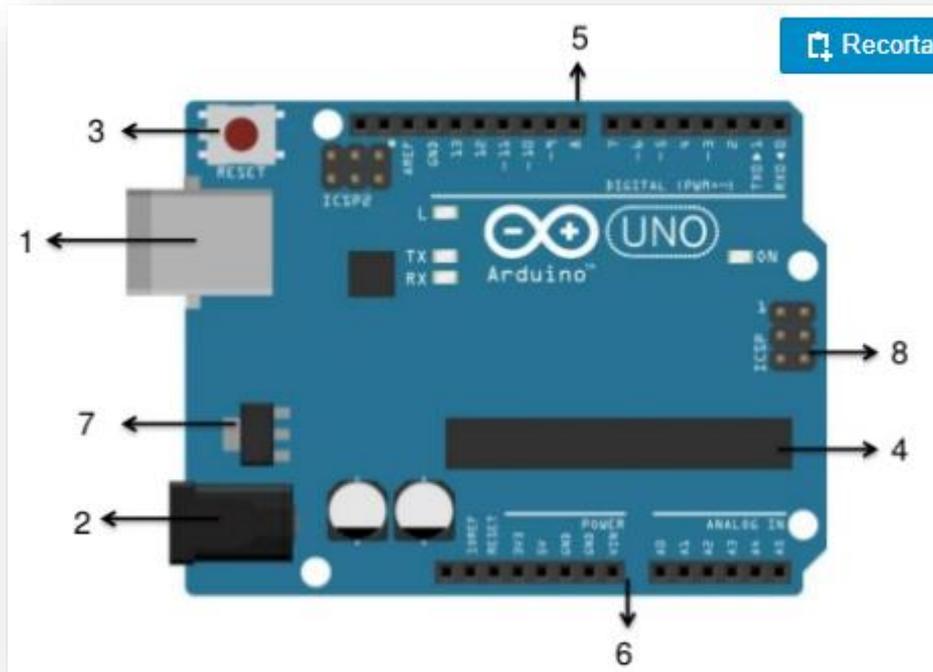
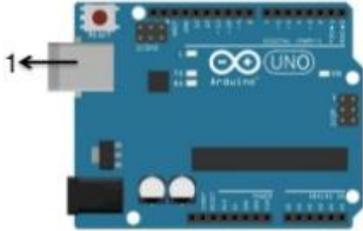
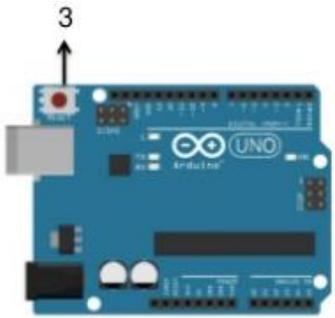
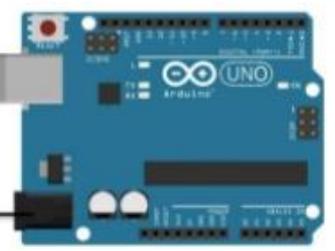
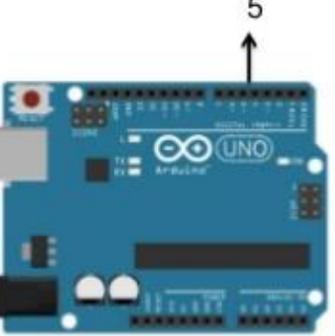
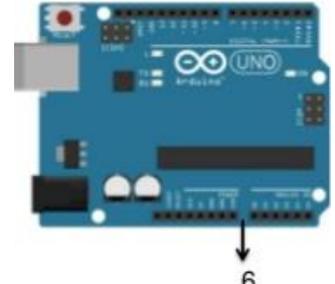


Tabla 1 Características de la ARDUINO UNO.

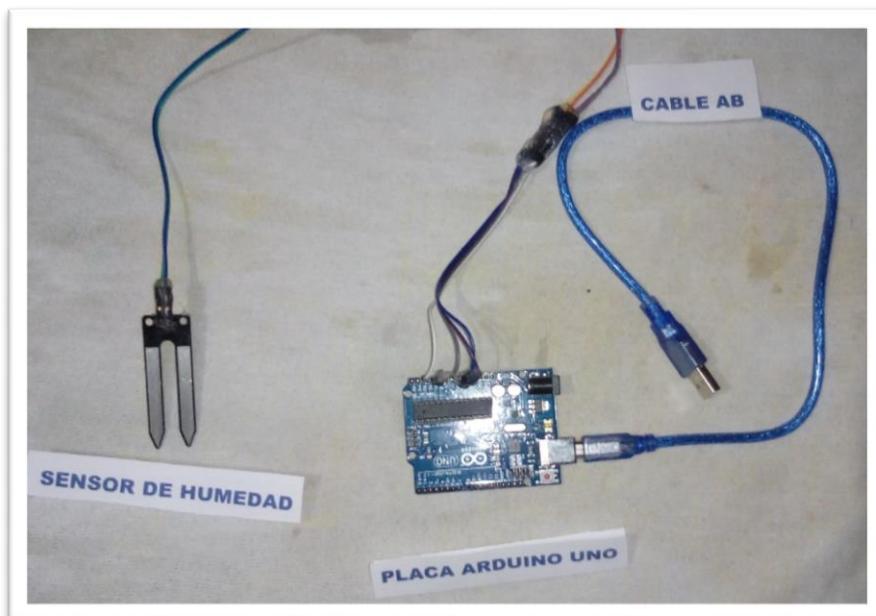
Componentes	Descripcion
Puerto USB	<p>A través de este puerto podemos, mediante un cable, conectar nuestro Arduino a la computadora para programarlo. También suministra la energía para el funcionamiento del mismo</p> 
Microcontrolador	<p>es un circuito integrado programable capaz de realizar operaciones matemáticas complejas a gran velocidad (ATMega328), es manufacturado por la compañía Atmel, en California. Esta compañía esta dedicada exclusivamente a la fabricación de componentes electrónicos de la mas alta tecnología</p> 

<p>Botón de Reset</p>	<p>El botón de reset cumple la función de reiniciar el programa que tiene cargado el Arduino en el micro controlador. No lo borra, sino que lo hace comenzar desde el inicio</p>	
<p>alimentación</p>	<p>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 el Arduino mediante una fuente de alimentación o pila de 9V. Esto se hace a través de un accesorio que contiene un espacio para la colocación de pilas comerciales, y un cable que se enchufa en el orificio señalado.</p>	
<p>Pines Digitales</p>	<p>Se dispone de 14 pines digitales que pueden ser configurados como entradas o salidas, de los cuales (serigrafiadas con el símbolo ~) Son pines que únicamente pueden procesar voltajes de 5v y 0v. Se llaman digitales, ya que estos dos voltajes son el fundamento de la electrónica digital, que a partir de estos de ellos y una serie de compuertas lógicas, logran ensamblar circuitos capaces de realizar acciones complejas para la simplicidad de su principal funcionamiento</p>	
<p>Pines Analógicos</p>	<p>Son aquellos pines del Arduino que tiene la capacidad de procesar distintos valores de voltaje de entre 0 a 5v. Sirven para brindar electricidad a los elementos del circuito</p>	

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 (Cable USB tipo A/B de impresora, s.f.)
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.

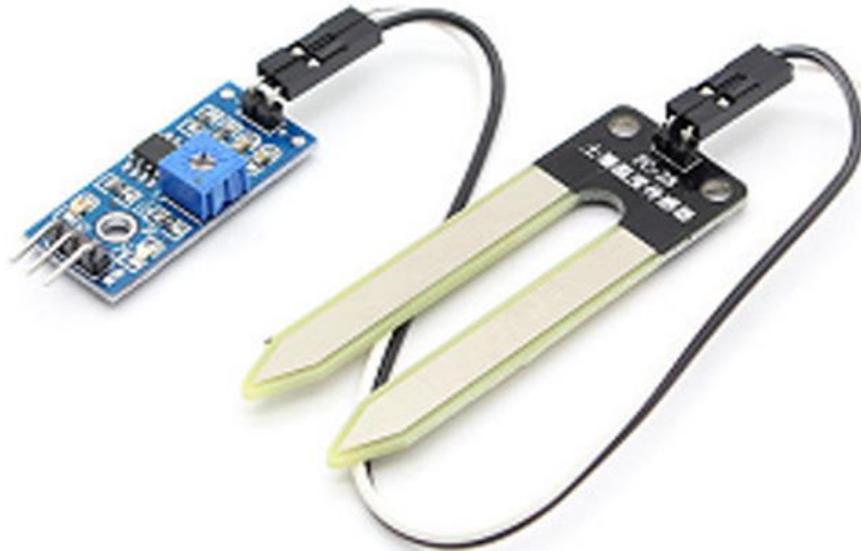
Fuente (Crespo, 2018)

Figura 4 Vista de una placa Arduino UNO.



Fuente: propia

Figura 5 Vista de un sensor de humedad YL-69, comparador LM393 SMD y cables de conexión.

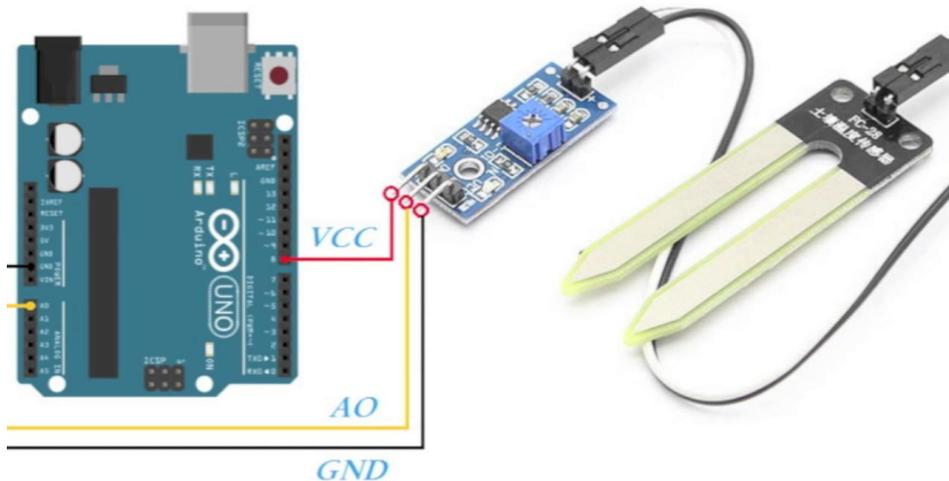


Fuente: (BTSHT, 2018)

4.1.3. Conexión del sistema

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

Figura 6 Esquema de conexión del sensor a la tarjeta Arduino.



Fuente: (Circuits, 2017)

4.1.4. Código de programación

La estructura básica de programación de Arduino es bastante simple y divide la ejecución en dos partes: setup y loop. Setup() constituye la preparación del programa y loop() es la ejecución. En la función Setup() se incluye la declaración de variables y se trata de la primera función que se ejecuta en el programa. Esta función se ejecuta una única vez y es empleada para configurar el pinMode (p. ej. si un determinado pin digital es de entrada o salida) e inicializar la comunicación serie. La función loop() incluye el código a ser ejecutado continuamente (leyendo las entradas de la placa, salidas, etc.).

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

- **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 (Plumón plástico) La compactación se llevó a cabo dando cinco golpes de pisón, en una primera capa de suelo, llenado hasta la mitad de la celda, Luego de la compactación se procede a rellenar la celda de medición con suelo hasta el ras de la misma. Con una distribución similar a la apreciada en la siguiente figura.

Figura 8 Muestra compactada en la celda de medición.



Fuente: Elaboración propia

- **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 9 Inserción y presión del sensor.

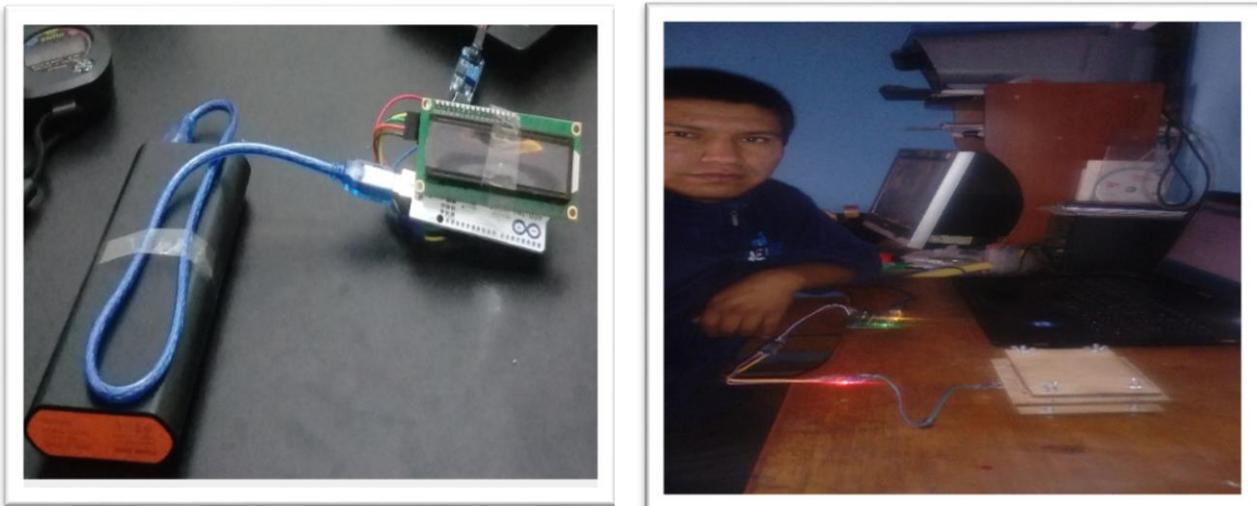


Fuente: Elaboración propia

- **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 5 minutos para tomar nota de la lectura estabilizada. El mencionado proceso puede verse enseguida.

Figura 10 Esperando a que se estabilice el sensor

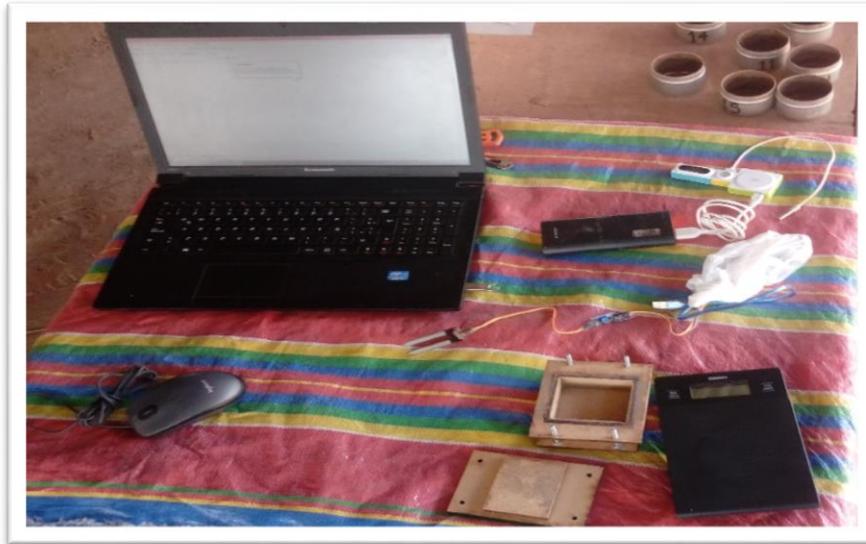


Fuente: Elaboración propia

- **Recolección de datos del sensor.**

Para recoger la lectura continua del sensor se usó el software Arduino 1.8.5. Luego de recolectados los datos fueron transferidos a una hoja de cálculo para su procesamiento y limpieza.

Figura 11 Toma de datos del sensor en una PC.



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V.PROCEDIMIENTO DE ELABORACION, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. CALIBRACIÓN DEL SENSOR POR TEMPERATURA.

Dado que conforme se estableció en el marco teórico de la presente tesis, la temperatura juega un rol importante en la determinación del contenido de humedad de los suelos por método que utilicen la resistividad, fue menester hacer una calibración por temperatura.

Para lograrlo se procedió de la siguiente manera: se introdujo un sensor con su sistema ya ensamblado en un recipiente que contenía agua destilada calentada a 70°C, se registró la medida del sensor en un formato crudo, la cual va desde 0 hasta 1028, mientras se permitió que el agua destilada se enfrié se fueron tomando las lecturas del sensor cada cinco minutos. La temperatura del agua se midió con un termómetro de mercurio. La tabla resumen de las medidas se muestra a continuación.

Tabla 2 Lecturas del sensor para distintas temperaturas.

Temperatur a °C	Lectura del sensor
5.0	884
9.6	902
13.5	846
16.3	838
15.9	815
17.2	827
18.1	824
18.9	800
18.8	808
19.9	798
20.4	771

Temperatur a °C	Lectura del sensor
21.6	765
22.4	763
23.1	761
23.5	759
24.4	755
25.0	749
25.8	745
26.4	740
26.9	738
28.0	737
28.3	734

Temperatur a °C	Lectura del sensor
28.8	721
29.4	710
29.6	709
30.0	706
31.0	703
31.9	700
32.9	695
34.0	690
34.8	687
35.6	681

Fuente elaboración propias.

Con los datos anteriores se procedió a realizar una regresión lineal, cuyo modelo resultante se puede apreciar a continuación:

$$\text{Lectura del sensor} = 946.0 - 7.8 * \text{Temperatura}$$

En otras palabras por cada unidad de incremento de la temperatura de la sustancia que el sensor mide, la lectura del sensor disminuye en 7.8 unidades.

La bondad de ajuste y la calidad de la regresión se pueden apreciar en la siguiente tabla.

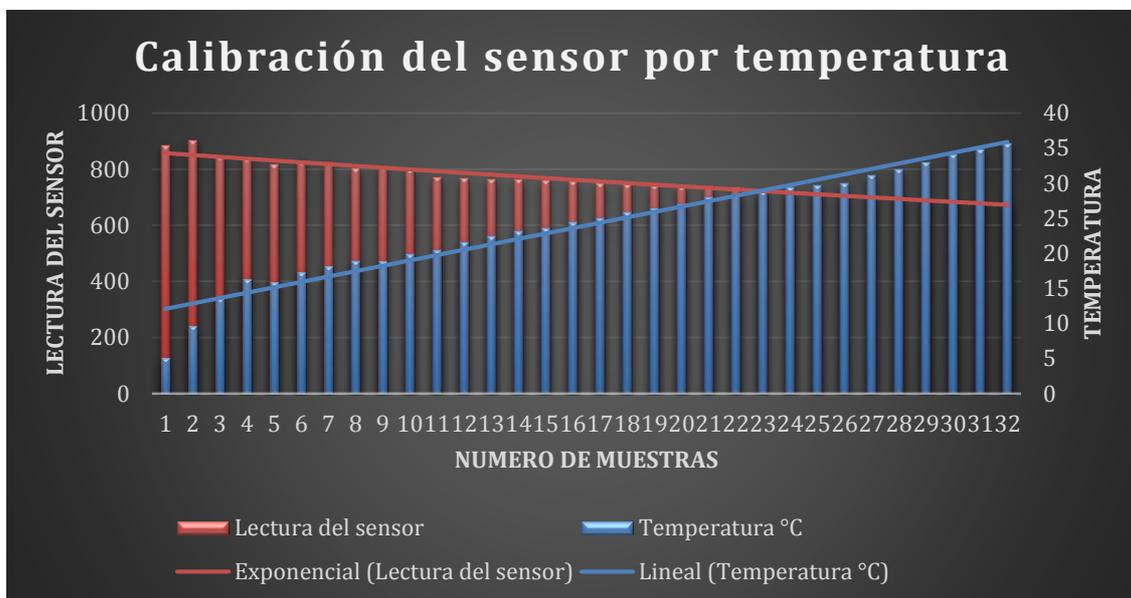
Tabla 3 Bondad de ajuste de la calibración por temperatura.

Observaciones	32
DF	30
R ²	0.966
R ² ajustado	0.965
MSE	119.365
RMSE	10.925
MAPE	1.07 %

Fuente elaboración propias.

De donde se observa que el error de predicción del modelo de corrección por temperatura es de $\pm 0.53\%$

Figura 12 Comportamiento del Sensor Frente a la Temperatura



5.2. CALIBRACIÓN DEL SENSOR POR SALINIDAD.

Dado que conforme se estableció también en el marco teórico de la presente tesis, el contenido de sal del agua, juega un rol importante en la determinación del contenido de humedad de los suelos por método que utilicen la resistividad, fue menester hacer una calibración por salinidad.

Para tal fin se procedió a medir en un recipiente con agua destilada pura las lecturas del sensor, mientras se incrementaba cierto porcentaje de cloruro de sodio diluido en agua destilada, los datos se muestran a continuación.

Tabla 4 Lecturas del sensor para distintas masas de agua con NaCl.

N°	Masa del líquido	Agua en la masa	Cloruro de sodio en la masa	Lectura del sensor	Salinidad
17	77.0	73.0	4.02	311	5.2%
18	79.0	75.0	4.02	313	5.1%
19	81.0	77.0	4.02	314	5.0%
20	83.0	79.0	4.02	317	4.8%
21	85.0	81.0	4.02	318	4.7%
22	87.0	83.0	4.02	320	4.6%
23	89.0	85.0	4.02	323	4.5%
24	91.0	87.0	4.02	326	4.4%
25	93.0	89.0	4.02	329	4.3%
26	95.0	91.0	4.02	331	4.2%
27	97.0	93.0	4.02	333	4.1%
28	99.0	95.0	4.02	335	4.1%
29	101.0	97.0	4.02	338	4.0%
30	103.0	99.0	4.02	340	3.9%
31	105.0	101.0	4.02	345	3.8%
32	107.0	103.0	4.02	349	3.8%
33	109.0	105.0	4.02	351	3.7%

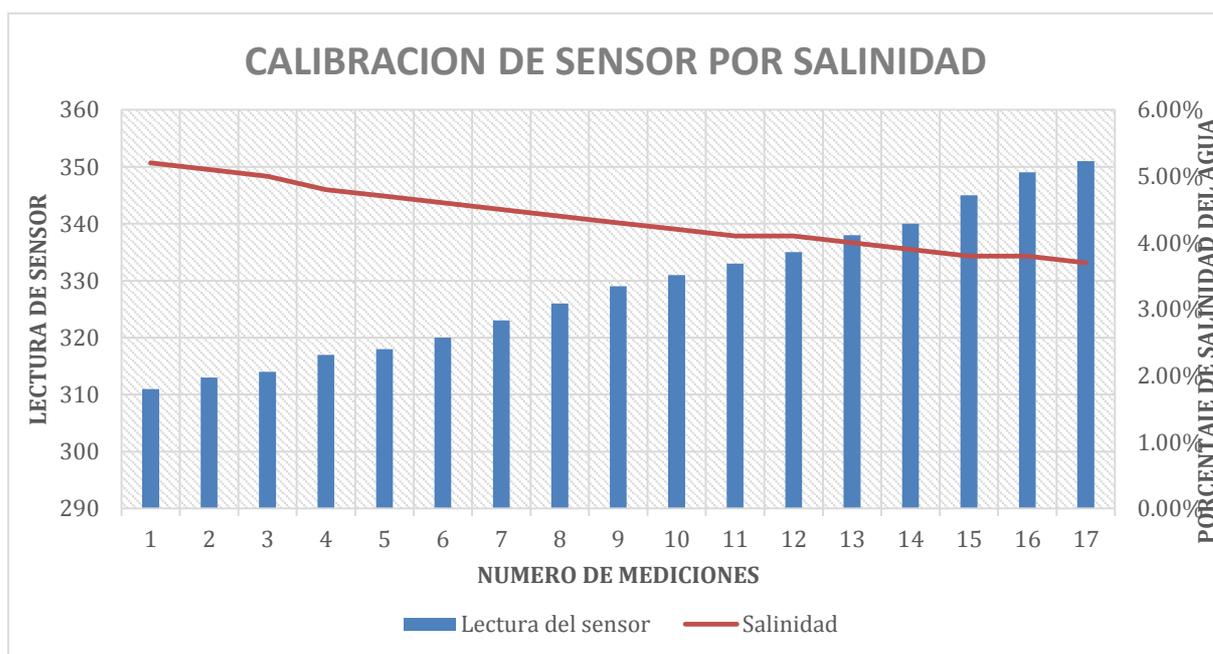
Fuente y elaboración propias.

De los anteriores se obtuve que el modelo matemático para la corrección por salinidad es:

$$\text{Lectura del sensor} = 443.098 - 2614.109 * \text{Salinidad}$$

De lo anterior se concluye que por cada aumento de 1% en la salinidad del líquido presente en el suelo, la lectura del sensor se debe disminuir en 2614.109 unidades.

Figura 13 Comportamiento del sensor frente a la salinidad



5.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRA PARA EL ENSAYO.

Las muestras de arcilla, proveniente de la cantera de Piñipampa, fueron sometidas al proceso de secado al horno durante 24 horas, a una temperatura promedio de 110°C. Luego, se procedió a moler la arcilla y ha tamizarla por la malla número 200 para obtener una granulometría uniforme.

5.4. ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE HUMEDAD

Para la medición en campo del contenido de humedad de la arcilla lista para preparar los ladrillos, se hizo el procedimiento siguiente:

Se tomaron siete muestras de la arcilla previamente preparada y lista para ingresar al extrusor de ladrillos.

Se procedió a medir la húmeda con el sensor Y69.

Se procedió a tomar las muestras en cápsulas, con la finalidad de determinar su contenido de humedad por el método estándar del horno.

Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 5 Lecturas del sensor para el contenido de humedad in situ.

N° Cápsula	Peso cápsula vacía	Temperatura	Peso de la cápsula llena húmeda	Peso de la cápsula llena seca	Contenido de humedad al horno	Lectura del sensor
C35	20.6	17.1	85.6	75.2	19.0%	22.0
C25	21.1	18	108.5	94	19.9%	26.8
C03	20.9	18.5	100.8	87.5	20.0%	21.6
C11	20.7	18.1	92.9	81	19.7%	18.9
C31	20.7	18.6	97.9	85.1	19.9%	17.6
C15	21.5	18.8	87.8	76.7	20.1%	21.9
C14	21.4	18.5	123.1	105.8	20.5%	15.0
Promedio					19.9%	16.30

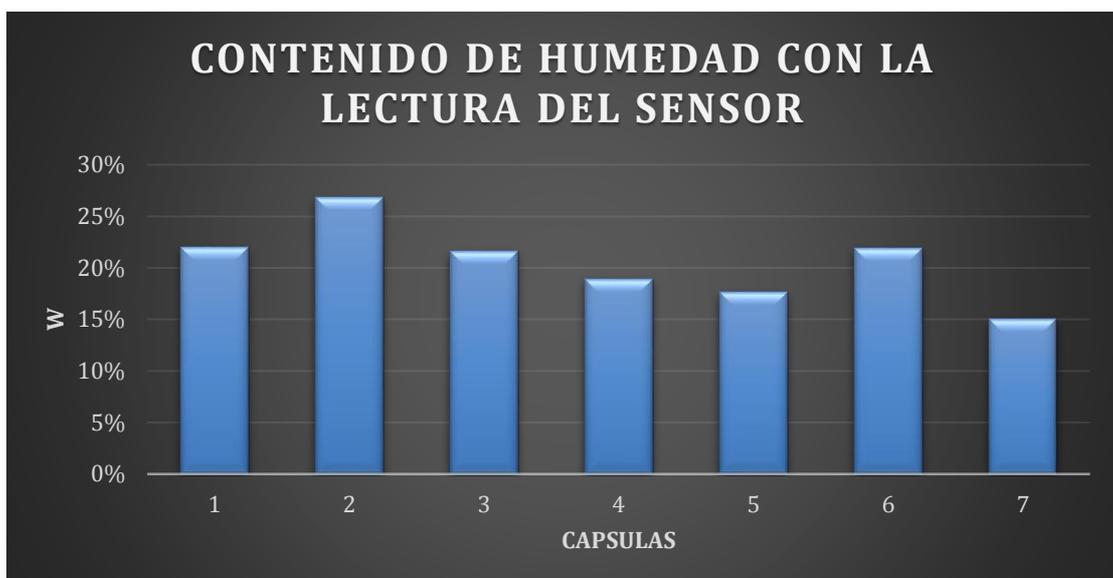
Fuente elaboración propia.

De lo anterior se manifiesta que el promedio de contenido de humedad de la muestra tomada es equivalente a 19.9% correspondiendo a una lectura del sensor de 16.30.

Figura 14 Contenido de humedad IN SITU



Figura 15 Contenido de humedad de la arcilla in situ



5.4.1. Determinación del contenido de humedad óptimo para la arcilla en planta.

Para determinar el contenido de humedad óptimo para la fabricación de ladrillos, se procedió a extraer 16 muestras solicitando a los operarios de la fabricación de ladrillos que definan cual eran en su opinión las mezclas de arcilla que tenían un buen contenido de humedad y estaban aptas para producir ladrillos, así se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 6 Resultados de los ensayos de contenido de humedad optimo en planta.

Cápsula N°	Peso cápsula (g)	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	W
100	46	264	226	21.1%
101	46	240	204	22.8%
102	46	250	212	22.9%
103	46	252	214	22.6%
104	46	260	220	23.0%
105	46	260	222	21.6%
106	46	258	218	23.3%
107	46	264	224	22.5%
108	46	264	226	21.1%
109	46	256	220	20.7%
110	46	266	226	22.2%
111	46	256	220	20.7%
112	46	262	222	22.7%
113	46	272	230	22.8%
114	46	258	220	21.8%
115	46	260	220	23.0%

Fuente elaboración propias.

De los datos anteriores, se procedió a calcular la estadística descriptiva, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 16 Contenido de humedad optimo en la planta



Tabla 7 Estadística de los datos de humedad óptima en planta.

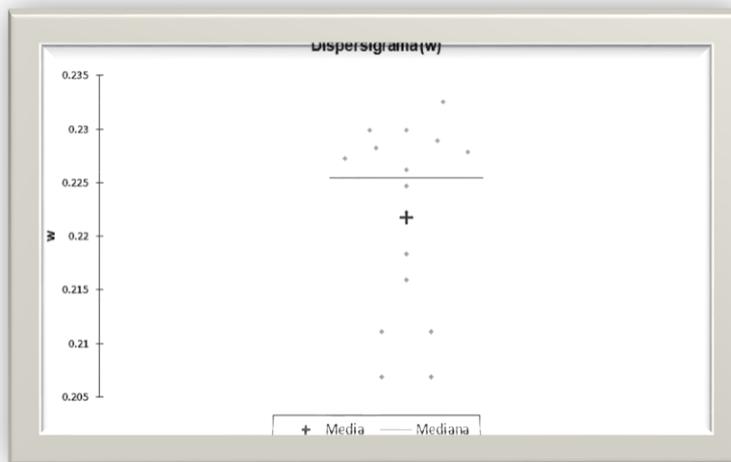
Estadístico	w
No. de observaciones	16
Mínimo	20.7%
Máximo	23.3%
Rango	2.6%
Media	22.2%
Desviación típica (n-1)	0.9%
Coefficiente de variación	3.8%
Error típico de la media	0.2%
Límite inferior de la media (95%)	21.7%
Límite superior de la media (95%)	22.6%

Fuente y elaboración propias.

De lo anterior se aprecia que las muestras han tenido contenidos de humedad que van desde el 20.7% hasta el 23.3%. Así mismo, el promedio del contenido de humedad óptimo para la fabricación de ladrillos con un intervalo de confianza de 95% está en $22.2\% \pm 0.5\%$.

Por otra parte, la dispersión de los datos recolectados muestra una tendencia uniforme, sin valores atípicos para las muestras. Lo anteriormente expuesto se puede apreciar claramente en la figura siguiente.

Figura 17 Dispersáramos de las mediciones.



Fuente: propia.

5.4.2. Pruebas de normalidad de contenido óptimo de humedad.

Con la finalidad de establecer si las muestras obtenidas y ensayadas cumplen con los requisitos estadísticos de normalidad por el criterio de Lilliefors y el de Jarque-

Bera, se llevaron a cabo dichas pruebas, encontrándose que si tienen una distribución normal, esto se aprecia a continuación.

Tabla 8 Datos tomados en cuenta para cada modelo.

Variable\Prueba	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
W	0.035	0.030	0.107	0.409

Fuente y elaboración propias.

5.5. ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Los tiempos obtenidos para el ensayo fueron estimados a partir de mediciones in situ para dicho fin se utilizó el dispositivo móvil de bajo costo con lo cual después de diferentes calibraciones se obtuvo un tiempo promedio de 15 min aproximadamente.

Es así en cuanto a la medición del contenido de humedad de la arcilla para la producción de ladrillos podemos mencionar que los resultados obtenidos en lo que concierne al tiempo fue de inmediato por lo tanto aemos la comparación de obtención de resultados de contenido de humedad con los métodos tradicionales en el siguiente cuadro.

Figura 18 Tiempos de obtención de resultados de contenido de humedad

Métodos de obtención de contenido de humedad de la arcilla para la producción de ladrillos	Tiempo de obtención de resultados	Estimación de medición
Método Empírico	1 – 2 min	pésimo
Método estándar NTP 339.127	36 – 48 horas	bueno
Método dispositivo móvil de bajo costo	10 – 15 min	bueno

Fuente: elaboración propia

5.6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se ha determinado que el contenido óptimo de humedad para las arcillas que van a ser utilizadas en la fabricación de ladrillos es de $22.2\% \pm 0.5\%$, la cual debería ser medida y controlada en obra a través del sensor de humedad y cuya lectura debería estar cerca de 16.3 en promedio en una escala de 0 a 1028.

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 arcilla, como lo es la fabricación de ladrillos.

En un estudio similar, al establecer las condiciones de secado de los ladrillos, se llegó a la conclusión de que el control del contenido de humedad es importante para tener un secado adecuado.

Debido a esto, son diferentes los procesos de secado que exige cada arcilla. Cuando la velocidad de redistribución de la humedad en el interior del ladrillo sea inferior al que se produce en secar la superficie, se producirá una contracción en las partes exteriores o en la periferia que ocasionará la deformación ó rotura del ladrillo (Robusté 1969).

Por otro lado, un estudio anterior detalla la importancia del control de la humedad de fabricación al permitir controlar la denominada dilatación potencial que es una medida de capacidad de aumento de volumen del ladrillo por efecto de la humedad (Lahuerta, 1972).

Por otro lado, el control de la humedad permite el control de la contracción: propiedad de las arcillas que produce una disminución en las dimensiones de lo que se esté moldeando al perder humedad. Al momento de realizar el moldeado, la arcilla se encuentra húmeda y con un alto contenido de agua, y cuando se realiza el proceso de secado la mezcla pierde el agua que contenía produciendo una reducción en el tamaño de la pieza moldeada.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que el contenido de humedad óptimo establecido en $22.2\% \pm 0.5\%$, puede ser medido a través de un método que optimiza el tiempo de medición y usa un sensor resistivo, el cual resulta satisfactorio teniendo en cuenta que cada ensayo cuesta la suma de S/. 0.12, en comparación con el promedio de costo de S/. 30.00 de un ensayo de contenido de humedad disponible en cualquier laboratorio de la ciudad.

Se ha determinado que el contenido de humedad óptimo de la arcilla para la fabricación de ladrillos es de $22.2\% \pm 0.5\%$, para lo cual se ha utilizado el método tradicional del horno de secado de tiro forzado a una temperatura de 110°C por 24 horas.

Se ha calibrado el sensor de humedad estableciéndose que un contenido de humedad de 22.2% equivale a una lectura de sensor de 16.3 en una escala de 0 a 1028.

6.2. RECOMENDACIONES

La cantidad de agua en el crudo para la hidratación de las partículas de arcilla y arena fina en la extrucción genera problemas de agrietamiento, deformación y contracción dependiendo del caso, para evitar estos problemas es recomendable un control de contenido de humedad antes de la extrucción con el sensor resistivo.

el uso del sensor resistivo para la determinación del contenido de humedad de la arcilla o crudo para la elaboración de ladrillos mediante la extrucción, como sustituto del ensayo de horno de tiro forzado, es recomendable por ser más económico y más rápido con una confiabilidad aceptable.

La línea de investigación en sensores resistivos es recomendable para los estudios de otros tipos de suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- González Medrano, M. Z. (2017). Sistema de riego automatizado. *Revista Iberoamericana de Produccion Academica y Gestion Educativa*.
- ibea. (06 de 2016). *ziegelindustri international*. Obtenido de ziegelindustri international: http://www.zi-online.info/de/artikel/zi_ibeas_BT_Master_SC_zur_Qualitaetskontrolle_von_Pflasterklinkern_2648332.html
- 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>
- Amada Miyachi, I. (2016). Obtenido de <http://spanish.amadamiyachi.com/glossary/glosselectricalresistivity>
- Arce Tena , H. L., & CASTRO RIVEROS, J. L. (2017). *REINGENIERÍA DEL PROCESO DE MEZCLA Y SECADO PARA OPTIMIZAR LAS PROPIEDADES DEL LADRILLO TECHO 15 EN LADRILLERA SAGITARIO*. Lima: UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA.
- Arduino UNO Rev.3*. (s.f.). Obtenido de BRICO GEEK: <https://tienda.bricogeek.com/arduino/305-arduino-uno-805833349009.html>
- Arquiñigo Trujillo, W. N. (2011). *PROPUESTA PARA MEJORAR LA CALIDAD ESTRUCTURAL DE LOS LADRILLOS ARTESANALES DE ARCILLA COCIDA DE HUANUCO*. HUANUCO: PONTIFICIA UNUVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.
- 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.
- 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.
- BTSHT. (2018). *Sensor de humedad de tierra YL-69 YL-38*. Obtenido de TOSTATRONIC: <http://tostratronic.com/store/sensores/151-sensor-de-humedad-de-tierra-yl-69-yl-38.html>
- Cable USB 2.0 tipo A-B de 5m*. (2018). Obtenido de LUNATICO ASTRONOMIA: <https://tienda.lunatico.es/Cable-USB-20-tipo-A-B-de-5m>
- Cable USB tipo A/B de impresora*. (s.f.). Obtenido de ELECTRONILAB: <https://electronilab.co/tienda/cable-usb-tipo-ab-de-impresora/>
- Circuits, L. E. (MARZO de 2017). *Interface_Soil_Sensor_Arduino*. Obtenido de CIRCUITS TODAY: http://www.circuitstoday.com/arduino-soil-moisture-sensor/interface_soil_sensor_arduino
- Crespo, E. (2018). *Iniciación Arduino 2018*. Obtenido de Aprendiendo Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/>
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Das, B. (2016). *Principles of Foundation Engineering*. Boston: Cengage Learning.
- DEFINISTA. (15 de Marzo de 2015). *CONCEPTODEFINICION.DE*. Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/disenio/>

- DHL. (2013). *LOW-COST SENSOR TECHNOLOGY*. Troisdorf: DHL Customer Solutions & Innovation.
- DOMÍNGUEZ, J., & SCHIFTER, I. (2013). *Las arcillas: el barro noble*. Obtenido de BIBLIOTECA DIGITAL DEL ILCE: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/cienc>
- Encyclopædia Britannica. (21 de Enero de 2016). *Measurement*. Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/measurement>
- Fernández Muñoz, J., Lozano Rogado, J., J.P, S., & Suárez Marcelo, J. (2016). *Un Sistema de Clasificación de Olores en Línea Para Narices Electrónicas*. Chemosphere.
- Fundación Wikimedia, I. (30 de 01 de 2018). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Detector>
- G., M. (14 de 09 de 2008). *Definición ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/motor/sensor.php>
- Gardey, J. P. (2014). *definicion.de*. Obtenido de <https://definicion.de/ladrillo/>
- Head. (2006). *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1*. Gasteshead: Whittels Publishing.
- Hernandez Sampieri, R. (1997). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Ciudad de Mexico: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Hernandez Sampieri, R. (2010). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. CIUDAD DE MEXICO: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA DE MEXICO, S.A de C.V.
- Huamán, N., Yupanquib, G., Allecaa, E., & Allccac, G. (2016). EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y TEMPERATURA SOBRE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EN GRANOS ANDINO. *Rev Soc Quím Perú*. 82(3), 259-271.
- International Council of Societies of Industrial Design. (2004).
- Julián Pérez Porto, M. M. (2009). *DEFINICIÓN DE EFICACIA EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD*. Obtenido de Definicion. de: (<https://definicion.de/eficacia/>)
- 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.
- 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/
- Minedu. (Abril de 2014). *Magnitudes de la Educación - ESCALE - Unidad de Estadística Educativa*. Obtenido de <http://escale.minedu.gob.pe/magnitudes>
- 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.
- 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.

- Nigel Cross. (2001). Métodos de diseño: estrategias para el diseño de productos. En N. Cross, *Métodos de diseño: estrategias para el diseño de productos* (pág. 190). Limusa, 2001.
- Pérez Porto, j., & Gardey, A. (2014). *DEFINICIÓN DE DETECTOR*. Obtenido de DEFINICION.DE: <https://definicion.de/detector/>
- Plus Electronics, C. (29 de AGOSTO de 2018). *Modulo Sensor de Luz por Fotoresistencia CDS*. Obtenido de ELECTRONICA.COM.VE: http://electronica.com.ve/new/catalog/product_info.php?products_id=3511
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (marzo de 2012). *Estudio de analisis de ciclo de vida comparativo entre ladrillos artesanales y ladrillos mecanizados*. Obtenido de www.red.pucp.edu.pe/ciclodevida/
- RainmanWeather. (2018). *6345 Wireless Leaf & Soil Moisture/Temperature Station*. Obtenido de RainmanWeather: <http://www.rainmanweather.com/6345-Wireless-Leaf-Soil-MoistureTemperature-Station>
- Ramirez, J. (27 de FEBRERO de 2013). *TEMAS DE INGENIERIA MECANICA-MECATRONICA*. Obtenido de TEMAS DE INGENIERIA MECANICA-MECATRONICA: <http://mecanica-mecatronica.blogspot.com/2013/02/tema-i-i-metodologia-y-metodos-del.html>
- Robuste´, e. (1969). *EL Horno Tunel al alcance del ceramista y del ladrillero*. barcelona: Ceac.
- Salour, F. (2015). *Moisture Influence on Structural Behaviour of Pavements*. Stockholm: KTH, Royal Institute of Technology.
- 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.
- 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.
- Tal, E. (21 de Setiembre de 2017). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Obtenido de Measurement in Science: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/measurement-science>
- Tripathy, & Anuradha. (2018). *INTERNET OF THINGS (IoT) Technologies, Applications, Challenges, and Solutions*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Ucha, F. (22 de 10 de 2012). *Definición ABC*. Obtenido de Definición ABC: <https://www.definicionabc.com/general/implementar.php>
- 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 de Waikato. (30 de JULIO de 2013). *Tamaño relativo de partículas de arena, limo y arcilla*. Obtenido de SCIENCE LEARNING HUB: <https://www.sciencelearn.org.nz/images/1062-relative-size-of-sand-silt-and-clay-particles>
- Universidad Javeriana. (20 de Febrero de 2017). *LISTADO DE PRECIOS 2017*. Obtenido de <http://ingenieria.javeriana.edu.co/documents/7508381/0/Lista+de+Precios+laboratorio+s+2017.pdf/f142d779-8719-4ec1-b869-c6de07ee3097>
- 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.

ANEXO

ANEXO A. Norma Técnica Peruana NTP 339.127 – 1998

METODO DE PRUEBA ESTÁNDAR

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO.

Definición

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.

Principio del Método

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Nota 1.- El secado en horno siguiendo este método (a 110 °C) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua de hidratación o cuando el suelo contiene cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores confiables del contenido de humedad para estos suelos, secándolos en un horno a una temperatura de 60 °C o en un desecador a temperatura ambiente.

Aparatos

- Horno de secado.- Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5\text{ °C}$.
- Balanzas.- De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:
De 0.01 g para muestras de menos de 200 g
De 0.1 g para muestras de más de 200 g
- Recipientes.- Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.

Nota 2.- Los recipientes y sus tapas deben ser herméticos a fin de evitar pérdida de Humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para prevenir la absorción de Humedad de la atmósfera después del secado y antes de la pesada final. Se usa un recipiente para cada determinación.

- Desecador (opcional) Un desecador de tamaño apropiado que contenga sílica gel o fosfato de calcio anhidro. Es preferible usar un desecante cuyos cambios de color indiquen la necesidad de su restitución. (Ver Sección 9.5)

Nota 3.- El sulfato de calcio anhidro se vende, bajo el nombre comercial de Drierite.

- Utensilios para manipulación de recipientes.- Se requiere el uso de guantes, tenazas o un sujetador ES apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después que se hayan secado.

- Otros utensilios.- Se requiere el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

Espécimen De Ensayo

Para los contenidos de humedad que se determinen en conjunción con algún otro método ASTM, se empleará la cantidad mínima de espécimen especificada en dicho método si alguna fuera proporcionada.

La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si sólo se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente:

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1\%$	Masa mínima recomendada de espécimen húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1\%$
2 mm. 0 menos	ITINTEC 2.00 mm. (N°10)	20 g	20 g
4.75 mm	ITINTEC 4,75 mm (N° 4)	100 g	20 g
9.5 mm	ITINTEC 9.51 mm. (3/8)	500 g	50 g
19.0 mm	ITINTEC 19.0 mm. (3/4)	2.5 kg	250 g
37.5 mm	ITINTEC 38.1 mm. (2")	10 kg	1 kg
75.0 mm	ITINTEC 76.1 mm. (3")	50 kg	5 kg

Nota: se usara no menos de 20g para que sea representativa

Si se usa toda la muestra ésta no tiene que cumplir los requisitos mínimos

Dados en la tabla anterior. En el reporte se indicará que se usó la muestra completa.

El uso de un espécimen de ensayo menor que el mínimo indicado en 8,2 requiere discreción, aunque pudiera ser adecuado para los propósitos del ensayo. En el reporte de resultados deberá anotarse algún espécimen usado que no haya cumplido con estos requisitos.

Cuando se trabaje con una muestra pequeña (menos de 200 g) que contenga partículas de grava relativamente grandes, no es apropiado incluirlas en la muestra de ensayo. Sin embargo en el reporte de resultados se mencionará y anotará el material descartado.

Para aquellas muestras que consistan íntegramente de roca intacta, el espécimen mínimo tendrá un peso de 500 g. Porciones de muestra representativas pueden partirse en partículas más pequeñas, dependiendo del tamaño de la muestra, del contenedor y la balanza utilizada y para facilitar el secado a peso constante.

Selección Del Espécimen De Ensayo

Cuando el espécimen de ensayo es una porción de una mayor cantidad de material, el espécimen seleccionado será representativo de la condición de humedad de la cantidad total de material. La forma en que se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y aplicación del ensayo, del tipo de material que se ensaya, la condición de humedad, y el tipo de muestra (de otro ensayo, en bolsa, en bloque, y las demás).

Para muestras alteradas tales como las desbastadas, en bolsa, y otras, el espécimen de ensayo se obtiene por uno de los siguientes métodos (listados en orden de preferencia):

Si el material puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, el material debe mezclarse y luego reducirse al tamaño requerido por cuarteo o por división.

Si el material no puede ser mezclado y/o dividido, deberá formarse una pila de materia, mezclándolo tanto como sea posible. Tomar por lo menos cinco porciones de material en ubicaciones aleatorias usando un tubo de muestreo, lampa, cuchara, frotacho, o alguna herramienta similar apropiada para el tamaño de partícula máxima presente en el material. Todas las porciones ser combinarán para formar el espécimen de ensayo.

Si no es posible apilar el material, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad, Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.

En muestras intactas tales como bloques, tubos, muestreadores divididos y otros, el espécimen de ensayo se obtendrá por uno de los siguientes métodos dependiendo del propósito y potencial uso de la muestra.

Se desbastará cuidadosamente por lo menos 3 mm de material de la superficie exterior de la muestra para ver si el material está estratificado y para remover el material que esté más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Luego se desbastará por lo menos 5 mm, o un espesor igual al tamaño máximo de partícula presente, de toda la superficie expuesta o del intervalo que esté siendo ensayado.

Se cortará la muestra por la mitad. Si el material está estratificado se procederá de acuerdo a lo indicado en el siguiente párrafo. Luego se desbastará cuidadosamente por lo menos 5 mm, o un espesor igual del tamaño máximo de partícula presente, de la superficie expuesta de una mitad o el intervalo ensayado. Deberá evitarse el material de los bordes que pueda encontrarse más húmedo o más seco que la porción principal de la muestra.

NOTA 4.-El cambio de humedad en suelos sin cohesión puede requerir que se muestree la sección completa.

Si el material está estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se seleccionará un espécimen promedio, o especímenes individuales, o ambos. Los especímenes deben ser identificados api-opiadamente en formatos, en cuanto a su ubicación, o lo que ellos representen.

PROCEDIMIENTO

- Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).
- Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo a la Sección
- Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase 5,2) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

Nota 5.- Para prevenir la mezcla de especímenes, y la obtención de resultados incorrectos, todos los contenedores, y tapas si se usan, deberían ser enumerados y deberían registrarse los números de los contenedores en los formatos de laboratorio. Los números de las tapas deberían ser consistentes con los de los contenedores para evitar confusiones.

Nota 6.- Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como Ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

- Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y Los aparatos que sean empleados.

Nota 7.- En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente. En los casos en los que hay duda sobre lo adecuado de un método de secado, deberá continuarse con el secado hasta que el cambio de peso después de dos períodos sucesivos (mayores de 1 hora) de secado sea insignificante (menos del 0.1 %). Los especímenes de arena pueden ser secados a peso constante en un período de 4 horas, cuando se use un horno de tiro forzado.

Nota 8.- Desde que algunos materiales secos pueden absorber humedad de Especímenes húmedos, deberán retirarse los especímenes secos antes de colocar especímenes húmedos en el mismo horno. Sin embargo, esto no sería aplicable si los especímenes secados previamente permanecieran en el horno por un periodo de tiempo adicional de 16 horas.

- Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o

hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en 9-3 Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

Nota 9.- Colocar las muestras en un desecador es más aceptable en lugar de usar las tapas herméticas ya que reduce considerablemente la absorción de la humedad de la atmósfera durante el enfriamiento especialmente en los contenedores sin tapa.

CALCULOS

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{peso de agua}}{\text{peso de suelo seco al horno}} * 100$$
$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} * X * 100 = \frac{M_w}{M_s} * X * 100$$

En donde:

w es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

M_{cs} es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos:

M_c es el peso del contenedor, en gramos

M_w es el peso del agua, en gramos

M_s es el peso de las partículas sólidas, en gramos

REPORTE.

El reporte deberá incluir lo siguiente:

La identificación de la muestra (material) ensayada, tal como el número de la perforación, número de muestra, número de ensayo, número de contenedor, etc.

El contenido de agua del espécimen con aproximación al 1% o al 0,1%, como sea apropiado dependiendo de la mínima muestra usada, Si se usa este método conjuntamente con algún otro método, el contenido de agua del espécimen deberá reportarse al valor requerido por el método de ensayo para el cual se determinó el contenido de humedad.

Indicar si el espécimen de ensayo tenía un peso menor que el indicado en 7.2.

Indicar si el espécimen de ensayo contenía más de un tipo de material (Estratificado, etc.).

Indicar el método de secado si es diferente del secado en horno a 110 °C más menos 5 °C, Indicar si se excluyó algún material del espécimen de ensayo.

PRECISIÓN Y EXACTITUD

Exactitud.- No existe valor de referencia aceptado para este método de ensayo; por consiguiente, no puede determinarse la exactitud.

Precisión.- Precisión de un Operador Simple.- El coeficiente de variación de un operador simple se encontró en 2.7%. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente por el mismo operador con el mismo equipo, no deberían ser considerados con sospecha si difieren en menos del 7.8 % de su media.

Precisión Multilaboratorio.- El coeficiente de variación Multilaboratorio se encontró en 5.0%. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos por diferentes operadores usando equipos diferentes no deberían ser considerados con sospecha a menos que difieran en más del 14.0 por ciento de su media.

ANTECEDENTES

ASTM D2216-92 Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.

ANEXO B. Método para la determinación de la humedad en suelos granulares utilizando horno microondas.

RESUMEN

En la presente investigación se determinó el tiempo de secado para muestras de suelos gruesos con granulometría artificial utilizando como método de secado el horno microondas y se comparó con los resultados encontrados por el método tradicional, buscando los tiempos mínimos necesarios para lograr un resultado de peso constante, con temperaturas que no superen los 110° C.

Palabras clave: horno microondas, contenido de humedad, suelos gruesos.

INTRODUCCIÓN

El contenido de humedad de un suelo es utilizado en prácticas de ingeniería tanto en laboratorio como en campo. La utilización del método de ensayo INV E 122 ó ASTM D 2216-98 para la determinación del contenido de agua en hornos convencionales requiere de 24 horas y de un alto consumo de energía, por lo que en la actualidad se reconoce la necesidad de métodos más rápidos. La utilización de hornos microondas es una alternativa posible.

La presente investigación abarca la determinación de humedades en suelos granulares utilizando las ventajas que ofrece el horno microondas, esperando obtener resultados del orden de los minutos. Estos resultados son analizados y comparados con los obtenidos en el horno convencional, en el cual las muestras deben estar expuestas durante un tiempo de 24 horas para lograr el secado de las mismas.

MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Es un tema de gran importancia dentro del estudio del horno microondas utilizado para el secado de muestras de suelo, ya que éste no posee un sistema interno en el cual se puedan hacer éstas mediciones. Teniendo en cuenta que no es recomendable utilizar un termómetro convencional de mercurio dentro del horno, ya que la reacción del mercurio con las ondas electromagnéticas puede generar una explosión, existen en la actualidad varios métodos de medición y escalas, dependiendo de las necesidades que se tengan.

Para este caso, se estudió la medición desde el punto de vista electrónico, a nivel industrial, pero con un grado de complejidad bajo, que consiste en un sensor de temperatura llamado termocupla, el cual trabaja con termoelectricidad, efecto que se explica por los efectos de Peltier, Thomson y Seebeck ([www. monico.com.ar](http://www.monico.com.ar), 2006).

ENSAYOS DE LABORATORIO

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Los suelos utilizados en el desarrollo de la presente investigación, Hilarión y Gámez (2006) fueron arena fina, arena gruesa y grava media, como se muestra en la Tabla 1, a los cuales se les efectuaron los ensayos de laboratorio de peso específico y granulometría.

Tabla 1 Suelos Ensayados

Muestra	Cantidad (g)	Peso específico
Arena fina	100	2,78
Arena gruesa	300	2,60
Grava media	500	2,61

SELECCIÓN DEL REDUCTOR DE CALOR

Para evitar el sobrecalentamiento del suelo debido a la exposición a temperaturas superiores a los 115°C, lo cual ocasiona resultados en el contenido de humedad más altos que los estipulados por la norma, existen tres posibilidades de minimizar este fenómeno:

1. Utilizar una potencia baja del horno microondas, lo que ocasionaría más tiempo de exposición.
2. Calentamiento por ciclos de un minuto, mezclando la muestra luego de cada ciclo para evitar el sobrecalentamiento y el secado localizado del suelo, lo que ocasionaría alteraciones en los resultados obtenidos, por la constante apertura de la tapa del horno microondas.
3. Uso de sustancia reductora de calor dentro del horno microondas. Reducir el calor dentro del horno microondas situando dentro de éste un recipiente con agua, que posee un punto de ebullición conocido, que es de 93°C. Como este punto de ebullición está por debajo de la temperatura prevista por la norma para el ensayo de humedad de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, se concluye que no se puede utilizar solamente agua, por lo cual se suministra la sustancia reductora, la cual cuando llegue a su punto de ebullición, la temperatura del suelo estará al límite de su posibilidad de calentamiento, por este motivo no sólo sirve como reductor de calor sino también como indicador de sobrecalentamiento.

Los reductores de calor propuestos inicialmente fueron carbonato de potasio, acetato de potasio y yoduro de potasio. Para realizar la selección de la sustancia final se tuvo en cuenta el costo, por tal razón se decidió utilizar carbonato de potasio en una concentración del 78,5% (78,5 g de K_2CO_3 en 100 cm³ de agua), que le corresponde un punto de ebullición de 106°C, según ensayos realizados en el laboratorio en estufa y en horno microondas, utilizando un calibrador de termocupla con su respectiva termocupla, y un termómetro para verificar la veracidad de los datos.

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL HORNO MICROONDAS

Para la selección del volumen de carbonato de potasio se llevaron a cabo dos ensayos, el primero con una cantidad de 50 g de K_2CO_3 en 100 cm³ de agua y el segundo con 80 g de K_2CO_3 en 100 cm³ (ver figuras 1 y 2). Se observó que cuando se utiliza mayor cantidad de reductor de calor se obtienen menores temperaturas.

Otro motivo para descartar la solución de 50 g fue que ésta se cristalizaba en algunas ocasiones a medida que se incrementaba la temperatura. Este fenómeno debe evitarse ya que dichos cristales se pueden incorporar en el suelo y alterar las muestras. Teniendo en cuenta los anteriores argumentos se decidió trabajar con 80 g de solución.

POTENCIA DEL MICROONDAS

Los ensayos de selección de potencia se llevaron a cabo iniciando en la potencia de 350 watts y terminando en la potencia de 700 watts, con la concentración de 80 g de K_2CO_3 en 100 cm³ de agua. Con base en los resultados de la Figura 1 se seleccionó una potencia única de ensayo de 420 watts, teniendo en cuenta que en esta potencia se presenta un comportamiento constante alrededor de los 95°C desde los cinco hasta los diez minutos. El horno microondas utilizado en la investigación tiene una potencia de salida de 700 watts.

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para cada una de las muestras ensayadas se preparaba en un beaker de 500 ml la solución de 100 cm³ de agua con 80 g de K_2CO_3 , mezclando continuamente para contribuir a la disolución de la misma. Esta solución tenía una temperatura inicial de aproximadamente 40°C y se tomaba turbia después de utilizarse en el microondas.

FIGURA 1. INFLUENCIA DEL REDUCTOR DE CALOR (80%) Y DE LA POTENCIA EN EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO.

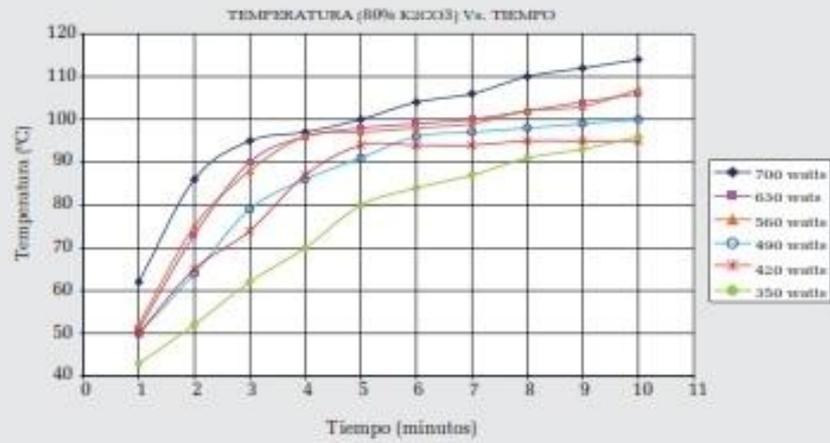
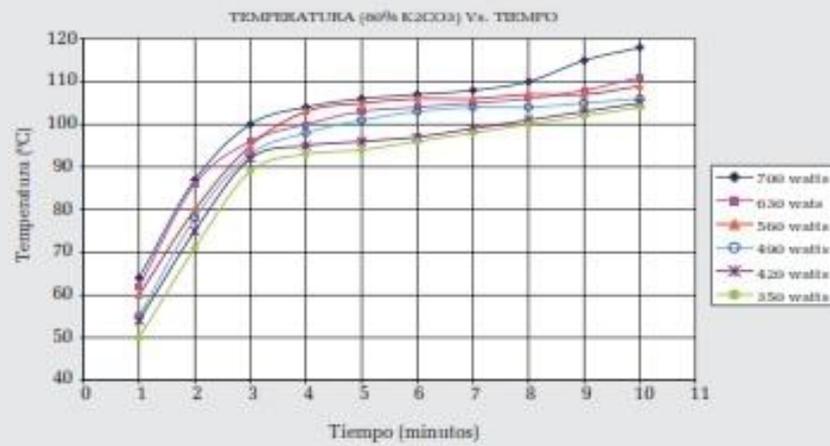


FIGURA 2. INFLUENCIA DEL REDUCTOR DE CALOR (50%) Y DE LA POTENCIA EN EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO.



Las muestras armadas de los suelos ensayados fueron codificadas y consignadas en la Tabla 2.

TABLA 2. CÓDIGOS DE LAS MUESTRAS Y PORCENTAJES DE SUELOS TRABAJADOS

Muestra	Arena fina %	Arena gruesa %	Grava media %
1	33,3	33,3	33,3
2	25,0	25,0	50,0
3	50,0	25,0	25,0
4	25,0	50,0	25,0
5		50,0	50,0
6	50,0		50,0
7	50,0	50,0	

TABLA 3. MASAS UTILIZADAS PARA LOS ENSAYOS

Suelo	Masa utilizada (g)
Arena fina	100
Arena gruesa	300
Grava media	500
MUESTRAS ARMADAS	
Muestra 1	300
Muestra 2	300
Muestra 3	300
Muestra 4	300
Muestra 5	300
Muestra 6	300
Muestra 7	300

RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR EN EL HORNO MICROONDAS

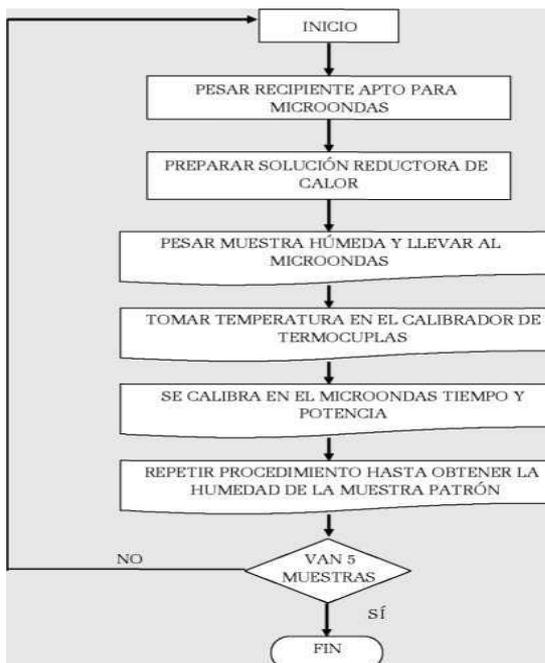
Es recomendable tomar los pesos secos de la muestra en intervalos de cinco minutos o más, de ser necesario, ya que hacerlo en menores tiempos implica alteraciones en la pérdida de humedad de las muestras por la constante manipulación de la tapa del horno, ocasionando tiempos mayores de secado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las figuras 4 a la 6 se ilustra gráficamente el peso seco obtenido en el horno microondas y los tiempos en los que se obtuvieron estos pesos, particularmente para el contenido de agua de 5% de la arena fina, arena gruesa y grava media.

Mediante un análisis estadístico utilizando una regresión polinomial, se obtuvo un coeficiente de correlación cercano a 1 en todos los casos, indicando una correlación positiva entre el tiempo y el peso. Con las correlaciones encontradas se calcula el tiempo óptimo de secado para cada una de las muestras.

Figura 3. Procedimiento para la obtención de humedad mediante horno microondas



En la Tabla 4 se registran los resultados de las humedades promedio de las muestras, obtenidos en los hornos convencionales de laboratorio y microondas para cada una de las humedades trabajadas. Igualmente, se puede observar que los valores de la desviación estándar de las diferencias de humedades promedio halladas por horno convencional y por horno microondas de todas las muestras analizadas, es menor al valor tolerable máximo establecido por la norma ASTM D4643 de 0,3%.

En la Tabla 5 se observan los resultados obtenidos de los tiempos de secado y las temperaturas máximas alcanzadas para cada muestra, con las humedades trabajadas.

FIGURA 4. TIEMPO DE SECADO ÓPTIMO PARA LA ARENA FINA CON CONTENIDO DE AGUA 5%

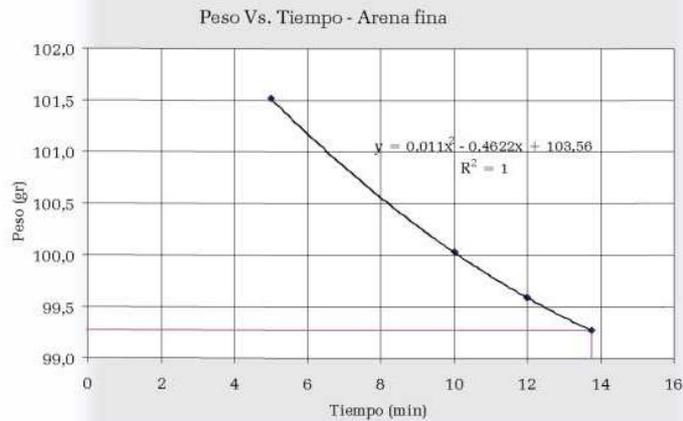


FIGURA 5. TIEMPO DE SECADO ÓPTIMO PARA LA ARENA GRUESA CON CONTENIDO DE AGUA 5%

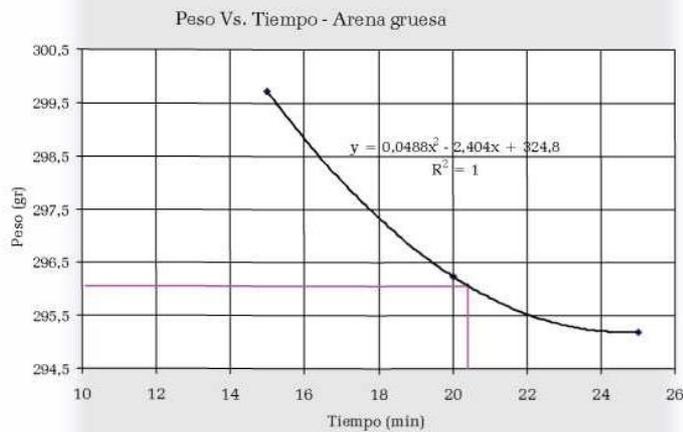
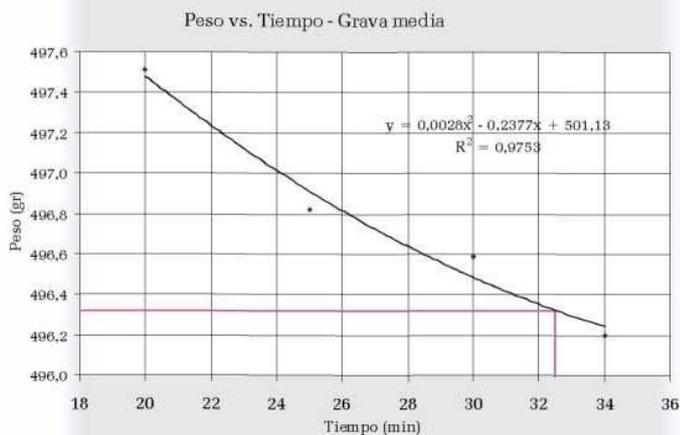


FIGURA 6. TIEMPO DE SECADO ÓPTIMO PARA LA GRAVA MEDIA CON CONTENIDO DE AGUA 5%



Como caso particular se analizó la humedad obtenida en 20 minutos para la grava media en el horno microondas con la obtenida en el horno convencional de laboratorio para las 3 humedades trabajadas, como son 5, 10 y 20%. En la Figura 7 se observa la correspondencia entre los resultados obtenidos en los dos hornos, distinguiéndose

una tendencia lineal entre ambos valores e indicando un coeficiente de correlación igual a 1, lo que significa una correlación positiva entre las humedades del horno convencional de laboratorio y el de microondas.

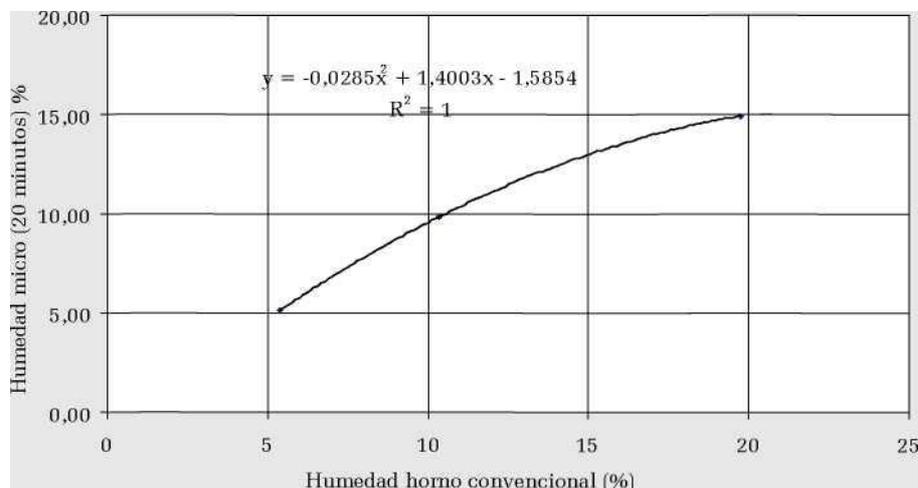
TABLA 4. RESUMEN DE PROMEDIO DE HUMEDADES OBTENIDAS EN EL HORNO CONVENCIONAL Y HORNO MICROONDAS

Muestra	Cantidad	Humedad						Hhorno - Hmicro			Desviación estándar
		Horno Convencional			Horno Microondas			Contenido de agua			
		Contenido de agua			Contenido de agua						
		5%	10%	20%	5%	10%	20%	5%	10%	20%	
Arena fina	100	4,22	9,3	19,62	4,23	9,31	19,63	0,01	0,01	0,01	0,0012
Arena gruesa	300	5,88	10,29	19,86	5,89	10,31	19,86	0,01	0,02	0,00	0,0076
Grava media	500	5,41	10,34	19,76	5,41	10,35	19,77	0,00	0,01	0,01	0,0042
Muestra 1	300	5,56	9,82	18,91	5,57	9,82	18,91	0,01	0,00	0,00	0,0031
Muestra 2	300	5,45	9,63	18,87	5,45	9,62	18,87	0,00	0,01	0,00	0,0087
Muestra 3	300	5,3	9,81	18,94	5,29	9,81	18,94	0,01	0,00	0,00	0,0023
Muestra 4	300	5,3	9,88	19,41	5,3	9,89	19,42	0,00	0,01	0,01	0,004
Muestra 5	300	5,57	10,21	18,74	5,57	10,22	18,74	0,00	0,01	0,00	0,0023
Muestra 6	300	5,06	9,85	18,81	5,06	9,85	18,82	0,00	0,00	0,01	0,0012
Muestra 7	300	5,31	10,02	19,07	5,31	10,02	19,07	0,00	0,00	0,00	0,0012

TABLA 5. RESUMEN DE TEMPERATURAS Y TIEMPOS PROMEDIO DE SECADO POR HORNO MICROONDAS

Muestra	Temperatura Max. (°c)			Tiempo Secado (Minutos)		
	Contenido de agua 5%	Contenido de agua 10%	Contenido de agua 20%	Contenido de agua 5%	Contenido de agua 10%	Contenido de agua 20%
Arena fina	99	107	102	14	21	25
Arena gruesa	106	106	97	20	25	18
Grava media	107	101	104	33	25	30
Muestra 1	106	95	104	23	20	25
Muestra 2	107	97	103	23	25	22
Muestra 3	107	107	102	18	29	19
Muestra 4	107	105	105	24	23	26
Muestra 5	107	102	103	23	21	23
Muestra 6	107	107	102	21	23	27
Muestra 7	102	103	104	14	21	25

FIGURA 7. COMPARACIÓN HUMEDADES PROMEDIO MEDIANTE HORNO Y MICROONDAS PARA LA MUESTRA DE GRAVA MEDIA



CONCLUSIONES

Mediante los ensayos realizados se determinó el contenido de humedad de distintas muestras de suelos granulares elaboradas en el laboratorio, tanto en el horno convencional de laboratorio como en el horno microondas, lográndose una comparación de los resultados obtenidos entre los coeficientes de correlación de todas las muestras ensayadas, cercanos a 1.00.

La potencia del horno microondas fue seleccionada mediante una fase experimental y un análisis gráfico de resultados, determinándose en este caso una potencia de 420 watts, la cual influyó en los resultados que se obtuvieron, permitiendo que la temperatura no superara los 110°C y que el suelo no sufriera sobrecalentamientos.

Se logró establecer una metodología para la medición de la temperatura dentro del horno microondas, por medio de una termocupla y un calibrador, el cual registra la variación de temperaturas en el proceso de secado de las muestras.

Durante la ejecución de los ensayos se notó que el tiempo de secado depende del tipo de muestras que se estén trabajando, en el caso de mayores contenidos de grava media, se obtuvieron mayores tiempos de secado que cuando se trabajaba con las otras muestras.

Se analizó, como caso particular, la grava media en el microondas en un tiempo de 20 minutos para las 3 humedades trabajadas, comparándola con los resultados arrojados por el horno convencional de laboratorio obteniendo un coeficiente de correlación cercano a 1, el cual es un resultado satisfactorio. El tiempo seleccionado de 20 minutos se escogió en razón a que los tiempos obtenidos en los diferentes ensayos realizados, según lo indica la Tabla 6, están alrededor de este tiempo y para identificar el comportamiento del secado de las muestras en un tiempo constante. La ecuación $y = -0,0285x^2 + 14003x - 1,5854$ muestra la relación para determinar la humedad entre los dos métodos utilizados.

Igualmente, se analizó de forma particular la arena fina, arena gruesa y grava media con contenido de agua del 5% y se logró establecer unos tiempos óptimos de secado. Estos tiempos resultan más confiables, ya que el peso seco que se tuvo en cuenta para hallar el tiempo óptimo fue el obtenido de los ensayos efectuados en el horno convencional de laboratorio.

El coeficiente experimental obtenido para cada una de las muestras analizadas varía entre 0,9997 y 1,0008. Los valores más altos indican que las muestras secadas en horno microondas perdían más contenido de agua que las secadas mediante horno convencional de laboratorio, por lo que se puede afirmar que con el método de secado con microondas se obtienen valores más aproximados del verdadero contenido de agua de las muestras.

Con los resultados obtenidos en la determinación de las humedades se logró fijar unos tiempos máximos de secado de las diferentes muestras dentro del horno microondas, los cuales oscilan desde los 14 hasta los 33 minutos.

El trabajo de investigación presentado muestra unos resultados confiables para la realización del ensayo de determinación de humedad en suelos granulares armados

en el laboratorio, utilizando horno micro-ondas, comparados con los resultados que arroja el horno convencional de laboratorio, en un tiempo del orden de los 33 minutos, alcanzando una temperatura máxima de 107°C; lo que indica una reducción considerable en el tiempo de secado de las muestras.

ANEXO C Producción de Ladrillos de Arcilla

En la producción de ladrillos intervienen diferentes materiales principalmente diferentes tipos de materia prima. Además, los procesos de producción no son idénticos. Por lo tanto, el intercambio de experiencias y los resultados de ensayos no deben utilizarse directamente.

No obstante, sirven como valiosos indicadores para posteriores trabajos e investigaciones.

Por consiguiente, el dictaminar si una arcilla es apropiada para determinada clase de ladrillos no puede basarse únicamente en la materia prima, sino que el dictamen debe incluir también a su tratamiento.

Por otra parte, a medida que va pasando el tiempo en la explotación de la cantera (o yacimiento), cobra importancia la cuestión de la materia prima, debido a la composición casi variable de las capas de arcilla del yacimiento (Arquiñigo Trujillo, 2011).

La producción de ladrillos se arcilla se detalla a continuación. Producción de Ladrillos de Arcilla en el centro poblado menor de Piñipampa
Materia Prima

Figura 19. Crudo o simplemente arcilla para la fabricación de ladrillos



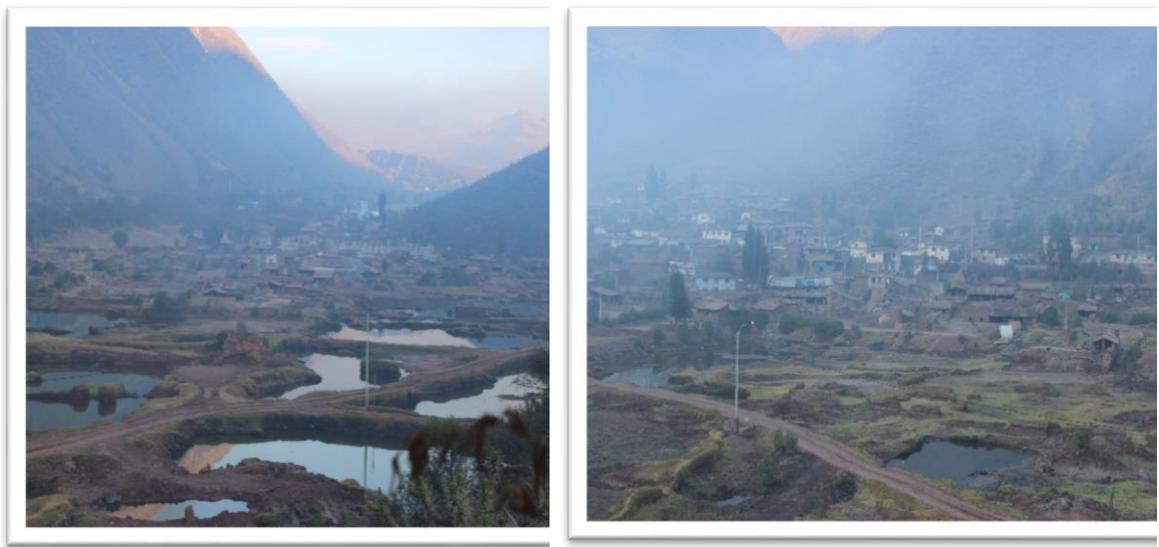
Fuente: Elaboración propia.

El Yacimiento de Arcilla

En las instalaciones de producción artesanal los yacimientos de arcilla explotables son aquellos que afloran a la superficie. Por lo general sobre el mismo yacimiento se encuentran las zonas de moldeo, secado y cocción. Como es natural, en la explotación de yacimientos de arcilla

Influyen también puntos de vista locales y económicos. El caso más sencillo es el que corresponde al yacimiento de arcilla situado en un terreno que ni es buena tierra de cultivo, ni sirve como solar para construcción. (Arquiñigo Trujillo, 2011).

Figura 20 Yacimiento de arcilla en el C.P. de Piñipampa explotado artesanalmente y con maquinaria pesada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21 Ubicación y distancia de cusco a la cantera de Piñipampa



Fuente: Elaboración propia (google maps)

Composición de las Arcillas, extracción y Comportamiento.

Hay una gran variedad de arcillas y es muy difícil que dos arcillas de distintos yacimientos, que por idénticas que parezcan, al analizarlas resulten iguales. Por lo tanto no se encuentran dos arcillas que se comporten igual, que se trabajen de la misma manera, ni que absorban la misma cantidad de agua.

En relación con las demás materias componentes del barro, conviene que la arcilla pura (47% sílice, 39% alúmina y 14% agua) represente como mínimo 25% del total del material componente del barro. Lo Ideal para que la pasta sea adecuada al moldeo de ladrillos, es que el porcentaje de arcilla pura sea superior a un 30% o la tercera parte aproximadamente. (Arquiñigo Trujillo, 2011)

En el siguiente cuadro se puede apreciar el comportamiento de las arcillas.

Tabla 9 El comportamiento de las diversas clases de crudo para la fabricación de ladrillos

Tipo de crudo	En el moldeo	En el secado	En el cocido	Resistencia del ladrillo
Grasa y mal molida	BIEN	MAL	MAL	POCA
Grasa y bien molida	MUY BIEN	REGULAR	BIEN	REGULAR
Magra y mal molida	INAPROVECHABLE			
Magra y bien molida	BIEN	MUY BIEN	MUY BIEN	MUCHA
Magra bien molida mezclada con arcilla grasa plástica	MUY BIEN	BIEN	BIEN	MUCHA

Fuente: (Robuste´, 1969)

Etapas de producción

La Preparación de la Arcilla o amasado

El objetivo de la preparación de la arcilla es la manejabilidad con las características requeridas para su posterior uso en la fabricación de ladrillos. Por consiguiente podemos que dividir el proceso en tres fases

Maduración de la Arcilla

Este proceso se realiza con el fin de uniformizar el contenido de humedad en la arcilla. Porque la arcilla al tener una estructura molecular impermeable actúa como aislante del agua y es difícil la uniformización.

“El almacenamiento de las arcillas en capas de poco espesor, sometidos a la acción del frío, producen en ella un esponjamiento y aumento de su plasticidad (capacidad de moldeo), además de un aumento de la cohesión”. (Arquiñigo Trujillo, 2011)

La maduración de la arcilla consiste en el almacenamiento con una cantidad determinada de agua en la intemperie durante por lo menos 24 horas

Amasar, propiamente, consiste en mezclar íntimamente una cantidad determinada de agua, con una cantidad de tierra y el amasado será tanto más perfecta cuanto más uniforme sea la mezcla de agua y tierra. (Arquiñigo Trujillo, 2011).

Figura 22 Maduración, amasado de la arcilla para la producción de ladrillos



Fuente: Elaboración propia

Dosificación o Mezcla

En esta fase se puede utilizar diferentes tipos de mezcla para diferentes tipos de arcillas puesto que no existe dosificaciones exactas de arena, agua, arcilla.

Para garantizar la calidad en proceso de mezcla se utiliza la experiencia adquirida a través de los años en la constante producción de ladrillos de los trabajadores del centro poblado de Piñipampa.

Por este tipo de medios sabemos que la mezcla debe ser de manera perfecta en consecuencia no afectará ni tendrá efectos en la siguiente fase de secado.

Tabla 10 dosificación de la mezcla

MATERIA PRIMA	CANTIDAD Kg/Ladrillo
ARCILLA	3.5
ARENA	1.2
AGUA	0.4

Fuente: Elaboración propia consulta al experto

Trituración y amasado de la Arcilla

En la producción semi-industrial de ladrillo, la trituración de la arcilla en gran escala, se realiza con maquinaria.

Figura 23 Trituración y amasado con maquinaria artesanal.



Fuente: Elaboración propia

La maquinaria que se utiliza hoy en día tiene las características de una máquina extrusora industrial es fabricada artesanalmente por técnicos especialistas en metal mecánica de producción se fabrica con las características requeridas para el trabajo.

Estas máquinas facilitan la producción en masa porque disminuye el tiempo de trituración y amasado de la arcilla o barro. Por lo tanto aumenta la producción.

Moldeo

Es necesario indicar cuáles son los distintos aspectos que influyen en la obtención de un moldeo adecuado:

Trituración.- este proceso es de suma importancia porque depende mucho para la uniformización del contenido de humedad y establece el tiempo que será necesario esperar para el siguiente proceso.

Amasado.- en este proceso se obtiene la consistencia suficiente de la arcilla para su manejabilidad

Tipo de arcillas.- la existencia de diferentes tipos de arcillas requieren procesos diferentes.

Sistema de extrusión.- la extrusión es muy importante porque define la consistencia del amasado de la arcilla por ende se tiene una mejor manejabilidad del barro para el proceso siguiente.

El molde.- el molde o boquilla tiene que estar bien fabricada, agujeros distribuidos simétricamente para la extrusión uniforme y de calidad.

Figura 24 Proceso de moldeo de ladrillos tipo *blocker*.



Fuente: Elaboración propia

SECADO

El ladrillo extruido posee una mediana estabilidad propia debido al agua añadida para el moldeo, que debe eliminarse nuevamente por secado dando lugar al fenómeno de contracción del ladrillo.

El ladrillo crudo debe poseer tal fuerza de cohesión que pueda resistir sin inconvenientes las tensiones que aparecen en el secado.

Los defectos propios del secado son dos:

Las irregularidades provocadas por la contracción de ciertas partes del ladrillo (alabeo)

La destrucción o daño del ladrillo por las tensiones de vapor (fisuras o micro fisuras), éstas solo pueden formarse una vez que se ha secado la capa exterior del ladrillo, es decir este último defecto aparece sólo en la segunda parte del proceso de secado.

Cuando la velocidad de redistribución de la humedad en el interior del ladrillo sea inferior al que se produce en secar la superficie, se producirá una contracción en las partes exteriores o en la periferia que ocasionará la deformación o rotura del ladrillo. (Robuste´, 1969)

Figura 8: Secaderos al aire libre con cubierta. Proceso de secado de ladrillos tipo bloker.



Fuente: Elaboración propia

Este tipo de secaderos se utiliza mayormente para ladrillos tienen el propósito de proteger contra las inclemencias de la naturaleza como son la lluvia, granizo, etc.

Cocción

Por último, el ladrillo crudo y pre-secado es cargado al horno de cocción. En esta etapa, mediante el fuego y calor, se producen cambios químicos que transforman la arcilla y los demás componentes en productos sinterizados o vitrificados con características estructurales de resistencia a la compresión.

Los combustibles utilizados son, en su mayoría, las ramas de eucalipto y el aserrín de madera, la cantidad necesaria por cada uno de ellos para la fabricación de un ladrillo se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 4: Combustible de los hornos de cocción

Combustible	Cantidad Kg/ladrillo
Rama de eucalipto	1.49
Aserrín de madera	0.63

Fuente: (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012)

ANEXO D Producción de ladrillos de arcilla.

FOTO N° 1: SISTEMA ELECTRONICO DE MEDICION DE LA TEMPERATURA DEL SUELO



FOTO N° 2: PROCESO DE VARIACION DE TEMPERATURA



FOTO N° 3: MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD



FOTO N° 4: PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACION



FOTO N° 5: MATERIALES QUE SE EMPLEARAN EN EL PROCESO DE MEDICION DE HUMEDAD POR SALINIDAD.



FOTO N° 6: MEDICION DE HUMEDAD CON DIFERENTES % DE SALINIDAD



FOTO N° 7: MEDICION DE HUMEDAD Y TEMPERATURA CON DIFERENTES % DE SALINIDAD



FOTO N° 8: PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACION

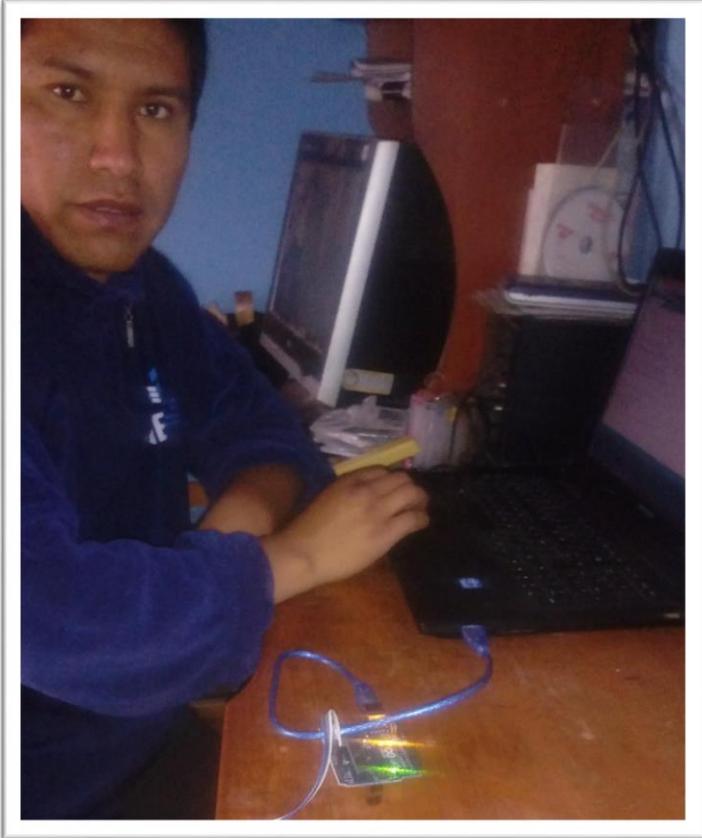


FOTO N° 9: MATERIALES QUE SE EMPLEARAN PARA EL PROCESO DE MEDICION DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARCILLA.



FOTO N° 10: LLENADO DE LA CELDA DE MEDICIONES CON ARCILLA HUMEDA.



FOTO N° 11: ASEGURANDO LA CELDA CON LOS PERNOS PARA TENER UNIFORMIDAD EN LA PRECISION.



FOTO N° 12: INSERCIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD EN LA CELDA.



FOTO N° 13: PROCESAMIENTO DE DATOS EN UNA LAPTOP.



ANEXO E Plano de la celda de medición de muestras